

NEM VE NEM ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN TEMEL TANIMLAR

Dr. M. Turhan Çoban
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
turhan.coban@ege.edu.tr

özet

Nem ölçümü soğutma soğutma ve iklimlendirme alanında yoğun olarak kullanılır. Bu yazımızda nem kavramını daha iyi anlamak için gerekli olan nem ile ilgili olan temel tanımlar verilecektir.

1. Nem

1.1. Giriş

Nem, havanın veya bir gazın içindeki su buharı miktarını belirten bir niceliktir.

Su buharı, azot ve oksijenden sonra atmosferde en fazla bulunan bileşendir. En kurak alanlar veya sıvılaştırılmış gazdan çıkan buharda bile az miktarda da olsa su buharı vardır. Oysa su buharı az bir miktarda bile olsa, bazı uygulamalarda problemler yaratabilir.

Nem ölçümleri, yüksek nem ve sıcaklıklar ile az miktardaki nem ve düşük sıcaklıkları kapsayan çok geniş bir aralıkta uygulanır. Dolayısıyla bu aralık için değişik sensör ve cihazlar gerekmektedir. Bunun sonucunda da nem ölçüm uygulamalarında ve buna bağlı olarak ölçüm tekniklerinin doğruluğunu ve cihaz güvenilirliğini geliştirmek için yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde önemli bir artış gözlenmektedir.

Gazlar

Eğer katı bir cisim ısıtılırsa ergiyecek ve sıvı hale dönüşecektir. Eğer sıvı yeterince ısıtılırsa kaynayıp buharlaşacak ve gaz haline veya buhar haline dönüşecektir. Gaz molekülleri sıvı hallerinden daha büyük bir hacim kaplar. Sıvı molekülleri ve gaz molekülleri aynı büyüklüğe sahiptirler; tek fark moleküller arasındaki uzaklığın daha büyük olmasıdır.

Gaz Kanunları

a. Boyle Kanunu

Sabit sıcaklıkta bir gazın hacmi, basınçla ters orantılı olarak değişir. Matematiksel olarak, sabit sıcaklıkta

$$PV=K_1 \text{ yazabiliriz.} \quad (1)$$

b. Charles ve Gay-Lussac Kanunu

Sabit basınç altında bir gazın hacmi, gazın mutlak sıcaklığıyla orantılıdır. Matematiksel olarak,

$$V=K_2T \text{ yazabiliriz.} \quad (2)$$

c. Avogadro Kanunu

Eşit hacimlere sahip gazlar, aynı sıcaklık ve basınçta eşit sayıda molekül içerirler. Matematiksel olarak,

$$V = \frac{n}{K_3} \quad (3)$$

d. Ideal Gaz Kanunu

Eğer bir gazın basıncı, sıcaklığı ve miktarı belli sabitlerle orantılıysa bu eşitlikler bir eşitlikle ifade edilebilir. Bu eşitlik

$$PV = nRT \text{ şeklindedir.} \quad (4)$$

P: mutlak basınç
V: hacim
n: mol sayısı
T: mutlak sıcaklık
R: evrensel gaz sabiti

e. Dalton Kanunu

Eğer hacim, tek tip değil de gazların karışımını içeriyorsa ne olabileceğini açıklar. Diyelim ki, elimizde a, b ve c gazları bulunsun

$$P_a = \frac{n_a RT}{V}, P_b = \frac{n_b RT}{V}, P_c = \frac{n_c RT}{V} \quad (5)$$

$$P_{\text{toplam}} = P_a + P_b + P_c \text{ yazabiliriz.} \quad (6)$$

Gaz karışımlarının toplam basıncı her bir gazın aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki tek tek basınçlarının toplamına eşittir. Başka bir deyişle kısmi basınçlarının toplamına eşittir.

1.2 Nem'in Tanımı ve Genel Terimler

Su buharı diğer gazlarla karışmış olarak bulunduğu için gaz kanunlarına uyarak kısmi basıncını uygular. Bu şekilde nem ölçümü, gazın içindeki su buharının kısmi basıncının ölçülmesidir.

Kısmi basıncın ölçülmesinin en temel ve yaygın yöntemi o gazın yoğunlaşma sıcaklığının ölçülmesidir. Böylece kısmi basınç temel olarak, gazı soğutmak ve suyun yoğunlaştığı sıcaklığı en iyi şekilde ölçmektir. Bu sıcaklık, çiy/kırağı noktası sıcaklığı olarak bilinir. Bu sıcaklıktaki kısmi su buhar basıncı, doyma su buhar basıncına eşittir.

Suya göre doyma su buharı basıncı sıcaklığın fonksiyonudur ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$e_{ws} = (1.0007 + 3.46 \times 10^{-6} P) 6.1121 \exp [17.502 T / (240.97 + T)] \quad (7)$$

Buza göre doyma basıncı ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$e_{is} = (1.0003 + 4.18 \times 10^{-6} P) 6.1115 \exp [22.452 T / (72.55 + T)] \quad (8)$$

Bu eşitlikler aynı zamanda, çiy veya kırağı noktası sıcaklığına karşılık gerçek buhar basıncını da verirler.

Dalton kanununa göre gaz karışımının toplam basıncı, aynı hacmi kapladıklarında her bir gaz bileşeninin uygulayacağı basınçların toplamına eşittir. Yukarıdaki eşitliklerde parantez içindeki ilk terim artım (enhancement) terimidir. Saf su buharı ile su buharının havanın bir bileşeni olduğu zamanki farkın düzeltilmesidir.

1. Çiy/Kırağı Noktası (Dew/Frost Point)

Çiy noktası, gazın soğutulmuş suya göre doymuş hale geldiği sıcaklıktır.

Belirli bir P basıncında $T=T_d$ ve P basıncında $e_{ws}=e_w$ olduğu durumda eşitlik 7'nin çözümü çiy noktası sıcaklığını verir. Başka bir deyişle, bu eşitlik herhangi bir T değeri için doyma buhar basıncını verdiği gibi sıcaklık T_d olduğunda da P basıncını verir. T_d dışarıdan optik yöntemlerle ölçülür, basınç P ölçülür ve e_{ws} bulunuyor.

Kırağı noktası, gazın soğutulmuş buza göre doymuş hale geldiği sıcaklıktır.

e_{is} eşitliğinde, P basıncında $T=T_f$ ve P basıncında $e_{is}=e_w$ olduğu sıcaklıktır.

2. Bağıl Nem (Relative Humidity)

Bağıl nem, gerçek kısmi buhar basıncının doyma buhar basıncına oranıdır.

$$\% \text{bağıl nem} = \frac{e}{e_s} \times 100 \quad (9)$$

e_s : çiy/kırağı noktası buhar basıncı.

3. Mutlak nem

Mutlak nem, su buharı yoğunluğudur ve su buharı kütlelerinin birim hacimdeki kuru havaya oranıdır.

$$\text{gr/m}^3 = 216.7 e_w / (t_a + 273.16) = 216.7 e_i / (t_a + 273.16) \quad (10a)$$

Su buharı içeriği, milyonda bir PPM_v olarak da ifade edilebilir.

$$\text{PPM}_v = 10^6 \times e / (P - e) \quad (10b)$$

$$PPM_w = 0.62198 \times 10^6 \times e / (P - e) \quad (10c)$$

2. Nem kaynakları

Bilinen su buharı miktarına sahip nem kalibrasyon standartları, pek çok yöntemle elde edilebilir.

İki-basınç, iki-sıcaklık, iki akış, doymuş tuz eriyikleri sabit noktaları gibi çeşitli nem kaynakları bulunmaktadır. Pek çok ulusal metroloji laboratuvarları iki basınç veya iki sıcaklık ilkesine göre çalışan nem kaynakları kullanırlar.

Çiy veya kırağı noktasının oluşturulmasına dayanan nem ölçümleri en güvenilir yöntemdir. Çiy/kırağı noktasını yüksek kesinlikle ölçebilen optik çiy/kırağı noktası nem ölçerler (hygrometer) nem kaynaklarının karşılaştırılmasında kullanılmaktadır.

Ölçülen çiy/kırağı noktası, nem kaynağının parametreleri ile termodinamik eşitliğe dayanarak hesaplanan değerle karşılaştırılır.

1. İki-Basınç Yöntemi

Bu tip kaynaklarda, yüksek basınçtaki hava akımı, sabit bir sıcaklıkta doymun duruma getirilir ve sonra aynı sıcaklıkta fakat daha düşük basınçtaki, genellikle ortam basıncındaki nem odasına bırakılır. Doymunlaştırıcı ve nem odasındaki sıcaklık ve basınç ölçülerek bağıl nem hesaplanır.

2. İki-Sıcaklık Yöntemi

İki-sıcaklık yönteminde, belli sıcaklıktaki hava su buharı ile doymun duruma getirilir ve sonra havanın sıcaklığı belirlenen daha yüksek bir sıcaklığa yükseltilir. İki-sıcaklık yöntemi kullanılarak, çok düşük düzeylerde su buharı içeren gazların üretilebilmesi için düşük sıcaklık kırağı noktası (-30 °C – -100 °C) nem kaynakları yapılmaktadır.

3. İki-Akış Yöntemi

Bu yöntemde kuru hava iki kısma ayrılır yani iki ayrı gaz akışı vardır. Bir akışta kuru gaz, diğerinde ise suya veya buza göre doymun duruma getirilmiş gaz taşınır. Bu iki akış nem odasında tekrar birleştirilir. Test odasındaki bağıl nem, iki gaz akışının bilinen akış oranları kullanılarak hesaplanabilir. Bu yöntem diğer yöntemlere oranla daha basit olduğu için bir çok kişi tarafından tercih edilmekte ve çeşitli üniversiteler veya laboratuvarlarda kullanılmaktadır.

4. Doymuş Tuz Eriyikleri

Doymuş tuzlar, belli karakteristik bağıl nem değerlerini üretirler. Örneğin, potasyum sülfat 20°C 'de % 98 bağıl nem değeri üretirken, lityum klorür aynı sıcaklıkta % 11 bağıl nem değeri üretir. Bu değerler, tuzun kimyasal yapısına, tuz konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır. Bu metot uzun yıllardır kullanılmakta ve birçok kullanıcı tarafından uygulanmaktadır. Doymuş tuz solüsyonlarının bir özelliği de kararlı derişime sahip olmalarıdır. Böylece sabit bağıl nem üretirler. Kullanıma hazır, çeşitli sabit nokta bağıl nem kapsülleri ticari olarak satılmaktadır. Bazıları tekrar kullanıma uygundur.

2.1 Teorik Alt yapı

2.1.1 Bağlı Nem (İki Basınç İlkesi)

Nem eşitliklerini ve belirsizlikleri anlayabilmek için ideal gaz için nem eşitliklerini oluşturalım.

Eşitlik 9 ile verilen Bağlı Nem ve Basınç arasındaki bağıntı mükemmel izotermal şartlarda ve mükemmel ideal gazlarda geçerlidir. Oysa dinamik koşullarda ve mükemmel olmayan ideal gaz şartlarında çalışıldığında eşitlik 9 fazla iyimser kalır.

Bağlı nem en doğru olarak mol oranlarıyla tanımlanır.

$$\%RH = \frac{X_v}{X_w} \Big|_{P,T} \cdot 100 \quad (11)$$

X_v : T sıcaklığında ve P basıncında su buharı mol oranı

X_w : T sıcaklığında ve P basıncında eğer hava su buharıyla doymuş olsaydı su buharı mol oranı.

Gaz örneği içindeki su buharının mol oranı

$$X = \frac{P_v}{P} \text{ eşitliğiyle verilir.} \quad (12)$$

P_v : Gazın sadece su buharı tarafından uygulanan kısmi basıncı

P : Gazın toplam (mutlak) basıncı (su buharı ve gaz tarafından uygulanan kısmi basınçların toplamı).

Gaz tam olarak su buharıyla doyduğunda, su buharından gelen kısmi basıncı P_v bilinen bir büyüklüktür ve $e_w(T)$ havanın suya göre doyma buhar basıncı “ *saturation vapor pressure of air with respect to water*” olarak bilinir.

Bu şekilde bir önceki eşitlik $X = \frac{e_w(T)}{P}$ olarak yazılabilir.

Aynı şekilde kabin basıncı P_c için de su buharının mol oranını X_w olarak gösterirsek aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$X_w = \frac{e_w(T_c)}{P_c} \quad (13)$$

e_w : T_c sıcaklığında havanın suya göre doyma buhar basıncı (saturation vapor pressure with respect to water).

P_c : Nem odasında ölçülen mutlak basınç.

Bağlı nemin hesaplanması için gereken diğer büyüklük X_v , su buharı mol oranı,

$$X_v = \frac{P_v}{P_c} \quad (14)$$

P_c basıncında ve T_c sıcaklığında nem odasında gerçekten var olan su buharı miktarının doğrudan ölçülmesini gerektirir. Bununla birlikte

$$\frac{e_w(T_s)}{P_s} = \frac{P_v}{P_c} \quad (15)$$

$e_w(T_s)$: T_s sıcaklığında havanın suya göre doyma buhar basıncı (saturation vapor pressure with respect to water)

P_s : doyma buhar basıncı (saturation pressure)

Bu eşitliğin temeli; gazı meydana getiren bileşenlerin molekül sayılarının, faz değişimi olmadığı sürece sıcaklık ve basınç ne olursa olsun değişmemesidir.

Doyma buhar basıncı (saturation vapor pressure) $e_w(T)$, sıcaklığın bilinen bir fonksiyonu olduğu için doymunlaştırıcıdaki (saturator) toplam basınç P_s , su buharının gereken mol oranını verebilmesi için istenilen değere ayarlanabilir. Bu ilişkiye dayanarak, nem odası sıcaklığında odaya giren su buharının mol oranı, doymunlaştırıcıda (saturator) doyma basıncı ve sıcaklığında var olan su buharının mol oranına eşittir. Böylece;

$$X_v = \frac{e_w(T_s)}{P_s} \quad (16)$$

Bağıl nem şimdi bu büyüklükler tarafından ifade edilebilir.

$$\%RH = \frac{X_v}{X_w} \Big|_{P,T} \cdot 100 = \frac{\left(\frac{e_w(T_s)}{P_s} \right)}{\left(\frac{e_w(T_c)}{P_c} \right)} \quad (17)$$

Bu eşitlik yeniden düzenlendikten sonra,

$$\%RH = \frac{e_w(T_s)}{e_w(T_c)} \frac{P_c}{P_s} \cdot 100 \quad (18)$$

Hava

Bilindiği gibi hava, sıkıştırılabilme özellikleri farklı bazı gazların karışımıdır ve $e_w(T)$ doyma buhar basıncını etkileyen ideal olmayan özellikler gösterir. Bu nedenle eşitlik 18'de görülen $e_w(T_s)$ ve $e_w(T_c)$ etkin doyma buhar basınçlarıyla değiştirmelidir.

$e'_w(T)$: $f_w(P,T)e_w(T)$

$e'_w(T)$: $f_w(p,T)e_w(T)$

$f_w(P,T)$: T sıcaklığında ve P basıncındaki nemli hava için artma (enhancement) faktörü

$$\%RH = \frac{e'_w(P_s, T_s)}{e'_w(P_c, T_c)} \frac{P_c}{P_s} \cdot 100 \quad (19)$$

$$\%RH = \frac{f_w(P_s, T_s) e_w(T_s) P_c}{f_w(P_c, T_c) e_w(T_c) P_s} \cdot 100 \quad (20)$$

Eşitlikten görüldüğü gibi hava kullanılarak bilinen bağıl nem değerleri, basınç ve sıcaklığın kontrolü ve doğru ölçülmesiyle oluşturulabilir.

Basınç oranı

$\frac{P_c}{P_s}$ ifadesi nem odası (chamber) basıncı ve doyunlaştırıcı (saturator) basıncı oranıdır. Bu ifade, bağıl nem eşitliğinin idealistik kısmıdır ve iki taraftaki sıcaklık farklarını dikkate almaz ve nemli havanın ideal gaz olarak davrandığını varsayar. P_c ve P_s doğrudan yüksek doğruluklu basınç dönüştürücüler tarafından ölçülür.

Etkin doyma (saturation) derecesi

$\frac{e_w(T_s)}{e_w(T_c)}$ T_s sıcaklığında doyunlaştırıcıdaki (saturator) gazın; gazın doyunlaştırıcı ve nem odası arasındaki küçük sıcaklık farklarından dolayı süper doyması veya yeterince doymaması nedeniyle, nem odası sıcaklığına göre sıcaklık düzeltme oranıdır. Eğer doyunlaştırıcı ve nem odası aynı sıcaklıkta iseler bu terim 1'e eşittir ve hiçbir düzeltme yapılmaz.

Etkin doyma derecesini elde etmek için doyma buhar basınçları T_s ve T_c sıcaklıklarında hesaplanmalıdır. Bu konuda en son ve en kesin formül Wexler tarafından verilen formüldür.

$$e_w(T) = \exp\left\{\left[\sum_{i=0}^6 (C_i (T + 273.15)^{i-2}) + D \cdot \ln(T + 273.15)\right]\right\} \quad (\text{Birim: Pascal}) \quad (21)$$

$$C_0 = -2.9912729 \times 10^3$$

$$C_1 = -6.0170128 \times 10^3$$

$$C_2 = 1.887643854 \times 10^1$$

$$C_3 = -2.8354721 \times 10^{-2}$$

$$C_4 = 1.7838301 \times 10^{-5}$$

$$C_5 = -8.41504174 \times 10^{-10}$$

$$C_6 = 4.4412543 \times 10^{-13}$$

$$D = 2.858487$$

$$T = \text{gazın sıcaklığı (}^\circ\text{C)}$$

Artma (enhancement) faktörü

$\frac{f_w(P_s, T_s)}{f_w(P_c, T_c)}$ ifadesi hava taşıyıcı gaz olarak kullanıldığında ideal olmayan davranıştan sapmanın düzeltilmesidir. Bu oranın sıcaklık ve basınca bağlı olduğu görülmektedir. Sistemdeki sıcaklık farkları küçük, basınç farkları da büyük olduğu için basınçtan gelen düzeltmeler ön plana çıkar. Bu formül Greenspan tarafından verilmiştir.

$$f_w(P, T) = \exp \left[\alpha \left(\frac{e_w(T)}{P} \right) + \beta \left(\frac{P}{e_w(T)} - 1 \right) \right] \quad (22a)$$

$$\alpha = \sum_{i=0}^3 A_i T_i \quad (22b)$$

$$\beta = \sum_{i=0}^3 B_i T_i \quad (22c)$$

$$A_0 = 3.53624 \times 10^{-4}$$

$$A_1 = 2.93228 \times 10^{-5}$$

$$A_2 = 2.61474 \times 10^{-7}$$

$$A_3 = 8.57538 \times 10^{-9}$$

$$B_0 = -1.07588 \times 10^1$$

$$B_1 = 6.32529 \times 10^{-2}$$

$$B_2 = -2.53591 \times 10^{-4}$$

$$B_3 = 6.33784 \times 10^{-7}$$

T= Gazın sıcaklığı (°C)

Bu formül 300 PSIA ve 0 °C – 100 °C arasında geçerlidir.

Basınç Dönüşümleri

Pascal, basınç ölçümlerinde kullanılan SI birimidir.

$$1 \text{ Pa} = 0.001 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ Pa} = 0.01 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \times 10^5 \text{ bar}$$

$$1 \text{ Pa} = 9.86923 \times 10^6 \text{ atm}$$

$$1 \text{ Pa} = 0.00750064 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ Pa} = 0.000145038 \text{ psi (lbf/in}^2\text{)}$$

$$1 \text{ bar} = 14.5038 \text{ psi (lbf/in}^2\text{)}$$

$$1 \text{ bar} = 0.986923 \text{ atm}$$

$$1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 750.064 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 760.002 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 14.6959 \text{ psi (lbf/in}^2\text{)}$$

$$1 \text{ mmHg} = 133.322 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 0.00131579 \text{ atm}$$

$$1 \text{ mmHg} = 0.0193367 \text{ psi (lbf/in}^2\text{)}$$

$$1 \text{ mmHg} = 0.00133322 \text{ bar}$$

$$1 \text{ mmHg} = 1.33322 \text{ mbar}$$

Sıcaklık / °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
DP / °C																
0	100.000	70.050	49.768	35.833	26.129	19.282	14.392	10.858	8.276	6.370	4.948	3.877	3.064	2.441	1.959	
5		100.000	71.046	51.154	37.300	27.526	20.545	15.500	11.815	9.093	7.064	5.535	4.374	3.484	2.796	
10			100.000	72.001	52.501	38.744	28.917	21.817	16.629	12.799	9.942	7.791	6.157	4.904	3.936	
15				100.000	72.917	53.810	40.163	30.301	23.096	17.776	13.808	10.821	8.551	6.811	5.467	
20					100.000	73.796	55.080	41.556	31.674	24.378	18.937	14.840	11.727	9.341	7.497	
25						100.000	74.638	56.312	42.922	33.035	25.662	20.110	15.891	12.658	10.159	
30							100.000	75.446	57.507	44.260	34.381	26.943	21.291	16.959	13.611	
35								Bağıl Nem	100.000	76.222	58.665	45.570	35.711	28.220	22.478	18.041
40									100.000	76.966	59.787	46.852	37.023	29.491	23.669	
45										100.000	77.680	60.873	48.104	38.316	30.753	
50											100.000	78.365	61.926	49.326	39.589	
55												100.000	79.022	62.944	50.519	
60													100.000	79.654	63.930	
65														100.000	80.260	
70															100.000	

Tablo 1. Sıcaklık ve çiy noktası değerlerine karşılık gelen bağıl nem değerleri.

2.1.2 Çiy Noktası (Dew Point)

İki basınç ilkesine dayanan nem kaynağı tarafından üretilen su buharı-hava karışımının termodinamik çiy/kırağı noktası, karışımın su yüzeyi veya buz yüzeyine göre su buharına doyduğu sıcaklık noktası olarak tanımlanır.

P_c basıncındaki karışımın çiy noktası, aşağıdaki eşitliğin çözümünden elde edilir. Kütlelerin korunumu ilkesi göz önüne alındığında, doyunlaştırıcıdaki (saturator) su buharının mol oranı X_{ws} nem odasındaki mol oranına X_{wc} eşittir.

$$X_{ws}=X_{wc} \quad (23)$$

$$X_{ws}=f(P_s, T_s)e_w(T_s)/P_s \quad (24)$$

$$X_{wc}=f(P_c, T_d)e_w(T_d)/P_c \quad (25)$$

$f(P_s, T_s)$: artma faktörü (enhancement factor). Su buharı hava karışımının P_s ve T_s de ideal olmayan durumdan sapmasının düzeltme faktörü.

$e_w(T_s)$: T_s sıcaklığında suyun saf sıvı fazında veya buzun katı yüzeyinde doyma su buhar basıncı.

$e_w(T_d)$: T_d sıcaklığında suyun saf sıvı fazında veya buzun katı yüzeyinde doyma su buhar basıncı.

$f(P_c, T_d)$: (enhancement factor). Su buharı hava karışımının P_c basıncı ve T_d sıcaklığında ideal olmayan durumdan sapmasının düzeltme faktörü.

Buradaki sıcaklık birimi Kelvin, basınç birimi ise Pascal'dır.

Yukarıdaki eşitlikleri yeniden düzenlersek;

$$e_w(T_d)f(P_c, T_d)=e_w(T_s)f(P_s, T_s)(P_c/P_s) \text{ elde edilir.} \quad (26)$$

Sistemde T_s , T_c sıcaklık sensörleriyle P_s ve P_c basınç sensörleriyle ölçülerek sürekli kontrol edilir. $F(P_c, P_s)$ ve $F(P_s, T_s)$ hesaplanarak yerine konur ve T_d çözülür.

3. Referanslar

1. Keenan, J; Keyes, F.G; Hill, P.G.; Moore, J.G., Steam Tables, Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid and Solid, Willey Interscience publication, 1969, ISBN 0-471-04210-2
2. Ihsan Barin, Thermochemical Data of Pure Substances, VCH publishing, 1989, ISBN 3-527-27812-5
3. N.B. Vargaftick, Table of Thermophysical Properties of Liquids and Gases, 1975, Hemisphere Publishing
4. Thomas H. Kuehn, Jams W. Ramsey, James L. Threlkeld, Thermal Environmental Engineering, Prentice Hall, 3üncü baskı, 1998, ISBN 0-13-917220-3
5. M. Turhan Çoban, Java 2 Programlama Kılavuzu, ALFA yayınevi, ticarethane sok no 41/1 34410 cagaloglu Istanbul, ISBN 975-316-631-1
6. Kenneth Wark, Jr. Thermodynamics, Mc-Graw Hill International Editions, 5inci baskı, 1989, ISBN 0-07-068286-0
7. Psychrometry and Psychrometric Charts, A.W. Barenburg, Third Edition, Chamber of Mines of South Africa