

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

79247

**BİLGİSAYAR PROGRAMINDA PSİKROMETRİK
DİYAGRAMLA HAVA ŞARTLANDIRMA**

Mak.Müh. Serkan YÜKSELEN

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Düriye BİLGE

Doç. Dr. Düriye BİLGE :

Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN :

Prof. Dr. Nihat TEKİN :

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Psikrometrik Diyagramda İfade Edilen Özellikler.....	1
1.2. Psikrometrik Diyagramın Kullanıldığı Yerler	3
1.3. Daha Önce Yapılan Çalışmalar	3
1.4. Niçin Bir Bilgisayar Programına İhtiyaç Duyuldu ?.....	4
2. PSİKROMETRİ.....	5
3. KURU ve NEMLİ HAVANIN BİLEŞİMİ	13
4. STANDART ATMOSFER	14
5. NEMLİ HAVANIN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ	15
6. DOYMUŞ SUYUN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ.....	17
7. NEMLE İLGİLİ TANIMLAR.....	18
8. DOYMUŞ HAVANIN NEM ile İLGİLİ TANIMLARI.....	19
9. KURU ve NEMLİ HAVA İÇİN İDEAL GAZ BAĞINTILARI.....	20
10. TERMODİNAMİK YAŞ TERMOMETRE ve ÇİĞ NOKTASI SICAKLIKLARI..	23
11. NEMLİ HAVA ÖZELİKLERİNİN SAYISAL ÇÖZÜMLERİ	26
12. W_s ve ϕ DEĞERLERİNİN TAM HESABI İÇİN BAĞINTILAR	28
13. STANDART BASINÇTA NEMLİ HAVANIN ÖZELİK TABLOLARI.....	29
14. PSİKROMETRİK DİYAGRAM UYGULAMALARI	30
15. BAZI TİPİK İKLİMLENDİRME İŞLEMLERİ	36
15.1. Nemli Havanın Duyulur Isıtılması	36
15.2. Nemli Havanın Soğutulması	38
15.3. İki Nemli Havanın Adyabatik Karışımı.....	41

16. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR	46
EKLER	47
Ek 1 Psikrometrik Diyagram Bilgisayar Programı (Arka Kapakta İki Adet Disket)	
ÖZGEÇMİŞ	48



SİMGE LİSTESİ

$C_1 \dots C_{13}$	(6.1) ve (6.2) eşitliklerinde verilen katsayılar.
$C_{14} \dots C_{18}$	(10.6) eşitliğinde verilen katsayılar.
d_v	nemli havanın mutlak nemi, kg(nem)/m^3 .
f_s	Çizelge 12.1'de verilen düzeltme katsayısı.
h_a	kuru havanın entalpisi, kJ/kg(kuru hava) .
h_{as}	nemli ve kuru hava entalpileri farkı.
h_f	doymuş sıvı fazındaki suyun entalpisi.
h_{fg}	doymuş sıvı su ile doymuş subuharının entalpi farkı.
h_g	doymuş subuharının entalpisi.
h_s	doymuş nemli havanın entalpisi kJ/kg(kuru hava) .
h_s^*	termodinamik yaş termometre sıcaklığındaki doymuş nemli havanın entalpisi kJ/kg(kuru hava) .
h_w	herhangi bir işlem sonucunda nemli havaya ilave olan veya nemli havadan ayrılan (sıvı veya katı fazdaki) yoğuşmuş suyun entalpisi, kJ/kg .
m_a	kuru havanın kütleli debisi, kg/s .
m_w	herhangi bir fazda suyun kütleli debisi, kg/s .
M_a	nemli havanın içindeki kuru havanın buharının kütlesi, kg .
M_w	nemli havanın içindeki subuharının kütlesi, kg .
n	nemli havanın toplam mol sayısı.
n_a	kuru havanın mol sayısı.
n_w	subuharının mol sayısı.
p	nemli havanın toplam basıncı.
p_a	kuru havanın kısmi basıncı.
p_s	doymuş nemli havanın içindeki havanın kısmi basıncı. Bu değer, karışım içinde havanın bulunması nedeniyle, saf suyun doyma basıncından bir miktar farklıdır.
p_w	nemli hava içindeki subuharının kısmi basıncı.
p_{ws}	saf suyun doyma basıncı.
q	nem oranı, $\text{kg(nem)/kg(nemli hava)}$, Denk.(7a).
R	$8.31441 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, universal gaz sabiti.
R_a	kuru havanın gaz sabiti.

R_w	subuharının gaz sabiti.
s	kuru hava kütlesine göre tanımlanmış, nemli havanın entropisi.
s_a	kuru havanın entropisi.
s_{as}	doymuş nemli hava ile kuru hava entropisi arasındaki fark.
s_f	doymuş sıvı suyun entropisi.
s_{fg}	subuharı ve doymuş sıvı su entropisi arasındaki fark.
s_g	subuharının entropisi.
s_s	kuru hava kütlesine göre tanımlanmış, doymuş nemli havanın entropisi.
s_w	standart atmosferik basınçta (101.325 kPa) yoğuşmuş suyun entropisi.
t	nemli havanın kuru termometre sıcaklığı, °C.
t_d	nemli havanın çığ noktası sıcaklığı, °C.
t^*	nemli havanın termodinamik yaş termometre sıcaklığı, °C.
T	mutlak sıcaklık, K.
v	nemli havanın özgül hacmi, m ³ /kg(kuru hava).
v_a	kuru havanın özgül hacmi, m ³ /kg.
v_{as}	doymuş hava özgül hacmi ile kuru hava özgül hacmi arasındaki fark
v_f	doymuş sıvı suyun özgül hacmi, m ³ /kg.
v_{fg}	doymuş subuharı ile doymuş sıvı su arasındaki özgül hacim farkı
v_g	doymuş subuharının özgül hacmi, m ³ /kg.
v_s	kuru hava kütlesine göre tanımlanmış, doymuş havanın özgül hacmi, m ³ /kg.
V	nemli havanın toplam hacmi.
W	özgül nem, kg(nem)/kg(kuru hava).
W_s	doymuş havanın özgül nemi.
W_s^*	termodinamik yaş termometre sıcaklığında, doymuş havanın özgül nemi.
x_a	kuru havanın mol oranı.
x_w	suyun mol oranı.
x_{ws}	doymuş hava içindeki suyun mol oranı.
α	$\ln(p_w)$, (10.6) ve (10.7) eşitliğinde kullanılan parametre.
μ	W / W_s , boyutsuz doyma derecesi.
ρ	nemli havanın yoğunluğu, kg/m ³ .
Σ	toplam.
ϕ	boyutsuz bağıl nem.

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 10.1	Psikrometre cihazı (TMMOB Tesisat Mühendisliği) 23
Şekil 14.1	Psikrometrik diyagram (1 Nolu ASHRAE diyagramı)..... 32
Şekil 14.2	Örnek 1'in psikrometrik diyagram programı ile bulunan sonuçları..... 34
Şekil 14.3	Örnek 1'in psikrometrik diyagramda gösterilişi..... 35
Şekil 15.1	Nemli havanın duyulur olarak ısıtılması (ASHRAE Temel El Kitabı) 36
Şekil 15.2	Örnek 2'nin psikrometrik diyagram programı ile bulunan sonuçları..... 37
Şekil 15.3	Örnek 2'nin psikrometrik diyagramda gösterilişi..... 38
Şekil 15.4	Nemli havanın çığ noktası altındaki bir sıcaklıkta soğutulması (ASHRAE Temel El Kitabı) 39
Şekil 15.5	Örnek 3'ün psikrometrik diyagram programı ile bulunan sonuçları 40
Şekil 15.6	Örnek 3'ün psikrometrik diyagramda gösterilişi..... 41
Şekil 15.7	Farklı şartlarda iki nemli havanın adyabatik karıştırılma işlemi (ASHRAE Temel El Kitabı) 42
Şekil 15.8	Örnek 4'ün psikrometrik diyagram programı ile bulunan sonuçları 43
Şekil 15.9	Örnek 4'ün psikrometrik diyagramda gösterilişi..... 44



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Nemli havanın termodinamik özellikleri (standart basınç, 101.325 kPa) (ASHRAE Temel El Kitabı).....	6
Çizelge 2.2 Doymuş subuharının termodinamik özellikleri (ASHRAE Temel El Kitabı)	9
Çizelge 4.1 Standart atmosferik havanın özelliklerinin deniz seviyesinden olan yükseklik ile değişimi.....	14
Çizelge 12.1 Bazı basınç ve sıcaklıklarda f_s değerleri ile bu değerlere ait tahmin edilen maksimum belirsizlikler (TEMB).....	28
Çizelge 14.1 ASHRAE 1 ve 6 nolu psikrometrik diyagramların karşılaştırılması.....	31



ÖNSÖZ

Bu çalışmamın başlıca amacı psikrometriyi daha iyi anlamak ve psikrometrik diyagramda adı geçen terimlerin ne anlama geldiklerini, nasıl hesaplandıklarını araştırarak anlatmaktır. Bunun dışında hava şartlandırma projeleri yaparken kullanılmak üzere bir bilgisayar programı hazırlamak en büyük emelimdi. Tezimi araştırırken birçok bilgisayar programını inceleme olanağı buldum. Benim bilgisayar programımı diğer programlardan ayıran en büyük özelliği bütün hesaplamaları bağıntılar ve denklemler yardımı ile yapması ve bunun sonucunda yapılan hatanın 0.7 % mertebesinde olmasıdır. Programda dil olarak İngilizce ve Türkçe seçenekleri bulunmakta, ayrıca birim sistemi de SI ve İngiliz birim sistemi olarak seçilebilmektedir.

Programlama dili hakkında bana yardımcı olan Konstrüktör Ressam Fatih AYDIN'a tez konusunun belirlenmesinde ve izlenecek yol hakkında verdiği değerli bilgileri dolayısıyla Sn. Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN'a ve tez danışmanım Doç. Dr. Dürriye BİLGE'ye teşekkürü bir borça bilirim.

Birlikte yaşadığımız bu güzel ülkemizde insanların birbirlerine daha fazla sevgi ve saygı göstermesi dileğiyle.

Mak. Müh. Serkan YÜKSELEN

ÖZET

Günümüzde hava şartlandırma projelerinde sıkça kullanılan psikrometrik diyagramlar hem okuma zorluğu hem de zaman kaybına sebep olmaktadır. Bunu önlemek için bazı mühendislik şirketleri tarafından çeşitli yazılım programları hazırlanmıştır.

Tüm formüller ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals)'daki Psikrometri bölümünden alınmıştır. Program başlıca 4 bölümü içerir. İlk bölümde verilen iki giriş değeri yardımıyla nemli havanın diğer özellikleri hesaplanır ve bu noktanın psikrometrik diyagramdaki yerini çizerek gösterir. İkinci bölümde klima santralinde duyulur ısıtılan nemli hava ısıtıcı batarya kapasitesi hesaplanır ve psikrometrik diyagram üzerinde çizilir. Üçüncü bölümde klima santralinde soğutulan nemli havanın soğutucu batarya kapasitesi hesaplanır ve psikrometrik diyagram üzerinde gösterilir. Son bölümde ise iki nemli havanın adyabatik karışımı sonucu oluşan karışım havasının termodinamik özellikleri hesaplanır ve psikrometrik diyagram üzerinde gösterilir.



ABSTRACT

The Psychrometric and time consuming chart frequently used during air conditioning projects is difficult to read. To prevent this, different software programs have been prepared by some engineering companies.

All the formulas are taken from the Psychrometry section of ASHRAE Basics Handbook (Fundamentals). The program contains 4 sections. In the first section it calculates the other properties of moist air with given two input values and shows this point by drawing it on the psychrometric chart. In the second section sensible heating of moist air of a heating coil of an air-handling unit is calculated and drawn on the psychrometric chart. In the third section cooling coil capacity for the moist air cooled in an air-handling unit is calculated and drawn on the psychrometric chart. In the last section thermodynamic properties of adiabatically mixed two moist airflows and its capacity is determined are calculated and drawn on the psychrometric chart.



1. GİRİŞ

Psikrometrik diyagram hava nemlendirme sistemlerinin performansına ait tüm görüşlerin temelidir. Psikrometrik diyagramı kimin icat ettiği hakkında bazı çelişkiler vardır. Yirminci yüzyılın başlarında bir Alman mühendisi olan Richard Mollier subuharı ve havanın çeşitli karışımlarının özelliklerini gösteren bir grafik metodu icat etti. Bu grafik, i-x diyagramı, Mollier diyagramı, psikrometrik diyagram gibi, değişik ülkelerde hepsi aynı objeye ait değişik isimler aldı. Amerika Birleşik Devlet'lerinde bu hak bay Willis Carrier'a verildi. Bu yöntem, kimin icat ettiğine bakılmaksızın, hava nemlendirme sistemlerindeki duyulur ve gizli ısı yük hesaplarını son derece kullanışlı ve zaman kazandırarak bulmamızı sağlar. Diyagram, bizim belirlediğimiz sıcaklık, nem, yoğunluk ve entalpi, gibi özelliklerden en az ikisi bilinmek şartıyla diğerlerinin bulunmasına olanak tanır. Karmaşık görünüşüne rağmen, psikrometrik diyagramın kullanımı tamamen basittir.

Psikrometrik diyagram, hava nemlendirme sorularının grafik çözümüne, havanın sekiz temel özelliği arasında fiziksel bağıntılar kurarak yaklaşmayı sağlamaktadır.

Psikrometrik diyagram üzerinde ifade edilen gerçek özellikleri açıklamadan önce tüm hava şartlandırma ilkelerinin duyulur ve gizli ısı kavramları üzerine kurulduğunu anlamak daha gereklidir.

Duyulur ısı bir hava akımı içindeki havanın sıcaklığının sebep olduğu ısıdır. 25 °C, 50% bağıl neme sahip bir hava akımı 15 °C, 50% bağıl nemdeki havadan daha fazla duyulur ısıya sahiptir.

Gizli ısı bir hava akımı içindeki havanın nemliliğinin sebep olduğu ısıdır. 25 °C, 60% bağıl neme sahip bir hava akımı 25 °C, 50% bağıl nemdeki havadan daha fazla gizli ısıya sahiptir.

1.1. Psikrometrik Diyagramda İfade Edilen Özellikler

Kuru termometre sıcaklığı yüzeyinde hiç su bulunmayan bir standart termometre ile ölçtüğümüz sıcaklıktır. İnsanlar havanın sıcaklığını söyledikleri zaman genellikle onun kuru termometre sıcaklığını belirtirler. Kuru termometre sıcaklığı diyagramda dikey çizgiler halinde gösterilmektedir. Havanın kuru termometre sıcaklıkları diyagramda tabanda soldan sağa doğru artmaktadır.

Yaş termometre sıcaklığı havanın nem miktarı ile ilişkili bir sıcaklıktır. Yaş termometre sıcaklığı termometrenin etrafına geçirilen ıslak fitil üzerinden su buharlaştığı için okunan sıcaklığı ölçer. Yaş termometre sıcaklıkları tipik olarak kuru termometre sıcaklıklarından daha düşüktür. Sadece 100 % bağıl nemin olduğu doyma eğrisinde yaş termometre sıcaklığı ve kuru termometre sıcaklığı birbirine eşittir. Yaş termometre çizgileri diyagramda sol alttan sağ üste doğru eğimli bir şekilde artmaktadır. Çok yaklaşıklıkla bu çizgiler aynı zamanda entalpiyi de göstermektedir.

Entalpi hava içindeki kullanışlı fakat biraz karışık miktarda bulunan toplam enerjinin ölçüsüdür. Nemli havada entalpi de fazladır. Çünkü hava içindeki nem buharlaşabilmek için ısı alır ve hava içindeki daha fazla nem demek daha fazla enerjili hava demektir.

Buna karşılık havadaki nem miktarını düşürmek ve soğutmak için daha fazla enerjiye gereksinim vardır. Buharlaşma için her kg su yaklaşık 2250 kJ enerjiye ihtiyaç duyar. Entalpi kullanılabilen gizli ısı ve duyulur ısı olarak iki şekilde düşünülebilir. Entalpi psikrometrik diyagramda yaş termometre skalasının solunda lineer olarak gösterilir.

Bağıl nem, havanın buharla ne kadar doyduğunun ölçüsüdür. Eğer hava belirli şartlarda tutabileceği tüm nemi içeriyorsa o zaman bağıl nem 100 %'dür denir. Hava miktarı arttıkça tutabileceği nem miktarı da artar. Bağıl nem söylendiğinde diyagram üzerinde gösterebilmek için ona ilave olarak bir kuru termometre sıcaklığının da belirtilmesi gereklidir. Bağıl nem çizgileri psikrometrik diyagramda sol alttan sağ üste doğru görülen eğrilerdir.

Çiğ noktası kuru termometre veya yaş termometre sıcaklığına karşılık gelen tamamen yoğuşmuş havayı ifade eder. Eğer havayı soğutuyorsanız aynı miktarda neme sahip bir hava elde edemezsiniz. Bir miktar nem yoğuşarak su halinde alınır. Çiğ noktası sıcaklığı 100 % bağıl nem eğrisi üzerinden okunur.

Özgül hacim belirli şartlarda bir kg havanın kapladığı hacmi verir. Eğer hava ısıtılırsa daha fazla hacme ihtiyaç duyar. Özgül hacim eğrileri sağ alttan sol üste doğru görülen eğrilerdir.

Mutlak nem havanın içindeki subuharı miktarını ağırlık olarak ifade eder. Bu özelliğinden dolayı bağıl nemden farklıdır. Mutlak nem psikrometrik diyagramda yatay çizgilerle gösterilmiştir.

Buhar basıncı her su molekülünün çevresindeki hava üzerinde oluşturduğu toplam basınçtır. Psikrometrik diyagramda basınç eğrilerini göremeyiz bu değerler için buhar tablosuna bakılmalıdır.

1.2. Psikrometrik Diyagramın Kullanıldığı Yerler

Psikrometrik diyagramın çok kullanışlı oluşu şuradan anlaşılır; herhangi iki özellik bilindiğinde diğer özellikler grafik üzerinden kolayca okunabilir. Bulunan değerlerin doğruluğu pek çok dizayn uygulamasında yeterli seviyededir. Burada kısaca açıklanan özellikler ileride daha geniş bir biçimde anlatılacaktır. Psikrometrik diyagram tüm havalandırma sistemlerinde, soğuk hava depolarının dizaynında ve hava şartlandırmanın (ısıtma-soğutma) yapıldığı tüm proseslerde kullanılmaktadır. Kuru termometre ve yaş termometre sıcaklıklarından, mutlak nem ve bağıl nem değerlerinin belirlenmesinde bu diyagram kolaylık sağlar. Proje büroları istenen şartlardaki havanın tüm özelliklerini bu diyagramı kullanarak kolayca belirlerler. Bulunan bu değerler yeterli doğruluktadır, fakat verilen ortam şartlarının diyagram üzerinde işaretlenmesi havanın diğer özelliklerinin okunması zaman aldığından ve yapılabilecek okuma hataları yüzünden diyagramın kullanımı zordur. Bu yüzden çeşitli mühendislik ve/veya yazılım firmaları bilgisayar programları geliştirerek bu boşluğu doldurmaktadırlar. Bu programlar proje bürolarına ve çeşitli mühendislik şirketlerinin doğru verileri daha kısa sürede elde etmelerini sağlar.

1.3. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Yurtdışındaki bazı yazılım firmalarının yaptığı çeşitli bilgisayar programlarına internet vasıtasıyla ulaşabildim. Bu firmalardan sınırlı (shareware) sürümlerini elde ettiğim bazı programları inceleyerek kendi bilgisayar programımı nasıl yapacağımı tasarladım. Birbirlerinden farklı özellikleri olan programlar benim tezimin oluşmasında belli ölçüde katkı sağladı. Fakat hesaplama yöntemleri bakımından diğerlerinden daha farklı bir yol izledim. Şöyle ki birçok programcı hava ve suya ait termodinamik özellik tablolarını bir data (bilgi) dosyası içine kaydederler. Daha sonra program içerisinden bu değerleri okuturlar ve ara değerleri bulmak için de enterpolasyon yaparlar. Bu programcı için bir külfet getirir ayrıca çalışması esnasında programı yavaşlatır. Benim çalışmamda ise tablodan alınması gereken değerler ASHRAE Handbook 1985 Fundamentals'den alınan bağıntılar kullanılarak elde edilmiştir. Bu bağıntılar sonucu bulunan değerler ile gerçek

değerler arasındaki hata atmosfer basıncında 0.7 % mertebesindedir. Basınç arttıkça hata oranı daha da azalmaktadır. Ayrıca hesaplama için geçen süre daha azdır. Bunun dışında bazı programlarda hesaplama bölümü bulunmakta fakat grafik kısmı ise bulunmamaktadır. Bu da programı kullanan kişi açısından doğru değerlerin elde edilip edilmediği hakkında bazı endişelere sebep olabilir. Oysa psikrometrik diyagram üzerinde gösterilen nokta bulunduğumuz ortam şartlarını gösterdiğinden tüm endişeleri ortadan kaldırır. Ayrıca diğer programların bazılarında olmayan başka bir özellik de ısıtma prosesi, soğutma prosesi ve karışım havası çıkış değerlerini de hesaplaması ve bu prosesleri psikrometrik diyagram üzerinde çizmesidir.

1.4. Niçin Bir Bilgisayar Programına İhtiyaç Duyuldu ?

Böyle bir program yapmaya lisans eğitimim sırasında karar vermiştim, fakat nasıl yapılabileceği hakkında bir fikrim yoktu. Yüksek lisansın tez aşamasına geldiğim sırada psikrometrik diyagramla ilgili bir tez konusu olduğunu öğrendim. Daha önceden konuyla ilgili düşüncelerim olduğu için başarabileceğime kanat getirdim ve tez konusu olarak seçtim.

İnternet ortamında yabancı kaynaklı birçok belge, program ve açıklama bulmama rağmen Türkiye'den herhangi bir kaynak bulamadım. Fakat elimde bulunan Makina Mühendisliği Odası'nın yayımladığı Tesisat Mühendisliği dergilerinin bir sayısında psikrometri ile ilgili bazı bilgiler elde ettim. Konu çok karmaşık bir konu olmadığı için genellikle yazılanlar birbirinden farklı değil. Türkiye'de yazılmış programlar hakkında ise yeterli bilgiye sahip değilim fakat bazı programlar olduğunu biliyorum.

Bundan sonraki bölümlerde psikrometri konusu detayları ile anlatılacak ve yaptığım program vasıtasıyla bazı örnekler verilecektir.

2. PSİKROMETRİ

Psikrometri, nemli havanın termodinamik özellikleri ile bu özellikleri kullanarak nemli havadaki işlemler ve şartlar ile ilgilenen termodinamiğin bir dalıdır. Genel teori ve yöntemler ise Goff ve Gratch tarafından ASHRAE Brochure on Psychrometry adlı yayında açıklanmıştır.

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 bu bölümde Çizelge 2.1 ve 2.2 olarak sunulmuştur.

Çözümlerde basitlik, hız ve ekonomi sağlaması 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, Threlkeld tarafından ispatlanmıştır. Artan basınçlarda bu hata oranı daha da azalmaktadır. Bu bölümdeki incelemelerde genel olarak ideal gaz yaklaşımı kullanılacaktır.

Çizelge 2.1 ¹Nemli havanın termodinamik özellikleri (standart atmosferik basınç, 101.325 kPa)

t, °C	Özgül Nem		Özgül Hacim			Entalpi			Entropi			Yoğuşmuş Su			°C
	kg _v /kg _a	W _g	m ³ /kg(kuru hava)			kJ/kg(kuru hava)			kJ/kg(kuru hava).K			kJ/kg	kJ/kg.K	Buhar Basıncı kPa	
			v _g	v _{as}	v _s	h _g	h _{as}	h _s	s _g	s _{as}	s _s				
-60	0.000067	0.6027	0.0000	0.6027	-60.351	0.017	-60.334	-0.2495	0.0001	-0.2494	-446.29	-1.6854	0.00108	-60	
-59	0.000076	0.6056	0.0000	0.6056	-59.344	0.018	-59.326	-0.2448	0.0001	-0.2447	-444.63	-1.6776	0.00124	-59	
-58	0.000087	0.6084	0.0000	0.6084	-58.338	0.021	-58.317	-0.2401	0.0001	-0.2400	-442.95	-1.6698	0.00141	-58	
-57	0.000100	0.6113	0.0000	0.6113	-57.332	0.024	-57.308	-0.2354	0.0001	-0.2353	-441.27	-1.6620	0.00161	-57	
-56	0.000114	0.6141	0.0000	0.6141	-56.326	0.028	-56.298	-0.2308	0.0001	-0.2306	-439.58	-1.6542	0.00184	-56	
-55	0.000129	0.6170	0.0000	0.6170	-55.319	0.031	-55.288	-0.2261	0.0002	-0.2260	-437.89	-1.6464	0.00209	-55	
-54	0.000147	0.6198	0.0000	0.6198	-54.313	0.036	-54.278	-0.2215	0.0002	-0.2214	-436.19	-1.6386	0.00238	-54	
-53	0.000167	0.6226	0.0000	0.6227	-53.307	0.041	-53.267	-0.2170	0.0002	-0.2168	-434.48	-1.6308	0.00271	-53	
-52	0.000190	0.6255	0.0000	0.6255	-52.301	0.046	-52.255	-0.2124	0.0002	-0.2122	-432.76	-1.6230	0.00307	-52	
-51	0.000215	0.6283	0.0000	0.6284	-51.295	0.052	-51.243	-0.2079	0.0002	-0.2076	-431.03	-1.6153	0.00348	-51	
-50	0.000243	0.6312	0.0000	0.6312	-50.289	0.059	-50.230	-0.2033	0.0003	-0.2031	-429.30	-1.6075	0.00394	-50	
-49	0.000275	0.6340	0.0000	0.6341	-49.283	0.067	-49.216	-0.1988	0.0003	-0.1985	-427.56	-1.5997	0.00445	-49	
-48	0.000311	0.6369	0.0000	0.6369	-48.277	0.075	-48.202	-0.1944	0.0004	-0.1940	-425.82	-1.5919	0.00503	-48	
-47	0.000350	0.6397	0.0000	0.6398	-47.271	0.085	-47.186	-0.1899	0.0004	-0.1895	-424.06	-1.5842	0.00568	-47	
-46	0.000395	0.6426	0.0000	0.6426	-46.265	0.095	-46.170	-0.1855	0.0004	-0.1850	-422.30	-1.5764	0.00640	-46	
-45	0.000445	0.6454	0.0000	0.6455	-45.259	0.108	-45.151	-0.1811	0.0005	-0.1805	-420.54	-1.5686	0.00721	-45	
-44	0.000500	0.6483	0.0001	0.6483	-44.253	0.121	-44.132	-0.1767	0.0006	-0.1761	-418.76	-1.5609	0.00811	-44	
-43	0.000562	0.6511	0.0001	0.6512	-43.247	0.137	-43.111	-0.1723	0.0006	-0.1716	-416.98	-1.5531	0.00911	-43	
-42	0.000631	0.6540	0.0001	0.6540	-42.241	0.153	-42.088	-0.1679	0.0007	-0.1672	-415.19	-1.5453	0.01022	-42	
-41	0.000708	0.6568	0.0001	0.6569	-41.235	0.172	-41.063	-0.1636	0.0008	-0.1628	-413.39	-1.5376	0.01147	-41	
-40	0.000793	0.6597	0.0001	0.6597	-40.229	0.192	-40.037	-0.1592	0.0009	-0.1584	-411.59	-1.5298	0.01285	-40	
-39	0.000887	0.6625	0.0001	0.6626	-39.224	0.216	-39.007	-0.1549	0.0010	-0.1540	-409.77	-1.5221	0.01438	-39	
-38	0.000992	0.6653	0.0001	0.6654	-38.218	0.241	-37.976	-0.1507	0.0011	-0.1496	-407.96	-1.5143	0.01608	-38	
-37	0.001108	0.6682	0.0001	0.6683	-37.212	0.270	-36.942	-0.1464	0.0012	-0.1452	-406.13	-1.5066	0.01796	-37	
-36	0.001237	0.6710	0.0001	0.6712	-36.206	0.302	-35.905	-0.1421	0.0014	-0.1408	-404.29	-1.4988	0.02005	-36	
-35	0.001379	0.6739	0.0001	0.6740	-35.200	0.336	-34.864	-0.1379	0.0015	-0.1364	-402.45	-1.4911	0.02235	-35	
-34	0.001536	0.6767	0.0002	0.6769	-34.195	0.375	-33.820	-0.1337	0.0017	-0.1320	-400.60	-1.4833	0.02490	-34	
-33	0.001710	0.6796	0.0002	0.6798	-33.189	0.417	-32.772	-0.1295	0.0018	-0.1276	-398.75	-1.4756	0.02772	-33	
-32	0.001902	0.6824	0.0002	0.6826	-32.183	0.464	-31.718	-0.1253	0.0020	-0.1233	-396.89	-1.4678	0.03082	-32	
-31	0.002113	0.6853	0.0002	0.6855	-31.178	0.517	-30.661	-0.1212	0.0023	-0.1189	-395.01	-1.4601	0.03425	-31	
-30	0.002346	0.6881	0.0003	0.6884	-30.171	0.574	-29.597	-0.1170	0.0025	-0.1145	-393.14	-1.4524	0.03802	-30	
-29	0.002602	0.6909	0.0003	0.6912	-29.166	0.636	-28.529	-0.1129	0.0028	-0.1101	-391.25	-1.4446	0.04217	-29	
-28	0.002883	0.6938	0.0003	0.6941	-28.160	0.707	-27.454	-0.1088	0.0031	-0.1057	-389.36	-1.4369	0.04673	-28	
-27	0.003193	0.6966	0.0004	0.6970	-27.154	0.782	-26.372	-0.1047	0.0034	-0.1013	-387.46	-1.4291	0.05175	-27	
-26	0.003533	0.6995	0.0004	0.6999	-26.149	0.867	-25.282	-0.1006	0.0037	-0.0969	-385.55	-1.4214	0.05725	-26	
-25	0.003905	0.7023	0.0004	0.7028	-25.143	0.959	-24.184	-0.0965	0.0041	-0.0924	-383.63	-1.4137	0.06329	-25	
-24	0.004314	0.7052	0.0005	0.7057	-24.137	1.059	-23.078	-0.0925	0.0045	-0.0880	-381.71	-1.4059	0.06991	-24	
-23	0.004762	0.7080	0.0005	0.7086	-23.132	1.171	-21.961	-0.0885	0.0050	-0.0835	-379.78	-1.3982	0.07716	-23	
-22	0.005251	0.7109	0.0006	0.7115	-22.126	1.292	-20.834	-0.0845	0.0054	-0.0790	-377.84	-1.3905	0.08510	-22	
-21	0.005787	0.7137	0.0007	0.7144	-21.120	1.425	-19.695	-0.0805	0.0060	-0.0745	-375.90	-1.3828	0.09378	-21	
-20	0.006373	0.7165	0.0007	0.7173	-20.115	1.570	-18.545	-0.0765	0.0066	-0.0699	-373.95	-1.3750	0.10326	-20	
-19	0.007013	0.7194	0.0008	0.7202	-19.109	1.729	-17.380	-0.0725	0.0072	-0.0653	-371.99	-1.3673	0.11362	-19	
-18	0.007711	0.7222	0.0009	0.7231	-18.103	1.902	-16.201	-0.0686	0.0079	-0.0607	-370.02	-1.3596	0.12492	-18	
-17	0.008473	0.7251	0.0010	0.7261	-17.098	2.092	-15.006	-0.0646	0.0086	-0.0560	-368.04	-1.3518	0.13725	-17	
-16	0.009303	0.7279	0.0011	0.7290	-16.092	2.299	-13.793	-0.0607	0.0094	-0.0513	-366.06	-1.3441	0.15068	-16	
-15	0.010207	0.7308	0.0012	0.7320	-15.086	2.524	-12.562	-0.0568	0.0103	-0.0465	-364.07	-1.3364	0.16530	-15	
-14	0.011191	0.7336	0.0013	0.7349	-14.080	2.769	-11.311	-0.0529	0.0113	-0.0416	-362.07	-1.3287	0.18122	-14	
-13	0.012262	0.7364	0.0014	0.7379	-13.075	3.036	-10.039	-0.0490	0.0123	-0.0367	-360.07	-1.3210	0.19852	-13	
-12	0.013425	0.7393	0.0016	0.7409	-12.069	3.327	-8.742	-0.0452	0.0134	-0.0318	-358.06	-1.3132	0.21732	-12	
-11	0.014690	0.7421	0.0017	0.7439	-11.063	3.642	-7.421	-0.0413	0.0146	-0.0267	-356.04	-1.3055	0.23775	-11	
-10	0.016062	0.7450	0.0019	0.7469	-10.057	3.986	-6.072	-0.0375	0.0160	-0.0215	-354.01	-1.2978	0.25991	-10	
-9	0.017551	0.7478	0.0021	0.7499	-9.052	4.358	-4.693	-0.0337	0.0174	-0.0163	-351.97	-1.2901	0.28395	-9	
-8	0.019166	0.7507	0.0023	0.7530	-8.046	4.764	-3.283	-0.0299	0.0189	-0.0110	-349.93	-1.2824	0.30999	-8	
-7	0.020916	0.7535	0.0025	0.7560	-7.040	5.202	-1.838	-0.0261	0.0206	-0.0055	-347.88	-1.2746	0.33821	-7	
-6	0.022811	0.7563	0.0028	0.7591	-6.035	5.677	-0.357	-0.0223	0.0224	0.0000	-345.82	-1.2669	0.36874	-6	
-5	0.024862	0.7592	0.0030	0.7622	-5.029	6.192	1.164	-0.0186	0.0243	0.0057	-343.76	-1.2592	0.40178	-5	
-4	0.027081	0.7620	0.0033	0.7653	-4.023	6.751	2.728	-0.0148	0.0264	0.0115	-341.69	-1.2515	0.43748	-4	
-3	0.029480	0.7649	0.0036	0.7685	-3.017	7.353	4.336	-0.0111	0.0286	0.0175	-339.61	-1.2438	0.47606	-3	
-2	0.032074	0.7677	0.0039	0.7717	-2.011	8.007	5.995	-0.0074	0.0310	0.0236	-337.52	-1.2361	0.51773	-2	
-1	0.034874	0.7705	0.0043	0.7749	-1.006	8.712	7.706	-0.0037	0.0336	0.0299	-335.42	-1.2284	0.56268	-1	
0	0.037895	0.7734	0.0047	0.7781	0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	-333.32	-1.2206	0.61117	0	
0	0.037890	0.7734	0.0047	0.7781	0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	0.06	-0.0001	0.61120	0	
1	0.040760	0.7762	0.0051	0.7813	1.006	10.197	11.203	0.0037	0.0391	0.0427	4.28	0.0153	0.65710	1	
2	0.043810	0.7791	0.0055	0.7845	2.012	10.970	12.982	0.0073	0.0419	0.0492	8.49	0.0306	0.70600	2	
3	0.047070	0.7819	0.0059	0.7878	3.018	11.793	14.811	0.0110	0.0449	0.0559	12.70	0.0459	0.75810	3	
4	0.050540	0.7848	0.0064	0.7911	4.024	12.672	16.696	0.0146	0.0480	0.0627	16.91	0.0611	0.81350	4	
5	0.054240	0.7876	0.0068	0.7944	5.029	13.610	18.639	0.0182	0.0514	0.0697	21.12	0.0762	0.87250	5	
6	0.058180	0.7904	0.0074	0.7978	6.036	14.608	20.644	0.0219	0.0550	0.0769	25.32	0.0913	0.93530	6	

¹ Genceli O.F., (1997), ASHRAE Temel El Kitabı Bölüm 6 Psikrometri, (Çev. O.F. Genceli), İ.T.Ü.

Çizelge 2.1 ¹Nemli havanın termodinamik özellikleri (standart atmosferik basınç, 101.325 kPa)

t, °C	Özgül Nem kg _v /kg _a W _a	Özgül Hacim m ³ /kg(kuru hava)			Entalpi kJ/kg(kuru hava)			Entropi kJ/kg(kuru hava).K			Yoğuşmuş Su			°C
		v _g	v _{sa}	v _s	h _a	h _{sa}	h _s	s _a	s _{sa}	s _s	Buhar			
											Entalpi kJ/kg	Entropi kJ/kg.K	Basınç kPa	
7	0.0062370	0.7933	0.0079	0.8012	7.041	15.671	22.713	0.0255	0.0588	0.0843	29.52	0.1064	1.00200	7
8	0.0066830	0.7961	0.0085	0.8046	8.047	16.805	24.852	0.0290	0.0628	0.0919	33.72	0.1213	1.07290	8
9	0.0071570	0.7990	0.0092	0.8081	9.053	18.010	27.064	0.0326	0.0671	0.0997	37.92	0.1362	1.14810	9
10	0.0076610	0.8018	0.0098	0.8116	10.059	19.293	29.352	0.0362	0.0717	0.1078	42.11	0.1511	1.22800	10
11	0.0081970	0.8046	0.0106	0.8152	11.065	20.658	31.724	0.0397	0.0765	0.1162	46.31	0.1659	1.31280	11
12	0.0087660	0.8075	0.0113	0.8188	12.071	22.108	34.179	0.0433	0.0816	0.1248	50.50	0.1806	1.40260	12
13	0.0093700	0.8103	0.0122	0.8225	13.077	23.649	36.726	0.0468	0.0870	0.1337	54.69	0.1953	1.49790	13
14	0.0100120	0.8132	0.0131	0.8262	14.084	25.286	39.370	0.0503	0.0927	0.1430	58.88	0.2099	1.59870	14
15	0.0106920	0.8160	0.0140	0.8300	15.090	27.023	42.113	0.0538	0.0987	0.1525	63.07	0.2244	1.70550	15
16	0.0114130	0.8188	0.0150	0.8338	16.096	28.867	44.963	0.0573	0.1051	0.1624	67.26	0.2389	1.81850	16
17	0.0121780	0.8217	0.0160	0.8377	17.102	30.824	47.926	0.0607	0.1119	0.1726	71.44	0.2534	1.93800	17
18	0.0129890	0.8245	0.0172	0.8417	18.108	32.900	51.008	0.0642	0.1190	0.1832	75.63	0.2678	2.06430	18
19	0.0138480	0.8274	0.0184	0.8457	19.114	35.101	54.216	0.0677	0.1266	0.1942	79.81	0.2821	2.19790	19
20	0.0147580	0.8302	0.0196	0.8498	20.121	37.434	57.555	0.0711	0.1346	0.2057	84.00	0.2965	2.33890	20
21	0.0157210	0.8330	0.0210	0.8540	21.127	39.908	61.035	0.0745	0.1430	0.2175	88.18	0.3107	2.48780	21
22	0.0167410	0.8359	0.0224	0.8583	22.133	42.527	64.660	0.0779	0.1519	0.2298	92.36	0.3249	2.64480	22
23	0.0178210	0.8387	0.0240	0.8627	23.140	45.301	68.440	0.0813	0.1613	0.2426	96.55	0.3390	2.81050	23
24	0.0189630	0.8416	0.0256	0.8671	24.146	48.239	72.385	0.0847	0.1712	0.2559	100.73	0.3531	2.98520	24
25	0.0201700	0.8444	0.0273	0.8717	25.153	51.347	76.500	0.0881	0.1817	0.2698	104.91	0.3672	3.16930	25
26	0.0214480	0.8472	0.0291	0.8764	26.159	54.638	80.798	0.0915	0.1927	0.2842	109.09	0.3812	3.36330	26
27	0.0227980	0.8501	0.0311	0.8811	27.165	58.120	85.285	0.0948	0.2044	0.2992	113.27	0.3951	3.56740	27
28	0.0242260	0.8529	0.0331	0.8860	28.172	61.804	89.976	0.0982	0.2166	0.3148	117.45	0.4090	3.78230	28
29	0.0257350	0.8558	0.0353	0.8910	29.179	65.699	94.878	0.1015	0.2296	0.3311	121.63	0.4229	4.00840	29
30	0.0273290	0.8586	0.0376	0.8962	30.185	69.820	100.006	0.1048	0.2432	0.3481	125.81	0.4367	4.24620	30
31	0.0290140	0.8614	0.0400	0.9015	31.192	74.177	105.369	0.1082	0.2576	0.3658	129.99	0.4505	4.49610	31
32	0.0307930	0.8643	0.0426	0.9069	32.198	78.780	110.979	0.1115	0.2728	0.3842	134.17	0.4642	4.75860	32
33	0.0326740	0.8671	0.0454	0.9125	33.205	83.652	116.857	0.1148	0.2887	0.4035	138.35	0.4779	5.03450	33
34	0.0346600	0.8700	0.0483	0.9183	34.212	88.799	123.011	0.1180	0.3056	0.4236	142.53	0.4915	5.32420	34
35	0.0367560	0.8728	0.0514	0.9242	35.219	94.236	129.455	0.1213	0.3233	0.4446	146.71	0.5051	5.62800	35
36	0.0389710	0.8756	0.0546	0.9303	36.226	99.983	136.209	0.1246	0.3420	0.4666	150.89	0.5186	5.94680	36
37	0.0413090	0.8785	0.0581	0.9366	37.233	106.058	143.290	0.1278	0.3617	0.4895	155.07	0.5321	6.28120	37
38	0.0437780	0.8813	0.0618	0.9431	38.239	112.474	150.713	0.1311	0.3824	0.5135	159.25	0.5456	6.63150	38
39	0.0463860	0.8842	0.0657	0.9498	39.246	119.258	158.504	0.1343	0.4043	0.5386	163.43	0.5590	6.99880	39
40	0.0491410	0.8870	0.0698	0.9568	40.253	126.430	166.683	0.1375	0.4273	0.5649	167.61	0.5724	7.38380	40
41	0.0520490	0.8898	0.0741	0.9640	41.261	134.005	175.265	0.1407	0.4516	0.5923	171.79	0.5857	7.78660	41
42	0.0551190	0.8927	0.0788	0.9714	42.268	142.007	184.275	0.1439	0.4771	0.6211	175.97	0.5990	8.20810	42
43	0.0583650	0.8955	0.0837	0.9792	43.275	150.475	193.749	0.1471	0.5041	0.6512	180.15	0.6122	8.64950	43
44	0.0617910	0.8983	0.0888	0.9872	44.282	159.417	203.699	0.1503	0.5325	0.6828	184.33	0.6254	9.11100	44
45	0.0654110	0.9012	0.0943	0.9955	45.289	168.874	214.164	0.1535	0.5624	0.7159	188.51	0.6386	9.59350	45
46	0.0692390	0.9040	0.1002	1.0042	46.296	178.882	225.179	0.1566	0.5940	0.7506	192.69	0.6517	10.09820	46
47	0.0732820	0.9069	0.1063	1.0132	47.304	189.455	236.759	0.1598	0.6273	0.7871	196.88	0.6648	10.62500	47
48	0.0775560	0.9097	0.1129	1.0226	48.311	200.644	248.955	0.1629	0.6624	0.8253	201.06	0.6778	11.17540	48
49	0.0820770	0.9125	0.1198	1.0323	49.319	212.485	261.803	0.1661	0.6994	0.8655	205.24	0.6908	11.75020	49
50	0.0868580	0.9154	0.1272	1.0425	50.326	225.019	275.345	0.1692	0.7385	0.9077	209.42	0.7038	12.35030	50
51	0.0919180	0.9182	0.1350	1.0532	51.334	238.290	289.624	0.1723	0.7798	0.9521	213.60	0.7167	12.97640	51
52	0.0972720	0.9211	0.1433	1.0643	52.341	252.340	304.682	0.1754	0.8234	0.9988	217.78	0.7296	13.62930	52
53	0.1029480	0.9239	0.1521	1.0760	53.349	267.247	320.596	0.1785	0.8695	1.0480	221.97	0.7424	14.31080	53
54	0.1089540	0.9267	0.1614	1.0882	54.357	283.031	337.388	0.1816	0.9182	1.0998	226.15	0.7552	15.02050	54
55	0.1153210	0.9296	0.1713	1.1009	55.365	299.772	355.137	0.1847	0.9698	1.1544	230.33	0.7680	15.76010	55
56	0.1220770	0.9324	0.1819	1.1143	56.373	317.549	373.922	0.1877	1.0243	1.2120	234.52	0.7807	16.53110	56
57	0.1292430	0.9353	0.1932	1.1284	57.381	336.417	393.798	0.1908	1.0820	1.2728	238.70	0.7934	17.33370	57
58	0.1368510	0.9381	0.2051	1.1432	58.389	356.461	414.850	0.1938	1.1432	1.3370	242.88	0.8061	18.16910	58
59	0.1449420	0.9409	0.2179	1.1588	59.397	377.788	437.185	0.1969	1.2081	1.4050	247.07	0.8187	19.03930	59
60	0.1535400	0.9438	0.2315	1.1752	60.405	400.458	460.863	0.1999	1.2769	1.4768	251.25	0.8313	19.94390	60
61	0.1626900	0.9466	0.2460	1.1926	61.413	424.624	486.036	0.2029	1.3500	1.5530	255.44	0.8438	20.88580	61
62	0.1724400	0.9494	0.2614	1.2109	62.421	450.377	512.798	0.2059	1.4278	1.6337	259.62	0.8563	21.86510	62
63	0.1828400	0.9523	0.2780	1.2303	63.429	477.837	541.266	0.2089	1.5104	1.7194	263.81	0.8688	22.88260	63
64	0.1939300	0.9551	0.2957	1.2508	64.438	507.177	571.615	0.2119	1.5985	1.8105	268.00	0.8812	23.94050	64
65	0.2057900	0.9580	0.3147	1.2726	65.446	538.548	603.995	0.2149	1.6925	1.9074	272.18	0.8936	25.03970	65
66	0.2184800	0.9608	0.3350	1.2958	66.455	572.116	638.571	0.2179	1.7927	2.0106	276.37	0.9060	26.18100	66
67	0.2320700	0.9636	0.3568	1.3204	67.463	608.103	675.566	0.2209	1.8999	2.1208	280.56	0.9138	27.36640	67
68	0.2466400	0.9665	0.3803	1.3467	68.472	646.724	715.196	0.2238	2.0147	2.2385	284.75	0.9306	28.59670	68
69	0.2623100	0.9693	0.4055	1.3749	69.481	688.261	757.742	0.2268	2.1378	2.3646	288.94	0.9429	29.87410	69
70	0.2791600	0.9721	0.4328	1.4049	70.489	732.959	803.448	0.2297	2.2699	2.4996	293.13	0.9551	31.19860	70
71	0.2973400	0.9750	0.4622	1.4372	71.498	781.208	852.706	0.2327	2.4122	2.6448	297.32	0.9673	32.57340	71
72	0.3169800	0.9778	0.4941	1.4719	72.507	833.335	905.842	0.2356	2.5655	2.8010	301.51	0.9794	33.99830	72
73	0.3382400	0.9807	0.5287	1.5093	73.516	889.807	963.323	0.2385	2.7311	2.9696	305.70	0.9916	35.47590	73
74	0.3613000	0.9835	0.5662	1.5497	74.525	951.077	1025.603	0.2414	2.9104	3.1518	309.89	1.0037	37.00630	74

Çizelge 2.1 ¹Nemli havanın termodinamik özellikleri (standart atmosferik basınç, 101.325 kPa)

t, °C	Özgül Nem kg _w /kg _a	Özgül Hacim m ³ /kg(kuru hava)			Entalpi kJ/kg(kuru hava)			Entropi kJ/kg(kuru hava).K			Yoğuşmuş Su			°C
		v _a	v _{es}	v _t	h _a	h _{es}	h _t	s _a	s _{es}	s _t	Buhar			
											Entalpi kJ/kg	Entropi kJ/kg.K	Basıncı kPa	
75	0.3864100	0.9863	0.6072	1.5935	75.535	1017.841	1093.375	0.2443	3.1052	3.3496	314.08	1.0157	38.59400	75
76	0.4137700	0.9892	0.6519	1.6411	76.543	1090.628	1167.172	0.2472	3.3171	3.5644	318.28	1.0278	40.23690	76
77	0.4437200	0.9920	0.7010	1.6930	77.553	1170.328	1247.881	0.2501	3.5486	3.7987	322.47	1.0398	41.93880	77
78	0.4766300	0.9948	0.7550	1.7498	78.562	1257.921	1336.483	0.2530	3.8023	4.0553	326.67	1.0517	43.70200	78
79	0.5128400	0.9977	0.8145	1.8121	79.572	1354.347	1433.918	0.2559	4.0810	4.3368	330.86	1.0636	45.52480	79
80	0.5529500	1.0005	0.8805	1.8810	80.581	1461.200	1541.781	0.2587	4.3890	4.6477	335.06	1.0755	47.41350	80
81	0.5975100	1.0034	0.9539	1.9572	81.591	1579.961	1661.552	0.2616	4.7305	4.9921	339.25	1.0874	49.36700	81
82	0.6472400	1.0062	1.0360	2.0422	82.600	1712.547	1795.148	0.2644	5.1108	5.3753	343.45	1.0993	51.38600	82
83	0.7031100	1.0090	1.1283	2.1373	83.610	1861.548	1945.158	0.2673	5.5372	5.8045	347.65	1.1111	53.47460	83
84	0.7662400	1.0119	1.2328	2.2446	84.620	2029.983	2114.603	0.2701	6.0181	6.2882	351.85	1.1228	55.63370	84
85	0.8381200	1.0147	1.3518	2.3666	85.630	2221.806	2307.436	0.2729	6.5644	6.8373	356.05	1.1346	57.86580	85
86	0.9206200	1.0175	1.4887	2.5062	86.640	2442.036	2528.677	0.2757	7.1901	7.4658	360.25	1.1463	60.17270	86
87	1.0161100	1.0204	1.6473	2.6676	87.650	2697.016	2784.666	0.2785	7.9128	8.1914	364.45	1.1580	62.55440	87
88	1.1280000	1.0232	1.8333	2.8565	88.661	2995.890	3084.551	0.2813	8.7580	9.0393	368.65	1.1696	65.01660	88
89	1.2606400	1.0261	2.0540	3.0800	89.671	3350.254	3439.925	0.2841	9.7577	10.0419	372.86	1.1812	67.55810	89
90	1.4203100	1.0289	2.3199	3.3488	90.681	3776.918	3867.599	0.2869	10.9586	11.2455	377.06	1.1928	70.18170	90

Çizelge 2.2 ¹Doymuş subuharının termodinamik özellikleri

t, °C	Mutlak Basınç kPa	Özgül Hacim, m ³ /kg			Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/kg.K			°C
		Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	
		v _f /v _f	v _{fg} /v _{fg}	v _g	h _f /h _f	h _{fg} /h _{fg}	h _g	s _f /s _f	s _{fg} /s _{fg}	s _g	
-60	0.0011	0.001082	90942.00	90942.00	-446.40	2836.27	2389.87	-1.6854	13.3065	11.6211	-60
-59	0.0012	0.001082	79858.69	79858.69	-444.74	2836.46	2391.72	-1.7667	13.2454	11.5677	-59
-58	0.0014	0.001082	70212.37	70212.37	-443.06	2836.64	2393.57	-1.6698	13.8145	11.5147	-58
-57	0.0016	0.001082	61805.35	61805.35	-441.38	2836.81	2395.43	-1.6620	13.1243	11.4623	-57
-56	0.0018	0.001082	54469.39	54469.39	-439.69	2836.97	2397.28	-1.6542	13.0646	11.4104	-56
-55	0.0021	0.001082	48061.05	48061.05	-438.00	2837.13	2399.12	-1.6464	13.0054	11.3590	-55
-54	0.0024	0.001082	42455.57	42455.57	-436.29	2837.27	2400.98	-1.6386	12.9468	11.3082	-54
-53	0.0027	0.001083	37546.09	37546.09	-434.59	2837.42	2402.83	-1.6308	12.8886	11.2578	-53
-52	0.0031	0.001083	33242.14	33242.14	-432.87	2837.55	2404.68	-1.6230	12.8309	11.2079	-52
-51	0.0035	0.001083	29464.67	29464.67	-431.14	2837.68	2406.53	-1.6153	12.7738	11.1585	-51
-50	0.0039	0.001083	26145.01	26145.01	-429.41	2837.80	2408.39	-1.6075	12.7170	11.1096	-50
-49	0.0045	0.001083	23223.69	23223.70	-427.67	2837.91	2410.24	-1.5997	12.6608	11.0611	-49
-48	0.0050	0.001083	20651.68	20651.69	-425.93	2838.02	2412.09	-1.5919	12.6051	11.0131	-48
-47	0.0057	0.001083	18383.50	18383.51	-424.27	2838.12	2413.84	-1.5842	12.5498	10.9656	-47
-46	0.0064	0.001083	16381.35	16381.36	-422.41	2838.21	2415.79	-1.5764	12.4949	10.9185	-46
-45	0.0072	0.001084	14612.35	14612.36	-420.65	2838.29	2417.65	-1.5686	12.4405	10.8719	-45
-44	0.0081	0.001084	13047.65	13047.66	-418.87	2838.37	2419.50	-1.5609	12.3866	10.8257	-44
-43	0.0091	0.001084	11661.85	11661.85	-417.09	2838.44	2421.35	-1.5531	12.3330	10.7799	-43
-42	0.0102	0.001084	10433.85	10433.85	-415.30	2838.50	2423.20	-1.5453	12.2799	10.7346	-42
-41	0.0115	0.001084	9344.25	9344.25	-413.50	2838.55	2425.05	-1.5376	12.2273	10.6897	-41
-40	0.0129	0.001084	8376.33	8376.33	-411.70	2838.60	2426.90	-1.5298	12.1750	10.6452	-40
-39	0.0144	0.001085	7515.86	7515.87	-409.88	2838.64	2428.76	-1.5221	12.1232	10.6011	-39
-38	0.0161	0.001085	6750.36	6750.36	-408.07	2838.67	2430.61	-1.5143	12.0718	10.5575	-38
-37	0.0180	0.001085	6068.16	6068.17	-406.24	2838.70	2432.46	-1.5066	12.0208	10.5142	-37
-36	0.0201	0.001085	5459.82	5459.82	-404.40	2838.71	2434.31	-1.4988	11.9702	10.4713	-36
-35	0.0224	0.001085	4917.09	4917.10	-402.56	2838.73	2436.16	-1.4911	11.9199	10.4289	-35
-34	0.0249	0.001085	4432.36	4432.37	-400.72	2838.73	2438.01	-1.4833	11.8701	10.3868	-34
-33	0.0277	0.001085	3998.71	3998.71	-398.86	2838.72	2439.86	-1.4756	11.8207	10.3451	-33
-32	0.0308	0.001086	3610.71	3610.71	-397.00	2838.71	2441.72	-1.4678	11.7716	10.3037	-32
-31	0.0343	0.001086	3263.20	3263.20	-395.12	2838.69	2443.57	-1.4601	11.7229	10.2628	-31
-30	0.0380	0.001086	2951.64	2951.64	-393.25	2838.66	2445.42	-1.4524	11.6746	10.2222	-30
-29	0.0422	0.001086	2672.03	2672.03	-391.36	2838.63	2447.27	-1.4446	11.6266	10.1820	-29
-28	0.0467	0.001086	2420.89	2420.89	-389.47	2838.59	2449.12	-1.4369	11.5790	10.1421	-28
-27	0.0518	0.001086	2195.23	2195.23	-387.57	2838.53	2450.97	-1.4291	11.5318	10.1026	-27
-26	0.0573	0.001087	1992.15	1992.15	-385.66	2838.48	2452.82	-1.4214	11.4849	10.0634	-26
-25	0.0633	0.001087	1809.35	1809.35	-383.74	2838.41	2454.67	-1.4137	11.4383	10.0246	-25
-24	0.0699	0.001087	1644.59	1644.59	-381.34	2838.34	2457.00	-1.4059	11.3921	9.9862	-24
-23	0.0772	0.001087	1495.98	1495.98	-379.89	2838.26	2458.37	-1.3982	11.3462	9.9480	-23
-22	0.0851	0.001087	1361.94	1361.94	-377.95	2838.17	2460.22	-1.3905	11.3007	9.9102	-22
-21	0.0938	0.001087	1240.77	1240.77	-376.01	2838.07	2462.06	-1.3828	11.2555	9.8727	-21
-20	0.1033	0.001087	1131.27	1131.27	-374.06	2837.97	2463.91	-1.3750	11.2106	9.8356	-20
-19	0.1136	0.001088	1032.18	1032.18	-372.10	2837.86	2465.76	-1.3673	11.1661	9.7988	-19
-18	0.1249	0.001088	942.46	942.47	-370.13	2837.74	2467.61	-1.3596	11.1218	9.7623	-18
-17	0.1373	0.001088	861.17	861.18	-368.15	2837.61	2469.46	-1.3518	11.0779	9.7261	-17
-16	0.1507	0.001088	787.48	787.49	-366.17	2837.47	2471.30	-1.3441	11.0343	9.6902	-16
-15	0.1653	0.001088	720.59	720.59	-364.18	2837.33	2473.15	-1.3364	10.9910	9.6546	-15
-14	0.1812	0.001088	659.86	659.86	-362.18	2837.18	2474.99	-1.3287	10.9480	9.6193	-14
-13	0.1985	0.001089	604.65	604.65	-360.18	2837.02	2476.84	-1.3210	10.9053	9.5844	-13
-12	0.2173	0.001089	554.45	554.45	-358.17	2836.85	2478.68	-1.3132	10.8629	9.5497	-12
-11	0.2378	0.001089	508.75	508.75	-356.15	2836.68	2480.53	-1.3055	10.8208	9.5153	-11
-10	0.2599	0.001089	467.14	467.14	-354.12	2836.49	2482.37	-1.2978	10.7790	9.4812	-10
-9	0.2840	0.001089	429.21	429.21	-352.08	2836.30	2484.22	-1.2901	10.7375	9.4474	-9
-8	0.3100	0.001090	394.64	394.64	-350.04	2836.10	2486.06	-1.2824	10.6962	9.4139	-8
-7	0.3382	0.001090	363.07	363.07	-347.99	2835.89	2487.90	-1.2746	10.6552	9.3806	-7
-6	0.3687	0.001090	334.25	334.25	-345.93	2835.68	2489.74	-1.2669	10.6145	9.3476	-6
-5	0.4018	0.001090	307.91	307.91	-343.87	2835.45	2491.58	-1.2592	10.5741	9.3149	-5
-4	0.4375	0.001090	283.83	283.83	-341.80	2835.22	2493.42	-1.2515	10.5340	9.2825	-4
-3	0.4761	0.001090	261.79	261.79	-339.72	2834.98	2495.26	-1.2438	10.4941	9.2503	-3
-2	0.5177	0.001091	241.60	241.60	-337.63	2834.72	2497.10	-1.2361	10.4544	9.2184	-2
-1	0.5627	0.001091	223.11	223.11	-335.53	2834.47	2498.93	-1.2284	10.4151	9.1867	-1
0	0.6112	0.001091	206.16	206.16	-333.43	2834.20	2500.77	-1.2206	10.3760	9.1553	0

¹ Genceli O.F., (1997), ASHRAE Temel El Kitabı Bölüm 6 Psikrometri, (Çev. O.F. Genceli), İ.T.Ü.

Çizelge 2.2 'Doymuş subuharının termodinamik özellikleri

t, °C	Mutlak Basınç kPa	Özgül Hacim, m ³ /kg			Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/kg.K			°C
		Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	
		v _f /v _f	v _g /v _g	v _g	h _f /h _f	h _g /h _g	h _g	s _f /s _f	s _g /s _g	s _g	
p	v _f /v _f	v _g /v _g	v _g	h _f /h _f	h _g /h _g	h _g	s _f /s _f	s _g /s _g	s _g	°C	
0	0.6112	0.001000	206.141	206.143	-0.04	2500.81	2500.77	-0.0002	9.1555	9.1553	0
1	0.6571	0.001000	192.455	192.456	4.18	2498.43	2502.61	0.0153	9.1134	9.1286	1
2	0.7060	0.001000	179.769	179.770	8.39	2496.05	2504.45	0.0306	9.0716	9.1022	2
3	0.7581	0.001000	168.026	168.027	12.60	2493.68	2506.28	0.0459	9.0302	9.0761	3
4	0.8135	0.001000	157.137	157.138	16.81	2491.31	2508.12	0.0611	8.9890	9.0501	4
5	0.8725	0.001000	147.032	147.033	21.02	2488.94	2509.96	0.0762	8.9482	9.0244	5
6	0.9353	0.001000	137.653	137.654	25.22	2486.57	2511.79	0.0913	8.9077	8.9990	6
7	1.0020	0.001000	128.947	128.948	29.42	2484.20	2513.62	0.1064	8.8674	8.9738	7
8	1.0729	0.001000	120.850	120.851	33.62	2481.84	2515.46	0.1213	8.8273	8.9486	8
9	1.1481	0.001000	113.326	113.327	37.82	2479.47	2517.29	0.1362	8.7878	8.9240	9
10	1.2280	0.001000	106.328	106.329	42.01	2477.11	2519.12	0.1511	8.7484	8.8995	10
11	1.3128	0.001000	99.812	99.813	46.21	2474.74	2520.95	0.1659	8.7093	8.8752	11
12	1.4026	0.001001	93.743	93.744	50.40	2472.38	2522.78	0.1806	8.6705	8.8511	12
13	1.4979	0.001001	88.088	88.089	54.59	2470.02	2524.61	0.1953	8.6319	8.8272	13
14	1.5987	0.001001	82.815	82.816	58.78	2467.66	2526.44	0.2099	8.5936	8.8035	14
15	1.7055	0.001001	77.897	77.898	62.97	2465.30	2528.26	0.2244	8.5556	8.7801	15
16	1.8185	0.001001	73.307	73.308	67.16	2462.93	2530.09	0.2389	8.5178	8.7568	16
17	1.9380	0.001001	69.021	69.022	71.34	2460.57	2531.92	0.2534	8.4804	8.7338	17
18	2.0643	0.001002	65.017	65.018	75.53	2458.21	2533.74	0.2678	8.4431	8.7109	18
19	2.1979	0.001002	61.272	61.273	79.72	2455.85	2535.56	0.2821	8.4061	8.6883	19
20	2.3389	0.001002	57.774	57.775	83.90	2453.48	2537.38	0.2965	8.3694	8.6658	20
21	2.4878	0.001002	54.500	54.501	88.08	2451.12	2539.20	0.3107	8.3329	8.6436	21
22	2.6448	0.001002	51.433	51.434	92.27	2448.75	2541.02	0.3249	8.2967	8.6215	22
23	2.8105	0.001003	48.562	48.563	96.45	2446.39	2542.84	0.3390	8.2607	8.5996	23
24	2.9852	0.001003	45.872	45.873	100.63	2444.02	2544.65	0.3531	8.2249	8.5780	24
25	3.1693	0.001003	43.350	43.351	104.81	2441.66	2546.47	0.3672	8.1894	8.5565	25
26	3.3633	0.001003	40.985	40.986	108.99	2439.29	2548.28	0.3812	8.1541	8.5352	26
27	3.5674	0.001004	38.766	38.767	113.18	2436.92	2550.09	0.3951	8.1190	8.5141	27
28	3.7823	0.001004	36.682	36.683	117.36	2434.55	2551.90	0.4090	8.0842	8.4932	28
29	4.0084	0.001004	34.726	34.727	121.54	2432.17	2553.71	0.4229	8.0496	8.4724	29
30	4.2462	0.001004	32.889	32.890	125.72	2429.80	2555.52	0.4367	8.0152	8.4519	30
31	4.4961	0.001005	31.160	31.161	129.90	2427.43	2557.32	0.4505	7.9810	8.4315	31
32	4.7586	0.001005	29.535	29.536	134.08	2425.05	2559.13	0.4642	7.9471	8.4112	32
33	5.0345	0.001005	28.006	28.007	138.26	2422.67	2560.93	0.4779	7.9133	8.3912	33
34	5.3242	0.001006	26.567	26.568	142.44	2420.29	2562.73	0.4915	7.8790	8.3705	34
35	5.6280	0.001006	25.212	25.213	146.62	2417.91	2564.53	0.5051	7.8465	8.3516	35
36	5.9468	0.001006	23.935	23.936	150.80	2415.53	2566.33	0.5186	7.8134	8.3320	36
37	6.2812	0.001007	22.733	22.734	154.98	2413.14	2568.12	0.5321	7.7805	8.3127	37
38	6.6315	0.001007	21.599	21.600	159.16	2410.76	2569.91	0.5456	7.7479	8.2934	38
39	6.9988	0.001008	20.529	20.530	163.34	2408.37	2571.71	0.5590	7.7154	8.2744	39
40	7.3838	0.001008	19.520	19.521	167.52	2405.98	2573.50	0.5724	7.6831	8.2555	40
41	7.7866	0.001008	18.567	18.568	171.70	2403.58	2575.28	0.5857	7.6510	8.2367	41
42	8.2081	0.001009	17.667	17.668	175.88	2401.19	2577.07	0.5990	7.6191	8.2181	42
43	8.6495	0.001009	16.818	16.819	180.06	2398.79	2578.85	0.6122	7.5875	8.1997	43
44	9.1110	0.001010	16.014	16.015	184.24	2396.39	2580.63	0.6254	7.5560	8.1814	44
45	9.5935	0.001010	15.255	15.256	188.42	2393.99	2582.41	0.6386	7.5247	8.1632	45
46	10.0982	0.001010	14.537	14.538	192.60	2391.59	2584.19	0.6517	7.4936	8.1452	46
47	10.6250	0.001011	13.858	13.859	196.78	2389.18	2585.96	0.6648	7.4626	8.1274	47
48	11.1754	0.001011	13.214	13.215	200.97	2386.77	2587.74	0.6778	7.4319	8.1097	48
49	11.7502	0.001012	12.606	12.607	205.15	2384.36	2589.51	0.6908	7.4013	8.0921	49
50	12.3503	0.001012	12.029	12.030	209.33	2381.94	2591.27	0.7038	7.3709	8.0747	50
51	12.9764	0.001013	11.482	11.483	213.51	2379.53	2593.04	0.7167	7.3407	8.0574	51
52	13.6293	0.001013	10.964	10.965	217.70	2377.10	2594.80	0.7296	7.3107	8.0403	52
53	14.3108	0.001014	10.473	10.474	221.88	2374.68	2596.56	0.7424	7.2809	8.0233	53
54	15.0205	0.001014	10.007	10.008	226.06	2372.26	2598.32	0.7552	7.2512	8.0064	54
55	15.7601	0.001015	9.565	9.5663	230.25	2369.83	2600.07	0.7680	7.2217	7.9897	55
56	16.5311	0.001015	9.145	9.1468	234.43	2367.39	2601.82	0.7807	7.1924	7.9731	56
57	17.3337	0.001016	8.747	8.7489	238.61	2364.96	2603.57	0.7934	7.1632	7.9566	57
58	18.1691	0.001016	8.3690	8.3700	242.80	2362.52	2605.32	0.8061	7.1342	7.9403	58
59	19.0393	0.001017	8.0094	8.0104	246.99	2360.08	2607.06	0.8187	7.1054	7.9240	59
60	19.944	0.001017	7.6677	7.6687	251.17	2357.63	2608.80	0.8313	7.0767	7.9079	60

Çizelge 2.2 ¹Doymuş subuharının termodinamik özellikleri

t, °C	Mutlak Basmıç kPa	Özgül Hacim, m ³ /kg			Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/kg.K			°C
		Doymuş Sıvı	Buharlaşıma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buharlaşıma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buharlaşıma	Doymuş Buhar	
		v _f /v _f	v _g /v _g	v _g	h _f /h _f	h _g /h _g	h _g	s _f /s _f	s _g /s _g	s _g	
p	v _f /v _f	v _g /v _g	v _g	h _f /h _f	h _g /h _g	h _g	s _f /s _f	s _g /s _g	s _g	°C	
61	20.886	0.001018	7.3428	7.3438	255.36	2355.19	2610.54	0.8438	7.0482	7.8920	61
62	21.865	0.001018	7.0337	7.0347	259.54	2352.73	2612.28	0.8563	7.0198	7.8761	62
63	22.883	0.001019	6.7397	6.7407	263.73	2350.28	2614.01	0.8688	6.9916	7.8604	63
64	23.941	0.001019	6.4599	6.4609	267.92	2347.82	2615.74	0.8812	6.9636	7.8448	64
65	25.040	0.001020	6.1935	6.1946	272.11	2345.36	2617.46	0.8936	6.9357	7.8293	65
66	26.181	0.001020	5.9397	5.9407	276.30	2342.89	2619.19	0.9060	6.9080	7.8140	66
67	27.366	0.001021	5.6982	5.6992	280.49	2340.42	2620.90	0.9183	6.8804	7.7987	67
68	28.597	0.001022	5.4680	5.4690	284.68	2337.95	2622.62	0.9306	6.8530	7.7836	68
69	29.874	0.001022	5.2485	5.2495	288.87	2335.47	2624.33	0.9429	6.8257	7.7686	69
70	31.199	0.001023	5.0392	5.0402	293.06	2332.99	2626.04	0.9551	6.7986	7.7537	70
71	32.573	0.001023	4.8396	4.8407	297.25	2330.50	2627.75	0.9673	6.7716	7.7389	71
72	33.998	0.001024	4.6492	4.6502	301.44	2328.01	2629.45	0.9794	6.7448	7.7242	72
73	35.476	0.001025	4.4675	4.4685	305.63	2325.51	2631.15	0.9916	6.7181	7.7097	73
74	37.006	0.001025	4.2940	4.2951	309.83	2323.02	2632.84	1.0037	6.6915	7.6952	74
75	38.594	0.001026	4.1284	4.1294	314.02	2320.51	2634.53	1.0157	6.6651	7.6809	75
76	40.237	0.001026	3.9702	3.9712	318.22	2318.01	2636.22	1.0278	6.6389	7.6666	76
77	41.939	0.001027	3.8190	3.8201	322.41	2315.49	2637.90	1.0398	6.6127	7.6525	77
78	43.702	0.001028	3.6746	3.6756	326.61	2312.98	2639.58	1.0517	6.5867	7.6384	78
79	45.525	0.001028	3.5365	3.5375	330.81	2310.46	2641.26	1.0636	6.5609	7.6245	79
80	47.414	0.001029	3.4044	3.4055	335.00	2307.93	2642.93	1.0755	6.5351	7.6107	80
81	49.367	0.001030	3.2781	3.2792	339.20	2305.40	2644.60	1.0874	6.5095	7.5969	81
82	51.386	0.001030	3.1573	3.1583	343.40	2302.86	2646.26	1.0993	6.4841	7.5833	82
83	53.475	0.001031	3.0417	3.0427	347.60	2300.32	2647.92	1.1111	6.4587	7.5698	83
84	55.634	0.001032	2.9310	2.9320	351.80	2297.78	2649.58	1.1228	6.4335	7.5563	84
85	57.866	0.001032	2.8250	2.8260	356.01	2295.22	2651.23	1.1346	6.4084	7.5430	85
86	60.173	0.001033	2.7235	2.7245	360.21	2292.67	2652.88	1.1463	6.3834	7.5297	86
87	62.554	0.001034	2.6263	2.6273	364.41	2290.11	2654.52	1.1580	6.3586	7.5166	87
88	65.017	0.001035	2.5331	2.5341	368.62	2287.54	2656.16	1.1696	6.3339	7.5035	88
89	67.558	0.001035	2.4438	2.4448	372.82	2284.97	2657.79	1.1812	6.3093	7.4905	89
90	70.182	0.001036	2.3582	2.3592	377.03	2282.39	2659.42	1.1928	6.2848	7.4776	90
91	72.888	0.001037	2.2760	2.2771	381.24	2279.81	2661.04	1.2044	6.2605	7.4648	91
92	75.683	0.001037	2.1973	2.1983	385.45	2277.22	2662.66	1.2159	6.2362	7.4521	92
93	78.566	0.001038	2.1217	2.1228	389.66	2274.62	2664.28	1.2274	6.2121	7.4395	93
94	81.541	0.001039	2.0492	2.0502	393.87	2272.02	2665.89	1.2389	6.1881	7.4270	94
95	84.608	0.001040	1.9796	1.9806	398.08	2269.41	2667.49	1.2504	6.1642	7.4146	95
96	87.770	0.001040	1.9128	1.9138	402.29	2266.80	2669.09	1.2618	6.1404	7.4022	96
97	91.030	0.001041	1.8486	1.8496	406.51	2264.18	2670.69	1.2732	6.1168	7.3899	97
98	94.390	0.001042	1.7869	1.7880	410.72	2261.55	2672.28	1.2845	6.0932	7.3777	98
99	97.852	0.001044	1.7277	1.7287	414.94	2258.92	2673.86	1.2959	6.0697	7.3656	99
100	101.419	0.001044	1.6708	1.6718	419.16	2256.28	2675.44	1.3072	6.0464	7.3536	100
101	105.092	0.001044	1.6161	1.6171	423.38	2253.64	2677.02	1.3185	6.0232	7.3416	101
102	108.875	0.001045	1.5635	1.5645	427.60	2250.99	2678.58	1.3297	6.0000	7.3298	102
103	112.770	0.001046	1.5129	1.5139	431.82	2248.33	2680.15	1.3410	5.9770	7.3180	103
104	116.779	0.001047	1.4642	1.4652	436.04	2245.66	2681.71	1.3522	5.9541	7.3062	104
105	120.906	0.001047	1.4174	1.4184	440.27	2242.99	2683.26	1.3634	5.9313	7.2946	105
106	125.152	0.001048	1.3723	1.3734	444.49	2240.31	2684.80	1.3745	5.9086	7.2830	106
107	129.520	0.001049	1.3290	1.3300	448.72	2237.63	2686.35	1.3856	5.8860	7.2716	107
108	134.012	0.001050	1.2872	1.2883	452.95	2234.93	2687.88	1.3967	5.8635	7.2601	108
109	138.633	0.001051	1.2470	1.2481	457.18	2232.23	2689.41	1.4078	5.8410	7.2488	109
110	143.384	0.001052	1.2083	1.2093	461.41	2229.52	2690.93	1.4188	5.8187	7.2375	110
111	148.267	0.001052	1.1710	1.1720	465.64	2226.81	2692.45	1.4298	5.7965	7.2263	111
112	153.287	0.001053	1.1350	1.1361	469.88	2224.09	2693.96	1.4408	5.7744	7.2152	112
113	158.445	0.001054	1.1004	1.1015	474.11	2221.35	2695.47	1.4518	5.7524	7.2042	113
114	163.745	0.001055	1.0670	1.0681	478.35	2218.62	2696.97	1.4627	5.7304	7.1931	114
115	169.190	0.001056	1.0348	1.0359	482.59	2215.87	2698.46	1.4737	5.7086	7.1822	115
116	174.782	0.001057	1.0038	1.0048	486.83	2213.12	2699.95	1.4846	5.6868	7.1714	116
117	180.525	0.001058	0.9739	0.9749	491.07	2210.35	2701.43	1.4954	5.6652	7.1606	117
118	186.420	0.001059	0.9450	0.9460	495.32	2207.58	2702.90	1.5063	5.6436	7.1499	118
119	192.473	0.001059	0.9171	0.9182	499.56	2204.80	2704.37	1.5171	5.6221	7.1392	119
120	198.685	0.001060	0.8902	0.8913	503.81	2202.02	2705.83	1.5279	5.6007	7.1286	120
122	211.601	0.001062	0.8391	0.8402	512.31	2196.42	2708.73	1.5494	5.5582	7.1076	122

Çizelge 2.2 ¹Doymuş subuharının termodinamik özellikleri

t, °C	Mutlak Basınç kPa	Özgül Hacim, m ³ /kg			Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/kg.K			°C
		Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buharlaşma	Doymuş Buhar	
		v _f /v _f	v _g /v _g	v _g	h _f /h _f	h _g /h _g	h _g	s _f /s _f	s _g /s _g	s _g	
p	v _f /v _f	v _g /v _g	v _g	h _f /h _f	h _g /h _g	h _g	s _f /s _f	s _g /s _g	s _g	°C	
124	225.194	0.001064	0.7916	0.7927	520.82	2190.78	2711.60	1.5709	5.5160	7.0869	124
126	239.490	0.001066	0.7472	0.7483	529.33	2185.11	2714.44	1.5922	5.4742	7.0664	126
128	254.515	0.001068	0.7057	0.7068	537.86	2179.40	2717.26	1.6135	5.4326	7.0461	128
130	270.298	0.001070	0.6670	0.6681	546.39	2173.66	2720.05	1.6347	5.3914	7.0261	130
132	286.866	0.001072	0.6308	0.6318	554.93	2167.87	2722.80	1.6557	5.3505	7.0063	132
134	304.247	0.001074	0.5969	0.5979	563.48	2162.05	2725.53	1.6767	5.3099	6.9867	134
136	322.470	0.001076	0.5651	0.5662	572.04	2156.18	2728.22	1.6977	5.2697	6.9673	136
138	341.566	0.001078	0.5354	0.5364	580.60	2150.28	2730.88	1.7185	5.2296	6.9481	138
140	361.565	0.001080	0.5075	0.5085	589.18	2144.33	2733.51	1.7393	5.1899	6.9292	140
142	382.497	0.001082	0.4813	0.4824	597.76	2138.34	2736.11	1.7599	5.1505	6.9104	142
144	404.394	0.001084	0.4567	0.4578	606.36	2132.31	2738.67	1.7805	5.1113	6.8918	144
146	427.288	0.001086	0.4336	0.4347	614.97	2126.23	2741.19	1.8011	5.0724	6.8735	146
148	451.211	0.001088	0.4119	0.4130	623.58	2120.10	2743.68	1.8215	5.0338	6.8553	148
150	476.198	0.001091	0.3914	0.3925	632.21	2113.92	2746.13	1.8419	4.9954	6.8373	150
152	502.281	0.001093	0.3722	0.3733	640.85	2107.70	2748.55	1.8622	4.9573	6.8194	152
154	529.495	0.001095	0.3541	0.3552	649.50	2101.43	2750.93	1.8824	4.9194	6.8017	154
156	557.875	0.001097	0.3370	0.3381	658.16	2095.11	2753.27	1.9026	4.8817	6.7842	156
158	587.456	0.001100	0.3209	0.3220	666.83	2088.73	2755.57	1.9226	4.8443	6.7669	158
160	618.275	0.001102	0.3058	0.3069	675.52	2082.31	2757.82	1.9427	4.8070	6.7497	160
162	650.368	0.001104	0.2914	0.2925	684.22	2075.82	2760.04	1.9626	4.7701	6.7327	162
164	683.772	0.001107	0.2779	0.2790	692.93	2069.29	2762.22	1.9825	4.7333	6.7158	164
166	718.526	0.001109	0.2651	0.2662	701.65	2062.70	2764.35	2.0023	4.6967	6.6990	166
168	754.667	0.001112	0.2530	0.2541	710.39	2056.05	2766.44	2.0221	4.6603	6.6824	168
170	792.235	0.001114	0.2415	0.2427	719.14	2049.34	2768.48	2.0418	4.6242	6.6659	170
172	831.268	0.001117	0.2307	0.2318	727.91	2042.57	2770.48	2.0614	4.5882	6.6496	172
174	871.808	0.001119	0.2205	0.2216	736.69	2035.74	2772.43	2.0810	4.5524	6.6334	174
176	913.894	0.001122	0.2107	0.2119	745.48	2028.85	2774.33	2.1005	4.5168	6.6173	176
178	947.568	0.001125	0.2015	0.2026	754.29	2021.89	2776.19	2.1200	4.4813	6.6013	178
180	1002.871	0.001127	0.1928	0.1939	763.12	2014.87	2777.99	2.1394	4.4460	6.5854	180
182	1049.846	0.001130	0.1845	0.1856	771.96	2007.78	2779.74	2.1587	4.4109	6.5696	182
184	1098.535	0.001133	0.1766	0.1777	780.82	2000.63	2781.45	2.1780	4.3760	6.5540	184
186	1148.982	0.001136	0.1691	0.1703	789.69	1993.40	2783.10	2.1973	4.3412	6.5385	186
188	1201.230	0.001139	0.1620	0.1632	798.59	1986.11	2784.70	2.2165	4.3065	6.5230	188
190	1255.324	0.001141	0.1553	0.1564	807.50	1978.74	2786.24	2.2356	4.2720	6.5076	190
192	1311.309	0.001144	0.1488	0.1500	816.43	1971.30	2787.72	2.2547	4.2376	6.4924	192
194	1369.230	0.001147	0.1427	0.1439	825.37	1963.78	2789.15	2.2738	4.2034	6.4772	194
196	1429.133	0.001150	0.1369	0.1380	834.34	1956.19	2790.52	2.2928	4.1693	6.4621	196
198	1491.066	0.001153	0.1314	0.1325	843.32	1948.52	2791.83	2.3118	4.1353	6.4471	198
200	1555.074	0.001157	0.1261	0.1272	852.33	1940.76	2793.09	2.3307	4.1014	6.4321	200

3. KURU ve NEMLİ HAVANIN BİLEŞİMİ

Atmosferik hava çok çeşitli kirli gaz, çiçek tozları (polen) ve dumandan oluşur. Genelde kirletici kaynaklardan uzakta atmosferik hava içinde duman ve kirli gazlar bulunmaz.

Kuru hava ise içindeki subuharı tamamen alınmış atmosferik havadır. Hassas ölçmeler ile kuru havanın karışımının 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 % karbon dioksit, 0.001818 % neon, 0.000524 % helyum, 0.0002 % metan, 0-0.0001 % 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 ve gaz sabiti $R_a = 8314.41 / 28.965 = 287.055 \text{ J/kg.K}$ değerindedir.

Nemli havanın, kuru hava ile subuharının karışımı olarak iki bileşenden meydana geldiği kabul edilir. Hava içindeki subuharının miktarı, sıfırdan (kuru hava), sıcaklık ve basınca bağlı olarak bir maksimum değere kadar değişir.

Hava içinde subuharının 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 ve subuharının gaz sabiti $R_w = 8314.41 / 18.01534 = 461.52 \text{ J/kg.K}$ değerlerindedir.

4. 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 değerlerindedir. Troposfere (atmosferin ilk katmanına) kadar havanın sıcaklığının, yükseklik ile doğrusal değiştiği ve strotosferde sabit değere ulaştığı kabul edilir. Standart yer çekimi, 9.807 m/s² değerindedir. Deniz seviyesinden olan yüksekliklere göre standart atmosferik havanın sıcaklık ve basıncının değişimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 ¹Standart atmosferik havanın özelliklerinin deniz seviyesinden olan yükseklik ile değişimi

Yükseklik, m	Sıcaklık, °C	Basıncı, 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	-11.0	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

¹ Genceli O.F., (1997), ASHRAE Temel El Kitabı Bölüm 6 Psikrometri, (Çev. O.F. Genceli), İ.T.Ü.

5. NEMLİ HAVANIN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ

Standart atmosferik basınç 101.325 kPa değerinde, -60 ila 90 °C sıcaklıkları için nemli havanın fiziksel özelliklerinin değişimleri, Çizelge 2.1'de görülmektedir. Bu tabloda verilen ondört sütunun her birinin açıklaması aşağıda verilmiştir.

- t (°C) = Celsius sıcaklığı olup, T (K) mutlak sıcaklığı ile arasında,

$$T (K) = t (°C) + 273.15 \quad (5.1)$$

bağıntısı vardır.

- W_s = kuru havanın kütesine göre tanımlanmış, doymuş havanın özgül nemi, kg (nem)/kg (kuru hava). Belirli sıcaklık ve basınçta nemli havanın özgül nemi, sıfır ile W_s arasında değişir.

- v_a = kuru havanın özgül hacmi, m³/kg.

- $v_{as} = v_s - v_a$, aynı sıcaklık ve basınçta kuru havanın kütesine göre tanımlanmış doymuş havanın özgül hacmi ile kuru havanın özgül hacminin farkı, m³/kg(kuru hava).

- v_s = kuru havanın kütesine göre tanımlanmış, nemli havanın özgül hacmi, m³/kg(kuru hava).

- h_a = kuru havanın kütesine göre tanımlanmış kuru havanın entalpisi, kJ/kg(kuru hava). Standart atmosferik basınçta ve 0 °C sıcaklıkta kuru havanın entalpisi, Çizelge 2.1'de sıfır kabul edilmiştir.

- $h_{as} = h_s - h_a$, aynı atmosferik basınç ve sıcaklıkta kuru havanın kütesine göre tanımlanmış olan doymuş havanın entalpisi ile kuru havanın entalpisi arasındaki fark, kJ/kg(kuru hava).

- h_s = kuru havanın kütesine göre tanımlanmış olan doymuş havanın entalpisi, kJ/kg(kuru hava).

- s_a = kuru havanın kütesine göre tanımlanmış olan nemli havanın entropisi, kJ/kg(kuru hava)-K.

- $s_{as} = s_s - s_a$, aynı atmosferik basınç ve sıcaklıkta kuru havanın kütesine göre tanımlanmış olan doymuş havanın entropisi ile kuru havanın entropisi arasındaki fark, kJ/kg(kuru hava)-K.

- s_s = kuru havanın kütesine göre tanımlanmış olan doymuş havanın entropisi, kJ/kg(kuru hava)-K.

- h_w = belirli basınç ve sıcaklıkta doymuş hava içinde yoğuşmuş suyun (sıvı veya katı fazda) denge halindeki entalpisi, kJ/kg(su). Doyma basıncında ve üçlü noktadaki (0.01 °C) sıvı fazındaki suyun entalpisi, Çizelge 2.1’de sıfır kabul edilmiştir.
- s_w = doymuş hava içinde su yoğuşmuş suyun (sıvı veya katı fazdaki) entropisi, kJ/kg(su) ·K.
- p_s = doymuş hava içindeki subuharının kısmi basıncı, kPa. Bu p_s basıncı, saf suyun doyma basıncı olan p_{ws} değerinden çok az farketmektedir. Sıcaklığı t , basıncı p olan doymuş havadaki subuharının mol oranı x_{ws} ise bu ortamda basınç,

$$p_{ws} = x_{ws} \cdot p \quad (5.2)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Bu bağıntıda p ortamın toplam basıncını göstermektedir.

6. DOYMUŞ SUYUN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ

Bağıntılardan yararlanılarak hesaplanmış, -60 ila 200 °C sıcaklıkları arasında doymuş suyun termodinamik özellikleri Çizelge 2.2’de görülmektedir. Çizelge 2.2’deki semboller bu konudaki literatüre uygun olarak verilmiş olup, buradaki özellikler termodinamik sıcaklık skalasına dayanmaktadır. Doymuş suyun entalpi ve entropisinin her ikisi de üçlü noktada (0.01 °C) sıfır olarak alınmıştır.

Nemli havanın özelliklerinin hesabında, doymuş subuharının basıncının bilinmesi gereklidir. Bu değerler Çizelge 2.2’den alınabildiği gibi, aşağıda sunulan formüller yardımı ile de hesaplanabilir.

-100 ila 0 °C sıcaklıkları arasında buz üzerindeki doyma basıncı

$$\ln(p_{ws}) = C_1/T + C_2 + C_3 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + C_5 \cdot T^3 + C_6 \cdot T^4 + C_7 \cdot \ln(T) \quad (6.1)$$

bağıntısı ile verilebilmektedir. Bu bağıntıda,

$$C_1 = -5.6745359 \cdot 10^3$$

$$C_2 = -5.1523058 \cdot 10^{-1}$$

$$C_3 = -9.6778430 \cdot 10^{-3}$$

$$C_4 = 6.2215701 \cdot 10^{-7}$$

$$C_5 = 2.074782 \cdot 10^{-9}$$

$$C_6 = -9.4840240 \cdot 10^{-13}$$

$$C_7 = 4.1635019$$

değerlerindedir.

0 ila 200 °C sıcaklıkları arasında sıvı su üzerindeki doyma basıncı

$$\ln(p_{ws}) = C_8/T + C_9 + C_{10} \cdot T + C_{11} \cdot T^2 + C_{12} \cdot T^3 + C_{13} \cdot \ln(T) \quad (6.2)$$

şeklinde verilebilmektedir. Bu bağıntıda ise,

$$C_8 = -5.8002206 \cdot 10^3$$

$$C_9 = -5.5162560$$

$$C_{10} = -4.8640239 \cdot 10^{-2}$$

$$C_{11} = 4.1764768 \cdot 10^{-5}$$

$$C_{12} = -1.4452093 \cdot 10^{-8}$$

$$C_{13} = 6.5459673$$

değerlerindedir.

(6.1) ve (6.2)’de p_{ws} basıncı Pa biriminde, T mutlak sıcaklığı ise K birimindedir.

7. NEMLE İLGİLİ TANIMLAR

Özgül nem (W), gözönüne alınan nemli hava içindeki nem kütesinin kuru hava kütesine oranı olup,

$$W = M_w / M_a, \quad (7.1)$$

şeklinde formüle edilir.

Mol oranı (x_i), karışım içindeki i bileşenin mol sayısının (n_i) değerinin, karışımın toplam mol sayısına (n) oranıdır. Kuru havanın mol oranı x_a , subuharının mol oranı x_w ve doymuş hava içindeki subuharının mol oranı x_{ws} değerlerindedir. Mol oranı tanımına göre

$$x_a + x_w = 1 \quad (7.2)$$

değerine eşittir.

Diğer taraftan özgül nem ile mol oranı arasında bir ilişki vardır. Özgül nem, x_w/x_a mol oranının suyun ve havanın mol kütlelerinin oranı olan $18.01528 / 2.9645 = 0.62198$ değeri ile çarpımına eşittir.

$$W = 0.62198 \cdot x_w / x_a \quad (7.3)$$

Nem oranı (q), subuharı kütesinin toplam hava kütesine oranı olup,

$$q = M_w / (M_w + M_a) \quad (7.4)$$

şeklinde formüle edilmektedir. Bu değer özgül nem cinsinden

$$q = W / (1 + W) \quad (7.5)$$

olarak da yazılabilir.

Mutlak nem (d_v), subuharı kütesinin nemli havanın toplam hacmine oranı

$$d_v = M_w / V \quad (7.6)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Nemli havanın yoğunluğu (ρ), karışımın toplam kütesinin, karışımın toplam hacmine oranı olarak

$$\rho = (M_w + M_a) / V = (1 + W) / v \quad (7.7)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklemdeki v , (9.12) eşitliği ile verilen nemli havanın özgül hacmi olup, $m^3 / \text{kg}(\text{kuru hava})$ boyutundadır.

8. DOYMUŞ HAVANIN NEM ile İLGİLİ TANIMLARI

Doymuş havanın özgül nemi $W_s(t,p)$, t sıcaklığında ve p basıncındaki doymuş havanın özgül nemidir.

Doyma derecesi (μ), nemli havanın W özgül neminin aynı sıcaklık ve basınçtaki W_s doymuş havanın özgül nemine oranı olup

$$\mu = W / W_s(t,p) \quad (8.1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Bağıl nem (ϕ), nemli hava içindeki subuharının x_w mol oranının, aynı sıcaklık ve basınçta doymuş havanın x_{ws} mol oranına bölümü olup

$$\phi = x_w / x_{ws}(t,p) \quad (8.2)$$

şeklinde (7.3), (8.1) ve (8.2) bağıntılarının birleştirilmesinden

$$\phi = \mu / (1 - (1 - \mu) \cdot x_{ws}) \quad (8.3)$$

elde edilir.

Çiğ noktası sıcaklığı (t_d), özgül nemi W olan nemli havanın aynı p basıncında, W_s doymuş havanın özgül nemine eşit olması durumunda, doymuş havanın sahip olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. $T_d(p,W)$ çiğ noktası sıcaklığı

$$W_s(p,t_d) = W \quad (8.4)$$

eşitliğinden bulunur.

Termodinamik yaş termometre sıcaklığı (t^*), kuru termometre sıcaklığı t , özgül nemi W olan nemli havayı, sabit basınçta adyabatik olarak t^* sıcaklığında doymuş hale getiren, sıvı veya katı fazda olabilen su sıcaklığı şeklinde tanımlanır. Bu tanım ileride daha geniş olarak açıklanacaktır.

9. KURU ve NEMLİ HAVA İÇİN İDEAL GAZ BAĞINTILARI

Nemli hava, içinde subuharı ve kuru havanın ayrı ayrı ideal gazlar olduğu, bir ideal gaz karışımı kabul edilebilir. Bu durumda

Kuru hava:

$$p_a \cdot V = n_a \cdot R \cdot T \quad (9.1)$$

Subuharı:

$$p_w \cdot V = n_w \cdot R \cdot T \quad (9.2)$$

bağıntılarını yazılabilir. Bu bağıntılarda

p_a = kuru havanın kısmi basıncı

p_w = subuharının kısmi basıncı

V = karışımın toplam hacmi

n_a = kuru havanın mol sayısı

n_w = kuru havanın mol sayısı

$R = 8314.41 \text{ J/(kmol)K}$

T = mutlak sıcaklık, K

anlamlandırılır.

Karışımın da ideal gaz olması kabulü altında

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (9.3)$$

veya

$$(p_a + p_w) \cdot V = (n_a + n_w) \cdot R \cdot T \quad (9.4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntılarda

$p = p_a + p_w$, karışımın toplam basıncı,

$n = n_a + n_w$, karışımın toplam mol sayısı, anlamlandırılır.

(9.1)'den (9.4)'e kadar olan bağıntılar gözönüne alındığında kuru havanın ve subuharının mol oranları sırasıyla

$$x_a = p_a / (p_a + p_w) = p_a / p \quad (9.5)$$

ve

$$x_w = p_w / (p_a + p_w) = p_w / p \quad (9.6)$$

şekillerinde yazılabilmektedir. (7.3), (9.5) ve (9.6) bağıntılarını kullanarak, W bağımlı nemi,

$$W = 0.62198 \cdot p_w / (p - p_w) \quad (9.7)$$

bağıntısı ile verilebilir.

(8.1) bağıntısı ile tanımlanan

$$\mu = W / W_s(t,p)$$

doyma derecesinde, W_s değeri

$$W_s = 0.62198 \cdot p_{ws} / (p - p_{ws}) \quad (9.8)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu bağıntıdaki p_{ws} terimi, verilen bir t sıcaklığında, karışım içinde havanın olmaması durumunda, subuharının doyma basıncını göstermektedir. p_{ws} basıncı sadece sıcaklığın bir fonksiyonu olup, doymuş hava içindeki buhar basıncı ile çok az değişir.

(8.2) bağıntısı ile tanımlanan

$$\phi = x_w / x_{ws}(t,p)$$

bağıl nem eşitliğinde, Denk.(19)'dan x_w ve x_{ws} değerleri konulursa

$$\phi = p_w / p_{ws}(t,p) \quad (9.9)$$

elde edilir. (9.6) bağıntısı, x_{ws} için yazılıp, (8.3) eşitliğine taşınırsa

$$\phi = \mu / (1 - (1 - \mu) \cdot (p_{ws} / p)) \quad (9.10)$$

yazılabilir.

ϕ ve μ değerlerinin her ikisi de, kuru hava için sıfır, doymuş hava için bir değerlerine sahiptir.

Nemli havanın özgül hacmi (v), kuru havanın kütesine göre

$$v = V / M_a = V / 28.945 \cdot n_a \quad (9.11)$$

şeklinde tanımlanır. Bu tanımda V karışımın toplam hacmini, M_a kuru havanın kütesini, n_a ise kuru havanın mol sayısını göstermektedir. $p = p_a + p_w$ olduğu gözönüne alınarak, (9.1) ve (9.11) eşitliklerinden

$$v = R_a \cdot T / (p - p_w) = R_a \cdot T / (28.9645 \cdot (p - p_w)) \quad (9.12)$$

eşitliği yazılabilir. (9.7) bağıntısının kullanılması ile

$$v = R_a \cdot T \cdot (1 + 1.6078 \cdot W) / p = R_a \cdot T \cdot (1 + 1.6078 \cdot W) / (28.9645 \cdot p) \quad (9.13)$$

elde edilir. Bu bağıntılarda v hacmi, T mutlak sıcaklığı (K), p toplam basıncı, p_w subuharının kısmi basıncı, W ise özgül nemi göstermektedir.

Bir ideal gaz karışımının entalpisi, karışımı meydana getiren bileşenlerin kısmi entalpilerinin toplamına eşittir. Bu nedenle nemli havanın entalpisi

$$h = h_a + W \cdot h_g \quad (9.14)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikte h_a kuru havanın entalpisini, h_g ise nemli hava sıcaklığında subuharının entalpisini göstermektedir. Yaklaşık olarak bu entalpiler,

$$h_a = 1.006 \cdot t \text{ (kJ / kg)} \quad (9.15)$$

$$h_g = 2501 + 1.805 \cdot t \text{ (kJ / kg)} \quad (9.16)$$

eşitlikleri ile verilebilir. Bu eşitliklerdeki t ($^{\circ}\text{C}$) havanın kuru termometre sıcaklığıdır.

Sonuç olarak nemli havanın entalpisi,

$$h = 1.006 \cdot t + W \cdot (2501 + 1.805 \cdot t) \quad (9.17)$$

olarak ifade edilebilir.



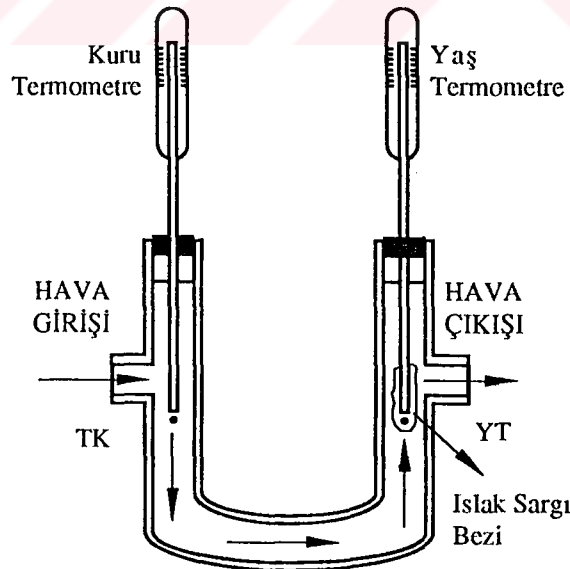
10. TERMODİNAMİK YAŞ TERMOMETRE ve ÇİĞ NOKTASI SICAKLIKLARI

Nemli havanın herhangi bir durumu için t^* ile gösterilebilecek öyle bir sıcaklık değeri vardır ki, bu sıcaklıkta ve basınçtaki sıvı (veya katı) su, gözönüne alınan bu havayı doymuş hale getirir. Bu işlemde havayı doymuş hale getiren su ile hava aynı sıcaklıktadır. İşte bu doyma sıcaklığına termodinamik yaş termometre sıcaklığı adı verilir. Olaydaki basıncın sabit olması durumunda, t^* doyma sıcaklığına bağlı olarak, havanın başlangıçtaki W olan özgül nemi işlem sonunda W_s^* ; başlangıçtaki h entalpisi işlem sonunda h_s^* değerlerine ulaşmaktadır. Bu esnada kuru havanın birim kütesine göre tanımlanmış, havaya ilave edilen nem kütlesi ($W_s^* - W$), bu nemin havaya ilave ettiği enerji miktarı ($W_s^* - W$) . h_w^* değerindedir. Burada h_w^* , t^* sıcaklığında ilave edilen suyun entalpisi anlamındadır. İşlemin adyabatik olması nedeniyle, sabit basınçta enerjinin (entalpinin) korunumu için

$$H + (W_s^* - W) \cdot h_w^* = h_s^* \quad (10.1)$$

bağıntısı yazılabilir.

W_s^* , h_w^* ve h_s^* özellikleri belirli bir basınç için, (10.1) eşitliğini sağlayan t^* , termodinamik yaş termometre sıcaklığının fonksiyonlarıdır. Verilen h , W ve p değerleri için (10.1) eşitliğini sağlayan t^* , termodinamik yaş termometre sıcaklığı olarak adlandırılır.



Şekil 10.1 ¹Psikrometre cihazı

¹ Can A., (1995), "Hava Şartlandırma ve Klima Tekniği", TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi, 20:23.

Psikrometre cihazında iki adet termometre vardır. Bunlardan birisinde, termometrenin haznesinin etrafı ince bir fitil ile kaplı olup, bu fitil su ile ıslatılmaktadır. Bu ıslak hazne hava akımına tabi tutulursa, fitildeki su buharlaşır ve termometrenin sıcaklığını düşürür. Elde edilen bu sıcaklığa, yaş termometre sıcaklığı adı verilir. Bu işlem, termodinamik yaş termometre sıcaklığı ile tanımlanan adyabatik doyma şartını gerçekleştirmez, fakat prensip olarak aynı olup, sistemde aynı zamanda ısı ve kütle geçişi olmaktadır. Bu işlemin temel prensibi Lewis bağıntısı ile açıklanabilmektedir. İyi bir şans eseri, okunan yaş termometre sıcaklığından, termodinamik yaş termometre sıcaklığını elde etmek için çok küçük bir düzeltmeye gerek duyulmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi, gözönüne alınan nemli havanın termodinamik yaş termometre sıcaklığı, ölçme tekniklerinden bağımsız bir özeldir.

(10.1) eşitliği, t^* termodinamik yaş termometre sıcaklığını tam olarak ifade eden bağıntıdır. h için ideal gaz kanunu kullanıldığında

$$h_w^* = 4.186 \cdot t^* \quad (10.2)$$

yaklaşık ifadesinin, (10.1) eşitliğine taşınması, ve buradan özgül nemi çözülmesi halinde,

$$W = ((2501 - 2.381 \cdot t^*) \cdot W_s^* - (t - t^*)) / (2501 + 1.805 \cdot t - 4.186 \cdot t^*) \quad (10.3)$$

elde edilir. Bu eşitlikte t ve t^* sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$) boyutundadır.

Daha önce açıklandığı gibi, nemli havanın çığ noktası sıcaklığı t_d ile W özgül nemi ve p basıncı,

$$W_s(p, t_d) = W \quad (10.4)$$

eşitliğinin çözümü olarak, $t_d(p, W)$ şeklinde verilmiş idi. İdeal gazlar için bu eşitlik,

$$p_{ws}(t_d) = p_w = p \cdot W / (0.62198 + W) \quad (10.5)$$

şekline gelir. Burada p_w nemli hava içindeki subuharının kısmi basıncını, $p_{ws}(t_d)$ ise t_d sıcaklığındaki doymuş hava içindeki subuharının doyma basıncıdır. Doymuş hava içindeki subuharının doyma basınçları, Çizelge 2.2'den veya (6.1) ve (6.2)'den bulunabilir. Çığ noktasının bulunabilmesi için, aşağıda sunulan değişik bir yol da izlenebilir.

Çığ noktası sıcaklıkları için, 0 ila 93°C sıcaklıkları arasında,

$$T_d = C_{14} + C_{15} \cdot \alpha + C_{16} \cdot \alpha^2 + C_{17} \cdot \alpha^3 + C_{18} \cdot (p_w)^{0.1984} \quad (10.6)$$

bağıntısı, 0°C sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda ise

$$t_d = 6.09 + 12.608 \cdot \alpha + 0.4959 \cdot \alpha^2 \quad (10.7)$$

bağıntısı verilebilmektedir. Bu bağıntılarda,

$$t_d = \text{çığ noktası sıcaklığı, } ^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = \ln(p_w) \quad (10.8)$$

p_w = subuharının kısmi basıncı, kPa

$$C_{14} = 6.54$$

$$C_{15} = 14.526$$

$$C_{16} = 0.7389$$

$$C_{17} = 0.09486$$

$$C_{18} = 0.4569$$

anlamlandırılır.



11. NEMLİ HAVA ÖZELİKLERİNİN SAYISAL ÇÖZÜMLERİ

Bu kısımda, ideal gaz kanunları kullanılarak nemli havanın çeşitli özelliklerinin bulunabilmesi için gerekli olan, daha önce sunulmuş bulunan çizelge ve denklemler özet halinde verilecektir. Bu bağıntılar iklimlendirme problemlerinin çözümü için yeterli hassasiyettedir ve bunlar kolaylıkla bilgisayar programlarına uygulanabilir. Grafik yöntemler ise ayrıca psikrometrik diyagram incelenirken verilecektir.

**Durum 1. Verilenler: Kuru termometre sıcaklığı, t
Yaş termometre sıcaklığı, t^*
Basınç, p**

Özellik	Kullanılan bağıntı	Açıklama
$p_{ws}(t^*)$	Çizelge 2.2, (6.1) ve (6.2)	t^* için doyma basıncı
W_s^*	(9.8) bağıntısı	$p_{ws}(t^*)$ kullanılarak
W	(10.3) bağıntısı	
$p_{ws}(t)$	Çizelge 2.2, (6.1) ve (6.2)	t için doyma basıncı
W	(9.8) bağıntısı	$p_{ws}(t)$ kullanılarak
μ	(8.1) bağıntısı	W_s kullanılarak
ϕ	(9.10) bağıntısı	
v	(9.13) bağıntısı	
h	(9.17) bağıntısı	
p	(10.5) bağıntısı	
t_d	Çizelge 2.2, (10.5), (10.6), (10.7)	

Durum 2. Verilenler: Kuru termometre sıcaklığı, t
Çiğ noktası sıcaklığı, t*
Basınç, p

Özelik	Kullanılan bağıntı	Açıklama
$p_w = p_{ws}(t_d)$	Çizelge 2.2 ,(6.1) ve (6.2)	t_d için doyma basıncı
W	(9.7) bağıntısı	
$p_{ws}(t)$	Çizelge 2.2, (6.1) ve (6.2)	t için doyma basıncı
W_s	(9.8) bağıntısı	$p_{ws}(t)$ kullanılarak
μ	(8.1) bağıntısı	W_s kullanılarak
ϕ	(9.10) bağıntısı	
v	(9.13) bağıntısı	
h	(9.17) bağıntısı	
t*	Çizelge 2.2, (9.8) ve (10.3)veya (6.1) ve (6.2)	

Durum 3. Verilenler: Kuru termometre sıcaklığı, t
Bağıl nem, ϕ
Basınç, p

Özelik	Kullanılan bağıntı	Açıklama
$p_{ws}(t)$	Çizelge 2.2 ,(6.1) ve (6.2)	t için doyma basıncı
p_w	(9.9) bağıntısı	
W	(9.7) bağıntısı	
W_s	(9.8) bağıntısı	$p_{ws}(t)$ kullanılarak
μ	(8.1) bağıntısı	W_s kullanılarak
v	(9.13) bağıntısı	
h	(9.17) bağıntısı	
t_d	Çizelge 2.2, (10.5), (10.6), (10.7)	
t*	Çizelge 2.2, (9.8) ve (10.3)veya (6.1) ve (6.2)	Deneme yanılma veya sayısal çözüm gerekli

12. W_s ve ϕ DEĞERLERİNİN TAM HESABI İÇİN BAĞINTILAR

Yoğuşma esnasında açığa çıkan gazların, basıncın ve nemin doğrudan kendisinin iç moleküler kuvvetlerinin etkisi nedeniyle, hassas hesaplar için (21) ve (23)'de verilen bağıntılarda, aşağıdaki düzeltmeleri yapmak gerekmektedir.

$$W_s = 0.62198 \cdot f_s \cdot p_{ws} / (p - f_s \cdot p_{ws}) \quad (12.1)$$

$$\phi = 1 / (1 - (1 - \mu) \cdot (f_s \cdot p_{ws} / p)) \quad (12.2)$$

Bazı basınç ve sıcaklıklar için f_s düzeltme katsayıları ve bu katsayılara ait tahmin edilen maksimum belirsizlik (TEMB) değerleri Çizelge 12.1'de verilmiştir.

Çizelge 12.1 ¹Bazı basınç ve sıcaklıklarda f_s değerleri ile bu değerlere ait tahmin edilen maksimum belirsizlikler (TEMB).

T (K)	0.1 MPa		0.5 MPa		1 MPa	
	f_s	TEMB.10 ⁴	f_s	TEMB.10 ⁴	f_s	TEMB.10 ⁴
173.15	1.0105	134	1.054	66	1.11	136
273.15	1.0039	2	1.018	10	1.04	19
373.15	1.0039	0.1	1.018	4	1.03	11

¹ Genceli O.F., (1997), ASHRAE Temel El Kitabı Bölüm 6 Psikrometri, (Çev. O.F. Genceli), İ.T.Ü.

13. STANDART BASINÇTA NEMLİ HAVANIN ÖZELİK TABLOLARI

Standart atmosferik basınçta (101.325 kPa) ve –60 ila 90 °C sıcaklıklar için havaya ait termodinamik özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir. μ doyma derecesinin çeşitli değerleri için havaya ait termodinamik özellikler

Hacim:

$$v = v_a + \mu \cdot v_{as} \quad (13.1)$$

Entalpi:

$$h = h_a + \mu \cdot h_{as} \quad (13.2)$$

Entropi:

$$s = s_a + \mu \cdot s_{as} \quad (13.3)$$

bağıntılarından hesaplanabilir. Bu denklemler sıcaklığın 70 °C değerine kadar hassasiyetle kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklıklarda önemli derecede hatalar oluşabilir.



14. PSİKROMETRİK DİYAGRAM UYGULAMALARI

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.

ASHRAE'nin hazırlamış olduğu 1, 2, 3 ve 4 numaralı diyagramlarda, atmosfer basıncı standart deniz seviyesindeki basınç olarak 101.325 kPa alınmaktadır. 5 numaralı diyagram, deniz seviyesinden 750m (92.66 kPa) yükseklik, 6 numaralı diyagram ise 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 ila 50 °C (normal sıcaklıklar)

2 nolu diyagram –40 ila 10 °C (düşük sıcaklıklar)

3 nolu diyagram 10 ila 120 °C (yüksek sıcaklıklar)

4 nolu diyagram 100 ila 120 °C (çok yüksek sıcaklıklar) kuru termometre sıcaklıklarına göre düzenlemiştir.

Bu diyagramlarda verilen basınçların dışındaki atmosferik basınçlarda enterpolasyon yapmak gerekmektedir. İstenirse ideal gaz bağıntıları kısmında açıklanan denklemler kullanılarak, daha hassas değerler elde edilebilir.

Bütün bu diyagramların karşılaştırılması ile aşağıdaki hususlar tespit edilebilir.

1. Verilen yaş ve kuru termometre sıcaklıkları çifti için özgül nem ve entalpi deniz seviyesinden olan yükseklikle artarken, bağıl nem çok az değişir.
2. Verilen 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 tabloda deniz seviyesindeki (1 nolu diyagram) özellikler ile deniz seviyesinden 1500 m (6 nolu diyagram) yükseklikteki özelliklerin bir karşılaştırılması görülmektedir.

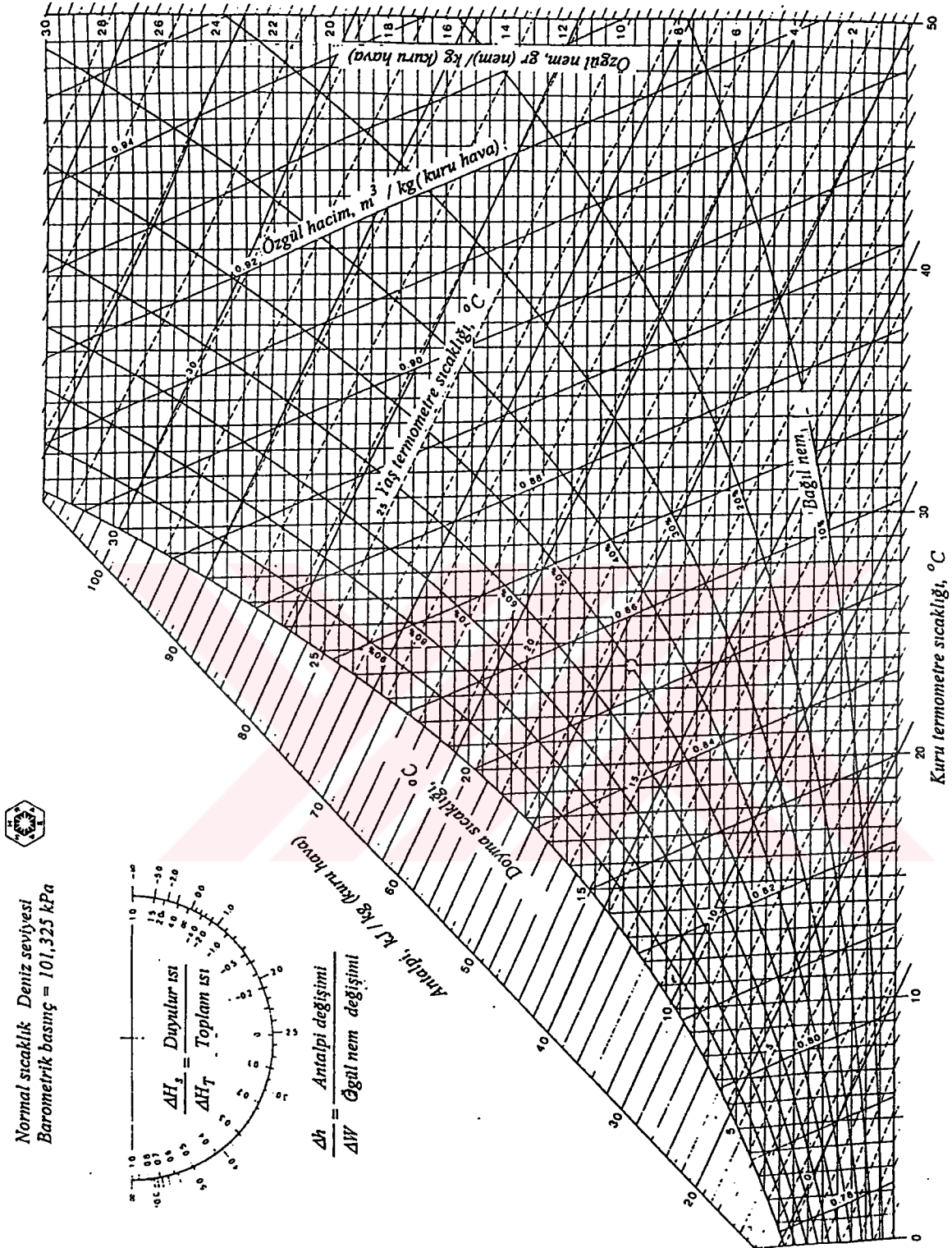
Çizelge 14.1 ASHRAE 1 ve 6 nolu psikrometrik diyagramların karşılaştırılması

No	t (kuru)	t (yaş)	h (kJ/kg)	W (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. Bu diyagramlar hazırlanırken, havaya ait özellikler Çizelge 2.1'den alınmıştır.

ASHRAE'nin hazırlamış olduğu, 1 nolu psikrometrik diyagram, Şekil 14.1'de 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 g(nem)/kg(kuru hava) arasında değişmektedir. Sabit entalpi değişimleri ise eğik olarak birbirine paralel doğrular şeklinde 1 kJ/kg(kuru hava) aralıklarla belirtilmiş olarak görülmektedir.

Kuru termometre sıcaklıkları düz doğrular halinde olmasına rağmen, birbirlerine tam olarak paralel değildir ve dik durumdan hafifçe sapmaktadır. Termodinamik yaş termometre sıcaklıkları ise entalpi doğrularından biraz farklı olarak eğik doğrular halinde olmasına rağmen, birbirlerine tam olarak paralel değildir ve dik durumdan hafifçe sapmaktadır. Termodinamik yaş termometre sıcaklıkları ise entalpi doğrularından biraz farklı olarak eğik durumlar halinde görülmektedir. Kuru termometre sıcaklıkları ile termodinamik yaş termometre sıcaklıkları doyma eğrisi ($\phi = 1$) üzerinde aynı değere sahiptir. Yaş termometre değişimleri de tam olarak doğru olmasına rağmen birbirlerine paralel değildir. Diyagramda hem yaş hem de kuru termometre sıcaklıkları 1 °C aralıkla belirtilmiştir.



Şekil 14.¹ Psikrometrik diyagram (1 Nolu ASHRAE diyagramı)

¹ Genceli O.F., (1997), ASHRAE Temel El Kitabı Bölüm 6 Psikrometri, (Çev. O.F. Genceli), İ.T.Ü.

Bağıl nem (ϕ) eğrileri, bu diyagramda 10 % aralıkla çizilmiştir. Doyma eğrisi 100 % bağıl neme karşı gelirken, $W = 0$ yatay doğrusu 0 % kuru havaya karşı gelmektedir.

Özgül hacim doğruları düz olmalarına rağmen, bunlar da birbirlerine tam olarak paralel değildir. Bunlar diyagramda $0.01 \text{ m}^3/\text{kg}$ (kuru hava) hassasiyetle belirtilmiştir.

Doyma eğrisinin yukarısında 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 ısı 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.

Örnek 1: Kuru Termometre sıcaklığı $40 \text{ }^\circ\text{C}$, termodinamik yaş termometre sıcaklığı $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ve atmosfer basıncının 101.325 kPa olduğu bir ortamdaki nemli havanın özgül nemini, entalpisini, çığ noktası sıcaklığını, bağıl nemini, ve özgül hacmini bulunuz.

Çözüm: $40 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki kuru termometre doğrusu ile, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki yaş termometre doğrusunun kesim noktasından, istenen termodinamik özellikler gerektiğinde enterpolasyon yapılarak aşağıdaki şekilde bulunabilir.

Özgül nem: $W = 6.5 \text{ g(nem)/kg(kuru hava)}$

Entalpi: $h = 56.7 \text{ kJ/kg(kuru hava)}$

Bağıl nem: $\phi = 14 \%$

Çığ noktası: $t_d = 7 \text{ }^\circ\text{C}$

Özgül hacim: $v = 0.896 \text{ m}^3/\text{kg(kuru hava)}$.

Psikrometrik Değerler

Kuru Termometre Sıcaklığı
40 °C

Çiğ Noktası Sıcaklığı
7.6 °C

Yaş Termometre Sıcaklığı
20 °C

Entalpi
56.9 kJ/kg-air

Mutlak Nem
0.00646 kg-water/kg-air

Bağıl Nem
14.1 %

Özgül Hacim
0.8964 m³/kg-air

Doyma Derecesi
0.14


Doyma Basıncı
1.042 kPa

Verilen Değerler

Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)
40

Toplam Basıncı (kPa)
101.325

Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)
20



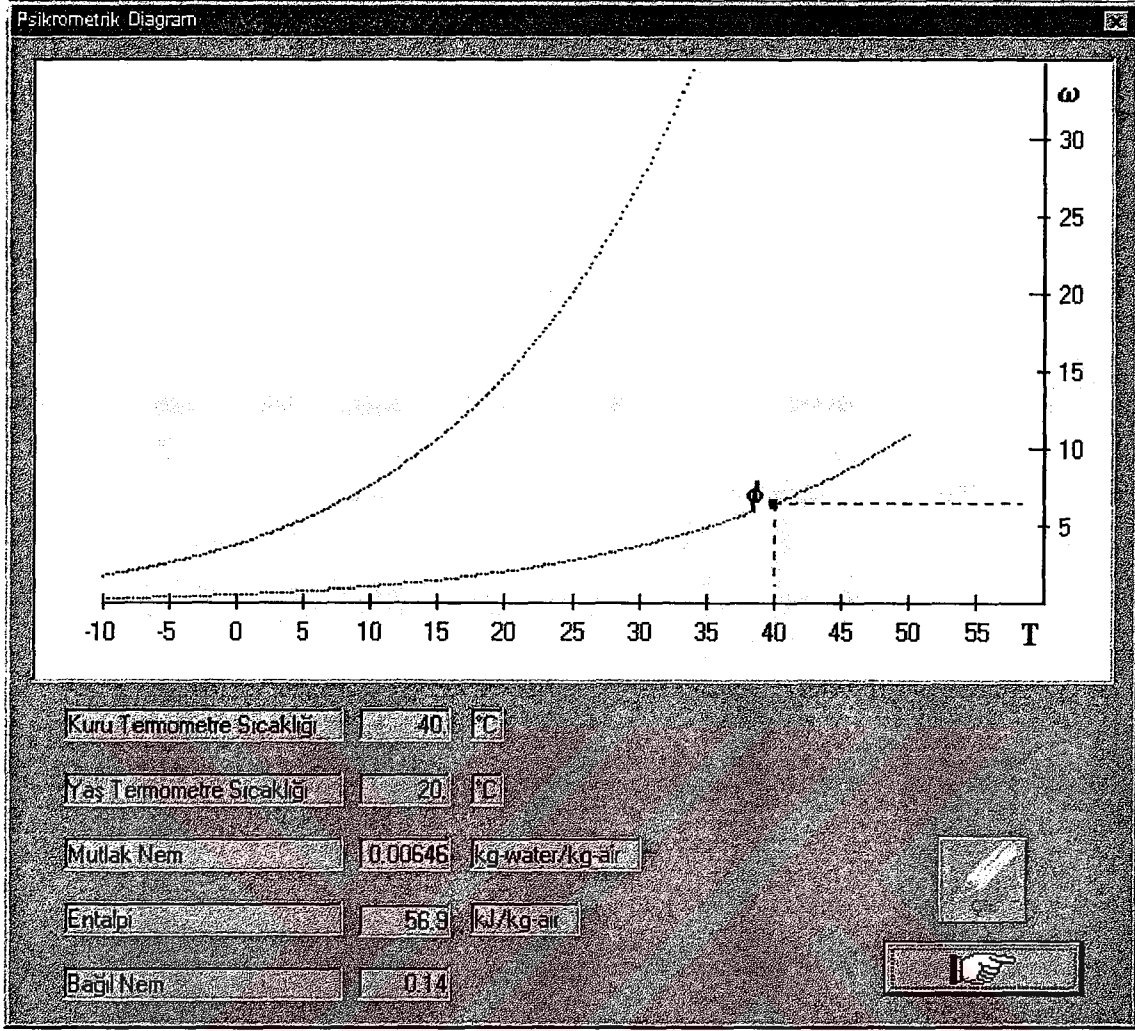
Hesapla

Çiz

Temizle

Çıkış

Şekil 14.2 Örnek 1'in psikrometrik diyagram programı ile bulunan sonuçları

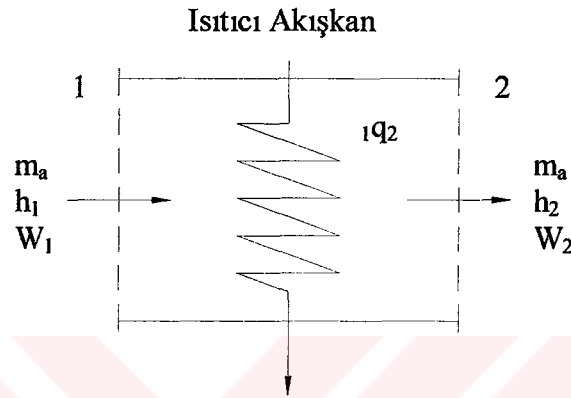


Şekil 14.3 Örnek 1'in psikrometrik diyagramda gösterilişi

15. BAZI TİPİK İKLİMLENDİRME İŞLEMLERİ

Nemli hava ile ilgili birçok problem, psikrometrik diyagram kullanılarak kolayca çözülebilir. Bu konu aşağıdaki tipik örnekler ile kolayca açıklanabilir. Burada verilen örneklerin hepsinde standart atmosfer basıncı, 101.325 kPa olarak gözönüne alınmıştır.

15.1. Nemli Havanın Duyulur Isıtılması



Şekil 15.1 Nemli havanın duyulur olarak ısıtılması

Özgül nemin sabit olması nedeniyle, nemli havaya duyulur ısı ilave etme işlemi, psikrometrik diyagramda, soldan sağa doğru giden yatay bir doğru ile belirlenir.

Şekil 15.1'de nemli havaya duyulur ısı verilmesi şematik olarak gösterilmektedir. Daimi rejimde sisteme verilen ısı

$$1q_2 = m_a \cdot (h_2 - h_1) \quad (15.1)$$

şeklinde formüle edilebilir.

Örnek 2: 3000 m³/h debisinde, 2 °C sıcaklıktaki doymuş hava ısıtıcı bir serpantin yardımı ile 40 °C sıcaklığına kadar duyulur olarak ısıtılmaktadır. Serpantine verilmesi gereken ısı miktarını bulunuz.

Çözüm: Problemin psikrometrik diyagram programındaki çözümü Şekil 15.3'de görülmektedir. 1 şartlarında 2 °C sıcaklıkta ısıtıcı serpantine giren havanın,

entalpisi: $h_1 = 12.5$ kJ/kg(kuru hava),

özgül nemi: $W_1 = 4.25$ g(nem)/kg(kuru hava)

özgül hacmi: $v_1 = 0.785$ m³/kg(kuru hava)

değerlerindedir. Sistemdeki kuru hava miktarı

$$m_a = 3000 / 0.785 = 3822 \text{ kg(kuru hava)/h}$$

olduğundan, Denk.(40)'dan

$$i_{q2} = 3822 \cdot (51.4 - 12.5) = 148676 \text{ kJ/h} = 41.3 \text{ kW}$$

elde edilir.

Isıtıcı Batarya Kapasitesi

Kuru Termometre Sıcaklığı: 40 °C

Çiğ Noktası Sıcaklığı: 2 °C

Yağ Termometre Sıcaklığı: 18.4 °C

Britajı: 51.5 kJ/kg-air

Mutlak Nem: 0.00436 kg-water/kg-air

Bağıl Nem: 9.6 %

Özgül Hacim: 0.8934 m³/kg-air

Doyma Derecesi: 0.09

Doyma Basıncı: 0.705 kPa

Isıtıcı Batarya Kapasitesi: 40.93 kW

Kütleli Debi: 3821.66 kg/h

Hacimsel Debi ve Atmosferik Basıncı

Hacimsel Debi: 3000 m³/h

Toplam Basıncı (kPa): 101.325

Giriş

Kuru Termometre Sıcaklığı (°C): 2

Bağıl Nem (%): 100

Çıkış

Kuru Termometre Sıcaklığı (°C): 40

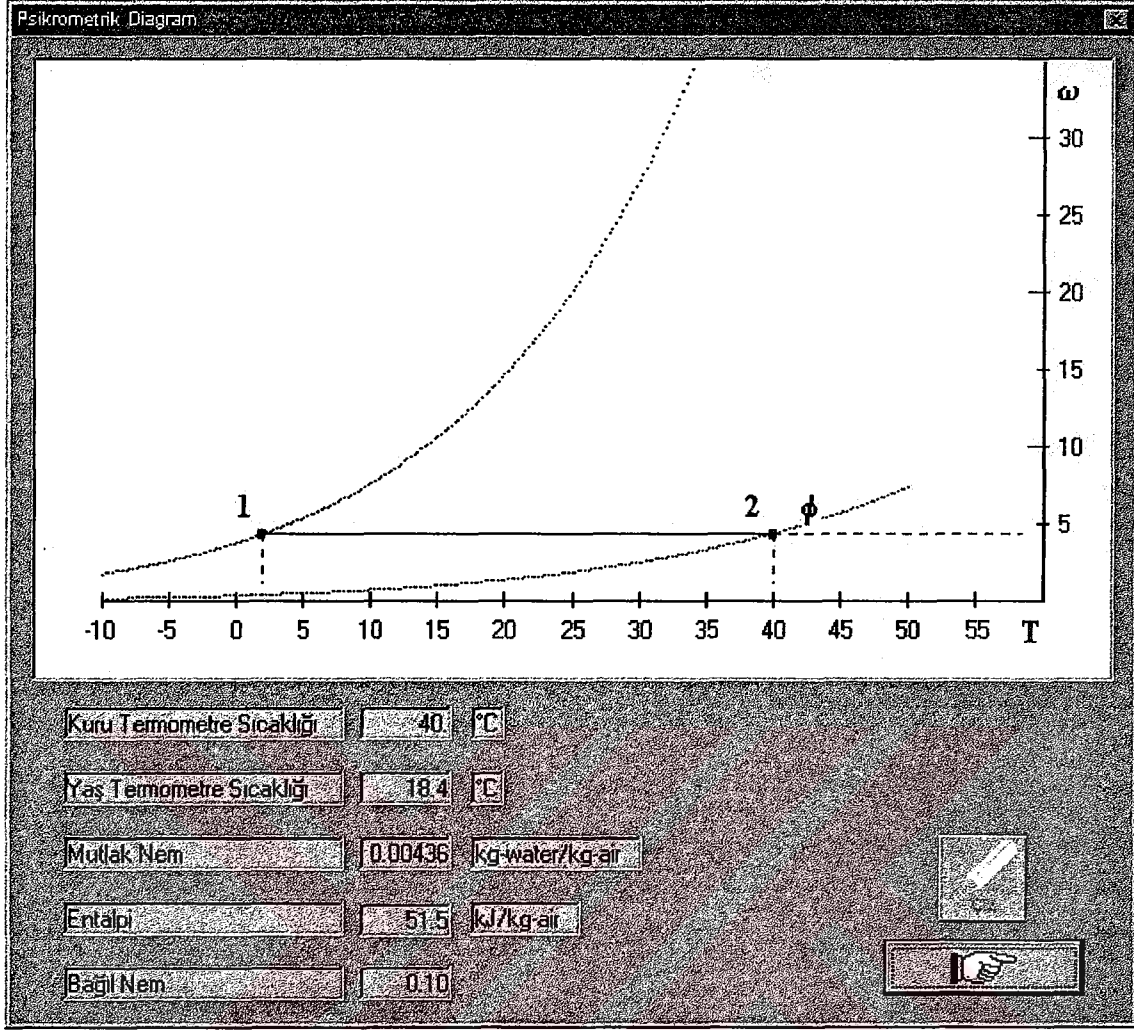
İkinci Adım

Çiz

Temizle

Çıkış

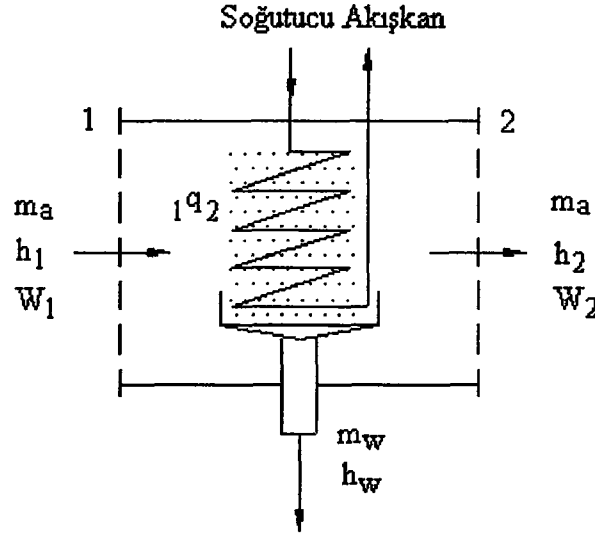
Şekil 15.2 Örnek 2'nin psikrometrik diyagram programı ile bulunan sonuçları



Şekil 15.3 Örnek 2'nin psikrometrik diyagramda gösterilişi

15.2. Nemli Havanın Soğutulması

Nemli hava, başlangıçtaki çığ noktasının altındaki bir sıcaklığa soğutulduğunda, içindeki nem sıvı fazında bu havadan ayrılır. Soğutucu bir serpantin ile nemli havanın çığ noktası altındaki bir serpantin ile nemli havanın çığ noktası sıcaklığı ile son sıcaklık olan doyma noktası sıcaklığı arasında bir miktar değişmesine rağmen, sistemden damlalar halinde yoğuşarak ayrılan suyun sıcaklığı, havanın sistemi terk ettiği t_2 sıcaklığı olarak kabul edilir.



Şekil 15.4 Nemli havanın çığ noktası altındaki bir sıcaklıkta soğutulması

Şekil 15.4'de enerji ve kütle dengeleri için,

$$m_a \cdot h_1 = m_a \cdot h_2 + 1q_2 + m_w \cdot h_w \quad (15.2)$$

$$m_a \cdot W_1 = m_a \cdot W_2 + m_w \quad (15.3)$$

bağıntıları yazılabilir. Bu bağıntılardan da

$$m_w = m_a \cdot (W_1 + W_2) \quad (15.4)$$

$$1q_2 = m_a \cdot [(h_1 - h_2) - (W_1 - W_2) \cdot h_w] \quad (15.5)$$

eşitlikleri bulunabilir.

Örnek 3: 17000 m³/h debisinde, 50 % bağıl neminde ve 30 °C kuru termometre sıcaklığındaki nemli hava, 10 °C sıcaklığında doymuş hale getirilene kadar bir soğutucu serpantin üzerinden geçiriliyor. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için gerekli olan soğutma kapasitesini bulunuz.

Çözüm: Problemin psikrometrik diyagram programındaki çözümü Şekil 15.6'da görülmektedir. 1 şartlarında 30 °C sıcaklıkta ve $\phi = 50$ % bağıl neminde, soğutucu serpantine giren havanın,

entalpisi: $h_1 = 64.3$ kJ/kg(kuru hava),

özgül nemi: $W_1 = 13.3$ g(nem)/kg(kuru hava),

özgül hacmi: $v_1 = 0.877$ m³/kg(kuru hava)

değerlerindedir. 2 şartlarında 10 °C sıcaklıkta soğutucu serpantinden çıkan doymuş havanın,

entalpisi: $h_2 = 29.5$ kJ/kg(kuru hava),

özgül nemi: $W_2 = 7.6 \text{ kg(nem)/kg(kuru hava)}$

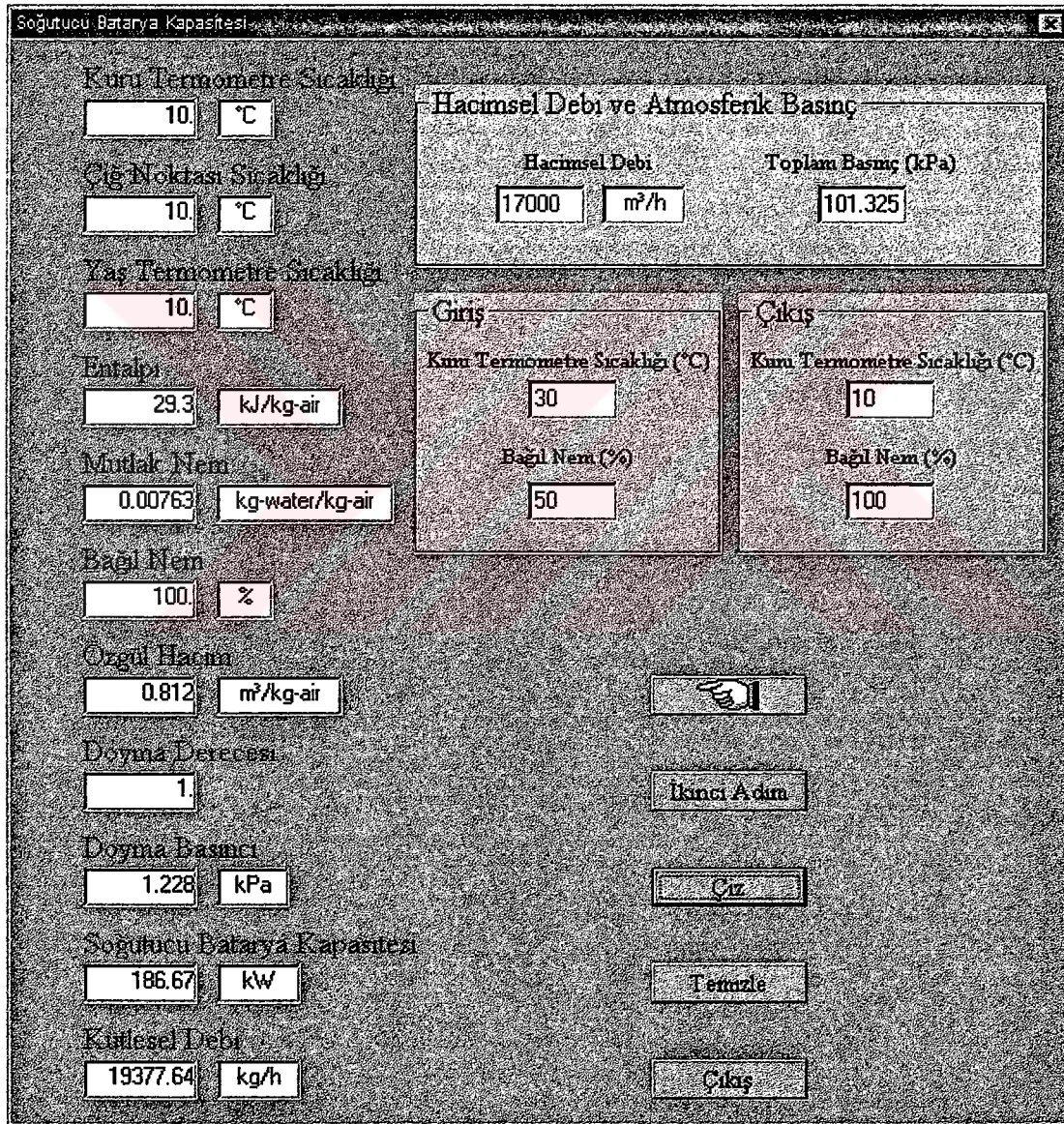
değerlerindedir. Çizelge 1 yardımıyla sistemi terkeden yoğuşmuş suyun entalpisi $h_{w2} = 42.01 \text{ kJ/kg(su)}$ olarak bulunabilir. Sistemdeki kuru hava miktarı

$$m_a = 17000 / 0.877 = 19384 \text{ kg(kuru hava) / h}$$

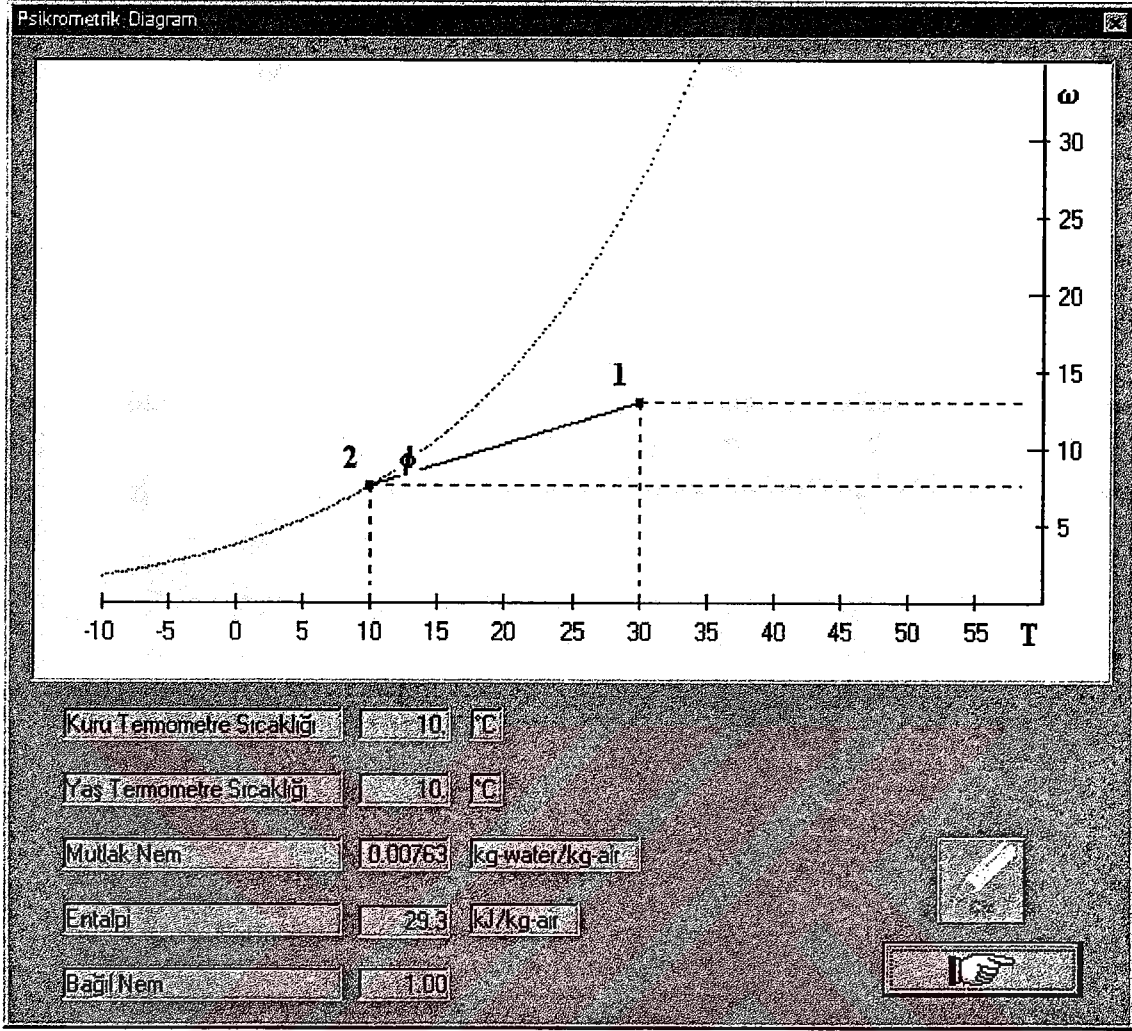
olduğundan, Denk.(42)'den

$$i_{q2} = 19384 \cdot [(64.3 - 29.5) - (0.0133 - 0.0076) \cdot 42.01] = 675 \text{ MJ/h} = 187 \text{ kW}$$

elde edilir.



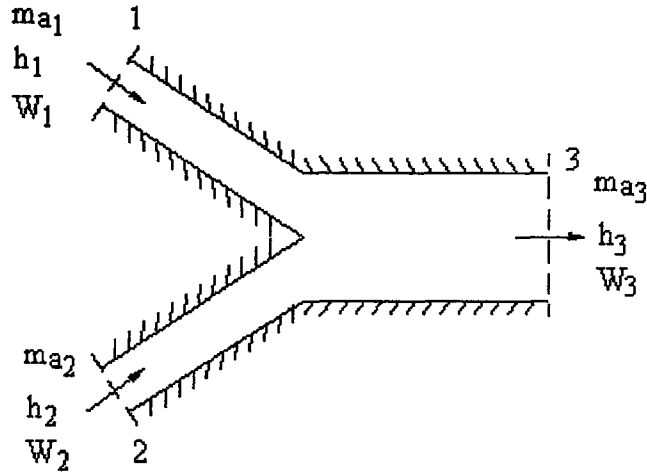
Şekil 15.5 Örnek 3'ün psikrometrik diyagram programı ile bulunan sonuçları



Şekil 15.6 Örnek 3'ün psikrometrik diyagramda gösterilişi

15.3. İki Nemli Havanın Adyabatik Karışımı

İklimlendirme sistemlerinde çok karşılaşılan bir olay, farklı iki özellikteki nemli havanın adyabatik karıştırılmasıdır. Şekil 15.7 bu olayı şematik olarak açıklamaktadır. Adyabatik karışım olayında aşağıdaki üç temel denklem yazılabilir.



Şekil 15.7 Farklı şartlarda iki nemli havanın adyabatik karıştırılma işlemi

$$m_{a1} \cdot h_1 + m_{a2} \cdot h_2 = m_{a3} \cdot h_3 \quad (15.6)$$

$$m_{a1} + m_{a2} = m_{a3} \quad (15.7)$$

$$m_{a1} \cdot W_1 + m_{a2} \cdot W_2 = m_{a3} \cdot W_3 \quad (15.8)$$

Bu denklemlerde, karışımdan sonraki havanın kütleli debisini gösteren m_{a3} teriminin yok edilmesi halinde

$$(h_2 - h_3) / (h_3 - h_1) = (W_2 - W_3) / (W_3 - W_1) = m_{a1} / m_{a2} \quad (15.9)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu bağıntıya göre iki nemli havanın adyabatik karıştırma işlemi sonunda elde edilen nokta, psikrometrik diyagramda, bu noktaları birleştirerek elde edilen doğru parçasının, iki havanın kütleli debilerinin oranlanması yardımı ile bu doğru parçası üzerinde kolayca bulunabilir.

Örnek 4: 8000 m³/h debisinde, 3 °C kuru termometre ve 2 °C termodinamik yaş termometre sıcaklığındaki dış hava ile 25000 m³/h debisinde, 25 °C kuru termometre ve 50 % bağıl nemindeki iç hava adyabatik olarak karıştırılmaktadır. Karışım havasının kuru termometre ve termodinamik yaş termometre sıcaklıklarını bulunuz.

Çözüm: Problemin psikrometrik diyagram programındaki çözümü Şekil 15.9'da görülmektedir. Bu diyagramda 1 ve 2 şartlarındaki nemli havanın özgül hacimleri sırasıyla

$$v_1 = 0.789 \text{ m}^3/\text{kg}(\text{kuru hava})$$

$$v_2 = 0.858 \text{ m}^3/\text{kg}(\text{kuru hava})$$

olduğundan, kütleli debiler için

$$m_{a1} = 8000 / 0.789 = 10140 \text{ kg}(\text{kuru hava})/\text{h}$$

$$m_{a1} = 25000 / 0.858 = 29140 \text{ kg(kuru hava)/h}$$

yazılabilir. (15.9) bağıntısı yardımı ile

$$|32| / |13| = m_{a1} / m_{a2} \quad (15.10)$$

veya

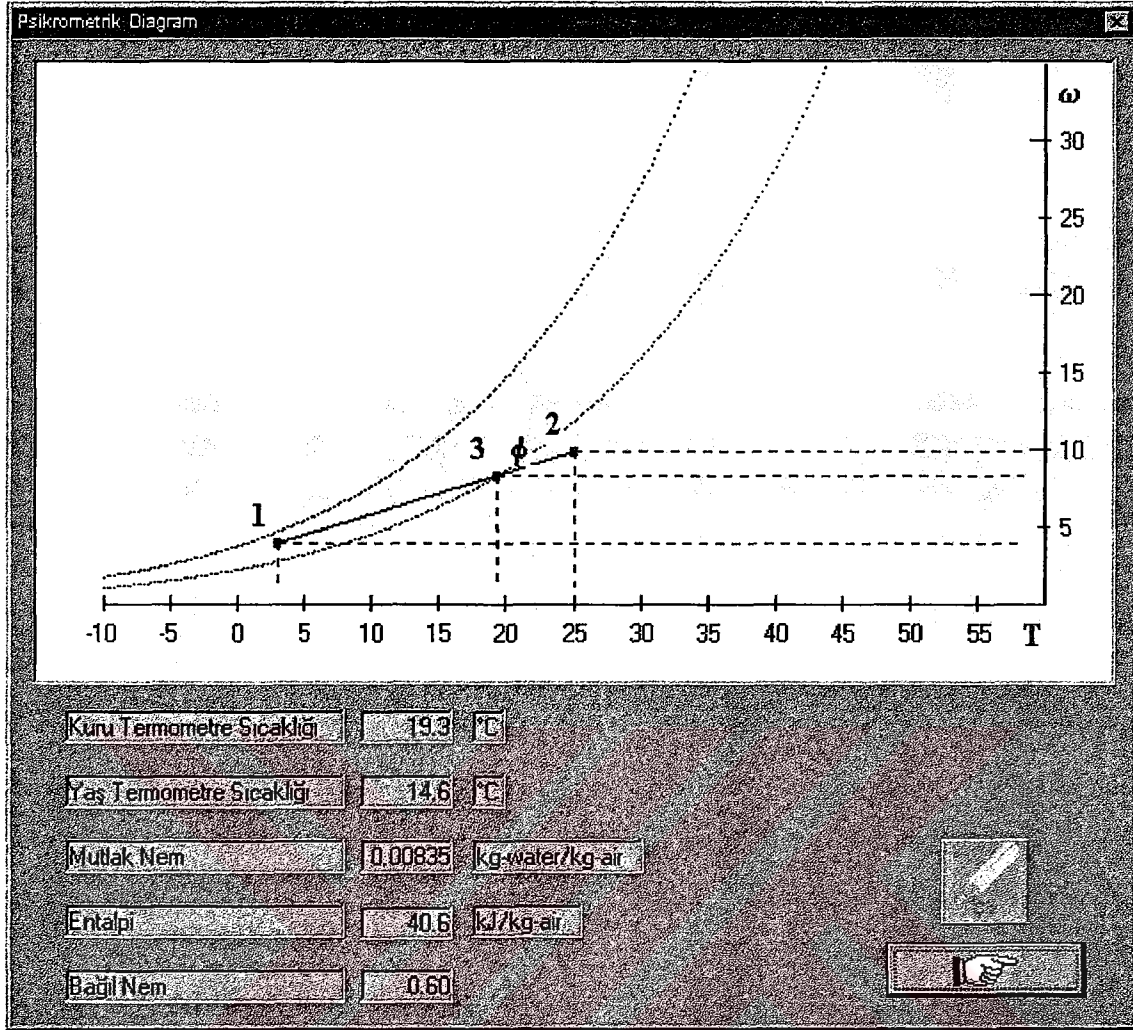
$$|13| \text{ doğrusu} / |12| \text{ doğrusu} = m_{a2} / m_{a3} = 29140 / 39280 = 0.742$$

elde edilir. Psikrometrik diyagramdaki |12| doğrusu, bir cetvel ile yukarıda verilen oranı gerçekleştirecek şekilde bölünürse, karışımı gösteren 3 noktası kolayca tespit edilebilir. Bu noktaya ait kuru termometre sıcaklığı $t_3 = 19.5 \text{ }^\circ\text{C}$, termodinamik yaş termometre sıcaklığı ise $t^* = 14.6 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunur.

The screenshot shows a software interface for psychrometric calculations. The window title is "Karışım Hava Sı Değerleri". The interface is divided into several sections:

- Inputs (Left Column):**
 - Kuru Termometre Sıcaklığı: 19.3 °C
 - Çiğ Noktası Sıcaklığı: 11.4 °C
 - Yaş Termometre Sıcaklığı: 14.6 °C
 - Entalpi: 40.6 kJ/kg-air
 - Mutlak Nem: 0.00835 kg-water/kg-air
 - Bağıl Nem: 59.7 %
 - Ozgül Hacim: 0.8398 m³/kg-air
 - Doyma Derecesi: 0.59
 - Doyma Basıncı: 1.345 kPa
 - Karışım Hacimsel Debisi: 33000 m³/h
 - Karışım Kütleli Debisi: 39292.05 kg/h
- Hacimsel Debi ve Atmosferik Basıncı (Top Right):**
 - Hacimsel Debi (1): 8000 m³/h
 - Hacimsel Debi (2): 25000 m³/h
 - Toplam Basıncı (kPa): 101.325
- A Şartı (Bottom Left):**
 - Kuru Termometre Sıcaklığı (°C): 3
 - Yaş Termometre Sıcaklığı (°C): 2
- B Şartı (Bottom Right):**
 - Kuru Termometre Sıcaklığı (°C): 25
 - Bağıl Nem (%): 50
- Buttons (Bottom Right):**
 - İkinci A dım
 - Çiz
 - Temizle
 - Çıkış

Şekil 15.8 Örnek 4'ün psikrometrik diyagram programı ile bulunan sonuçları



Şekil 15.9 Örnek 4'ün psikrometrik diyagramda gösterilişi

16. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Programın kurulması aşamasında şu hususlara dikkat edilmesi tavsiye edilir.

1. Program ekler bölümünde iki disket halinde sunulmaktadır. Birinci disketten setup çalıştırılarak kurulmaktadır. İstendiği takdirde program Control Panel menüsünde Add/Remove Programs bölümünden kaldırılabilir.
2. Program menüleri Türkçe ve İngilizce olmak üzere iki dil için yapılmıştır. Bunun dışında program SI birim sistemi ve İngiliz birim sistemi için ayrı ayrı olarak hesaplama yapabilmektedir.
3. Program içerisinde ondalık sayıları ayırmak için nokta kullanılmıştır. Bu yüzden Windows 95 Control Panel menüsünde Regional Settings bölümünde ondalık sayıları göstermek için nokta seçilmiş olmasına önem gösterilmelidir. Aksi takdirde program verileri yanlış elde edilecektir.
4. Programı kullanırken mümkün mertebe $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ila $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuru termometre sıcaklıkları dışına çıkılmamalı, mutlak nem miktarı verilirken kg(subuharı)/kg(kuru hava) birimi ile giriş yapılmalı ve diyagram dışına çıkılmamalıdır. Bu gibi durumlara dikkat edilmemesi halinde program sonsuz döngüye girerek kilitlenebilir.
5. Programdan henüz bir printer çıktısı alınmamaktadır. Bu eksik taraflarından bir tanesidir.
6. Elde edilen sonuçlar psikrometri ile ilgili diğer programlar tarafından kontrol edilmiştir. Örneğin Yunus A. Çengel ve Michael A. Boles tarafından yapılan bir programla sonuçlar birbirine çok yakındır.

KAYNAKLAR

ASHRAE, (1985), "Brochure on Psychrometry", ASHRAE, New York.

Can A., (1995), "Hava Şartlandırma ve Klima Tekniği", TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi, 20:23.

Çengel Y.A., Boles M.A., (1996), Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, (Çev. T. Derbentli), İstanbul.

Genceli O.F., (1997), ASHRAE Temel El Kitabı Bölüm 6 Psikrometri, (Çev. O.F. Genceli), İ.T.Ü.

Incropera F.P., DeWitt D.P., (1996), Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley&Sons, USA.



EKLER

Ek 1 Psikrometrik Diyagram Bilgisayar Programı (Arka Kapakta İki Adet Disket)



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	10.02.1973	
Doğum yeri	Çorlu	
Lise	1987-1991	Haydarpaşa Anadolu Teknik Lisesi
Lisans	1992-1996	Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı
Çalıştığı Kurum	1996-Devam ediyor	Sönmez Metal End. ve Tic. A.Ş. Klima Santrali Montaj Şefi

