



Karadeniz Teknik Üniversitesi

ORMAN FAKÜLTESİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

TEKNİK FİZİK

NEMLİ HAVA

Dr.-Mak.Mh. Kemal ÜÇÜNCÜ

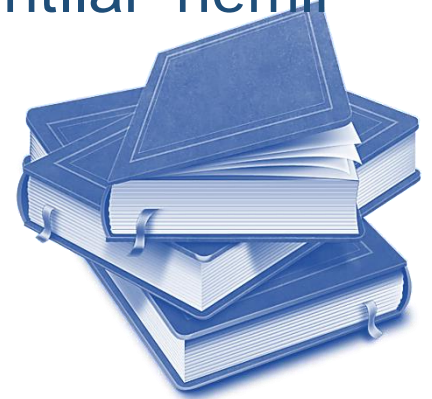


NEMLİ HAVA

Nemli hava, kuru hava ile su buharının bir karışımıdır. Atmosfer içerisinde her zaman bir miktar su buharı bulunabilir.

Buharın kısmi basıncı genellikle çok küçük olduğundan hava içerisindeki su buharı ideal gaz olarak kabul edilebilir.

Bu sebeple gaz karışımları için verilen bağıntılar nemli hava için de geçerlidir.



NEMLİ HAVA

Havanın Nemi

Özgül Nem: Nemli hava içerisinde bulunan su buharının miktarı buharlaşma ve yoğuşma dolayısıyla değişir. Havanın ağırlığı her zaman sabit kalır.

Hava içerisindeki nem miktarı kuru hava miktarına bağlı olarak ifade edilir.

$$x = \frac{m_b}{m_h} \left[\frac{\text{Kg su buharı}}{\text{Kg kuru hava}} \right]$$

Burada, x özgül nem, m_b su buharı kütlesi, m_h kuru hava kütlesidir.



NEMLİ HAVA

- Özgül nem sıfır ile sonsuz arasında değerler alabilmesine rağmen 1 kg kuru havanın normal karışım teşkil edebileceği su miktarı sınırlıdır. Pratikte $0 \leq x \leq 0,20$ şartı geçerlidir. nemli hava için genel olarak toplam basınç $p = 1$ atm olup, sıcaklık ise -40 °C'den 50 °C'ye kadar değerler alabilir.
- Nemli havanın gaz sabiti, gaz karışımları için verilen eşitlikten yararlanılarak

$$R = \frac{m_b}{m_h + m_b} R_b + \frac{m_h}{m_h + m_b} R_h$$

şeklinde ifade edilir. Burada; $R_b = 461,5$ [J/KgK] su buharının gaz sabiti, $R_h = 287$ [J/KgK] havanın gaz sabitidir.



NEMLİ HAVA

- Hava ve su buharı için ayrı ayrı ideal gaz denklemleri yazılır.

$$p_h V = m_h R_h T$$

$$p_b V = m_b R_b T$$

- Bu eşitliklerden

$$x = \frac{R_h p_b}{R_b p_h}$$

eşitliği elde edilir. Hava ve su buharı ideal gaz sabiti değerleri dikkate alınarak özgül nem için

$$x = 0,622 \frac{p_b}{p_h}$$

eşitliği yazılabilir.



NEMLİ HAVA

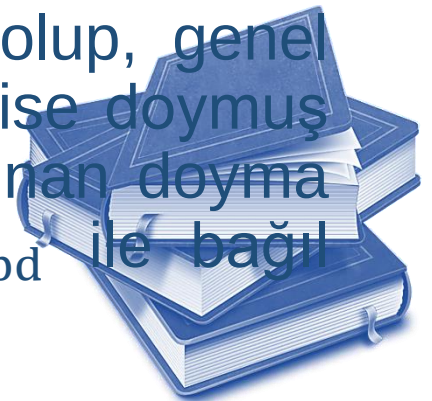
- Kuru havanın kısmi basıncı toplam basınca bağlı olarak

$$p_h = p - p_b$$

şeklinde yazılırsa, özgül nem için en kullanışlı eşitlik elde edilir.

$$x = 0.622 \frac{p_b}{p - p_b}$$

- Burada toplam basınç atmosfer basıncı olup, genel olarak 760 mm Hg'dir. Su buharı basıncı ise doymuş su buharı tablosundan sıcaklığa göre okunan doyma durumundaki su buharı kısmi basıncı p_{bd} ile bağlı nem $\phi = P_b / P_{bd}$ ilişkisinden bulunur.



NEMLİ HAVA

- Bir hava-buhar karışımı içerisinde buharın kısmi basıncı, karışımın sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncının üzerine çıkamaz.
- Kısmi basıncı artırmak için karışım içerisine daha fazla buhar ilave edilirse yoğunlaşma olur.
- Aynı şekilde, karışım belli bir sıcaklığa kadar soğutulursa yoğunlaşma başlar. Yoğunlaşmanın başladığı bu sıcaklığa “çığ noktası sıcaklığı”, bu noktaya da “çığ noktası” denir.
- Bu noktada hava su buharı ile doymuş haldedir.



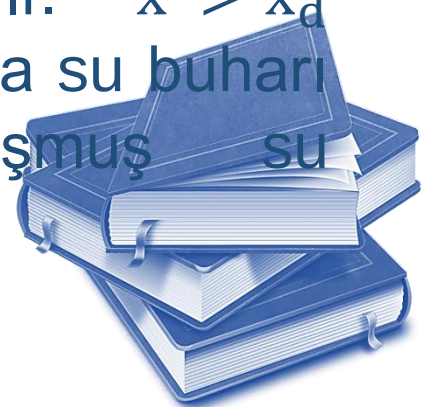
NEMLİ HAVA

- Doymuş nemli havadaki su buharının kısmi basıncını p_{bd} ile gösterilirse, doyma durumundaki özgül nem

$$x_d = 0.622 \frac{p_{bd}}{p - p_{bd}}$$

eşitliği ile verilir.

- Burada p_{bd} değeri suya ait basınç-sıcaklık diyagramından veya tablolardan alınır. $x > x_d$ durumunda nemli havada $m_h x_d$ miktarında su buharı ve $m_h (x - x_d)$ miktarında yoğuşmuş su bulunmaktadır.



NEMLİ HAVA

- **Mutlak Nem:** Nemli havadaki su buharı mutlak nem ile de belirtilebilir. Nemli hava içerisindeki su buharı miktarının nemli hava hacmine oranına mutlak nem denir.

$$\rho_b = \frac{m_b}{V}$$

- Yani, su buharının nemli hava içerisindeki kısmi yoğunluğudur. Su buharı miktarı ideal gaz denkleminde yararlanılarak

$$m_b = \frac{p_b V}{R_b T}$$

$$\rho_b = \frac{p_b}{R_b T}$$

$$\rho_b = \frac{x}{R_h + x R_b} \frac{p}{T}$$

şeklini alır.



NEMLİ HAVA

- Doymuş nemli havadaki mutlak nem, en büyük değeri alır.

$$\rho_{bd} = \frac{p_{bd}}{R_b T}$$



Sıcaklık mutlak nem ilişkisi

NEMLİ HAVA

Bağıl Nem: 1 m³ nemli hava içerisinde bulunan buhar ağırlığının, havanın toplam basınçta ve sıcaklıkta taşıyabileceği maksimum buhar ağırlığına oranı “bağıl (izafi, relatif) nem” olarak tanımlanır.

$$\varphi = \left(\frac{p_b}{p_{bd}} \right)_{T=st}$$

O halde bağıl nem, nemli hava içerisindeki su buharının kısmi basıncının, aynı sıcaklığa karşılık gelen doyma basıncına oranına eşittir. $\varphi < 1$ ise doymamış hava, $\varphi = 1$ ise doymuş hava sözkonusudur. $\varphi = 0$ durumu kuru havayı gösterir.



NEMLİ HAVA

- **Doyma Derecesi:** Özgül nemin doyma durumundaki özgül neme oranı “doyma derecesi” olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\psi = \frac{X}{X_d}$$



NEMLİ HAVA

Özgül Hacim ve Özgül Kütle

- Nemli havanın özgül hacmi, nemli hava hacminin nemli hava miktarına oranı ile ifade edilir.

$$v = \frac{V}{m} \text{ ve } m = m_h + m_b \text{ olup, } v = \frac{V}{m_h + m_b} \text{ yazılabilir.}$$

$$p_h v_{1+x} = R_h T$$

$$p_b v_{1+x} = R_b T$$

ifadeleri taraf tarafa toplanarak gerekli işlemler yapılırsa

$$v_{1+x} = \frac{R_b T}{p} \left(\frac{R_h}{R_b} + x \right)$$

eşitliği elde edilir.



NEMLİ HAVA

- Nemli havanın özgül hacmi için

$$v = \frac{v_{1+x}}{1+x}$$

ifadesi kullanılır. Buna göre nemli havanın özgül hacmi

$$v = \frac{R_h + xR_b}{1+x} \frac{T}{p}$$

eşitliği ile verilir.

- Özgül kütle özgül hacmin tersi olduğuna göre özgül kütle için

$$\rho = \frac{1+x}{R_h + xR_b} \frac{p}{T}$$

eşitliği geçerlidir.



NEMLİ HAVA

Nemli Havanın Özgül Entalpisi

- Nemli hava bir gaz karışımı olarak kabul edildiğine göre entalpisi, bileşenleri olan kuru hava ile su buharının entalpileri toplamına eşittir.

$$H = m_h h_h + m_b h_b$$

- Burada; h_h kuru havanın entalpisi, h_b su buharının entalpisidir.
- Nemli havanın özgül entalpisi

$$h_{1+x} = \frac{H}{m_h}$$

$$h_{1+x} = h_h + x h_b$$

olarak tanımlanır.



- Burada kuru havanın özgül entalpisi

$$h_h = C_{ph}t$$

eşitliği ile verilir.

- Havanın özgül ısısı için $C_{ph} = 1,005 \frac{kJ}{kgK}$
- Su buharının özgül entalpisi ise doygunluk durumuna göre hesaplanır.



NEMLİ HAVA

- **Nemli hava doygun değil ($x < x_d$)**

$$h_b = C_{pb}t + r_0$$

$$h_{1+x} = C_{ph}t + x(C_{pb}t + r_0)$$

- Burada; $C_{pb} = 1,925 \text{ kJ/kgK}$ su buharının özgül ısısı ,
 $r_0 = 2500 \text{ kJ/kgK}$ suyun gizli buharlaşma ısısı

- **Nemli havanın doymuş hali ($x = x_d$)**

$$h_{1+x_d} = C_{ph}t + x_d(C_{pb}t + r_0)$$



NEMLİ HAVA

Su buharının bir miktarı yoğuşmuş su ($x > x_d$)

$x > x_d$ durumunda sistemde m_h miktarında kuru hava, $x_d m_h$ miktarında su buharı ve $(x - x_d)m_h$ miktarında su bulunur. Buradan özgül entalpisi

$$h_{1+x} = C_{ph}t + x_d(C_{pb}t + r_0) + (x - x_d)C_s t$$

eşitliği ile verilir. Burada; $C_s = 4.186 \text{ KJ/KgK}$ suyun özgül ısısıdır.



NEMLİ HAVA

Doygun nemli hava sıcaklığı 0 °C'den az

Bu durumda sistemde doymuş nemli hava ve buz bulunur. Toplam özgül entalpi için

$$h_{1+x} = C_{ph}t + x_d(C_{ph}t + r_0) - (x - x_d)(r_e - C_b t)$$

eşitliği geçerlidir.

Burada; $r_e = 334 \text{ kJ/kg}$ buzun ergime ısısı,

$C_b = 2093 \text{ J/kgK}$ buzun özgül ısısıdır.

Mollier hx- diyagramı: Sabit basınç için geçerli olan bu diyagram, kurutma ve iklimlendirmede nemli hava parametrelerinin belirlendiği/okunduğu bir diyagramdır.



NEMLİ HAVA

Nemli Hava Karışımı: İki nemli havanın karıştırılması durumunda aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$m = m_1 + m_2$$

$$mX = m_1x_1 + m_2x_2$$

$$mh = m_1h_1 + m_2h_2$$

Nemli hava karışımının özgül nemi

$$X = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$$

eşitliği ile, özgül entalpisi de

$$h = \frac{m_1h_1 + m_2h_2}{m_1 + m_2}$$

ifadesinden hesaplanır.



NEMLİ HAVA

Nemli Havanın Soğutulması: Nemli hava soğutulursa bağıl nemi artar.

Yoğuşma sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa kadar soğutulan nemli havadan $x_s = x_3 - x_3$, miktarında su ayrılmıştır.

Bu şekilde nemli havadan nem giderilebilir.

Nem giderme işlemi / soğutma sırasında nemli havadan ısı alınır, doymuş nemli havaya kurutma / ısıtma sırasında ısı verilir.

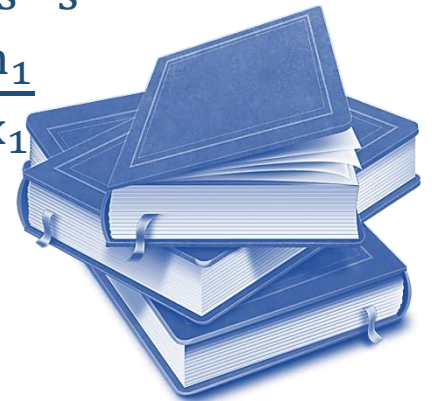


NEMLİ HAVA

Nemlendirme: Nemli havanın nemini artırmak amacıyla hava içerisine su püskürtülür veya su buharı katılır. Özgül nemi x_1 , kütlesi m olan nemli hava içerisine m_s miktarında su püskürtülürse, karışımın özgül nemi için aşağıdaki ifade yazılabilir.

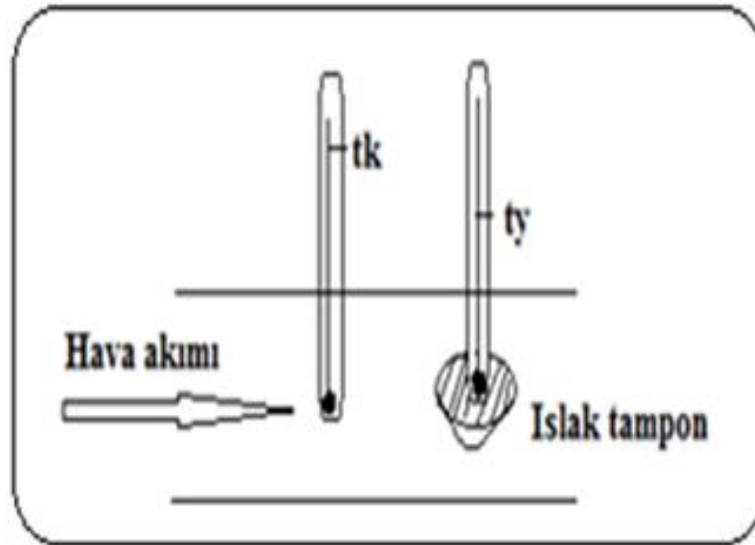
$$m(x - x_1) = m_s$$

- Karışımın entalpi denklemi: $m(h - h_1) = m_s h_s$
- Püskürtülen suyun özgül entalpisi: $h_s = \frac{h - h_1}{x - x_1}$
- Su buharının özgül entalpisi: $h_b = \frac{h - h_1}{x - x_1}$



NEMLİ HAVA

Yaş Termometre Sıcaklığı: Yaş termometre sıcaklığı havanın nemini belirlemede gereklidir. Bunun için genellikle yaş ve kuru termometreleri bir arada bulunduran ve psikrometre denilen aletler kullanılır.



Psikrometre (yaş ve kuru termometre)



NEMLİ HAVA

- Termometrelerden biri çıplak olup, havanın sıcaklığını ölçer. Diğeri ise ıslak sargı ile kaplıdır.
- Yaş termometre sıcaklığının belirlenmesi iki yolla olur.
- Nemi ölçülecek hava sabit duran psikrometre üzerine üflenir ya da durgun hava da alet döndürülür.
- Kuru termometre hava akımının geldiği tarafta bulunur.
- Bir su kütlesi doymamış hava akımının etkisi altında bulunsun.
- Suyun sıcaklığı havanın sıcaklığından yüksekse, bir taraftan sudan havaya doğru ısı iletilirken diğer taraftan buharlaşma sonucu su soğur.

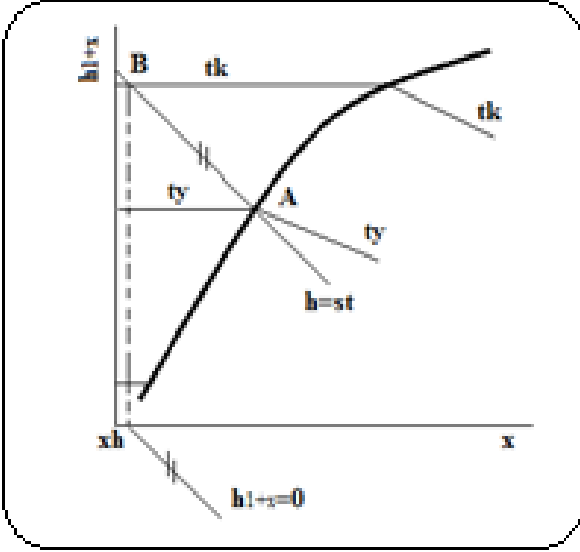


NEMLİ HAVA

- Hava ve suyun sıcaklıkları eşit olduğu zaman, ısı iletimi durur.
- Fakat hava doymamış halde olacağından buharlaşma devam eder ve suyun sıcaklığı havanın sıcaklığının altına düşer.
- Bu durumda, havadan suya ısı iletimi başlar.
- Suyun buharlaşma ile kaybettiği ısı miktarı, havadan suya iletilen ısı miktarından büyükse sıcaklık düşmeye devam eder.
- Bu olaylar sonunda öyle bir noktaya gelinir ki burada suyun buharlaşma ile kaybettiği ısı, havadan ısı iletimi yolu ile kazanılan ısıya eşit olur.



NEMLİ HAVA



Psikrometre problemi

- İslak termometrenin gösterdiği sıcaklık, h - x -diyagramında doyma eğrisi üzerinde tespit edilir (A). bu noktadan geçen entalpi doğrusu ile kuru termometrenin verdiği sıcaklık doğrusunun kesiştiği nokta ölçülen havanın durumunu belirler (B).



NEMLİ HAVA

- Kuru termometre sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı arasındaki farka psikrometrik fark denir.

$$\Delta t = t_k - t_y$$

- Havanın bağıl nemini belirlemek amacıyla, yatay eksene doğru termometre sıcaklığı, düşey ekseninde psikrometrik fark gösterilerek diyagramlar düzenlenmiştir.
- Benzer şekilde odunda denge rutubetini belirlemek için yaş termometre sıcaklığı ile psikrometrik farklara balı olarak tablolar düzenlenmiştir.



