

TARIMSAL YAPILARDA ÇEVRE KOŞULLARININ DÜZENLENMESİNDE VE BİTKİSEL ÜRÜNLERİN KURUTULMASINDA, DEPOLANMASINDA PSİKROMETRİNİN ÖNEMİ

Tahir EKMEKYAPAR (1)

Ö Z E T

Psikrometri, en dar anlamıyla hava-subuharı karışımının özelliklerinin incelenmesidir. Tarım mühendisliğiyle ilgili planlama ve projelermelerde psikrometrinin pekçok kullanılma alanı vardır. Özellikle tarımsal yapılarda çevre koşullarının düzenlenmesi, bitkisel ürünlerin kurutulması ve depolanmasında psikrometrik verilerden önemli ölçüde yararlanılmaktadır. Bu tip planlama ve projelermelerin yapılabilmesi için psikrometrinin diğer bir deyişle nemli havanın termodinamik özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Yukarıda açıklanan konularda çalışanlara yardımcı olmak amacıyla hazırlanan bu yazıda psikrometrik terimlerin tanımı yapıp, hava-subuharı karışımının özelliklerinin termodinamik ilişkileri incelendikten sonra psikrometrik diyagram ve psikrometrik diyagramın kullanılışı açıklanmıştır.

1. GİRİŞ

Psikrometri, fiziğin bir kolu olup özellikle nemli havaya ilişkin atmosferik koşulların ölçülmesi ya da incelenmesi şeklinde tanımlanabilir.

Tarım mühendisliğiyle ilgili planlama ve projelermelerde psikrometrenin pek çok kullanılma alanı vardır. Çeşitli tarımsal yapılarda çevre koşullarının düzenlenmesi ve bitkisel ürünlerin depolanması ve kurutulması işlemlerinde psikrometrik verilerden büyük ölçüde yararlanılmaktadır.

Tarımsal yapıların projelenmesinde çevre koşullarının düzenlenmesi diğer bir deyişle çevre koşullarının kontrol edilmesi ortam havasının sıcaklık derecesi, nem içeriği, basıncı ve bileşimiyle yakından ilgilidir. Tarımsal yapılarda çevre koşullarının düzenlenmesinde psikrometrik verilerin uygulanması genellikle ticari ve oturma yapılarında uygulanan benzer işlemleri içine alır. Bununla birlikte pek çok örneklerde olduğu gibi tarımla ilgili projelermelerde

1 Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik Bölümü Doçenti

ticari yapılara oranla daha fazla koku, toz ve nem sorunlarıyla karşılaşılır. Bu sorunlar aslında nemli havanın bir sonucudur. Bitkisel ürünlerin depolanması ve kurutulması işlemleri, psikrometrik verilerin tarıma uygulanmasının diğer bir örneğini oluşturur. Ürünün kurutulup depoya yerleştirilmesinden sonra, nem birikmesi nedeniyle oluşan bozuşmaların önlenmesi için ürün kit-

lesinin havalandırılması ve depo sıcaklığı ve ürünün bünyesinde bulunan nemin ürünün bozuşma oranıyla ilişkisinin saptanması ve hasattan sonra sürekli saklama veya depolama yöntemleri uygulanıncaya dek ürünün geçici olarak muhafaza edilmesi için uygulanacak işlemlerin (soğutma gibi) kararlaştırılması, büyük ölçüde psikrometrik verilere gereksinim gösterir.

2. PSİKROMETRİK TERİMLERİN TANIMI

— Buhar basıncı (P): Nemli hava içindeki su moleküllerinin oluşturduğu kısmi basınçtır. Havanın su buharıyla tamamen doymuş haldeki basıncına doymuş buhar basıncı denir. N/m², bar, atm, kg/m² şeklinde ifade edilebilir.

— Bağıl nem (ϕ): Verilen koşullar altında havanın içindeki gerçek su buharı basıncının, aynı sıcaklıkta doymuş haldeki havanın su buharı basıncına oranıdır. % ile ifade edilir.

— Özgül nem (W): Birim ağırlıktaki kuru hava içerisindeki su buharının ağırlığıdır. g/kg veya kg/kg olarak ifade edilir.

Mutlak nem (H): Havanın birim hacmi içerisindeki su buharının ağırlığıdır. g/m³ veya kg/m³ olarak ifade edilir.

— Kuru termometre sıcaklığı (t_k): Havanın içindeki su buharı veya radyasyon etkisinde kalmadan herhangi bir termometre veya termokupl ile ölçülen sıcaklıktır.

— Yaş termometre sıcaklığı (t_y): Cıvalı termometre veya termokupl ile ölçülen sıcaklıktır. Ancak termometrenin haznesi veya termokuplın bağlantı

yeri daima ıslak bulundurulmuş tülbent veya buna benzer bir malzemeyle örtülmüştür. Tülbent yardımıyla hazne ile temasta olan suyun buharlaşması hazneyi serinletir. İşte tülbentten buharlaşmanın sabit duruma eriştiği andaki tülbent sarılı termometre veya termokuplın gösterdiği sıcaklık yaş termometre sıcaklığı olarak adlandırılır.

— Çiğlenme noktası sıcaklığı (t_c): Sabit özgül nem ve atmosferik basınç altındaki hava soğutulduğunda, çiğlenmenin meydana geldiği sıcaklıktır.

Özgül hacim (v): Bir gaz veya karışımın verilmiş kütle tarafından işgal edilmiş hacmidir. m³/kg şeklinde ifade edilir.

— Entalpi (h): Kuru hava su buharı karışımının entalpisi, belirli referans (başlangıç) sıcaklıklarının üzerinde kuru havanın birim ağırlığı için nemli havanın ısı içeriğidir. Bu ısı hem gizli hem de duyulur ısıyı içine alır. KCal/kg, kJ/kg şeklinde ifade edilir.

— Doyma derecesi (S): Verilen koşullardaki bir havanın özgül neminin, aynı kuru termometre sıcaklığı ve aynı atmosferik basınç altındaki doymuş havanın özgül nemine oranıdır

3. NEMLİ HAVANIN ÖZELLİKLERİNİN TERMODİNAMİK İLİŞKİLERİ

3.1.- İdeal Gaz Kanunları

Yeryüzü atmosferinde kuru hava başlıca oksijen ve azot olmak üzere az miktarda da argon, karbondioksit, neon vb. birçok gazlardan oluşur. Nemli hava, kuru havada mevcut olan oksijen, azot, argon ve karbondioksit gibi gazlara ek olarak değişen miktarlarda su buharı içerir.

Atmosferik basınç koşullarında, nemli havadaki su buharı ve gazların karışımı ideal gaz olarak kabul edilebilir. Çünkü bu karışım Gibbs - Dalton'un kısmî basınç kanununa uyar. Gibbs - Dalton'un kısmî basınç kanunu, bir karışımı oluşturan gazların her birinin ayrı ayrı oluşturduğu basınçların toplamının karışımın basıncına eşit olduğunu ifade eder.

Nemli hava, başlıca oksijen, azot ve su buharından oluştuğuna göre nemli hava için Gibbs - Dalton kanunu aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$P = P_{\text{oksijen}} + P_{\text{azot}} + P_{\text{subuharı}}$$

Şayet oksijen ve azotun kısmî basınçlarının kuru havanın basıncına eşit olduğu dikkate alırsa, nemli havanın basıncı:

$$P = P_h + P_b \text{ olur.}$$

Bağıntıda; P , atmosfer basıncı; P_h , kuru havanın kısmî basıncı ve P_b , su buharının kısmî basıncıdır.

Herhangi bir ideal gazın basıncı, sıcaklığı ve hacmi arasındaki ilişkiyi veren hal denklemi:

$Pv = RT$ şeklinde ifade edilebilir. Burada: P , gazın basıncı (kg/m^2 , atm, N/m^2); v , gazın özgül hacmi (m^3/kg);

R , gaz sabitesi ($\text{kgm/kg}^\circ\text{K}$, $\text{KJ/kg}^\circ\text{K}$); T , mutlak sıcaklık ($^\circ\text{K}$)'tır.

Yukarıdaki bağıntıda verilen $Pv = RT$ denklemi ideal gazın birim kütlesi içindir. Şayet m kg bir gaz söz konusu ise $P V/m = RT$ veya $PV = mRT$ elde edilir. $m = NM$ 'dir. Böylece hal denklemi $PV = NMRT$ şeklinde de yazılabilir. Buradaki V gazın m kg'nın işgal ettiği hacim, N gazın mol sayısı, M ise gazın molekül ağırlığıdır.

Hal denkleminin kullanılabilmesi için R gaz sabitesinin bilinmesi gerekir. Gaz sabitesi (R) farklı her gaz için ayrı bir değer alır. Fakat kimyanın bir temel kanunu kullanılarak bütün ideal gazlar için genel bir ifade bulunabilir. Şöyleki, hal denklemi gazın molekül ağırlığına eşit bir kütleyle uygulanabilir. Bu kütleyle K_{mol} denir. K_{mol} herhangi bir gazın bir molekülünün ağırlığı kadar kg miktarına denir. Örneğin 1 K_{mol} oksijen (O_2) 32 kg ağırlığındadır.

Şayet 1 K_{mol} gazın hacmi, M molekül ağırlığına sahipse hal denklemi $PV = MRT$ olur. Avogadro kanununa göre bütün gazların eşit hacimleri aynı basınç ve sıcaklıkta eşit miktarda molekül içerirler. Bu kanun ideal gazlar için kesinlikle doğrudur. Buna göre bütün ideal gazların bir K_{mol} 'ünün hacmi aynı sıcaklık ve basınçta birbirine eşittir. Böylece P ve T 'nin verilen her değerinde bütün gazlar için V aynıdır. Buna göre, $PV = MRT$ denkleminde (MR) çarpımının bütün gazlar için aynı olduğu görülür. Bu çarpım ($MR = R_0$) Üniversal gaz sabitesi olarak bilinir. Böylece $PV = MRT$ denklemi $PV = R_0 T$ olur.

Normal koşullarda (1 atm veya 760 mm Hg basıncında ve 0°C'ta) bir Kmol gazın hacminin 22,4 m³ olduğu

$$R_o = \frac{PV}{T} = \frac{10320 \cdot 22,4}{273} = 848 \text{ kgm/Kmol}^\circ\text{K}$$

PN/m² alınır,

$$R_o = \frac{PV}{T} = \frac{101325 \cdot 22,4}{273} = 8314 \text{ J/Kmol}^\circ\text{K} = 8,314 \text{ KJ/Kmol}^\circ\text{K} = 1,986 \text{ Kcal/Kmol}^\circ\text{K} \text{ olur.}$$

R_o bilindiğine göre herhangi bir gaz için gaz sabitesi R = R_o/M eşitliğinden kolayca bulunur.

$$R_h = \frac{R_o}{M_h} = \frac{848 \text{ kgm/Kmol}^\circ\text{K}}{28,966 \text{ kg/Kmol}} = \frac{848}{28,966} = 29,27 \text{ kgm/kg}^\circ\text{K}$$

Su buharı için:

$$R_b = R_o/M_b = 848/18 = 47,11 \text{ kgm/kg}^\circ\text{K} \text{ bulunur.}$$

Nemli hava ideal gaz özelliği gösterdiğine göre, ideal gazlar için hal denklemi kuru hava ve su buharına uygulandığında, kuru hava için

bilinmektedir. Buna göre R_o'in birimi bulunabilir. P kg/m² alınır,

Örneğin, P kg/m² alınmak koşuluyla kuru hava için:

$$P_h V_h = m_h R_h T_h \text{ ve su buharı için } P_b V_b = m_b R_b T_b \text{ yazılabilir.}$$

Böylece nemli havanın basıncı:

$$P = P_h + P_b = \frac{m_h R_h T_h}{V_h} + \frac{m_b R_b T_b}{V_b} \text{ olur.}$$

Kuru hava ve su buharı, tüm karışımın içerisinde üniform bir şekilde yayıldıklarından, her iki elemanın hacmi ve sıcaklığı birbirine eşit olur. Böylece yukarıdaki eşitlik:

ğı bilindiğinde kısmî basınçlar hesaplanabilir.

3.2 Bağıl Nem (ø)

P = (T/V) (m_hR_h + m_bR_b) şekline dönüşür.

Verilen koşullar altında havanın içindeki gerçek subuharı basıncının, aynı sıcaklık ve basınçta doymuş haldeki havanın subuharı basıncına oranı bağıl nem olarak adlandırılır. Öte yandan bağıl nem, verilen koşullar altında havanın içinde bulunan su buharının mol fraksiyonunun, aynı sıcaklık ve basınç altında doymuş haldeki havanın su buharının mol fraksiyonuna oranı şeklinde de tanımlanabilir.

Ayrıca kuru hava ve su buharı karışımının hacmi ve sıcaklığı eşit olduğundan kuru hava ve su buharı basınçları arasında aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$P_b/P_h = m_b R_b / m_h R_h$$

Böylece su buharı basıncı ve ağırlı-

Nemli havanın basıncını P , kuru havanın basıncını P_h ve su buharının basıncını P_b ile gösterirsek;

$$P_b = X_b P$$

$$P_b = X_b P \text{ olur.}$$

Burada X_h ve X_b sırasıyla kuru havanın ve subuharının mol fraksiyonlarını ifade eder. Mol fraksiyonu ise, bir karışımdaki herhangi bir gazın mol sayısının karışımın mol sayısına oranıdır. Buna göre:

$$X_h = N_h / (N_h + N_b) \text{ ve } X_b = N_b / (N_h + N_b)$$

Burada, N_h ve N_b sırasıyla kuru havanın ve su buharının mol sayılarını temsil eder. Benzer yaklaşımla doy-

$$X_b / X_{db} = P_b / P_{db} \text{ ve dolayısıyla } \phi = P_b / P_{db} \text{ olur.}$$

3.3 Özgül Nem (W)

Nemli havanın özgül nemi, kuru havanın birim ağırlığında bulunan su buharının ağırlığı olarak tanımlanır.

$$T_b = T_h \text{ ve } V = V_h = V_b \text{ olduğuna göre;}$$

$$W = m_b / m_h = R_h P_b / R_b P_h = P_b R_h / R_b (P - P_b) \text{ olur.}$$

Kuru hava için gaz sabitesi (R_h) 29,27 kgm/kg°K ve su buharı için gaz

muş haldeki havanın mol fraksiyonu $X_{db} = N_{db} / (N_b + N_{db})$ şeklinde ifade edilebilir.

Yukarıda mol fraksiyonu esasına göre yapılan tanıma uyularak bağlı nem:

$$\phi = X_b / X_{db} \text{ şeklinde ifade edilebilir.}$$

$$\text{Öte yandan } P_b = X_b P \text{ ve}$$

$$P_{db} = X_{db} P$$

$$X_b = P_b / P \quad X_{db} = P_{db} / P$$

$$X_b / X_{db} = (P_b / P) / (P_{db} / P) \text{ yazılabilir.}$$

Böylece:

İdeal gaz kanunu kullanıldığında, su buharının ağırlığı $m_b = P_b V_b / R_b T_b$ ve kuru havanın ağırlığı ise $m_h = P_h V_h / R_h T_h$ olur.

sabitesi (R_b) 47,11 kgm/kg°K olduğuna göre;

$$W = \frac{29,27}{47,11} \left(\frac{P_b}{P - P_b} \right) = 0,622 \left(\frac{P_b}{P - P_b} \right) = 0,622 \frac{\phi P_{db}}{P - \phi P_{db}} \text{ elde edilir,}$$

Burada P_{db} doymun havanın su buharı basıncını temsil etmektedir.

gun (doyma) durumundaki özgül nemini temsil etmektedir.

3.4 Doyma Derecesi (S)

Doyma derecesi, verilen koşullardaki bir havanın özgül neminin, aynı sıcaklık ve basınçtaki doymun havanın özgül nemine oranı olarak tanımlanır. Doyma derecesi $S = W / W_d$ şeklinde ifade edilir.

S doyma derecesini W havanın özgül nemini ve W_d aynı havanın doy-

$$W = m_b / m_h \quad W_d = m_{db} / m_h$$

$$S = (m_b / m_h) / (m_{db} / m_h) = m_b / m_{db} \text{ şeklinde ifade edilebilir.}$$

m_b verilen havadaki su buharının ağırlığını, m_{db} aynı havanın doyma durumunda içerdiği su buharının ağırlığını, m_h ise kuru havanın ağırlığını temsil etmektedir.

Doyma derecesi, % doyma veya yüzde nemlilik olarak ta adlandırılmaktadır.

$$\phi = P_b/P_{db}$$

$$S = W/W_d = \frac{0,622 (P_b/P - P_b)}{0,622 (P_{db}/P - P_{db})}$$

$$S = (P_b/P_{db}) (P - P_{db}/P - P_b) \quad \text{pay ve paydalar } P'ye \text{ bölünerek}$$

$$S = \phi \frac{1 - (P_{db}/P)}{1 - (P_b/P) (P_{db}/P_{db})} = \phi \frac{1 - (P_{db}/P)}{1 - \phi (P_{db}/P)} \text{ olur.}$$

Benzer şekilde

$$\phi = S \frac{P - P_b}{P - P_{db}} = S \frac{1 - \phi (P_{db}/P)}{1 - (P_{db}/P)} = \frac{S}{1 - (1-S) (P_{db}/P)} \text{ elde edilir.}$$

3.5 Özgül Hacim (v)

Kuru havanın her bir birim ağırlığındaki nemli havanın hacmi doğru-
dan doğruya idial gaz kanunlarından hesaplanabilir.

$$v = R_h T/P_h = R_b T/P - P_b$$

v için kullanılan diğer ifade ise;

$$W = \frac{R_h P_b}{R_b (P - P_b)} \text{ bağıntısını } P'ye$$

göre çözmek ve P_b 'nin değerini

$v = R_b T/P - P_b$ bağıntısında yerine koymakla elde edilir.

$$v = R_h T/P (1 + 1,608W)$$

3.6 Entalpi (h)

Nemli havanın entalpisi, seçilen belirli referans (başlangıç) sıcaklıklarının üzerindeki kuru havanın birim ağırlığı için nemli havanın ısı içeriği olarak tanımlanır. Böylece nemli havanın entalpisi, kuru havanın birim ağırlığı için kuru havanın entalpisi ile subuharının entalpisinin toplamıdır.

$$h = h_h + Wh_b$$

Pekçok iklimlendirme işlemlerinde

Bağıl nem ve doyma derecesi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde bulunabilir:

entalpi değişimi daha çok önem taşımaktadır. Diğer bir deyişle entalpinin mutlak değerinden ziyade, seçilmiş bir durum ile sözkonusu durum arasındaki entalpi farkı daha önemlidir.

Referans sıcaklığının seçimi isteğe bağlı olmakla birlikte, genellikle referans sıcaklığı olarak hem kuru hava hem de su için 0°C alınmaktadır.

Böylece 0°C sıcaklığındaki havanın entalpisi sıfır alınmak koşuluyla 1 kg kuru havanın entalpisi:

$h_h = C_{p,h} \cdot t = 0,24 t$ formülüyle hesaplanır.

Yine 0°C sıcaklıkta suyun entalpisi sıfır alınmak suretiyle 1 kg subuharının entalpisi:

$$h_b = 595 + 0,45 t \text{ formülüyle bulunur.}$$

Burada; 0,24, kuru havanın sabit basınçtaki özgül ısısı (Kcal/kg $^\circ\text{C}$); 0,45, su buharının sabit basınçtaki özgül ısısı (Kcal/kg $^\circ\text{C}$); 595, Suyun 0°C 'teki buharlaşma ısısı (Kcal/kg)'dir. O halde 1 kg kuru hava ile birlikte W kg su buharının entalpisi:

$$h = 0,24 t + (595 + 0,45 t) W \text{ olur}$$

Aynı şekilde 1 kg kuru hava ile birlikte W kg subuharının özgül ısısı:

$$C_p = C_{p,h} + C_{p,b}W \text{ olur.}$$

Burada; C_p , nemli havanın sabit basınçtaki özgül ısısı (0,244 Kcal/kg°C); $C_{p,h}$, kuru havanın sabit basınçtaki özgül ısısı (0,24 Kcal/kg°C); $C_{p,b}$, su buharının sabit basınçtaki özgül ısısı (0,45 Kcal/kg°C); W havanın içinde bulunan özgül nem (kg/kg)'dir.

Teknik literatürde ($C_{p,h} + C_{p,b}W$) birleşik terimi nemli ısı olarak adlandırılır ve $C_{p,h} + C_{p,b}W = C_p$ dir. Düşük sıcaklıklarda W çok küçük olduğundan nemli ısı, havanın C_p değerinden çok az farklıdır. Fakat 38°C'un üzerindeki sıcaklıklarda bu fark büyümektedir.

$C_p = C_{p,h} + C_{p,b} W$ bağıntısında rakamsal değerler yerine konulduğunda nemli havanın özgül ısısı;

$C_p = 0,24 + 0,45 W$ olur. Fakat iklimlendirme hesaplarında nemli havanın özgül ısısı olarak genellikle $C_p = 0,244$ değerinin kullanılması uygundur.

3.7 Yaş Termometre Sıcaklığı (t_p)

Termodinamik ve psikrometrik yaş termometre sıcaklığı olmak üzere iki çeşit yaş termometre sıcaklığı vardır. Bu iki çeşit yaş termometre sıcaklığının rakamsal değerleri, nemli hava için yaklaşık olarak birbirine eşittir. Fakat diğer gaz karışımları için bu iki değer birbirine eşit değildir. Nemli hava için bu iki yaş termometre sıcaklığının rakamsal değerleri birbirine e-

şit olmakla birlikte aradaki farklılığın belirtilmesinde yarar vardır.

Psikrometrik yaş termometre sıcaklığı, haznesi daima ıslak bir tülbentle örtülü termometre veya bağlantı yeri ıslak bir tülbentle örtülü termokuplun gösterdiği sıcaklıktır. Tülbent üzerinden geçen havanın hızı en az 4,5 m/s olmalıdır.

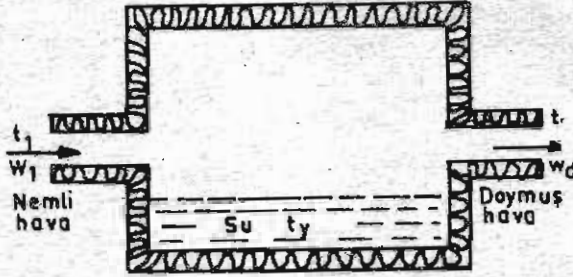
Doğgun olmayan hava tülbent örtülü termometre haznesinin veya termokuplun üzerinden geçtiğinde buharlaşma meydana gelir. Böylece tülbentin ve tülbent örtülü termometre haznesi veya termokupl bağlantı yerinin sıcaklığı başlangıçtaki doymamış havanın sıcaklığının altına düşer. Havadan tülbente olan ısı iletimi, denge durumu kuruluncaya (tülbent ve tülbentle temasta olan havanın sıcaklığının aynı olması) kadar devam eder. Bu denge durumunda havadan tülbente olan konveksiyonla ısı iletimi, tülbentten suyu buharlaştırmak için gerekli olan gizli ısıya eşit olur. Diğer bir deyişle tülbentle temasta olan suyu buharlaştırmak için havadan tülbente iletilen ısı, buhar difüzyonuyla tülbentten havaya taşınan enerjiye eşittir. Denge durumunun meydana geldiği sıcaklık atmosferik koşullara ve tülbent üzerinden geçen hava miktarına bağlıdır. İşte bu denge durumundaki sıcaklık psikrometrik yaş termometre sıcaklığı olarak adlandırılır.

Termodinamik yaş termometre sıcaklığı, su ile temasta olan herhangi bir durumdaki hava, suyun buharlaşmasıyla adyabatik olarak doyma durumuna getirildiğinde, nemli hava ve suyun birlikte ulaşmış oldukları sıcaklıktır. Diğer bir deyişle termodinamik yaş termometre sıcaklığı, su ile temasta olan herhangi

bir durumdaki havanın suyun sahip olduğu sıcaklıkta adyabatik olarak doyma durumuna ulaşması sonucunda nemli havanın sahip olduğu sıcaklıktır.

Termodinamik ve psikrometrik yaş termometre sıcaklığı hava-subuharı karışımı için yaklaşık olarak birbirine eşittir. Psikrometrik denklemlerde ve

psikrometrik diyagramlarda psikrometrik yaş termometre sıcaklığından ziyade termodinamik yaş termometre sıcaklığı kullanılmaktadır. Bu nedenle burada sadece termodinamik yaş termometre sıcaklığının havanın diğer termodinamik özellikleriyle ilişkisini veren denklem üzerinde durulacaktır.



Şekil 3.1. Şematik adyabatik doyma aygıtı

Şekil 3.1'de görülen aygıt yardımıyla termodinamik yaş termometre sıcaklığının açıklanması kolayca yapılabilir. Termodinamik yaş termometre sıcaklığının esası, havanın adyabatik olarak doyması esasına dayanır. Yani işlem sırasında ısı eklenmesi veya ısı kaybı yoktur. Bu amacı gerçekleştirmek için aygıtın her tarafı dış ortama karşı tamamen yalıtılmış olmalıdır.

Aygıtı giren havanın kuru termometre sıcaklığı t_1 , yaş termometre sıcaklığı t_y ve özgül nemi W_1 olsun. Bu hava aygıttaki suyla temasa geldiğinde sudan havaya doğru buharlaşma olur. Bunun sonucunda havanın kuru termometre sıcaklık düşer. Çünkü buharlaşma için gerekli ısı, giren havanın duyulur ısısından karşılanmıştır. Bu buharlaşma suyun ve giren

havanın sıcaklıkları eşit oluncaya kadar devam eder. Diğer bir deyişle giren havanın kuru termometre sıcaklığı, giren havanın yaş termometre sıcaklığına düşünceye kadar devam eder. Bu durumda giren hava doymuş hale gelmiş olacaktır ve aygıtı terkedecektir. Böylece aygıt içerisindeki suyun sıcaklığı t_y , aygıtı terkeden doymuş hale gelmiş havanın sıcaklığı t_y , özgül nemi ise W_d olmuştur. Suyun buharlaşan miktarı ise $W_d - W_1$ kadardır.

Şimdi aygıt içerisindeki ısı ve kütle dengelerini dikkate alalım. Buharlaşmanın gizli ısısının aygıtı giren havanın duyulur ısısından geldiği açıktır. Giren havanın sıcaklığı t_1 'den t_y 'ye düşer. Özgül nemi ise W_1 'den W_d 'a artar.

Böylece :

$$C_p (t_1 - t_y) = h_{sg} (W_d - W_1) \text{ yazılabilir. Buradan}$$

$$t_y = t_1 - (h_{sg}/C_p) (W_d - W_1) \text{ elde edilir.}$$

Aygıtta giren ilk hava içinde de bir miktar nem bulunduğundan buradaki C_p nemli havanın özgül ısısıdır. Böylece yaş termometre sıcaklığı:

$t_y = t_1 - (h_{sg}/0,244) (W_d - W_1)$ şeklini alır. Burada h_{sg} suyun buharlaşma ısısını ifade eder.

4. PSİKROMETRİK DİYAGRAM

Psikrometrik diyagram, nemli havanın termodinamik özelliklerinin grafiksel olarak ifadesidir. Mühendislik projelene problemlerinin çözümünde maksimum uygunluk için hazırlanmıştır. Psikrometrik diyagramda koordinatların seçimi isteğe bağlıdır.

Bugün kullanılmakta olan pek çok psikrometrik diyagramlar vardır. Diyagramlar barometrik basınç, sıcaklık aralığı, ilgili termodinamik özelliklerin sayısı ve koordinatların seçimi bakımından farklılık gösterirler.

ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) diyagramlarında, dikey eksen üzerinde özgül nem gösterilmektedir. Sabit özgül nem doğruları diyagramda yatay yönde yani yatay eksene paralel uzanırlar.

Diyagramın altında bulunan yatay eksen üzerinde kuru termometre sıcaklıkları gösterilir. Sabit kuru termometre sıcaklık doğruları yukarıya doğru uzanırlar. Fakat tam olarak yatay eksene dik değildirler ve birbirlerine de tam olarak paralel değildirler. Termodinamik yaş termometre sıcaklığı doğruları düzgün doğrular halinde olup, dikey eksenle 90° 'den küçük açılar yaparlar. Diyagonal doğrular halindedirler.

Entalpi doğruları birbirine paralel olup, yaş termometre sıcaklığı doğrularından hafif farklılık gösterirler. Ancak bu fark çok azdır. Öyleki

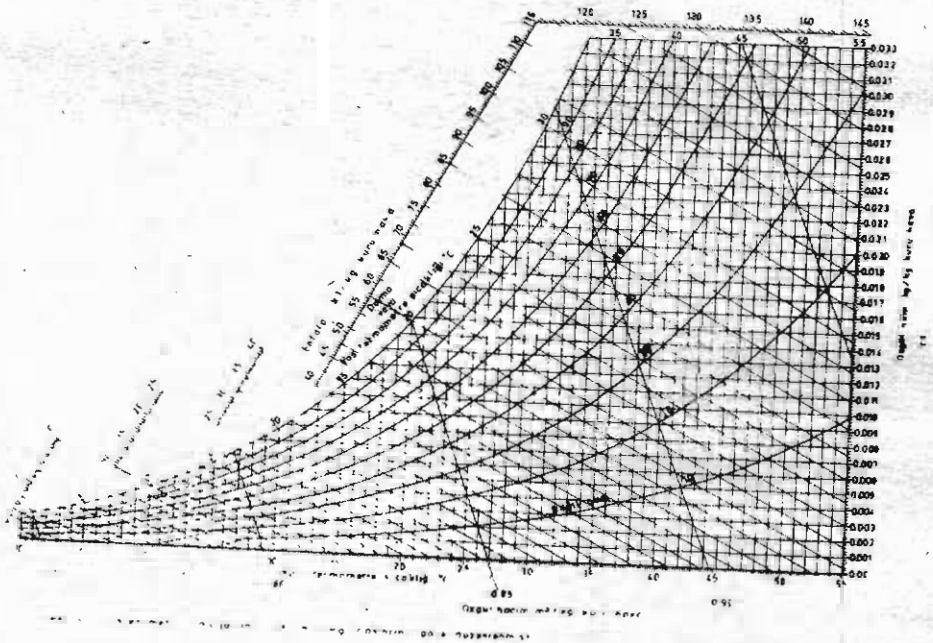
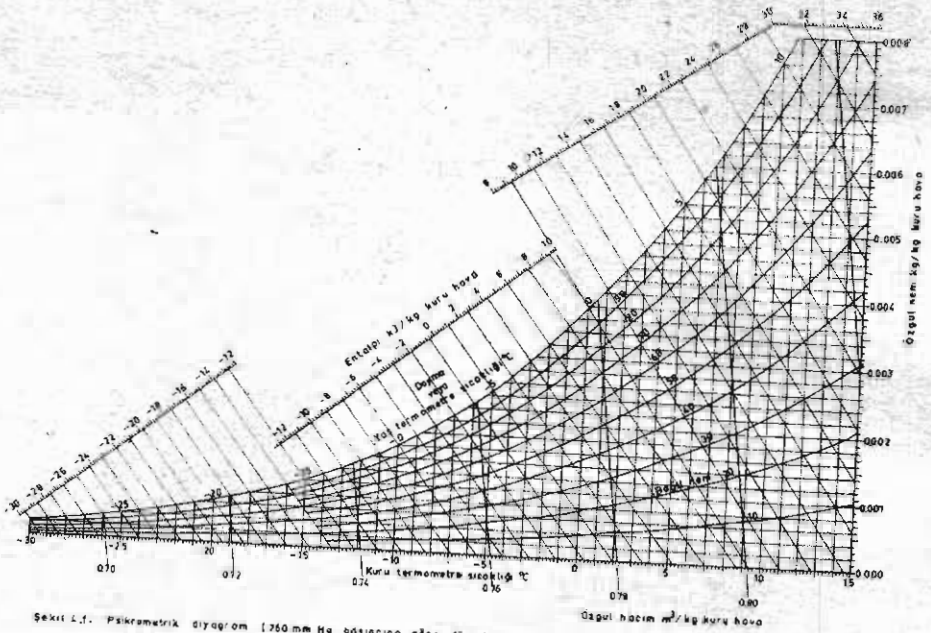
yaş termometre sıcaklığının entalpi doğruları üzerinde okunması büyük hata oluşturmaz.

Yatay eksen % 0 bağıl nemi (kuru hava) ifade eder. Daha yüksek bağıl nem doğruları eğri şeklinde olup, diyagramın alt sol köşesinden başlayarak yukarıya doğru eğri oluştururlar. % 100 bağıl nem eğrisi doyma eğrisidir. % 100 bağıl nem durumunda çiğlenme noktası, yaş termometre ve kuru termometre sıcaklıklarına ilişkin değerler doyma eğrisi üzerindedirler. Bu üç sıcaklık doyma durumunda birbirlerine eşittirler.

Özgül hacim doğruları düzgün doğrular şeklinde olup, birbirlerine tam olarak paralel değildirler. Diyagonal durumda olup, entalpi ve yaş termometre sıcaklığı doğrularından daha dik bir eğime sahiptirler. Özgül hacim doğruları ayrıca sabit yoğunluk değerlerini de ifade ederler. Çünkü yoğunluk özgül hacmin tersine ($\rho = 1/v$) eşittir. — 30°C ile 15°C ve -10°C ile 55°C sıcaklık aralığına sahip iki psikrometrik diyagram Şekil 4.1 ve

4.2'de verilmiştir.

Nemli havanın termodinamik durumu, basınç ve diğer iki bağımsız özelliği tarafından belirlenir. Fakat psikrometrik diyagramların pek çoğu sabit basınç (standart atmosferik basınç) için geliştirilmiştir. Böylece nemli havanın termodinamik durumunun be-



lirenmesinde sadece iki bağımsız özellik kullanılır. Diğer deyişle psikrometrik diyagramlarda, nemli havanın

iki bağımsız özelliğinin bilinmesiyle diğer özelliklerini bulunabilir.

5. PSİKROMETRİK DİYAGRAMIN KULLANILIŞI

Psikrometrik diyagram, bir atmosfer basınç altında nemli havanın kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı, özgül nem, bağıl nem, özgül hacim ve entalpi gibi termodinamik özelliklerini verir.

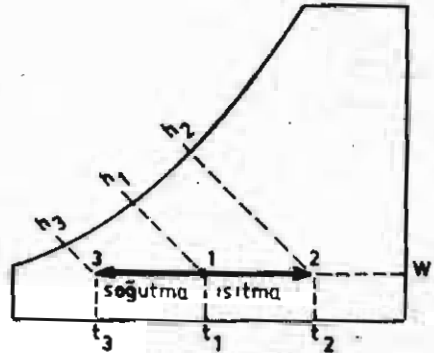
Nemli havaya ilişkin bu özelliklerden herhangi ikisi bilinince diyagram üzerinde havanın durumu genellikle saptanabilir. Diğer özellikler bu iki özelliğın kesişmesiyle oluşan noktadan ve diğer özelliklere ilişkin uygun doğruların gösterdiği değerleri okumakla bulunabilir.

Tarımsal yapılarda çevre koşullarının düzenlenmesi ve tarımsal ürünlerin depolanması ve kurutulmasında genellikle; 1) Nemli havanın ısıtılması veya soğutulması, 2) Nemli havanın ısıtılması ve nemlendirilmesi, 3) Nemli havanın soğutulması ve neminin azaltılması, 4) Buharlaşımayla soğutma, 5) Nemli havanın adyabatik doyması, 6) Nemli havanın adyabatik karışımı, 7) Ürün kurutma gibi işlemlerle karşılaşılır.

5.1 Nemli Havanın Isıtılması veya Soğutulması

Sabit basınç altında, nemli havanın özgül neminde herhangi bir değişiklik yapılmadan havaya ısı ekleme veya havadan ısı alma (çıkarma) işlemidir. Bu işlem psikrometrik diyagram üzerinde yatay eksene paralel olarak düzgün doğru şeklinde uzanır.

Nemli havanın sadece ısıtılması veya soğutulması işleminde, nemli havanın kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı, entalpisi, bağıl nemi ve özgül hacmi değişir. Özgül nemi, çiğlenme noktası sıcaklığı ve buhar basıncı değişmez. Bu işlemin psikrometrik diyagram üzerindeki durumu Şekil 5.1'de görülmektedir. Nemli havanın soğutulması işlemi, nemli havanın ısıtılması işleminin tersidir. Ancak son sıcaklığın çiğlenme noktası sıcaklığının üstünde olması koşuluyla bu işlem meydana gelir.



Şekil 5.1. Nemli havanın ısıtılması veya soğutulması

Nemli havanın ısıtılması veya soğutulması işlemi bir duyulur ısı değişimidir. Nemli havanın ısıtılması işleminde eklenen ısı miktarı ; $q = m_h (h_2 - h_1)$ veya $q = m_h C_p (t_2 - t_1)$ bağıntuları yardımıyla hesaplanabilir. Burada; q , havanın özgül nemini değiştirmeden havaya eklenen ısı mik-

tarı (KCal); m_h , hava miktarı (kg); h_2 , havanın ısıtılması gereken sıcaklıktaki entalpisi (KCal/kg); h_1 , havanın mevcut durumundaki entalpisi (KCal/kg); t_2 , havanın ısıtılması gereken sıcaklık ($^{\circ}$ C); t_1 , havanın mevcut sıcaklığı ($^{\circ}$ C); C_p , Nemli havanın özgül ısı (0,244 KCal/kg $^{\circ}$ C)'dir.

Nemli havanın soğutulması, nemli havanın ısıtılması işleminin tersi bir işlem olduğuna göre, bu işlem sırasında havadan çıkarılması gereken ısı miktarı aşağıdaki bağıntılarla bulunabilir:

$$q = m_h (h_2 - h_1) \text{ veya } q = m_h C_p (t_2 - t_1)$$

Burada h_3 havanın soğutulması gereken sıcaklıktaki entalpisi, t_3 ise havanın soğutulması gereken sıcaklık derecesini ifade eder. Diğer harflerin anlamı daha önce açıklanmıştır.

Nemli havanın ısıtılması veya soğutulması işleminde kuru havanın özgül ısı yerine nemli havanın özgül ısı kullanılmalıdır.

5.2 Nemli Havanın Isıtılması ve Nemlendirilmesi

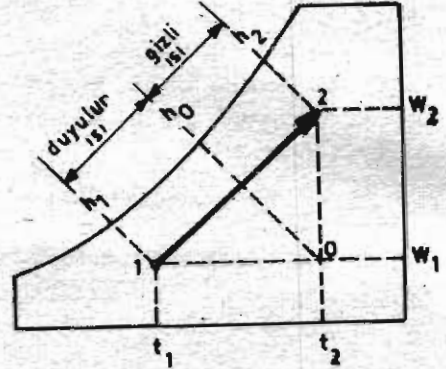
Bu işlemde havaya hem ısı hem de belirli miktarda su buharı eklenir. Bu işlem sonucunda nemli havanın entalpisi, özgül nemi, buhar basıncı, kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı ve özgül hacmi artar. Nemli havanın bağıl nemindeki değişme ise havaya eklenen enerji ve su buharı miktarına bağlıdır. Bu işlemin psikrometrik diyagram üzerindeki durumu Şekil 5.2'de görülmektedir.

Bu işlem sırasında havaya eklenen toplam ısı miktarı:

$$q = m_h (h_2 - h_1)$$

Havaya eklenen subuharı miktarı ise:

$W = m_h (W_2 - W_1)$ bağıntılarıyla hesaplanır.



Şekil 5.2. Nemli havanın ısıtılması ve nemlendirilmesi

Burada; q , havaya eklenen ısı miktarı (KCal) m_h , hava miktarı (kg); h_2 , havanın ikinci durumundaki entalpisi (KCal/kg); h_1 , havanın ilk durumundaki entalpisi (KCal/kg); W , havaya eklenen su buharı miktarı (kg); W_2 , havanın ikinci durumundaki özgül nemi (kg/kg); W_1 havanın ilk durumundaki özgül nemi (kg/kg)'dir.

Bu işlemde havaya hem ısı hem de su buharı eklendiğine göre, eklenen toplam ısı, duyular ısı ve gizli ısı olmak üzere iki kısımdan oluşur.

Böylece:

$$q_{\text{duyular}} = m_h (h_0 - h_1)$$

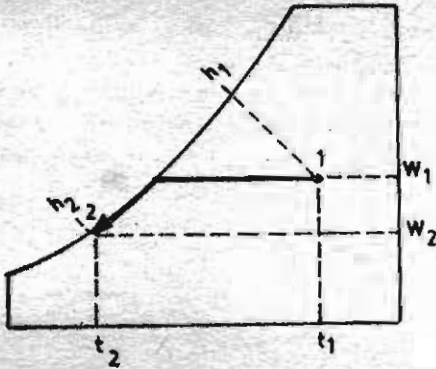
$$q_{\text{gizli}} = m_h (h_2 - h_0) \text{ olur.}$$

Burada h_0 havanın ilk durumundaki özgül nemini değiştirmeden, ikinci durumundaki sıcaklık derecesine kadar ısı-

tıldığındaki entalpisini temsil etmektedir.

5.3 Nemli Havanın Soğutulması ve Neminin Azaltılması (Kurutulması)

Hava kendi çiglenme noktası sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa kadar soğutulduğunda, başlangıçta havanın içerisinde bulunan su buharı zorunlu olarak yoğunlaşır. Böylece bu işlemde havadan hem ısı hem de belirli oranda su buharı çıkarılmaktadır. Bu işlem sonucunda başlangıçtaki nemli havanın entalpisini, özgül nemi, buhar basıncı, kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı, çiglenme noktası sıcaklığı ve özgül hacmi azalır. Bu işlemin psikrometrik diyagram üzerindeki durumu Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3. Nemli havanın soğutulması ve neminin azaltılması

Bu işlem sırasında havadan çıkarılan toplam ısı miktarı:

$$q = m_h [(h_1 - h_2) - (W_1 - W_2) h_s]$$

Havadan çıkarılan su buharı miktarı ise:

$$W = m_h (W_1 - W_2) \text{ bağıntı-}$$

larıyla hesaplanır.

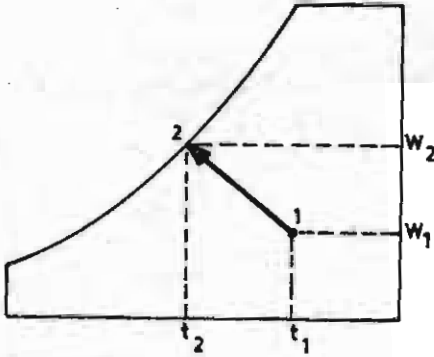
Burada; q , havadan çıkarılan ısı miktarı (KCal); m_h , hava miktarı (kg); h_1 , havanın ilk durumundaki entalpisini (KCal/kg); h_2 , havanın ikinci durumundaki entalpisini (KCal/kg); W_1 , havanın ilk durumundaki özgül nemi (kg/kg); W_2 havanın ikinci (soğutulması gerekli) durumundaki özgül nemi (kg/kg); h_s , havanın soğutulması gerekli sıcaklıktaki suyun entalpisini (KCal/kg)'dir.

Havanın soğutulması ve kurutulması işlemi havadan çıkarılan ısı miktarının diğer bir deyişle soğutucunun soğutma gücünün hesaplanmasında, havadan çıkarılan su nedeniyle oluşan $(W_1 - W_2) h_s$ miktarındaki ısı dikkate alınmayabilir. Çünkü bu miktar ısı, $m_h (h_1 - h_2)$ miktar ısıyla karşılaştırıldığında çok küçüktür. Öte yandan bu ısının dikkate alınmayış soğutucunun soğutma gücünü biraz yüksek tutmayı zorunlu kıldığından planlamada emniyet payını yükseltmiş olmaktadır.

5.4 Buharlaşmayla Soğutma

Buharlaşmayla soğutma bir adyabatik doyma işlemidir. Yani işlem sırasında ısı eklenmez ve ısı kaybı olmaz. Buharlaşmayla soğutma işlemi, yaş termometre sıcaklığı doğruları boyunca yukarıya doğru uzanır. Soğutulacak hava, havanın yaş termometre sıcaklığına eşit sıcaklıktaki suyla temas getirilir. Havanın duyulur ısı suyu buharlaştırır ve böylece havanın kuru termometre sıcaklığı düşer. Bu durumda duyulur ısı eklenen buhar bünyesinde gizli ısıya dönüşür. Buhar-

harlaşmayla soğutma, kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki farkın yüksek olduğu sıcak iklim bölgelerinde etkili bir şekilde uygulanabilir. Bu işlemin psikrometrik diyagram üzerindeki durumunu Şekil 5.4'de görülmektedir.



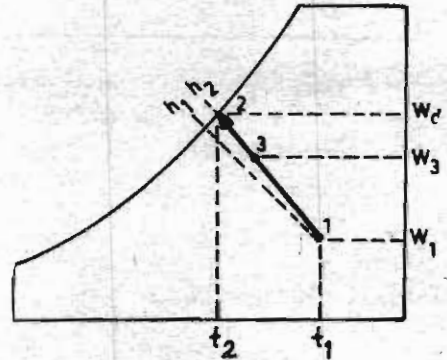
Şekil 5.4. Buharlaşmayla soğutma

5.5 Nemli Havanın Adyabatik Doyması

Yaş termometre sıcaklığının denkleminin çıkarılmasında adyabatik doyma işleminin mekanizması kısaca açıklanmıştır. Burada adyabatik doyma işleminin daha ayrıntılı olarak yeniden açıklanmasında yarar vardır. Adyabatik terimi, işleme ısı verilmediği ve işlemde ısı alınmadığını ifade eder. Doymamış haldeki hava su ile temasa geldiğinde hava doymuş hale gelir veya bu hale yaklaşır. Suyun sıcaklığı havanın yaş termometre sıcaklığında ise hava adyabatik olarak doymuş hale gelir. Şekil 5.5'te de görüldüğü gibi psikrometrik diyagram üzerinde havanın ilk durumunu temsil eden 1 noktası, yaş termometre sıcaklığı doğrusu boyunca hareket e-

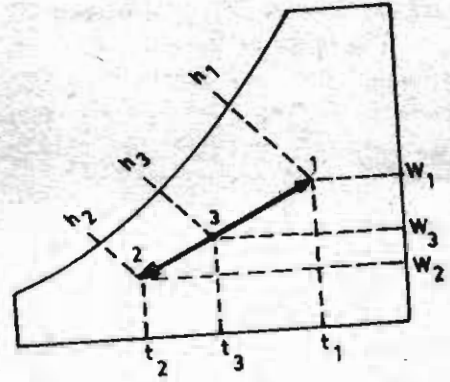
derek 2 noktasına gelir. Ancak uygulamada 2 noktasına tam olarak ulaşmanın sağlanması gerçekleşmiyebilir ve 2 noktasına çok yakın bir 3 noktasına ulaşılır. Nemli havayı doymuş hale getirmek için gerekli olan buharlaşma ısı, havanın duyulur ısı tarafından sağlanır. Böylece havanın kuru termometre sıcaklığı düşer ve özgül nemi artar. Doymuş havanın entalpisi ilk durumdaki havanın entalpisinden çok az daha yüksektir. Çünkü işlem tarafından absorbe edilen suyun entalpisi ikinci durumdaki doymuş havanın entalpisine eklenmiştir. Böylece $h_1 + (W_2 - W_1) h_s = h_2$ eşitliği yazılabilir.

Buradan entalpi doğruları ile yaş termometre sıcaklığı doğrularının birbirinden çok az farklı olduğu gerçeği ortaya çıkar. Eğer entalpi doğruları yaş termometre sıcaklığı doğrularını takip etseydi $h_1 = h_2$ olması gerekirdi. Oysa $h_1 < h_2$ olduğundan entalpi doğruları ile yaş termometre sıcaklığı doğruları birbirinden çok az farklıdır. Bu durum Şekil 5.5'te görül-



Şekil 5.5. Nemli havanın adyabatik doyması

rılmaktadır. Ancak $(W_d - W_1) h_s$ çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Böylece adyabatik doyma işleminde $h_1 = h_2$, diğer bir deyişle entalpinin değişmediği kabul edilebilir. Burada; h_1 , işleme giren birinci durumdaki havanın entalpisi; h_2 , ikinci durumdaki doymuş havanın entalpisi; W_1 , birinci durumdaki havanın özgül nemi; W_2 , ikinci durumdaki doymuş havanın özgül nemi; h_s , suyun entalpisi'dir.



Şekil 5.6. Nemli havanın adyabatik karışımı

5.6 Nemli Havanın Adyabatik Karışımı

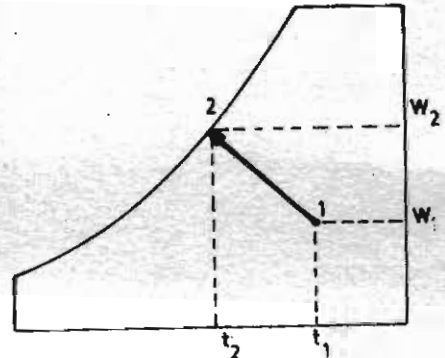
Çoğu kez iklimlendirme problemlerinde iki farklı durumdaki nemli havanın karıştırılmasıyla elde edilen üçüncü durumdaki havanın özelliklerinin de bilinmesi gerekir. Şayet karışım adyabatik olarak meydana geliyorsa, iki farklı durumdaki havanın adyabatik karışımından sonra, üçüncü durumdaki havanın yeri, iki başlangıç durumunu birbirine bağlayan düzgün doğru üzerine düşer. Son durumun yani karışımın diyagram üzerindeki yeri, karışan iki havanın kütle akımları oranına orantılı olarak doğruyu iki kısma ayırmakla bulunabilir. Bu noktanın yeri saptandıktan sonra, karışımın termodinamik özellikleri diyagramdan okunarak bulunur (Şekil 5.6).

5.7 Ürün Kurutma

Tarımsal ürünlerin kurutulması sırasında gerekli olan ısı ve ürün kitlesinden alınması gerekli nem miktarlarının hesaplanması psikrometrik diyagram yardımıyla bulunabilir. Ürünün kurutulması işlemi bir adyabatik doyma işlemi olarak dikkate alınır.

Yani ürün içerisindeki nemin buharlaşması için gereksinim duyulan ısı, yalnız kurutma havası tarafından sağlandığı kabul edilmektedir. Ortamdan konduksiyon veya radyasyonla ısı sağlanması dikkate alınmamaktadır. Doğal olarak bu durum, kurutmanın kapalı özel kap ve yapılar (silo gibi) içerisinde yapıldığı ve ürün kitlesi içerisinde hava akımının geçirildiği koşullar için geçerlidir.

Hava ıslak ürün kitlesi içerisinde geçtiğinde, havada buhar olarak tutulan su miktarının artması sonucu



Şekil 5.7. Ürün kurutma

havanın duyulur ısısının büyük bir bölümü gizli ısıya dönüşür. Adyabatik kurutma işleminde havanın kuru termometre sıcaklığı düşer. özgül nemi, buhar basıncı ve çiğlenme noktası

sıcaklığı artar Entalpi ve yaş termometre sıcaklığı pratik olarak sabit kalır. Bu işlemin psikrometrik diyagram üzerindeki durumu Şekil 5.7'de görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema, ve C.W. Hall. 1974. Drying Cereal Grains. The Avi Publishing Company, Inc, Westport, Connecticut. 265.
- Esmay, M.L. 1974. Principles of Animal Environment. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut 325.
- Hazen, T.E. and N. H. Curry. 1968 Psychrometry in Agricultural Engineering. Transactions of the ASAE St. Joseph. Michigan 180-184.
- Jennings, B.H. 1970. Environmental Engineering. International Textbook Company, New York 765.
- Jones, J.B. and G.A. Hawkins 1960. Engineering Thermodynamics. John Wiley and Sons. Inc. New York. 724.
- Midwest Plan Service 1976. Structures and Environment Handbook. Iowa state University Ames, Iowa 483.
- Threlkeld, I.L. 1970. Thermal Environmental Engineering. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 495.