



PSİKROMETİK TABLOLAR

KLİMA TESİSATI



Psikrometri Nedir? Psikrometrik Diyagram ve Tablolar

Psikrometri, nemli havanın termodinamik özellikleri ile bu özellikleri kullanarak nemli havadaki işlemler ve şartlar ile ilgilenen termodinamiğin bir dalıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ile sıcaklığa bağlı olarak termodinamik özellikler için yeni bağıntılar bulunmuştur. Bu yeni formüllere göre nemli havaya ve suya ait termodinamik özellikler EK 1 ve EK 2'deki tablolarda sunulmuştur.

Çözümlerde basitlik hız ve ekonomi sağlanması bakımından iklimlendirme problemlerinde kullanılan ideal gaz kanunları ile bu formüllerin sonuçlarının karşılaştırılması durumunda, aradaki farkın ihmal edilebilir mertebede olduğu görülebilir. İdeal gaz bağıntıları kullanılması durumunda 101.325 kPa basınç ve -50 ila +50 °C sıcaklıkları arasında doymuş havanın entalpi ve özgül nemdeki hata oranı, % 0.7 değerinden daha küçük olduğu, Threkeld tarafından ispatlanmıştır. Artan basınçlarda bu hata oranı daha azalmaktadır. Bu bölümdeki incelemelerde genel olarak ideal gaz yaklaşımı kullanılacaktır.

Psikrometri de Kuru ve Nemli Havanın Bileşimi

Atmosferik hava çok sayıdaki gaz ve su buharının karışımı ile çeşitli kirli gaz, çiçek tozları (polen) ve dumandan oluşur. Genelde kirlenici kaynaklardan uzakta atmosferik hava içinde duman ve kirli gaz bulunmaz.

Kuru hava ise içindeki su buharı tamamen alınmış atmosferik havadır. Hassas ölçümler ile kuru havanın izafi olarak sabit olduğu gösterilmiştir. İçindeki bileşenler, coğrafi bölgelere, yüksekliğe ve zamana bağlı olarak çok az değişebilmektedir. Hacimsel olarak kuru havada yaklaşık olarak % 78.084 Azot, % 20.9476 Oksijen, % 0.934 Argon, % 0.0314 Karbondioksit, %0.001818 Neon, % 0.000524 Helyum % 0.0007 Metan, % 0 ila % 0.0001 Kükürt dioksit, % 0.0005 Hidrojen ve toplam % 0.0002 Kripton, Ksenon, Ozon gazlarından oluştuğu kabul edilir. Karbon-12 skalasına göre kuru havanın mol kütlesi 28.965 kg/mol ve gaz sabiti aşağıdaki değerlerdedir.

$$RH = 8314.41 \text{ J/mol K} / 28.965 \text{ kg/mol} = 287.055 \text{ J/kgK} = 0.287 \text{ kJ/kgK}$$

Nemli hava, kuru hava ve su buharının karışımı olarak iki bileşenden meydana geldiği kabul edilir. Hava içindeki su buharının miktarı, sıfırdan (kuru hava) sıcaklık ve basınca bağlı olarak bir maksimum değere kadar değişir. Hava içinde şu buharının maksimum olma durumu, doymuş olarak adlandırılır ve nemli hava ile yoğuşmuş suyun (sıvı veya katı) doğal denge halidir. Aksi belirtilmedikçe yoğuşmuş su yüzeyine temasta olan havanın temasta olduğu kısım doymuş olarak kabul edilir. Karbon-12 skalasına göre suyun mol kütlesi 18.01534 kg/mol ve su buharının gaz sabiti aşağıdaki değerlerdedir.

$$RH_2O = 8314.41 \text{ J/mol K} / 18.01534 \text{ kg/mol} = 461.52 \text{ J/kgK} = 0.461 \text{ kJ/kgK}$$

Standart Atmosfer

Atmosferik havanın barometrik basıncı ve sıcaklığı, esas olarak deniz seviyesinden olan yükseklikle değiştiği gibi, coğrafi durumla ve hava şartları ile de değişir. İklimlendirme mühendisliğinde belirli bir referansa göre, çeşitli yüksekliklerde havanın fiziksel özelliklerini bulabilmek için standart atmosfer tanımı gereklidir.

Deniz seviyesinde standart havanın sıcaklığı 15 °C, standart barometrik basıncı ise 101.325 kPa değerindedir. Troposfere (Atmosferin alt katmanına) kadar havanın sıcaklığının, yükseklik ile doğrusal değiştiği ve stratosferde sabit değere ulaştığı kabul edilir. Atmosferin alt kısımlarında kuru havanın

bileşeninin sabit olduğu ve ideal gaz davranışı gösterdiği kabul edilir. Standart yer çekimi 9.807 m/s değerindedir. Deniz seviyesinden olan yüksekliklere göre standart atmosferik havanın sıcaklık ve basıncının değişimleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Standart atmosferik havanın özelliklerinin deniz seviyesinden olan yükseklikle değişimi

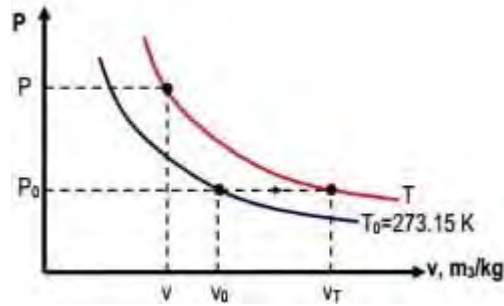
Yükseklik, m	Sıcaklık, °C	Basınç, kPa
-500	18.2	107.478
0	15.0	101.325
500	11.8	95.461
1000	8.5	89.874
2000	2.0	79.495
3000	-4.5	70.108
4000	-11.5	61.640
5000	-17.5	54.020
6000	-24.0	47.181
7000	-30.5	41.061
8000	-37.0	35.600
9000	-43.5	30.742
10000	-50.0	20.436

İdeal Gazların Durum Denklemi

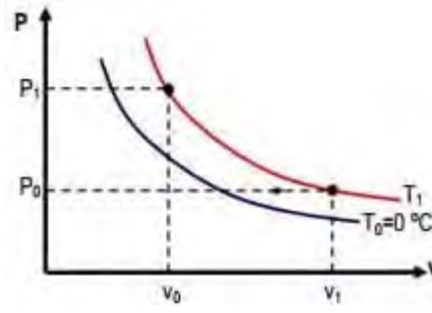
İdeal gazlara ait ilk yasa R. Boyle ve E. Mariotte tarafından çıkarılmıştır. Bunlar, belli miktarda gaz için sabit tutulan sıcaklıkta, hacim ve basıncın çarpımının sabit olduğunu tespit etmişlerdir (Boyle – Mariotte yasası).

$$P.V = \text{sabit}$$

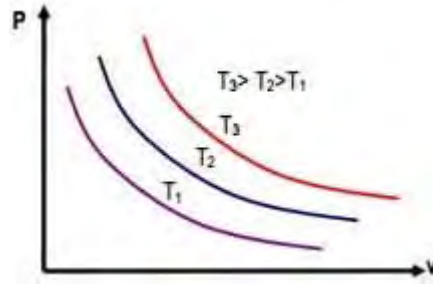
Bu durum, sabit sıcaklığa ve gazın cinsine bağlıdır. T = sabit olmak üzere 1 durumundaki hacim enerjisi 2 durumundakine eşittir.



Şekil 1. İzotermelerin P-V diyagramında gösterilişi



Şekil 2. Charles yasasının türetilişi



Şekil 3. İdeal gaz durum denklemi

Psikrometrik Diyagram ve Tablolar

Psikrometri değerlerini hesap edebileceğimiz Psikrometrik diyagram, nemli havanın fiziksel özelliklerini grafik halinde veren bir diyagramdır. Bir psikrometrik diyagramdaki eksenlerin seçimi tamamen keyfidir. Termodinamik olarak nemli havaya ait birçok problemin grafik çözümünde psikrometrik diyagramda eksenlerin entalpi ve özgül nem şeklinde alınması büyük kolaylık sağlar. Mollier tarafından hazırlanan ilk diyagramda da eksenler, entalpi ve özgül nem olarak alınmıştır.

Aynı eksen takımı kullanılarak, ASHRAE tarafından yedi adet Mollier tipi psikrometrik diyagram hazırlanmıştır. Bunlardan 1, 2, 3 ve 4 numaralı diyagramlarda, atmosfer basıncı standart deniz seviyesindeki basınç olarak 101.325 kPa alınmaktadır. 5 Numaralı diyagram, deniz seviyesinden 750 m (92.66 kPa) yükseklik, 6 numaralı diyagram, deniz seviyesinden 1500 m (84.54 kPa) yükseklik, 7 numaralı diyagram ise deniz seviyesinden 2250 m (77.04 kPa) yükseklik için hazırlanmıştır. Diğer taraftan;

- 1, 5, 6, 7 nolu diyagramlar: 0 ile 50 °C (normal sıcaklıklar)
- 2 nolu diyagram: -40 ile 10 °C (düşük sıcaklıklar)
- 3 nolu diyagram: 10 ile 120 °C (yüksek sıcaklıklar)
- 4 nolu diyagram: 100 ile 1200 °C (çok yüksek sıcaklıklar) kuru termometre sıcaklıklarına göre düzenlenmiştir.

Bu diyagramlarda verilen basınçların dışındaki atmosferik basınçlarda enterpolasyon yapmak gerekmektedir. Bütün bu diyagramların karşılaştırılması ile aşağıdaki hususlar tespit edilebilir.

- Verilen bir yaş ve kuru termometre sıcaklıkları çifti için özgül nem ve entalpi deniz seviyesinden olan yükseklikle artarken bağıl nem çok az değişir.
- Verilen bir yaş ve kuru termometre sıcaklıkları çifti için atmosferik basınçla özgül hacim çok fazla değişir. Pratik olarak özgül hacmin atmosferik basınçla ters orantılı değiştiği kabul edilir.

Aşağıdaki Tablo 2'de, deniz seviyesindeki (1 nolu diyagram) özellikler ile deniz seviyesinden 1500 m (6 nolu diyagram) yükseklikteki özelliklerin bir karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 2 nolu diyagram ile 6 nolu diyagramın karşılaştırılması

Diyagram No	T (kuru)	T (yaş)	h (kJ/kg)	X (gr/kg)	ϕ (%)	v (m ³ /kg)
1	40	30	99.5	23.0	49	0.920
6	40	30	114.1	28.6	50	1.111

Bütün bu diyagramlarda entalpi ve özgül nem için dik koordinat sistemi yerine, eğik eksen takımı kullanılmıştır. ASHRAE'nin hazırlamış olduğu 1 nolu psikrometrik diyagram, EK 3.'te görülmektedir. Bu diyagram üzerinde nemli havaya ait entalpi, özgül nem, kuru termometre sıcaklıkları, termodinamik yaş termometre sıcaklıkları, bağıl nem ve özgül hacim fiziksel değişkenleri bulunmaktadır.

Bu diyagramda kuru termometre sıcaklığı 0 ila 50 °C arasında, bağıl nem 0 (kuru hava) ile 30 gnem/kgkuru hava arasında değişmektedir. Sabit entalpi değişimleri ise eğik olarak birbirine paralel doğrular şeklinde 1 kJ/ kgkuru hava aralıklarla belirtilmiş olarak görülmektedir. Kuru termometre sıcaklıkları düz doğrular halinde olmasına rağmen birbirine tam olarak paralel değildir ve dik durumdan hafifçe sapmaktadır. Termodinamik yaş termometre sıcaklıkları ise entalpi doğrularından biraz farklı olarak eğik doğrular halinde görülmektedir.

Doyma eğrisinin üstünde kalan dar bir bölge, nemli havanın sisli bölgesi olarak tanımlanır. İki fazı temsil eden bu bölgede, sıvı su zerrecikleri ile doymuş nemli havanın bir karışımı görülmekte olup bunlar ısıl dengededir. Sisli bölgedeki sabit sıcaklık doğruları, nemli hava bölgesindeki termodinamik yaş termometre sıcaklıklarının uzantısı ile uyum içindedir. Eğer gerekirse bu sisli bölge içinde bağıl nem, entalpi ve termodinamik yaş termometre sıcaklıkları uzatılabilir.

Diyagramın sol üst köşesinde görülen yarım dairede iki ölçek vardır. Birinci ölçek duyulur ısının toplam ısıya oranını gösterirken, ikinci ölçek entalpi farkının özgül nem farkına oranını göstermektedir. Bu yarım dairedeki ölçekler, psikrometrik diyagramdaki değişimlerin doğrultusunu tespit etmek için kullanılır.

Ek-1

Nemli havanın termodinamik özellikleri (Standart atmosfer basıncı, 101.325 kPa)

Sıcaklık °C	Doğru nem kg/m ³ (kg/m ³)	Doğru yoğunluk kg/m ³ (kg/m ³)			Entalpi kJ/kg (kJ/kg)			Entropi kJ/kg·K (kJ/kg·K)			Yoğunluk kg/m ³			Sıcaklık °C
		ρ_a	ρ_v	ρ_{a+v} (Yeni)	h_a	h_v	h_{a+v} (Nes)	s_a	s_v	s_{a+v} (Nes)	ρ_a	ρ_v	ρ_{a+v}	
-48	0.000067	0.6927	0.0000	0.6927	-48.251	0.017	-48.234	-0.2865	0.0001	-0.2864	-48.23	-1.8858	0.00108	-48
-46	0.000076	0.6956	0.0000	0.6956	-48.244	0.018	-48.226	-0.2440	0.0001	-0.2441	-48.23	-1.6776	0.00124	-46
-44	0.000087	0.6984	0.0000	0.6984	-48.236	0.021	-48.217	-0.2480	0.0001	-0.2480	-48.23	-1.6988	0.00141	-44
-42	0.000100	0.7013	0.0000	0.7013	-48.227	0.024	-48.208	-0.2394	0.0001	-0.2393	-48.23	-1.6630	0.00159	-42
-40	0.000114	0.7041	0.0000	0.7041	-48.218	0.028	-48.200	-0.2308	0.0001	-0.2308	-48.23	-1.6242	0.00178	-40
-38	0.000129	0.7070	0.0000	0.7070	-48.209	0.032	-48.191	-0.2224	0.0001	-0.2224	-48.23	-1.5828	0.00198	-38
-36	0.000147	0.7100	0.0000	0.7100	-48.200	0.036	-48.182	-0.2142	0.0001	-0.2142	-48.23	-1.5398	0.00219	-36
-34	0.000167	0.7130	0.0000	0.7130	-48.191	0.041	-48.173	-0.2062	0.0001	-0.2062	-48.23	-1.4958	0.00241	-34
-32	0.000189	0.7160	0.0000	0.7160	-48.182	0.046	-48.164	-0.1984	0.0001	-0.1984	-48.23	-1.4508	0.00264	-32
-30	0.000213	0.7191	0.0000	0.7191	-48.173	0.052	-48.155	-0.1908	0.0001	-0.1908	-48.23	-1.4058	0.00288	-30
-28	0.000239	0.7222	0.0000	0.7222	-48.164	0.058	-48.146	-0.1834	0.0001	-0.1834	-48.23	-1.3608	0.00313	-28
-26	0.000267	0.7254	0.0000	0.7254	-48.155	0.064	-48.137	-0.1762	0.0001	-0.1762	-48.23	-1.3158	0.00339	-26
-24	0.000297	0.7286	0.0000	0.7286	-48.146	0.071	-48.128	-0.1692	0.0001	-0.1692	-48.23	-1.2708	0.00366	-24
-22	0.000329	0.7319	0.0000	0.7319	-48.137	0.078	-48.119	-0.1624	0.0001	-0.1624	-48.23	-1.2258	0.00394	-22
-20	0.000363	0.7352	0.0000	0.7352	-48.128	0.086	-48.110	-0.1558	0.0001	-0.1558	-48.23	-1.1808	0.00423	-20
-18	0.000399	0.7386	0.0000	0.7386	-48.119	0.094	-48.101	-0.1494	0.0001	-0.1494	-48.23	-1.1358	0.00453	-18
-16	0.000437	0.7420	0.0000	0.7420	-48.110	0.102	-48.092	-0.1432	0.0001	-0.1432	-48.23	-1.0908	0.00484	-16
-14	0.000477	0.7454	0.0000	0.7454	-48.101	0.111	-48.083	-0.1372	0.0001	-0.1372	-48.23	-1.0458	0.00516	-14
-12	0.000519	0.7489	0.0000	0.7489	-48.092	0.120	-48.074	-0.1314	0.0001	-0.1314	-48.23	-1.0008	0.00549	-12
-10	0.000563	0.7524	0.0000	0.7524	-48.083	0.129	-48.065	-0.1258	0.0001	-0.1258	-48.23	-0.9558	0.00583	-10
-8	0.000609	0.7559	0.0000	0.7559	-48.074	0.138	-48.056	-0.1204	0.0001	-0.1204	-48.23	-0.9108	0.00618	-8
-6	0.000657	0.7594	0.0000	0.7594	-48.065	0.147	-48.047	-0.1152	0.0001	-0.1152	-48.23	-0.8658	0.00654	-6
-4	0.000707	0.7629	0.0000	0.7629	-48.056	0.156	-48.038	-0.1102	0.0001	-0.1102	-48.23	-0.8208	0.00691	-4
-2	0.000759	0.7664	0.0000	0.7664	-48.047	0.165	-48.029	-0.1054	0.0001	-0.1054	-48.23	-0.7758	0.00729	-2
0	0.000813	0.7699	0.0000	0.7699	-48.038	0.174	-48.020	-0.1008	0.0001	-0.1008	-48.23	-0.7308	0.00768	0
2	0.000869	0.7734	0.0000	0.7734	-48.029	0.183	-48.011	-0.0964	0.0001	-0.0964	-48.23	-0.6858	0.00808	2
4	0.000927	0.7769	0.0000	0.7769	-48.020	0.192	-48.002	-0.0922	0.0001	-0.0922	-48.23	-0.6408	0.00849	4
6	0.000987	0.7804	0.0000	0.7804	-48.011	0.201	-47.993	-0.0882	0.0001	-0.0882	-48.23	-0.5958	0.00891	6
8	0.001049	0.7839	0.0000	0.7839	-48.002	0.210	-47.984	-0.0844	0.0001	-0.0844	-48.23	-0.5508	0.00934	8
10	0.001113	0.7874	0.0000	0.7874	-47.993	0.219	-47.975	-0.0808	0.0001	-0.0808	-48.23	-0.5058	0.00978	10
12	0.001179	0.7909	0.0000	0.7909	-47.984	0.228	-47.966	-0.0774	0.0001	-0.0774	-48.23	-0.4608	0.01023	12
14	0.001247	0.7944	0.0000	0.7944	-47.975	0.237	-47.957	-0.0742	0.0001	-0.0742	-48.23	-0.4158	0.01069	14

Nemli havanın termodinamik özellikleri (Standart atmosfer basıncı, 101.325 kPa) (Devam)

Psikrometrik Diyagram (1 Nolu ASHRAE Diyagramı)

