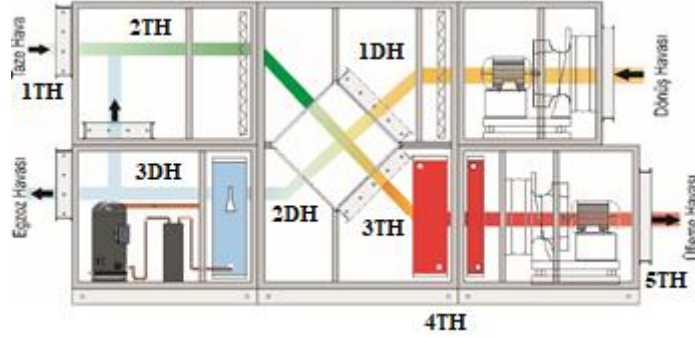
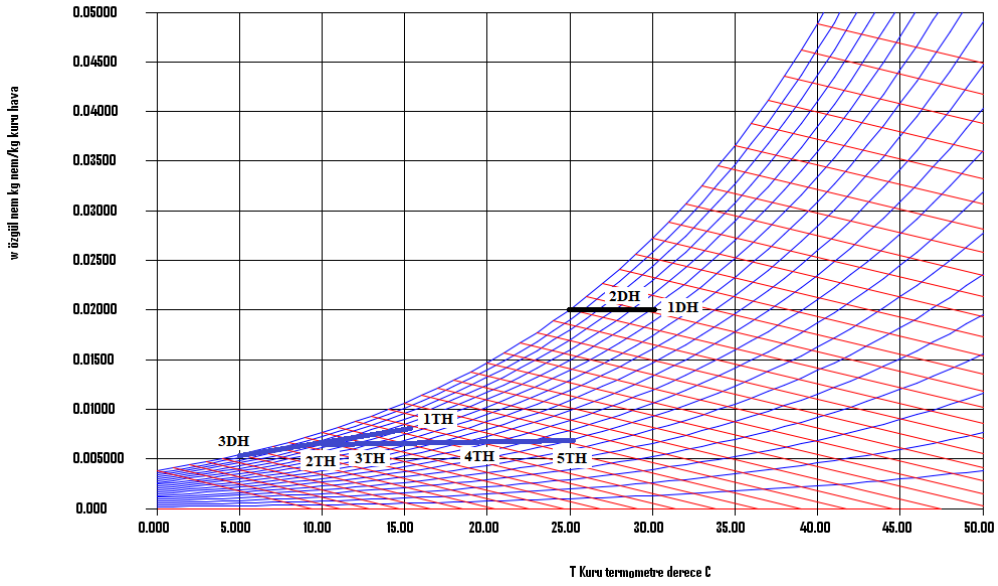


İKLİMLENDİRME PROSESLERİ



psikometrik diyagram 1.01325 bar



Dr. M. Turhan ÇOBAN
EGE ÜNİVERSİTESİ
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği
Bornova, İZMİR, TURKEY

1. NEMLİ HAVANIN (SU BUHARI- KURU HAVA KARIŞIMI) TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Kuru hava ve su buharı için gerekli olan hal denklemlerini EK 1.(ideal gaz) Ve EK 2(Gerçek gaz) olarak verdik. Bunları ekte vermemizin sebebi benli havanın özelliklerini hesaplamak yerine sadece kullanmayı tercih edecek okuyucularımızı sıkmamak içindir. Nemli hava temel olarak kuru hava ile su buharının karışımı olarak düşünülebilir. Kuru hava aslında tek bir gaz olmayıp bir gaz karışımıdır. Ancak buradaki hesaplarımızda tek bir gaz gibi göz önüne alacağız ve su buharı ile karışımındaki temel enerji ilişkilerini irdedeceğiz. Göze almamız gereken en temel özellik elbetteki nemli havanın içinde mevcut bulunan kuru hava kütesidir. Temel olarak bunu değişken A ile göstereceğiz birimi (kg kuru hava/kg nemli hava) şeklinde ifade edebiliriz. Bu durumda karışımındaki su buharı kütleli (1-A) kg su buharı/kg nemli hava olur. Aynı değişkenin değişik bir şekilde verilmesi, su buharı kütleli kuru hava kütleli oranı (kg su buharı/kg kuru hava) özgül nem olarak adlandırılır.

$$w = \frac{m_{su\ buharı}}{m_{kuru\ hava}} = \frac{1-A}{A} \quad (1-1) \text{ veya}$$

$$A = \frac{1}{w+1} = \frac{m_{kuru\ hava}}{m_{nemli\ hava}} \quad (1-2)$$

Nemli havanın molar oranı da A veya w cinsinden hesaplanabilir.

$$x_A = \frac{A(M_W/M_A)}{1-A[1-(M_W/M_A)]} = \frac{kmol\ kuru\ hava}{kmol\ yaş\ hava} \quad (1-3)$$

Buradaki $M_W = 18.015268$ kg/kmol suyun moleküler ağırlığı, $M_A = 28.96546$ kg/kmol havanın moleküler ağırlığıdır. Formüllerimizde oran olarak geçtiğinden bunu denklemlerimize sabit bir oran olarak ta alabiliriz.

$$C = \frac{M_W}{M_A} = 0.62195691 \quad (1-4)$$

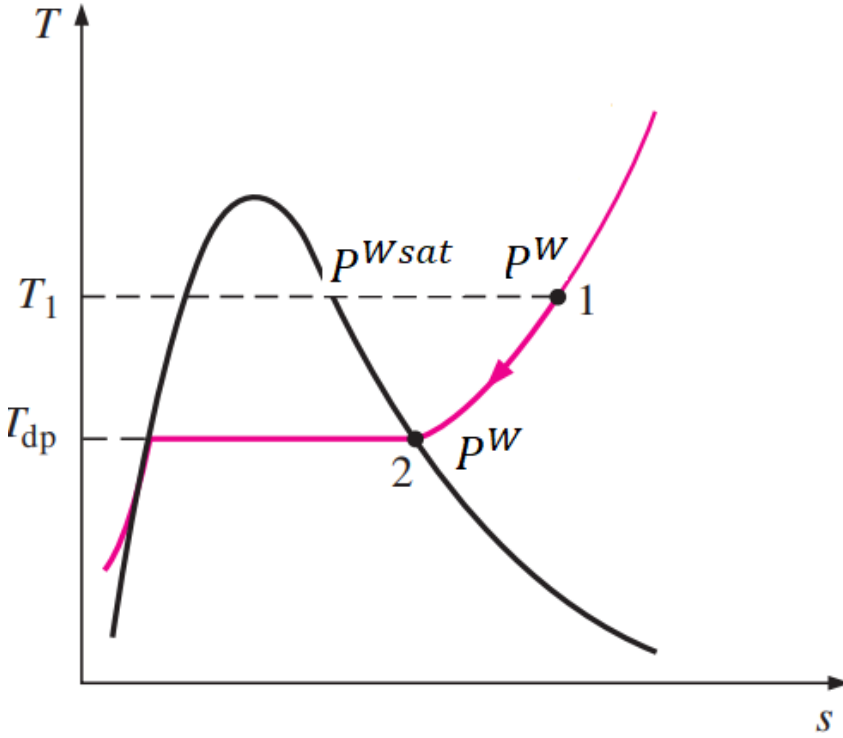
Termodinamik denklemleri göz önüne alırken özgül değer hesaplamasında nemli havayı veya kuru havayı göz önüne alabiliriz. Eğer değer herhangi birisiyle verilmişse A çarpanı kullanılarak diğere dönüşürülebilir.

$$\text{Suyun molar oranı: } 1 - x_A = 1 - \frac{A(M_W/M_A)}{1-A[1-(M_W/M_A)]} = \frac{kmol\ su\ buharı}{kmol\ yaş\ hava} \quad (1-5)$$

$$\text{Karışımındaki su buharının kısmi basıncı: } P^W = (1 - x_A)P \quad (1-6)$$

$$\text{Karışımındaki kuru havanın kısmi basıncı: } P^W = x_A P \quad (1-7) \text{ olarak ifade edilebilir.}$$

Karışımındaki P^W basıncında ve T_1 sıcaklığında kızgın buhar bölgesinde bulunan su buharının sıcaklığını değiştirmeden basıncını arttırarak doyma eğrisine (doymuş buhar) ulaşırsak, bu noktadaki basınca karışımındaki su buharının kısmi doyma basıncı adını veririz. Şekil 1.1 de bu nokta gösterilmiştir. Doyma basıncının üzerine çıkarsak belli bir yoğunlaşma ile karşılaşırız. Eğer karışımı P^W basıncını sabit tutarak soğutursak (sıcaklığını düşürürsek) belli bir sıcaklığa ulaştığımızda yine yoğunlaşma başlayacaktır. Bu noktaya çığ noktası (dew point temperature) adını veriyoruz.



Şekil 1-1 nemli havadaki P^W kısmi basıncında kızgın buhar fazında olan su buharının doymuş su buharı ve çığ noktası sıcaklığı ile ilişkisi

$$\text{Karışımındaki su buharının kısmi doyma basıncı : } P^{Wsat} = (1 - x_A^{sat})P = P_\sigma(T) \quad 1.8$$

Kızgın buhar fazındaki(1 noktasındaki) su buharının kısmi basıncının, doymuş buhar fazındaki su buharının kısmi basıncına oranına bağıl nem (relative humidity) ismini veriyoruz. Benzer bir kavram olarak ta doygunluk derecesini verebiliriz. Kızgın buhar fazındaki(1 noktasındaki) su buharının kütlelerinin doymuş buhar fazındaki su buharının kütlelerine oranına doygunluk derecesi (Degree of saturation-DOS) adını veriyoruz

$$\text{Bağıl nem} = RH = \phi = \frac{P^W}{P^{Wsat}} = \frac{P_{su \text{ buharı}}}{P_{doymuş \text{ su buharı}}} = \frac{(1-x_A)}{(1-x_A^{sat})} \quad 1.9$$

$$\text{Doygunluk derecesi } DOS = \frac{m^W}{m^{Wsat}} = \frac{m_{su \text{ buharı}}}{m_{doymuş \text{ su buharı}}} \frac{1-A}{1-A^{sat}} \quad 1.10$$

$$\text{Çığ noktası sıcaklığı: } (P^W \text{ basıncındaki doyma sıcaklığı}) T_\sigma(P^W) = T_\sigma((1 - x_A)P) \quad 1.11$$

$$\text{Entalpi: } h = A * h_A + (1 - A) * h_w \text{ kJ/kg nemli hava} \quad 1.12$$

$$h = h_A + \frac{(1-A)}{A} * h_w = h_A + w * h_w \text{ kJ/kg kuru hava K} \quad 1.13$$

$$\text{Entropi: } s = A * s_A + (1 - A) * s_w \text{ kJ/(kg yaş hava K)} \quad 1.14$$

$$s = s_A + \frac{(1-A)}{A} * s_w = s_A + w * s_w \text{ kJ/(kg kuru hava K)} \quad 1.15$$

kg nemli hava için verilen herhangi bir özellik A ya bölünerek kg kuru havaya dönüştürülebilir. kg kuru hava için verilen herhangi bir özellik A ile çarpılarak kg nemli havaya dönüştürülebilir.

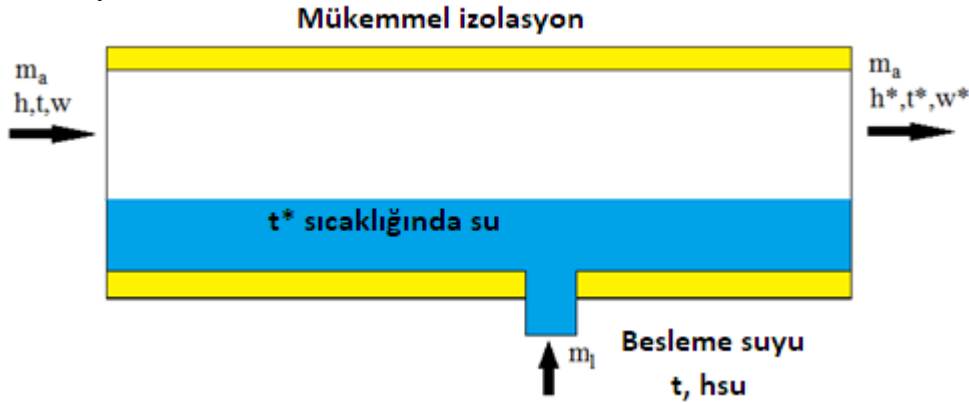
Denklem 1.13 de entalpinin h_A kısmı kuru havanın termodinamik özelliklerinden kaynaklanırken $w * h_w$ kısmı su buharının termodinamik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yaş havanın bir prosesinde entalpinin değişimini düşünürsek ısı transferi

$$Q = m_A[h_2 - h_1] = m_A[(h_{A2} + w_2 * h_{w2}) - (h_{A1} + w_1 * h_{w1})] \quad 1.16$$

$$Q = m_A[(h_{A2} - h_{A1}) + (w_2 * h_{w2} - w_1 * h_{w1})] = m_A(h_{A2} - h_{A1}) + m_A(w_2 * h_{w2} - w_1 * h_{w1}) \quad 1.17$$

$$Q = Q_{duyulur \text{ ısı}} + Q_{gizli \text{ ısı}} \quad 1.18$$

Isı transferinin kuru havanın entalpi değişiminden kaynaklanan kısmına duyulur ısı transferi (sensible heat transfer), su buharından kaynaklanan kısmına gizli ısı transferi (Latent heat transfer) ismini veriyoruz .



Şekil 2.1 Adyabatik doyma sıcaklığı tanım havuzu

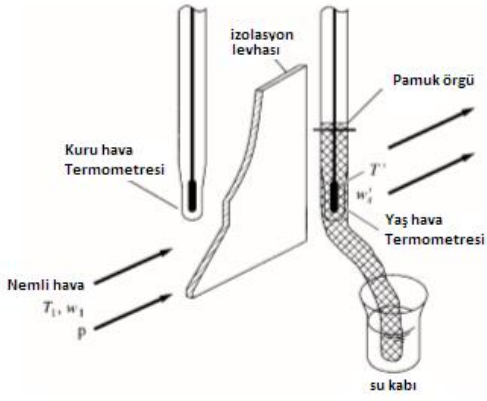
Yaş hava için kullandığımız diğer bir kavram da adyabatik doyma sıcaklığıdır. Hava sonsuz uzunlukta tamamen izole edilmiş su ile dolu bir kanaldan geçirilirken doyma noktasına ulaşır. Doyma noktasına ulaşmış suyun sıcaklığında yaş havanın sıcaklığına adyabatik doyma sıcaklığı adı verilir. Termodinamik ideal bir kavramdır. Enerji dengesinden hesaplanabilir. Giren havanın enerjisi + buharlaşan suyun enerjisi = doymuş havanın enerjisi olduğundan

$$h + (w^* - w)h_{su}^* = h^* \quad (2-14)$$

burada h : kanala giren yaş havanın entalpisi, h^* : doymuş yaş havanın entalpisi, h_{su}^* : kanalda bulunan ve bir kısmı sıvılaşan suyun entalpisi ve w^* ise doymuş yaş havanın entalpidir. Bu denklemin çözümü bize T^* adyabatik doyma sıcaklığını verir. Adyabatik doyma sıcaklığı termodinamik yaş termometre sıcaklığı olarak da anılır. Termodinamik yaş termometre sıcaklığının yaş bir termometrede ölçülen sıcaklıktan farklı olduğunu burada belirtelim. Gerçek termometrenin okuduğu değer ısı transferine bağlı olarak termodinamik yaş termometre sıcaklığından sapacaktır.

Yaş havayla ilgili tanımlanması gereken son özellikte çığ noktası sıcaklığıdır. Yaş havanın basıncını değiştirmeden sıcaklığını düşürdüğümüzde aynı basınç altında yoğuşmanın başladığı sıcaklık olarak tanımlıyabiliriz. Verilen kısmi basınç için su buharı yoğuşma sıcaklığına eşittir.

Yaş termometre sıcaklığı ile adyabatik doyma sıcaklığının aynı olmadığını ifade ettik. O halde yaş termometre sıcaklığını da doğru olarak tanımlamaya çalışalım. Şekil 2.1 de bir kuru hazneli termometre ve bir yaş hazneli termometre görülmektedir. Yaş hazneli termometrenin etrafında bir su tabakası oluşturacak ve bunu havanın üzerinden belli bir hızla geçtiğinde buharlaştıracak gazlı bez gibi bir tabaka bulunmaktadır. Suyun bir kısmı buharlaşarak bu termometrenin okuduğu sıcaklığı aşağıya çekecektir. Burada adyabatik doyma sıcaklığı deneyinde olduğu gibi bir enerji dengesinin olmadığını not edelim. Bu yüzden bu durumda enerji dengesini ısı transferi ve kütle transferi kullanarak hesaplamaya çalışacağız. Bu deneyde kru termometrenin okuduğu sıcaklığa t_{db} (derece C) diyelim. Gelen nemli havanın sıcaklığına t_0 , mutlak nemine w ve basıncına P diyelim. Bu havanın akmakta olduğu V hızını da ölçelim. Çevre duvarların sıcaklığının da ortalama olarak t_r değerinde olduğunu kabul edelim kuru termometre ve yaş termometre üzerinden hava aynı hızda aktığından taşınım ısı transferi katsayılarının aynı olduğunu kabul edebiliriz.



Yüzydeki ısı transferi için sınır şartından

$h_c((t_0 - t_{wb}) = -k \left. \frac{\partial t}{\partial r} \right|_{r=0}$ (2.15)ş artı yazılabilir. Buradaki h_c taşınım ısı transfer sabitidir. Eğer boyutsuz sıcaklık

$t' = \frac{t - t_{wb}}{t_0 - t_{wb}}$ (2.16) ve yüzeyden itibaren boyuta $r' = \frac{r}{r_0}$ dersek

$Nu = \frac{r_0 h_c}{k} = \left. \frac{\partial t'}{\partial r'} \right|_{r'=0} = f(Re, Pr)$ (2.17) olur

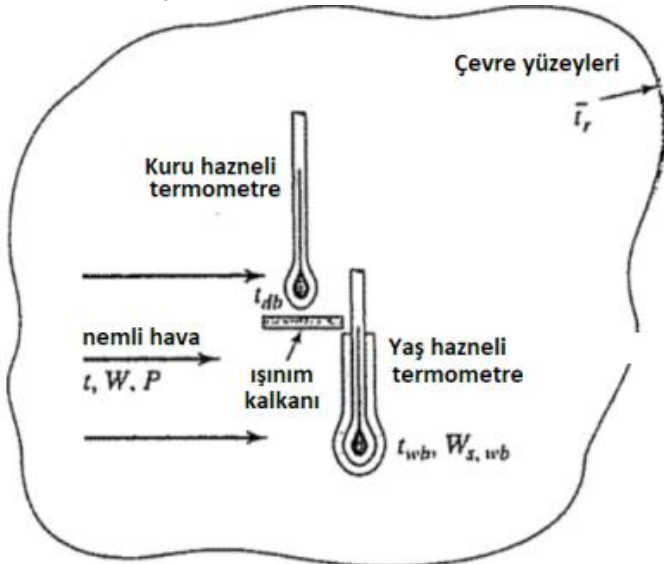
Kütle transferi için de benzer olarak

$m_w = h_D(w_0 - w_{wb}) = -D\rho_a \left. \frac{\partial w}{\partial r} \right|_{r=0}$ (2.18) yazılabilir. Buradaki D su buharının diffuzivite katsayısıdır, m_w buharlaşan su debisidir.

Burada da değişkenleri boyutsuz parametrelere indirirsek

$w' = \frac{w_{sw} - w}{w_{sw} - w_0}$ ve $r' = \frac{r}{r_0}$ (2.19)

$\frac{r_0 h_D}{\rho_a D} = \left. \frac{\partial w'}{\partial r'} \right|_{r'=0} = f(Re, Sc)$ (2.20)



Şekil 2.1 Yaş termometre sıcaklığı tanımı

Isı transferi ve kütle transferi görüldüğü gibi benzer denklemler vermektedir. Eğer akış türbülanslı ise bu değerler için

$\frac{r_0 h_c}{k} = a \left(\frac{r_0 V \rho}{\mu} \right)^b \left(\frac{c_p \mu}{k} \right)^c = a(Re)^b (Pr)^c$ (2.21) yazılabilir. Benzer olarak kütle transferi için

$\frac{r_0 h_D}{\rho_a D} = a \left(\frac{r_0 V \rho}{\mu} \right)^b \left(\frac{\mu}{\rho D} \right)^c = a (Re)^b (Sc)^c$ (2.22) yazılabilir. Sc Schmith sayısı adını alır. Bu iki denklemin benzerliğinden

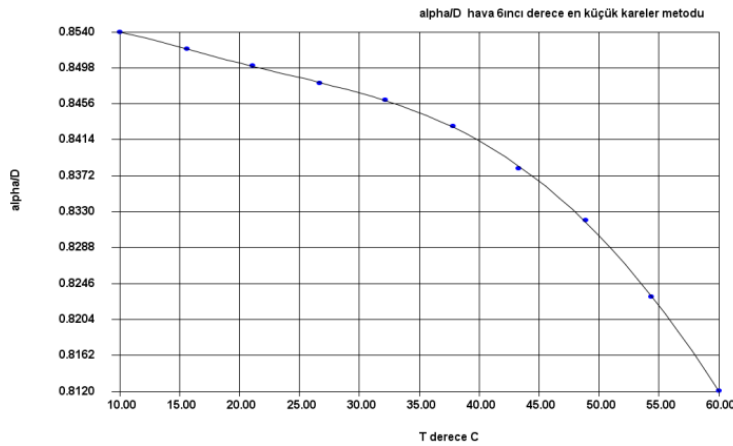
$\frac{h_c}{h_D} = \frac{k}{\rho_a D} \left(\frac{D}{\alpha} \right)^c$ (2.23) elde edilir. $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$ (2.24) olduğunu göz önüne alırsak

$Le = \frac{h_c}{h_D C_p} = \left(\frac{D}{\alpha} \right)^{c-1}$ (2.25) ilişkisi çıkar. Bu sonuçtan Kusuda[2] deneysel olarak suyun buharlaşmasındaki $\left(\frac{\alpha}{D} \right)$

değerlerini deneysel olarak ölçmüştür. $Le = \frac{h_c}{h_D C_p} = \left(\frac{\alpha}{D} \right)^{2/3}$ elde etmiştir Elde ettiği $\left(\frac{\alpha}{D} \right)$ sonuçları da Tablo 2.1 de verilmektedir. Buradan yüzeydeki yaş hava sıcaklığının fonksiyonu olarak Le sayısını hesaplayabiliriz. Tablo değerlerinden bir eğri uydurursak:

Tablo 2.1 Nemli hava için ısı ve kütle difüzyon katsayıları [2]

Sıcaklık derece C	α m ² /s*1e-5	D m ² /s*1e-6	α/D
10	1.99	2.33	0.854077253
15.6	2.06	2.42	0.851239669
21.1	2.13	2.51	0.848605578
26.7	2.2	2.6	0.846153846
32.2	2.28	2.7	0.844444444
37.8	2.35	2.7	0.87037037
43.3	2.42	2.89	0.837370242
48.9	2.49	2.99	0.83277592
54.4	2.54	3.09	0.822006472
60	2.59	3.19	0.811912226



Sonuç :

alpha/D polinomu katsayılar

a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6
0.8523965034232539	9.93144624278514E-4	-1.3110650814676287E-4	5.997705600557154E-6	-1.3447294582668788E-7	1.3877211234923955E-9	-5.569406296548996E-12

$$\left(\frac{\alpha}{D} \right) = [0.852396503423254 + 0.000993144624279T - 0.000131106508147T^2 + 0.000005997705601T^3 - 0.000000134472946T^4 + 0.000000001387721T^5 - 0.000000000005569T^6]$$

(2.26)

Le sayısının hesabı için bir denklem geliştirdiğimize göre asıl problemimiz olan kuru ve yaş hava termometre probleminde dönebiliriz. Kuru termometre için ısı transferi:

$$h_c(t_{db} - t_a) = h_r(t_r - t_{db}) \quad (2.27) \text{ buradan da}$$

$$t_a = t_{db} - \left(\frac{h_r}{h_c}\right)_{db} (t_r - t_{db}) \quad (2.28) \text{ bulunur.}$$

Yaş hava termometresinin dengesinden ise

$$h_D(w_{wb} - w)h_{fg}(t_{wb}) = h_c(t_a - t_{wb}) + h_r(t_r - t_{wb}) \quad (2.29) \text{ yazılabilir. } h_D = \frac{h_c}{LeC_p} \quad (2.30) \text{ ilişkisini göz önüne}$$

alırsak

$$w = w_{wb} - K(t_a - t_{wb}) \quad (2.31) \text{ bulunur. Burada } h_{fg}(t_{wb}) = h_g(t_{wb}) - h_f(t_{wb}) \quad (2.32) \text{ yaş hava sıcaklığındaki}$$

$$K = \frac{C_{pa} + C_{pw}w_{wb}}{h_{fg}(t_{wb}) \left[1 + \frac{h_r(T_r^4 - T_{wb}^4)}{h_c(T_a^4 - T_{wb}^4)}\right] + \frac{C_{pw}(t_a - t_{wb})}{2}} = \frac{C_p}{h_{fg}(t_{wb}) \left[1 + \frac{h_r(T_r^4 - T_{wb}^4)}{h_c(T_a^4 - T_{wb}^4)}\right] + \frac{C_{pw}(t_a - t_{wb})}{2}} \quad (2.33) \text{ olarak alınır. Bu denklemden}$$

$$h_r = \sigma \epsilon_{wb} \frac{(T_r^4 - T_{wb}^4)}{(T_r - T_{wb})} \cong \sigma \epsilon_{wb} T_r^3 \quad (2.34) \text{ (büyük T derece K, küçük t derece C dir. } \epsilon_{wb} \text{ yüzeyin emisivite}$$

$$h_c = \frac{k}{d} [0.4Re^{0.5} + 0.406Re^{2/3}] Pr^{0.4} \quad (2.35) \text{ burada } Re = \frac{dV\rho}{\mu} \quad (2.36) \text{ d= termometrenin çapıdır. Denklemin}$$

çalışma bölgesi $40 < Re < 10^5$ olarak verilmektedir. Şimdi de yaş hava sıcaklığı ile adyabatik yoğuşma sıcaklığı arasındaki ilişkiyi inceleyebiliriz. Adyabatik yoğuşma sıcaklığı için aşağıdaki denklemi yazabiliriz

$$w = w_{say} - K_{ay}(t_a - t_{ay}) \quad (2.37) \text{ Burada } K_{ay} = \frac{C_p}{h_{fgay}(t_{ay})} \quad (2.38) \text{ ve } h_{fg}(t_{ay}) = h_g(t_{ay}) - h_f(t_{ay}) \quad (2.39)$$

adyabatik yoğuşma sıcaklığındaki doyma entalpi farkıdır.

$$Le \left[1 + \frac{h_r(T_r^4 - T_{wb}^4)}{h_c(T_a^4 - T_{wb}^4)}\right] = 1 \quad (2.40) \text{ olduğunda adyabatik yoğuşma sıcaklığı ve yaş hava sıcaklığı eşit olur. Yaş hava}$$

$$(t_{wb} - t_{ay}) + \frac{(w_{swb} - w_{say})}{K_{ay}} = \left(\frac{K}{K_{ay}} - 1\right)(t - t_{wb}) \quad (2.41)$$

Adyabatik doyma sıcaklığı ve yaş hava sıcaklığı göreceli olarak birbirine yakın olduğundan adyabatik hava sıcaklığındaki özgül nem ve yaş hava sıcaklığındaki özgül nem için sıcaklıkla arasında lineer bir ilişki olduğunu varsayarak

$$w_{swb} = A + Bt_{wb} \quad (2.42)$$

$$w_{say} = A + Bt_{ay} \quad (2.43) \text{ yazılabilir. Buradan}$$

$$w_{swb} - w_{say} = B(t_{wb} - t_{ay}) \quad (2.44) \text{ olur. B ilişkisini direk olarak yaş hava denklemlerinden sayısal farkdenklemini kullanarak hesaplayabiliriz.}$$

$$B = \frac{\Delta w_s}{\Delta t_s} \cong \frac{w_s(t_s + 0.01) - w_s(t_s)}{0.01} \quad (2.45)$$

Böylece iki sıcaklık arasındaki ilişki:

$$\frac{(t_{wb} - t_{ay})}{(t - t_{wb})} = \frac{\left(\frac{K}{K_{ay}}\right) - 1}{1 + \left(\frac{B}{K_{ay}}\right)} \quad (2.46) \text{ olarak bulunur. Eğer çevre yüzeylerin sıcaklıkları oda sıcaklığı ile aynı ise denklem}$$

$$\frac{(t_{wb} - t_{ay})}{(t - t_{wb})} = \frac{Le \left(1 + \frac{h_r}{h_c}\right) - 1}{1 + \left(\frac{B}{K_{ay}}\right)} \quad (2.47) \text{ olarak yazılabilir}$$

ÖRNEK: Atmosfer basıncı $P=100$ kPa, kuru hava sıcaklığı $t_a=300$ K, yaş hava termometresi üzerinden akan hava hızı $V=1$ m/s, yaş hava termometresinin emissivite katsayısı $\epsilon_{wb}=0.4$, termometrenin çapı $d=2$ mm ise

$$Le=0.8411862553222925$$

$$Tay=291.66665955450117 \text{ derece K}$$

$$Tyh=291.34644989902563 \text{ derece K}$$

$$B=8.675989056051991E-4$$

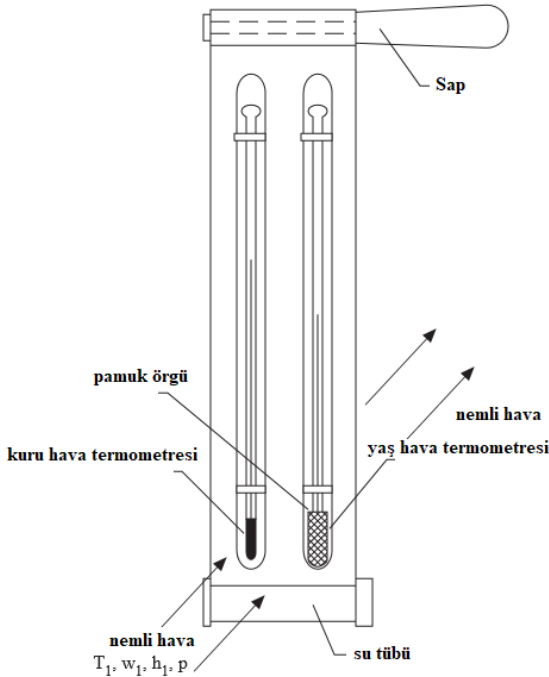
$$hr=2.4496017490944006 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$hc=46.077811949242246 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kay=4.164724527858559E-4

Olarak bulunur.

array no	property name	value humid air mass fr base	unit	value dry air mass fr base	unit
0	P, pressure	100.0	kPA		
1	T, temperature	26.850000000000023	deg C		
2	v, specific volume	0.8660282738334341	m ³ /kg humid air	0.8746885565726431	m ³ /kg dry air
3	h, enthalpy	51.992449269718286	KJ/kg	52.51237376246798	kJ/(kg dry air)
4	s, entropy	0.1896822406121493	KJ/kgK	0.1915790630184624	kJ/(kg dry air K)
5	w, specific humidity, humi...	0.010000000001010007	kg vap/kg dry air		
6	A, mass fraction of dry air	0.9900990099	kg dry air/kg humid air		
7	xA, mole fraction of dry air	0.9841761363127101	kmol dry air/kmol humid air		
8	relative humidity	0.4474166596640104			
9	Adyabatic saturation tempe...	18.51665955450119	degree C		
10	dew point temperature	13.840443900912646	degree C		
11	η Dynamic viscosity	4.479459823773415E-4	Pa.s		
12	k Thermal conductivity	0.02765757574019729	W/mK		
13	degree of saturation	0.44409115611242217			
14	Pa dry air partial pressure	98.41761363127101	kPa		
15	Pv water moisture partial p...	1.582386368728994	kPa		
16	ρ density	1.1546967116599396	kg humid air/m ³	1.143264070949292	kg dry air/m ³
17	Cp isochoric specific heat	1.0150638472724598	kJ/(kg humid air K)	1.0252144857462095	kJ/(kg dry air K)
18	Cv isovolumetric specific ...	0.7248858667899436	kJ/(kg humid air K)	0.7321347254585752	kJ/(kg dry air K)
19	ha enthalpy of dry air KJ/k...	27.01720084354424	kJ/(kg humid air)	27.28737285200697	kJ/(kg dry air K)
20	hv enthalpy of vapor KJ/k...	2550.76414168118	kJ/(kg water)		



Şekil 2.2 Yaş hava termometresi

2.0 NEMLİ HAVA PROSESİNİN MODELLENMESİ : İDEAL GAZ MODELİ

Yukarda verilen bilgiler kullanılarak nemli havanın termodinamik özelliklerini hesaplayabilmemiz için temel bir program geliştirilmiştir. Programımızın ismi yashava.java'dır. Program kodları www.turhancoban.com adresinde verilmiştir. Programları geliştirmek için gerekli termodinamik formülasyonlar EK1 de verilmiştir. Nemli hava bir gaz karışımı olduğundan termodinamik özelliklerin tanımlanması üç girdi parametresini gerektirir. Bu parametrelerden ilki basınç olarak alınmaktadır. Diğer iki parametre bölüm 1.0 de tanımlarını yaptığımız parametrelerden seçilmiş bir çift olabilir. Programımızda aşağıdaki termodinamik çiftlerden hesaplanma için alt yapımız oluşturulmuştur.

"tdb_tw" kuru hava sıcaklığı – adyabatik doyma sıcaklığı (yaş hava sıcaklığı?)

"tdb_rh" kuru hava sıcaklığı – bağıl nem (0-1 aralığında)

"tdb_w" kuru hava sıcaklığı – özgül nem

"tdb_tdew" kuru hava sıcaklığı - çiğ noktası sıcaklığı

"tdb_pv" kuru hava sıcaklığı - su buharı basıncı
 "tdb_dos" kuru hava sıcaklığı – doyunluk derecesi
 "tdb_h" kuru hava sıcaklığı - entalpi
 "tdb_s" kuru hava sıcaklığı - entropi
 "w_rh" özgül nem - bağıl nem (0-1 aralığında)
 "w_h" özgül nem - entalpi

Şimdi programımızı küçük bir örnek üzerinden çağıralım. Kuru hava sıcaklığı 25 C ve bağıl nem %50 ise ve basınç P=1.01325 bar için

Program 2.1 Nemli hava programı yashava test programı

```
public class yashavatest
{
public static void main(String arg[])
{ yashava yh=new yashava();
double a[]=yh.property("tdb_rh",10.0,0.5,1.01325);
yh.print(a);
}}
```

Program çıktısı:

Nemli havanın termodinamik özellikleri						
P bar	T derece C	v m ³ /kg kuru hava ...	Pv bar su buharı ki...	Pa bar hava kısmi ...	w özgül nem kg ne...	bağıl nem 0-1
1.01325	10.0	0.8070738719028...	0.0061376463877...	1.007112353612288	0.0037904757884...	0.5

doyunluk derecesi...	h kJ/kg kh entalpi	s kJ/kg kh K entropi	tdew derece C çığl...	ha kJ/kg kh kh ental...	hv kJ/kg kh su b. en...	hv*w kJ/kg kh duyul...	Tw adyabatik doym...
0.4969528492200...	19.587309110389...	0.0710362072802...	0.0652478859911...	10.035551241550...	2519.936388464676	9.551757868839784	5.5323548774671...

Programdaki a vektör değişkeni çıktıdan da görülebileceği gibi çeşitli termodinamik değerleri içermektedir. Bu değişkenlerin değerleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1 yashava programı çıktı değişkenleri

a[0]= P, basınç bar	a[8]= h entalpi kJ/kg kuru hava
a[1]= T, kuru hava sıcaklığı derece C	a[9]= s, entropi kJ/kg kuru hava K
a[2]= v, kuru hava özgül nem m ³ /kg kuru hava	a[10]= çığ noktası sıcaklığı derece C
a[3]= Pv kısmi su buharı özgül nem m ³ /kg kuru hava	a[11]= ha, entalpi kuru hava kJ/kg kuru hava
a[4]= Pa kuru hava kısmi basınç bar	a[12]= hv, entalpi su buharı kJ/kg kuru hava
a[5]= w, özgül nem kg su buharı/kg kuru hava	a[13]= hv*w, duyulur entalpi kJ/kg kuru hava
a[6]= rh, bağıl nem (0-1)	a[14]= T adyabatik doyma sıcaklığı
a[7]= dos, doyunluk derecesi (deggre of saturation) (0-1)	

Bu programı kullanarak kendi istediğimiz bir nemli hava prosesini gerçekleştirebiliriz. Örneğin bir proste kuru hava giriş sıcaklığı 30 C ve bağıl nem %30, çıkış kuru hava sıcaklığı 20 C ve bağıl nem %60 ise

Program 2.2 Nemli hava programı yashava test programı

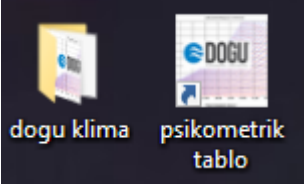
```
public class yashavatest1
{
public static void main(String arg[])
{ yashava yh=new yashava();
double a1[]=yh.property("tdb_rh",30.0,0.4,1.01325);
double a2[]=yh.property("tdb_rh",20.0,0.6,1.01325);
double dW=a1[5]-a2[5];
double dh=a1[8]-a2[8];
System.out.println("nem değişimi = "+dW+" kg nem/kg kuru hava");
System.out.println("enerji değişimi = "+dh+" kJ/kg kuru hava");
}}
```

```
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" yashavatest1
nem değişimi = 0.0018694104312766864 kg nem/kg kuru hava
```

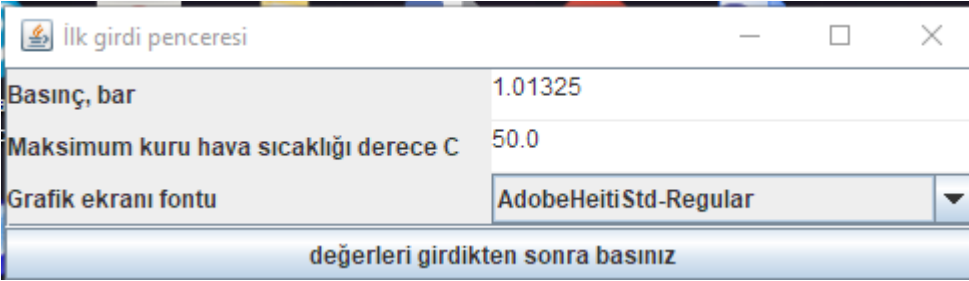
enerji değişimi = 14.986765303436293 kJ/kg kuru hava

> Terminated with exit code 0.

Eğer kendi programınızı yapmak istemiyor sadece kullanıcı olarak çeşitli değerleri gormek istiyorsanız sizin için bir kullanıcı arayüzü de hazırlanmıştır. Programımızın adı psT.java jar versiyonu psT.jar ismini almıştır. Bu programı ekranınıza yerletirerek direk olarak kullanabilirsiniz. Programımızın kullanılabilmesi için bilgisdayarımıza java programının yüklü olduğuna emin olalım.



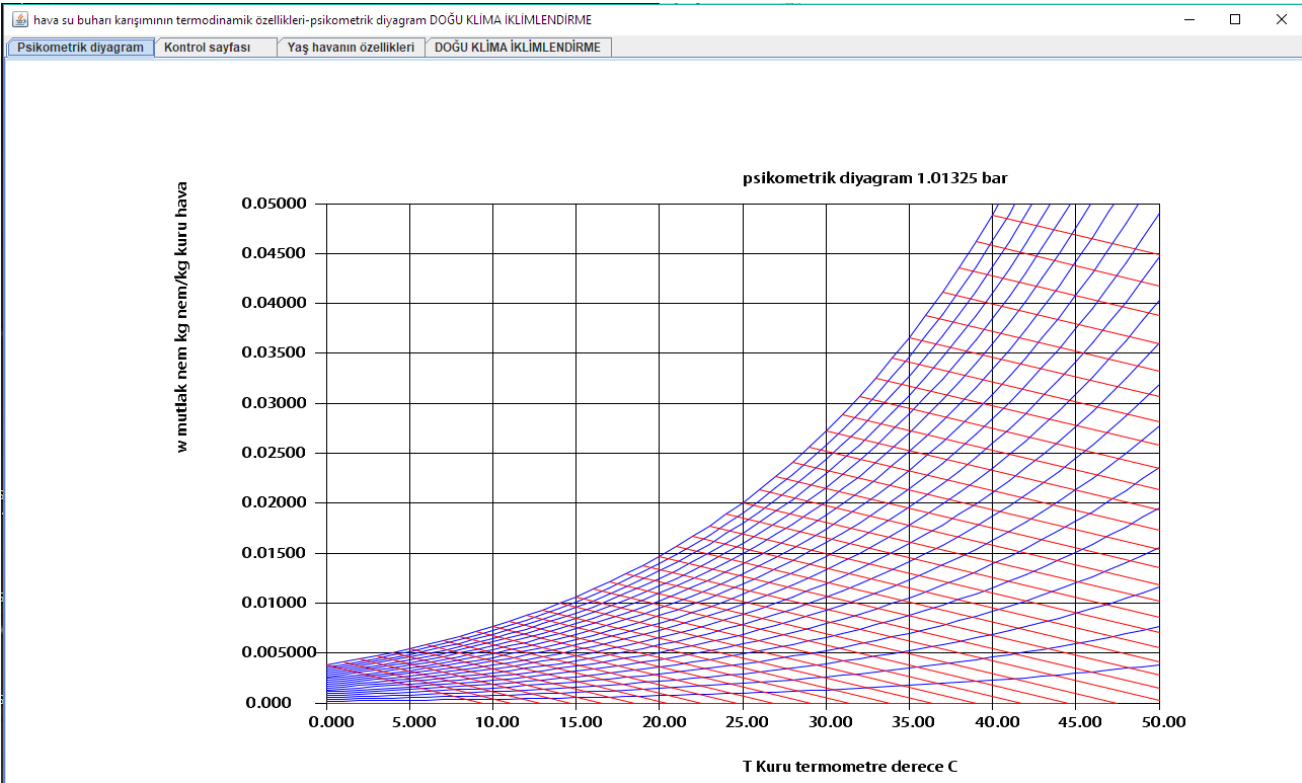
Programımızı açtığımızda önce girdi değerleri olan basınç ve grafik çizmede kullanılacak maksimum kuru hava sıcaklığını soracaktır. Aynı zamanda grafik yazı fontları bilgisayardan bilgisayara değiştiği için bunu da bir girdi parametresi olarak programa ekledik.



Basınç, bar	1.01325
Maksimum kuru hava sıcaklığı derece C	50.0
Grafik ekranı fontu	AdobeHeitiStd-Regular


değerleri girdikten sonra basınız

Değerleri girdikten sonra basınız düğmesine basıldığında grafik ekranı gelecektir. Bu ekrandan (psikometrik diyagramdan) fare yardımıyla proses noktalarını seğebileceğiniz gibi yas havanın özellikleri alt ekranından da proses noktalarınızı hassas olarak tanımlayabilirsiniz.



hava su buhar karışımının termodinamik özellikleri-psikometrik diyagram DOĞU KLİMA İKLİMLENDİRME

Psikometrik diyagram Kontrol sayfası Yaş havanın özellikleri DOĞU KLİMA İKLİMLENDİRME



birim sistemi SI

bilinen özellikler çiftini giriniz :

Basınç 1.01325 tdb_w bar

kuru termometre sıcaklığı 20.0 derece C

özgül nem 0.015 kg buhar/kg karışım

DOĞU KLİMA İKLİMLENDİRME HVAC SYSTEMS
İTOB O.S.B. 219 Ada No:19 Tekeli - Menderes İzmir, Turkey 35470Tel : 90-232-799 0240 www.doguiklimlendirme.com

P_basınç	1.013250000000000	_bar
T_kuru_termometre_sıcaklığı	20.000000000000000	_derece_C
v_kuru_hava_özgül_hacim	0.85013545297448	_m³/kg
Pv_su_buhar_kismi_basınç	0.02338398091379	_bar
Pa_hava_kismi_basınç	0.98986601908621	_bar
w_özgül_nem	0.01469304534200	_kg_buhar/kg_kuru_hava
rh_bağıl_nem	1.000000000000000	
dos.doygunluk_derecesi	1.000000000000000	
h_enthalpi	21.30674529908100	_KJ/kg_kuru_hava
s_entropi	0.07527994536231	_KJ/kg_kuru_hava_K
tdew_cıg_noktası_sıcaklığı	20.000000000000000	_deg_C
ha_kuru_havanın_entalpisi	20.07315909705068	_KJ/kg_kuru_hava
hw_su_buharının_entalpisi	83.95714933949421	_KJ/kg_kuru_hava
hw_w_duyulur_enthalpi	1.23358620203032	_KJ/kg_kuru_hava
T_yaş_hava_sıcaklığı	6.24712845795075	_derece_C

P_basınç	T_kuru_termometre_sıcaklığı	v_kuru_hava_özgül_hacim	Pv_su_buhar_kismi_basınç	Pa_hava_kismi_basınç	w_özgül_nem	rh_bağıl_nem	dos.doygunluk_derecesi
1.013250000000000	20.000000000000000	0.85013545297448	0.02338398091379	0.98986601908621	0.01469304534200	1.000000000000000	1.000000000000000

Yukardaki programda nemli havanın basıncını ve sıcaklığını bir girdi parametresi olarak aldık. Ülkemizin belli bir bölgesinde iklimlendirme ile ilgili dizayn yaparken ortalama sıcaklık ve nem değerleri değişeceği gibi deniz seviyesinden olan yüksekliğinden dolayı atmosfer basıncı da standart atmosfer basıncından(101.325 kPa) farklı olacaktır. Temel olarak bulunduğumuz yerin yüksekliğin fonksiyonu olarak atmosfer basıncı aşağıdaki formülle hesaplanabilir

$P = P_0(1 - 2.25577e - 5h)^{5.25588}$ Burada P_0 deniz seviyesindeki atmosfer basıncı olup standart değeri 101.325 kPa olarak alınabilir. Aşağıdaki tabloda çeşitli şehirlerimiz için yaz ve kış şartlarındaki sıcaklık, yükseklik ve basınç değerleri verilmiştir.

SIRA	Şehir Adı	YAZ		KİŞ	Denizden Yüksekliği	Standart atmosfer basıncı
		(KT)	(YT)			
		°C	°C			
1	ADANA	38	26	0 R	21	101.07
2	ADİYAMAN	38	22	-9	678	93.44
3	AFYON	34	21	-12 R	1019	89.67
4	AĞRI	34	25	-24	1585	83.68
5	AMASYA	31	21	-12	412	96.47
6	ANKARA	35	21	-12 R	895	91.03
7	ANTALYA	39	28	+3 R	42	100.82
8	ARTVİN	30	26	-9	597	94.36
9	AYDIN	39	26	-3 R	70	100.49
10	BALIKESİR	38	27	-3 R	103	100.09
11	BANDIRMA	34	25	-6 R	49	100.74
12	BİLECİK	34	23	-9 R	526	95.16
13	BİNGÖL	33	21	-18 R	1177	87.96
14	BİTLİS	34	22	-15 R	742	92.72
15	BOLU	34	24	-15	728	92.88
16	BURDUR	36	21	-9 R	1025	89.60

17	BURSA	37	25	-6 R	99	100.14
18	ÇANAKKALE	34	25	-3 R	3	101.29
19	ÇANKIRI	34	26	-15	730	92.86
20	ÇORUM	29	19	-15	803	92.04
21	DENİZLİ	38	24	-6	428	96.29
22	DİYARBAKIR	42	23	-9 R	652	93.73
23	EDİRNE	36	25	-9	47	100.76
24	ELAZIĞ	38	21	-12	1090	88.90
25	ERZİNCAN	36	22	-18	1157	88.18
26	ERZURUM	31	23	-21	1893	80.56
27	ESKİŞEHİR	34	24	-12	790	92.19
28	GAZİANTEP	39	23	-9	849	91.53
29	GİRESUN	29	25	-3	40	100.85
30	GÜMÜŞHANE	33	23	-12	1219	87.51
31	HAKKARİ	34	20	-24	1720	82.30
32	HATAY (ANTAKYA)	37	28	0 R	100	100.13
33	HATAY (İSKENDERUN)	37	29	3	3	101.29
34	ISPARTA	34	21	-9	1050	89.33
35	İÇEL (MERSİN)	35	29	3	6	101.25
37	İSTANBUL	33	24	-3 R	40	100.85
38	İZMİR	37	25	0	3	101.29
39	KARS	30	20	-27	1750	81.99
40	KASTAMONU	34	22	-12	800	92.08
41	KAYSERİ	36	23	-15	1058	89.24
42	KIRKLARELİ	35	25	-9 R	232	98.57
43	KİRŞEHİR	35	21	-12	980	90.09
44	KOCAELİ (İZMİT)	36	25	-3 R	77	100.40
45	KONYA	34	22	-12	1024	89.61
46	KÜTAHYA	33	21	-12	935	90.59
47	MALATYA	38	21	-12	915	90.81
48	MANİSA	40	26	-3 R	42	100.82
49	KAHRAMANMARAŞ	36	22	-9	549	94.90
50	MARDİN	38	23	-6	1150	88.25
51	MUĞLA	37	22	-3 R	648	93.78
52	MUŞ	32	20	-18	1283	86.83
53	NEVŞEHİR	28	17	-15	1260	87.08
54	NİĞDE	34	20	-15 R	1239	87.30
55	ORDU	30	22	-3	4	101.28
56	RİZE	30	26	-3	60	100.61
57	SAKARYA ADAPAZARI	35	25	-3 R	30	100.97
58	SAMSUN	32	25	-3 R	40	100.85
59	SİİRT	40	23	-9	875	91.25
60	SİNOP	30	25	-3 R	25	101.03
61	SİVAS	33	20	-18	1285	86.81
62	TEKİRDAĞ	33	25	-6 R	55	100.67
63	TOKAT	29	20	-15	608	94.23
64	TRABZON	31	25	-3	109	100.02
65	TUNCELİ	37	22	-18	979	90.10
66	ŞANLIURFA	43	24	-6 R	515	95.29
67	UŞAK	35	22	-9 R	911	90.85
68	VAN	33	21	-15	1732	82.18
69	YOZGAT	32	20	-15	1320	86.44
70	ZONGULDAK	32	25	-3 R	42	100.82
71	AKSARAY	34	20	-15	980	90.09
72	BAYBURT	33	23	-15	1550	84.04
73	KARAMAN	34	21	-12	1025	89.60
74	KIRIKKALE	35	21	-12	725	92.91
75	BATMAN	40	23	-9	540	95.00
76	ŞIRNAK	34	20	-6	1829	81.20
77	ARDAHAN	27	18	-21	1829	81.20
78	BARTIN	31	21	-3 R	30	100.97

79	İĞDIR	36	25	-18	855	91.47
80	YALOVA	33	24	-3 R	2	101.30
81	KARABÜK	32	25	-12	270	98.12
82	KİLİS	39	23	-6	638	93.89
83	OSMANİYE	38	26	-3 R	121	99.88

3.0 NEMLİ HAVA PROSESİNİN MODELLENMESİ : GERÇEK GAZ MODELİ

Gerçek gaz modeli için gerekli denklemler ve katsayılar ek 2 de verilmiştir. Bu bölümde bu programdan ve kullanılmasından bahsedeceğiz. Temel denklemler olarak uluslararası su derneğinin (IAPWS) [56,57,58] denklemleri kullanılmıştır. Bu denklemler 3 ana programda toplanmıştır; **air_IAPWS** : bu program kuru havanın termodinamik özelliklerini hesaplar. Programı tek başına kuru havanın termodinamik özelliklerini hesaplama amacıyla kullanabiliriz. Küçük bir örnek test programı aşağıda verilmiştir.

```
public class airtest
{
    public static void main(String arg[])
    {
        air_IAPWS a1=new air_IAPWS();
        double P=1000;
        double T=300;
        System.out.println(a1.name+" "+P+" "+T+" "+a1.ro(T,P)+" "+a1.h(T,P)+" "+a1.s(T,P));
    }
}
```

----- Capture Output -----

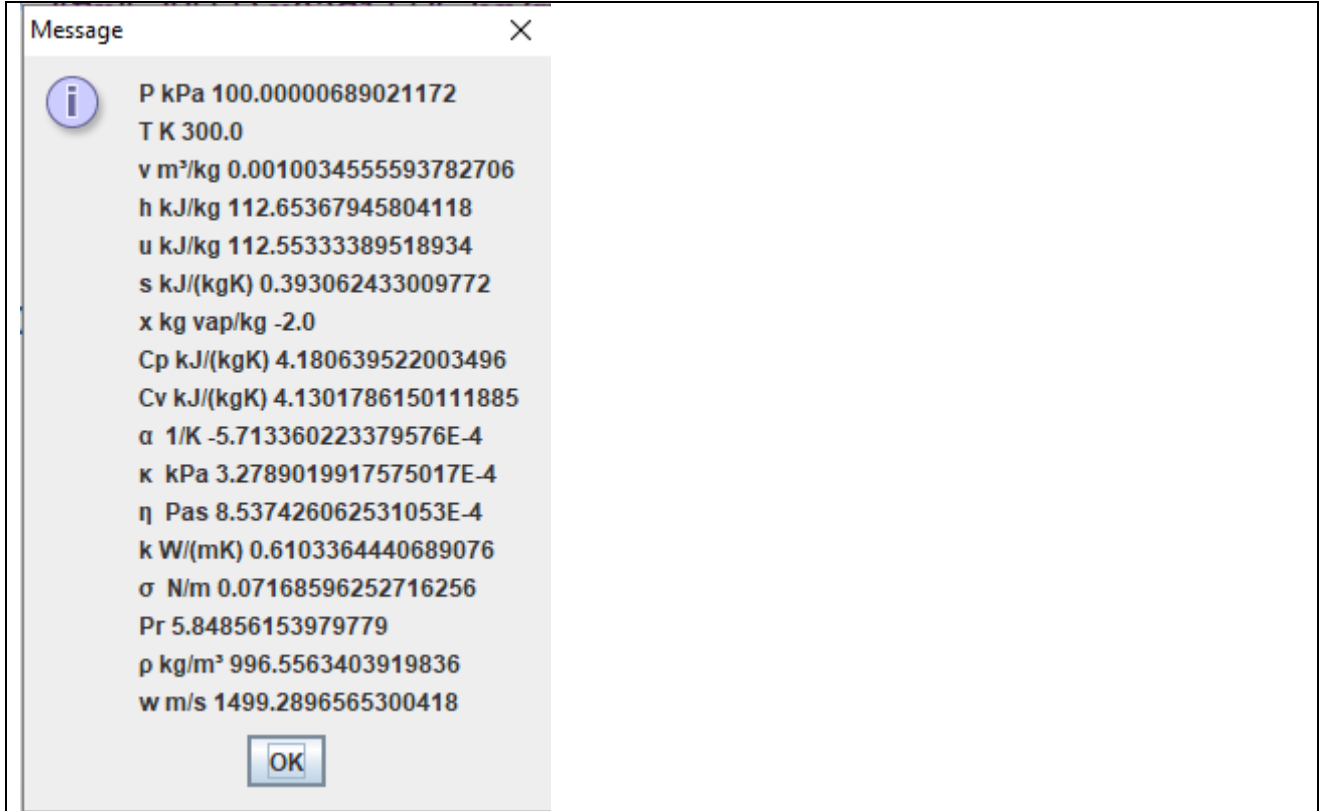
> "E:\co\java\bin\java.exe" airtest

air_IAPWS 1000.0 300.0 11.645465101732553 24.9933512751933 -0.5688153090272897

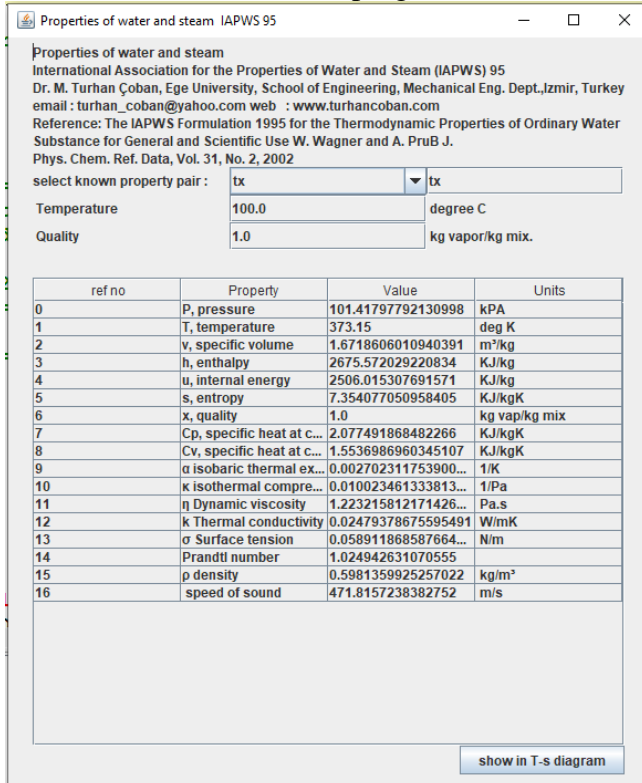
> Terminated with exit code 0.

steam_IAPWS95: Bu program su buharının termodinamik özelliklerini hesaplar

```
import javax.swing.*;
public class steamtest1
{
    public static void main(String arg[])
    {
        steam_IAPWS95 st=new steam_IAPWS95();
        String s1[]={ "tx", "tp", "tv", "th", "tu", "ts", "pv", "pt", "ph", "pu", "ps", "px", "vp", "vt" };
        String s2[]={ "P kPa", "T K", "v m"+'\u00B3'+"/kg", "h kJ/kg", "u kJ/kg", "s kJ/(kgK)", "x kg vap/kg",
        "Cp kJ/(kgK)", "Cv kJ/(kgK)", ""+\u03B1'+ " 1/K", ""+\u03BA'+ " kPa", ""+\u03B7'+ " Pas",
        "k W/(mK)", ""+\u03C3'+ " N/m", "Pr", ""+\u03C1'+ " kg/m"+'\u00B3'+ "w m/s"};
        double T1=26.85;//degree C
        double P1=100; //kPa
        double a[]=st.propertyC(s1[1],T1,P1);
        String s="";
        for(int i=0;i<s2.length;i++)
        { s+=s2[i]+" "+a[i)+"\n";}
        JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
    }
}
```



steamTableAPWS95: Bu program **steam_IAPWS95** hesapları için insan arayüz çıktısı verir.



humid_air_IAPWS: Nemli havanın termodinamik özelliklerini hesaplar

örnek test programı:

```
public static void main(String arg[])
{ humid_air_IAPWS ha=new humid_air_IAPWS();
double A=0.9900990099;
double T=300;
```

```

double P=100;
//ha.print("ATP",A,T,P);
double Twet_bulb=ha.Twet_bulb(2.0e-3,1.0,A,T,P);
System.out.println("Twet_bulb="+Twet_bulb);
double h=ha.h_ATP(A,T,P);
double ro=ha.ro_ATP(A,T,P);
double T1=ha.T(A,h,ro);
System.out.println("T1="+T1);
double T2=ha.T_AhP(A,h,P);
System.out.println("T2="+T2);
double rh=ha.rh_ATP(A,T,P);
System.out.println("rh="+rh);
double T3=ha.T_ArhP(A,rh,P);
System.out.println("T3="+T3);
}

```

```

----- Capture Output -----
> "E:\co\java\bin\java.exe" humid_air_IAPWS
Tas=291.66665955450117
Twet_bulb=291.34644989902563
T1=300.00001515097915
T2=300.0000008316587
rh=0.4474166596640104
T3=300.0000321340561

```

> Terminated with exit code 0.

```

public static void main(String arg[])
{humid_air_IAPWS ha=new humid_air_IAPWS();
ha.input();
}

```

array no	property name	value humid air mas...	unit	value dry air mass fr ...	unit
0	P, pressure	100.0	kPa		
1	T, temperature	27.0	deg C		
2	v, specific volume	0.8664624868041854	m ³ /kg humid air	0.8751271116722272	m ³ /kg dry air
3	h, enthalpy	52.144709148015714	KJ/kg	52.66615623949587	kJ/(kg dry air)
4	s, entropy	0.19018964662174	KJ/kgK	0.19209154308795...	kJ/(kg dry air K)
5	w, specific humidit...	0.01	kg vap/kg dry air		
6	A, mass fraction of...	0.9900990099009901	kg dry air/kg humi...		
7	xA, mole fraction o...	0.984176136314283	kmol dry air/kmol ...		
8	relative humidity	0.4434908764528124			
9	Adyabatic saturatio...	18.566356243344444	degree C		
10	dew point temperat...	13.840443903448772	degree C		
11	η Dynamic viscosity	4.47979692042079...	Pa.s		
12	k Thermal conducti...	0.02766863608203...	W/mK		
13	degree of saturation	0.44014174713412...			
14	Pa dry air partial pr...	98.4176136314283	kPa		
15	Pv water moisture ...	1.5823863685716977	kPa		
16	ρ density	1.1541180549989503	kg humid air/m ³	1.1426911435633171	kg dry air/m ³
17	Cp isochoric specifi...	1.0150685555201293	kJ/(kg humid air K)	1.0252192410753307	kJ/(kg dry air K)
18	Cv isovolumetric sp...	0.7248923833253497	kJ/(kg humid air K)	0.7321413071586031	kJ/(kg dry air K)
19	ha enthalpy of dry a...	27.168150462752923	kJ/(kg humid air)	27.439831967380453	kJ/(kg dry air K)
20	hv enthalpy of vapo...	2551.0462110459034	kJ/(kg water)		

```

public class humid_air_IAPWS_test1
{public static void main(String arg[])
{ humid_air_IAPWS ha=new humid_air_IAPWS();
double w=0.01; //kg su buharı/kg kuru hava
double T=300.0; // derece Kelvin
double P=101.325; // kPa
double a[]=ha.property("wTP",w,T,P);
System.out.println(Matrix.toStringT(a));
}
}

```

```

----- Capture Output -----
> "E:\co\java\bin\java.exe" humid_air_IAPWS_test1
101.3250000000000000
26.8500000000000023
0.854699540102156
51.989269925039510
0.185871812480369
0.0100000000000000
0.990099009900990
0.984176136314283
0.453344930359494
18.657901835175323
14.043113996161310
0.000447947743856
0.027658132289867
0.450055103751561
99.721647012044730
1.603352987955273
1.170001799556926
1.015087794958999
0.724891168982928
27.014246748407036
2550.755034572443500

```

> Terminated with exit code 0.

```

public class humid_air_IAPWS_test2
{
public static void main(String arg[])
{
humid_air_IAPWS ha=new humid_air_IAPWS();
double w=0.01; //kg su buhari/kg kuru hava
double T=300.0; // derece Kelvin
double P=101.325; // kPa
ha.print("wTP",w,T,P);
}
}

```

Property metodu alttaki değişken setleri ile çağrılabilir:

Input String	değişken 1	değişken 2	değişken 3
ATP	A kg kuru hava/kg yaş hava	T k.h. sıcaklığı der. K	P basınç kPa
ATro	A kg kuru hava/kg yaş hava	T k.h. sıcaklığı der. K	ρ yoğunluk kg yaş hava/m ³
wTro	w özgül nem kg su buhari/kg kuru hava	T k.h. sıcaklığı der. K	ρ yoğunluk kg yaş hava/m ³
xATP	xA kmol kuru hava/kmol yaş hava	T k.h. sıcaklığı der. K	P basınç kPa
wTP	w özgül nem kg su buhari/kg kuru hava	T k.h. sıcaklığı der. K	P basınç kPa
rhTP	ϕ bağıl nem	T k.h. sıcaklığı der. K	P basınç kPa
TTasP	T kuru hava sıcaklığı der. K	Adyabatik doyma sıcaklığı der. K	P basınç kPa
TTdpP	T kuru hava sıcaklığı der. K	Çiğ noktası sıcaklığı	P basınç kPa
AhP	A kg kuru hava/kg yaş hava	Entalpi kJ/kg yaş hava	P basınç kPa
whP	w özgül nem kg su buhari/kg kuru hava	Entalpi kJ/kg yaş hava	P basınç kPa
ArhP	A kg kuru hava/kg yaş hava	ϕ bağıl nem	P basınç kPa
wrhP	w özgül nem kg su buhari/kg kuru hava	ϕ bağıl nem	P basınç kPa

Property metodu çıktı değişkenleri **property(String s,double v1,double v2,double v3)**

numara	sembol	isim	birim
0	P	basınç	kPa
1	T	Kuru hava sıcaklığı	derece Kelvin
2	v	Özgül hacim	kg yaş hava/m ³
3	h	entalpi	kJ/kg yaş hava
4	s	entropi	kJ/kg yaş hava K
5	w	Özgül nem	kg su buhari/kg kuru hava
6	A	Kütle oranı	kg kuru hava/kg nemli hava
7	xA	Molar oran	Kmol kuru hava/kmol nemli hava
8	ϕ	Bağıl nem	

9	Tas	Adyabatik doyma sıcaklığı	derece Kelvin
10	Tdp	Çiğ noktası sıcaklığı	Derece K
11	η	Dinamik vizkozite	Pa.s
12	k	Isıl iletkenlik katsayısı	W/(mK)
13	DOS	Doğunluk derecesi	
14	Pa	Kuru hava kısmi basıncı	kPa
15	Pv	Su buharı kısmi basıncı	kPa
16	ρ	yoğunluk	m ³ /kg yaş hava
17	C _p	Sabit basınçta özgül ısı	kJ/Kg nemli hava
18	C _v	Sabit hacimde özgül ısı	kJ/Kg nemli hava
19	ha	Kuru havanın entalpisi	kJ/kg kuru hava
20	hv	Su buharının entalpisi	kJ/kg su buharı

Not: entalpi: $h = A * ha + (1 - A) * hv$ kJ/kg nemli hava

$$h = ha + \frac{(1-A)}{A} * hv = ha + w * hv \quad \text{kJ/kg kuru hava K}$$

entropi: $s = A * sa + (1 - A) * sv$ kJ/(kg yaş hava K)

$$h = sa + \frac{(1-A)}{A} * sv = sa + w * sv \quad \text{kJ/(kg kuru hava K)}$$

kg nemli hava için verilen herhangi bir özellik A ya bölünerek kg kuru havaya dönüştürülebilir. kg kuru hava için verilen herhangi bir özellik A ile çarpılarak kg nemli havaya dönüştürülebilir.

Normal atmosferik basınçlarda ideal gaz yaklaşımı ile gerçek gaz yaklaşımı arasında farklar yüksek değildir. Bu yüzden ideal gaz yaklaşımı rahatlıkla kullanılabilir, ancak yüksek basınç gibi ideal gazdan sapan durumlarda gerçek gaz yaklaşımının kullanılması gereklidir.

ÖRNEK PROBLEM:

Bir depoda 20 bar basınçta, 35 derece kuru hava sıcaklığında %60 bağıl nemde nemli hava bulunmaktadır. Bu hava kuru havaya dönüştürülerek proseste kullanılacaktır. Soğutulması gereken sıcaklığı (çiğ noktasını) ve entalpiyi hesaplayınız.

```
public class humid_air_IAPWS_test3
{
    public static void main(String arg[])
    {
        humid_air_IAPWS ha=new humid_air_IAPWS();
        double rh=0.6; //
        double T=35+273.15; // derece Kelvin
        double P=20*1e2; // kPa
        ha.print("rhTP",rh,T,P);
    }
}
```

array no	property name	value humid air mass fr ...	unit	value dry air mass fr base	unit
0	P, pressure	2000.0	kPa		
1	T, temperature	35.0	deg C		
2	v, specific volume	0.04408198258287891	m ³ /kg humid air	0.044128360620494286	m ³ /kg dry air
3	h, enthalpy	33.8767059548484	KJ/kg humid air	33.91234716359179	kJ/(kg dry air)
4	s, entropy	-0.7363287758091082	KJ/kg humid air K	-0.7371034570203616	kJ/(kg dry air K)
5	w, specific humidity, h...	0.00105208602013707...	kg vap/kg dry air		
6	A, mass fraction of dr...	0.9989490197015424	kg dry air/kg humid air		
7	xA, mole fraction of dr...	0.9983112827796059	kmol dry air/kmol hu...		
8	relative humidity	0.599999999999994			
9	Adyabatic saturation te...	33.66565756644195	degree C		
10	dew point temperature	26.06842766311263	degree C		
11	η Dynamic viscosity	1.1595252363130096E-4	Pa.s		
12	k Thermal conductivity	0.027590408601484383	W/mK		
13	degree of saturation	0.599744473719546			
14	Pa dry air partial press...	1996.6225655592118	kPa		
15	Pv water moisture part...	3.377434440788196	kPa		
16	ρ density	22.685005106562336	kg humid air/m ³	22.661163613124927	kg dry air/m ³
17	Cp isochoric specific h...	1.0360793933272452	kJ/(kg humid air K)	1.037169437972717	kJ/(kg dry air K)
18	Cv isovolumetric speci...	0.7234277598655187	kJ/(kg humid air K)	0.7241888680982522	kJ/(kg dry air K)
19	ha enthalpy of dry air ...	31.238730751109863	kJ/(kg humid air)	31.27159658301993	kJ/(kg dry air K)
20	hv enthalpy of vapor ...	2565.42764840468	kJ/(kg water)		

Basınç düşürülmeden depoda havanın soğutulması gereken sıcaklık 26.068 derece C olarak bulundu. Şimdi birde ideal gaz denkleminin verdiği sonuca bakalım:

P_basınç	20.000000000000000	_bar
T_kuru_termometre_sıcaklığı	35.000000000000000	derece_C
v_kuru_hava_özgül_hacim	0.04430376800656	m³/kg
Pv_su_buharı_kısmi_basınç	0.03376617622439	bar
Pa_hava_kısmi_basınç	19.96623382377561	bar
w_özgül_nem	0.00105185413006	kg_buhar/kg_kuru_hava
rh_bağıl_nem	0.600000000000000	
dos_doygunluk_derecesi	0.59932353439267	
h_enthalpi	37.84459838421484	KJ/kg_kuru_hava
s_entropi	0.13010040553753	KJ/kg_kuru_hava_K
tdew_çiğ_noktası_sıcaklığı	26.06908314032449	deg_C
ha_kuru_havanın_entalpisi	35.14569674099027	KJ/kg_kuru_hava
hv_su_buharının_entalpisi	2565.85163862852370	KJ/kg_kuru_hava
hv*w_duyulur_enthalpi	2.69890164322457	KJ/kg_kuru_hava
T_yaş_hava_sıcaklığı	33.62212182002563	derece_C

Görüldüğü kadarıyla çiğ noktası sıcaklığı 26.069 derece C olarak çıktı yani aynı sonucu elde ettik. Bunun sebebi nedir? Kuru havayı ideal gaz olarak alan modelimizde de su buharının gerçek hal denklemini kullanıyoruz. Ve çiğ noktası temel olarak su buharının bir fonksiyonu olarak hesaplanır (su buharının kısmi basıncındaki yoğunlaşma sıcaklığı) bu yüzden aynı sonucu elde ettik. Burada su buharı için gerçek hal denklemini kullandığımızı da belirtelim. Ancak bu soğutmayı oluşturmak için ne kadar enerji harcıyacağımızı hesaplamak istersek entalpi verisine ihtiyacımız olacaktır. Gerçek gaz entalpi verisi olarak $h=33.9123$ kJ/kg kuru hava elde ettik. İdeal gaz denklemini aynı değer için $h=37.844$ kJ/kg kuru hava değerini verdi. Aradaki fark $\Delta h=3.93166$ kJ/kg kuru hava çıktı. Peki aynı hesabı $P=100$ kPa=1 bar için yapsaydık ne olacaktı?

```
public class humid_air_IAPWS_test3
{
    public static void main(String arg[])
    {
        humid_air_IAPWS ha=new humid_air_IAPWS();
        double rh=0.6; //
        double T=35+273.15; // derece Kelvin
        double P=1*1e2; // kPa
        ha.print("rhTP",rh,T,P);
    }
}
```

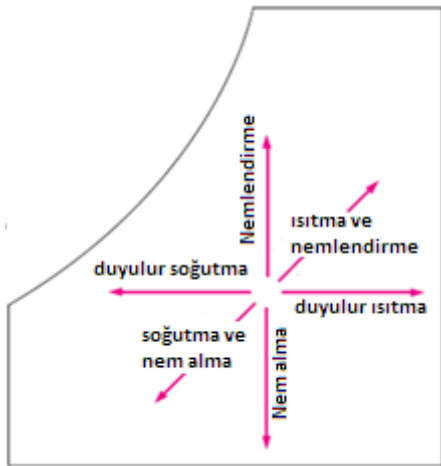
array no	property name	value humid air ma...	unit	value dry air mass f...	unit
0	P, pressure	100.0	kPa		
1	T, temperature	35.0	deg C		
2	v, specific volume	0.8956751976405...	m³/kg humid air	0.9151475853604...	m³/kg dry air
3	h, enthalpy	89.036443287463	KJ/kg humid air ...	90.972136214387...	kJ/(kg dry air)
4	s, entropy	0.3148130003360...	KJ/kg humid air ...	0.3216571786921...	kJ/(kg dry air K)
5	w, specific humid...	0.0217404565529...	kg vap/kg dry air		
6	A, mass fraction ...	0.9787221339689...	kg dry air/kg hu...		
7	xA, mole fraction ...	0.9662256555942...	kmol dry air/kmo...		
8	relative humidity	0.5999999999624...			
9	Adyabatic saturati...	28.216613806827...	degree C		
10	dew point temper...	26.068422729132...	degree C		
11	η Dynamic viscos...	5.6148423193758...	Pa.s		
12	k Thermal condu...	0.0300942366329...	W/mK		
13	degree of saturation	0.5948266836588...			
14	Pa dry air partial ...	96.622565559422...	kPa		
15	Pv water moistur...	3.3774344405772...	kPa		
16	ρ density	1.1164761541173...	kg humid air/m³	1.0927199240832...	kg dry air/m³
17	Cp isochoric spec...	1.0256828560170...	kJ/(kg humid air K)	1.0479816695854...	kJ/(kg dry air K)
18	Cv isovolumetric ...	0.7334676546165...	kJ/(kg humid air K)	0.7494135762947...	kJ/(kg dry air K)
19	ha enthalpy of dry...	35.223906661962...	kJ/(kg humid air)	35.9896904743735	kJ/(kg dry air K)
20	hv enthalpy of va...	2565.4276484047...	kJ/(kg water)		

P_basinc	1.00000000000000	_bar
T_kuru_thermometre_sicakligi	35.00000000000000	derece_C
v_kuru_hava_ozgul_hacim	0.91549205743666	m^3/kg
Pv_su_buhari_kismi_basinci	0.03376617622439	bar
Pa_hava_kismi_basinci	0.96623382377561	bar
w_ozgul_nem	0.02173548989137	kg_buhar/kg_kuru_hava
rh_bagil_nem	0.60000000000000	
dos_doygunluk_derecesi	0.58602153002988	
h_enthalpi	90.91573909515691	KJ/kg_kuru_hava
s_entropi	0.30777846031619	KJ/kg_kuru_hava_K
tdew_ciq_noktası_sicakligi	26.06908314032449	deg_C
ha_kuru_havanın_entalpisi	35.14569674099027	KJ/kg_kuru_hava
hv_su_buharının_entalpisi	2565.85163862852370	KJ/kg_kuru_hava
hv_w_duyulur_enthalpi	55.77004235416663	KJ/kg_kuru_hava
T_yas_hava_sicakligi	28.15506680837014	derece_C

Bu durumda gerçek gaz nemli hava entalpisi $h=90.97213$ kJ/kg ve ideal gaz nemli hava entalpisi $h=90.91157$ kJ/kg olarak çıktı aradaki fark $\Delta h=0.06056$ kJ/kg kuru hava olarak bulundu.

4.0 İKLİMLENDİRME PROSESLERİ – PSİKOMETRİK PROSESLER

Kapalı mekanlarda insan konforunun sağlanması günümüzün önemli konularından biridir. İnsanların rahat hissedebilmesi için sıcaklığın ve nemin kontrolü gerekir. Aynı zamanda hava içindeki kirletici parçacıkların da temizlenmesi gerekir, bunun için içerdeki havanın zaman içinde dış havayla değiştirilmesi gerekmektedir. İnsanlar genellikle konforlu hissetmek için 20-27 C sıcaklık ve 45+/- 5 % bağıl nem isterler. Bu yüzden biz burada bu tür konfor şartlarını sağlamak için gereken ısıtma, soğutma nem alma ve nemlendirme işlemlerinin nasıl yapılacağı üzerinde duracağız. Daha detaylı proseslerde bunu iç havanın değiştirilmesi prosesleriyle de birleştireceğiz.

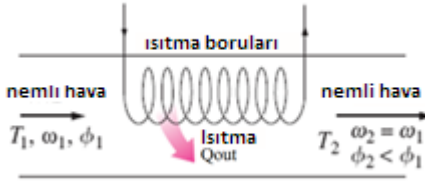


Şekil 4.1 Temel havalandırma proseslerinin psikometrik diyagram üzerinde gösterimi

Şekil 4.1 de çeşitli hava şartlandırma proseslerinin psikometrik diyagram üzerinde gösterilmesini görmekteyiz. Diyagramdan da görüleceği gibi yatay hatlar ısıtma-soğutma proseslerini, düşey hatlar nemlendirme-nem alma proseslerini göstermektedir. Şimdi bu prosesleri detaylı olarak inceleyelim.

4.1. Duyulur ısıtma ve soğutma

Hava sıcak su boruları veya kanatlı ısı değiştiricileri kullanılarak ısıtılabilir. Genellikle ısıtma için kullanılan sıcak sıvı (ısı transferi yağı veya su veya soğutkan) boru içinden dolaşır. Isıtma kaynağı olarak bir kazan, elektrikli ısıtıcı gibi kaynaklar da kullanılabilir. Isıtma süreci sırasında özgül nem sabit kalırken bağıl nem azalır. Soğutma sürecinde ise özgül nem yine sabitken bağıl nem artar. Yukarıda belirttiğimiz gibi insan konforu için ideal bağıl nem %50 civarında olduğu için ısıtma ve soğutma prosesleri sırasında bu değerden çok saparsa havanın sıcaklığı ideal koşullarda olsa bile rahatsız hissedebiliriz.



Şekil 4.1-1 Nemli havanın ısıtılması

Prosesin temel enerji denklemleri

$$m_{a,1} = m_{a,2} = m_{a,3} = m_a$$

$$m_{a,1} = m_{a,2} = m_a \text{ hava için ve}$$

$$w_1 = w_2 \text{ hava içindeki nem için}$$

ve ısı transferi:

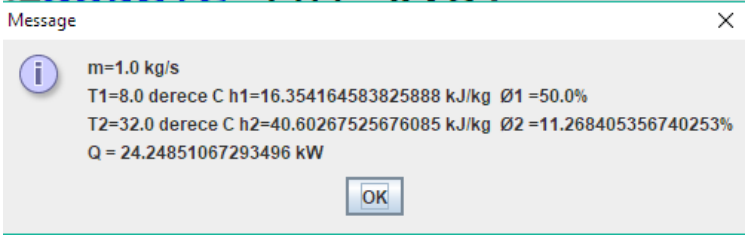
$$Q = m_a (h_2 - h_1) \text{ (Kw) veya } q = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)}$$

Bu denklemlerdeki m_a kuru hava kütleli debisi, h_1 ve h_2 nemli havanın entalpisi. Özgül nem miktarı değişmediğinden bu süreçte nemli havanın entalpi farkıyla kuru havanın entalpi farkı aynı olacaktır. Bir örnek olarak eğer $m_a = 1$ kg/s, kuru hava giriş sıcaklığı 8 C ve giriş nemi %50 ise, Hava 32 C ye ısıtıldığında gerekli olan enerjiyi psikometrik diyagramı kullanan küçük bir programla hesaplayalım:

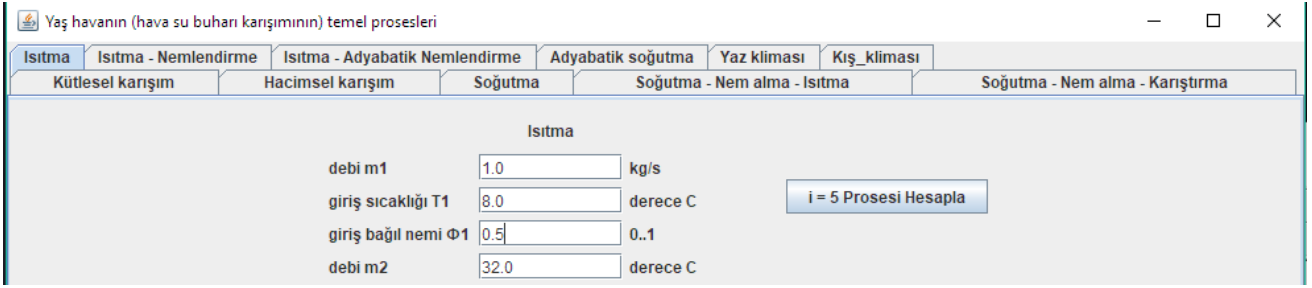
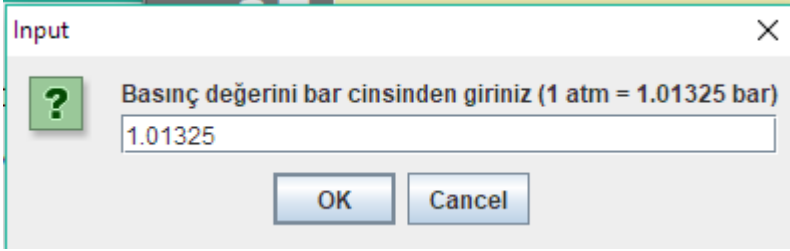
In this equation m_a dry air mass flow rates and h_1 and h_2 is enthalpy of wet air, but the difference of dry air enthalpies will result the same value due to constant latent enthalpy values. This simple process can be investigated a small program. As an example, if $m_a = 1$ kg/s dry air is flowing with an inlet temperature of 8 C and relative humidity %50 and heated to 32 C. A small java program will be developed to calculate the process.

Program 4.1.1 nemli havanın ısıtılması

```
import javax.swing.*;
public class wetairtest2
{
    public static void main(String arg[])
    {
        yashava wa=new yashava();
        double m=1.0;// kg/s
        double p=1.01325;// bar
        double t1=8.0;// derece C
        double rh1=0.5;
        double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
        double h1=a[8];
        double w1=a[5];
        double w2=w1;
        double t2=32.0;// derece C
        a=wa.property("tdb_w",t2,w2,p);
        double h2=a[8];
        double rh2=a[6];
        double Q=m*(h2-h1);
        String s="m="+m+" kg/s\n";
        s+="T1="+t1+" derece C h1="+h1+" kJ/kg "+'\u00D8'+t1+"="+rh1*100+"%\n";
        s+="T2="+t2+" derece C h2="+h2+" kJ/kg "+'\u00D8'+t2+"="+rh2*100+"%\n";
        s+="Q = "+Q+" kW";
        JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
    }
}
```

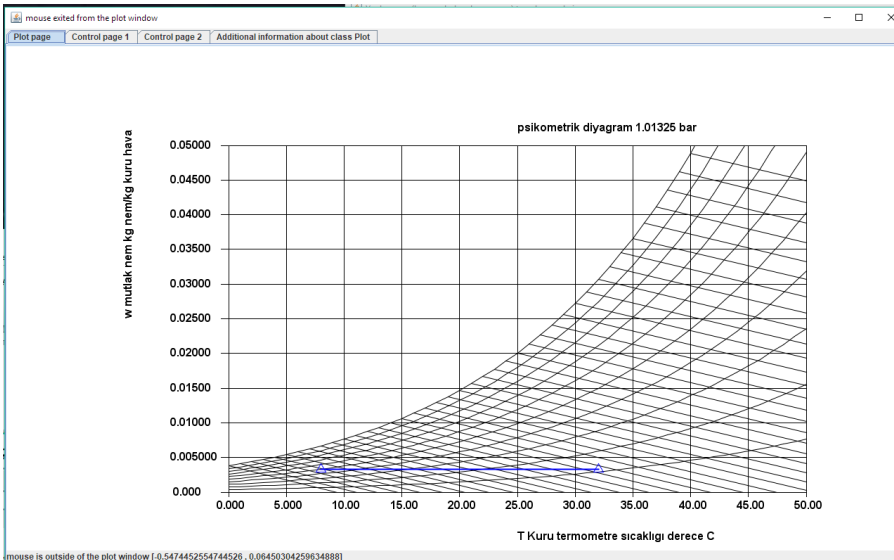


Örnek prosesleri bilgisayar programı olmadan değerlendirebilmek amacıyla bir kullanıcı arayüzü programı (Graphic user interface – GUI) hazırlanmıştır. Programımızın adı YasHavaProsesleriTable.java'dır. Bu programı çalıştırsak:



Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül ha...	Pv_su_buhar...	Pa_hava_kis...	w_özgül ne...	Ø bağıl nem	dos.doygunlu...	h enthalpi KJ/...	s_entropi KJ/...	tçn_çığ noktas...	ha_kuru hava...	hv_su_buharın...	hw_w.duyulur...	t_yaş_hava si...
1.01325	8.0	0.800756417...	0.005361929...	1.007888070...	0.003308861...	0.5	0.497340017...	16.35416458...	0.059643822...	-1.78131660...	8.028280480...	2516.238528...	8.325884103...	3.866169207...
1.01325	32.0	0.869111935...	0.005361929...	1.007888070...	0.003308861...	0.112684053...	0.107963563...	40.60267525...	0.142406017...	-1.78131660...	32.12882644...	2560.956241...	8.473848812...	14.66254749...

m kg/s	Q ısıtma KW
1.0	24.24851067293496



Şekil 4.1-2 Isıtma prosesinin kullanıcı arayüzü çıktısı

Soğutma prosesi de ısıtma prosesine benzer olarak hesaplanır. Örnek olarak 35 C ve %50 nemle giren havayı 25 C ye soğutalım.

Program 4.1-2 nemli havanın soğutulması

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest3
{
    public static void main(String arg[])
    {
        yashava wa=new yashava();
        double m=1.0;// kg/s
        double p=1.01325;// bar
        double t1=35.0;// derece C
        double rh1=0.5;
        double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
        double h1=a[8];
        double w1=a[5];
        double w2=w1;
        double t2=25.0;// derece C
        a=wa.property("tdb_w",t2,w2,p);
        double h2=a[8];
        double rh2=a[6];
        double Q=m*(h2-h1);
        String s="m="+m+" kg/s\n";
        s+="T1="+t1+" derece C h1="+h1+" kJ/kg "+'\u00D8'+ "1 =" +rh1*100+"%\n";
        s+="T2="+t2+" derece C h2="+h2+" kJ/kg "+'\u00D8'+ "2 =" +rh2*100+"%\n";
        s+="Q = "+Q+" kW";
        JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
    }
}
```



Aynı prosesi kullanıcı arayüzü programında yinelersek:

Yaş havanın (hava su buharı karışımının) temel prosesleri

Isıtma Isıtma - Nemlendirme Isıtma - Adyabatik Nemlendirme Adyabatik soğutma Yaz kliması Kış kliması

Kütlesel karışım Hacimsel karışım Soğutma Soğutma - Nem alma - Isıtma Soğutma - Nem alma - Karıştırma

Soğutma

kütlesel debi m1 1.0 kg/s
giriş sıcaklığı T1 35.0 derece C
giriş bağıl nemi Φ 1 0.5
çıkış sıcaklığı T2 25.0 derece C

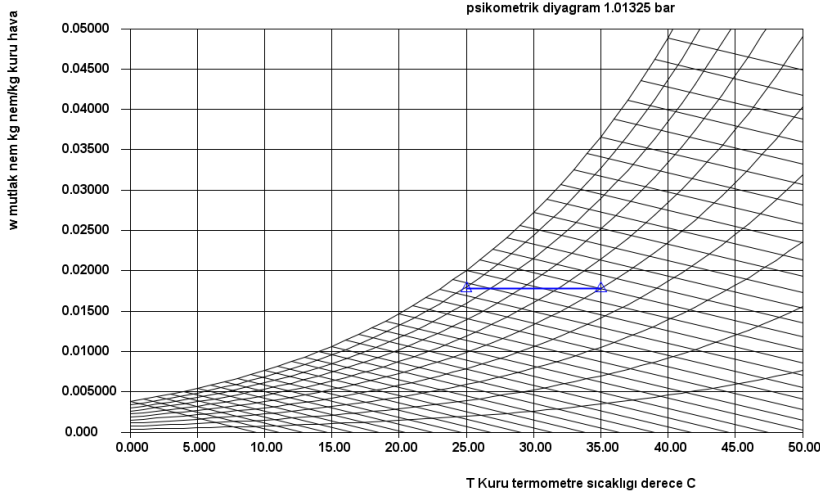
i = 2 Prosesi Hesapla

soğutma prosesi termodinamik değerleri

Başıncı bar	sıcaklık C	v kh özgül hacim	Pv_su_buharı_k...	Pa_hava_ksmi...	w_özgül nem k...	φ bağıl nem	dos.doygunluk...	h enthalpi KJ/kg	s. entropi KJ/kgkh	tçn.giş noktası s	ha.kuru havanın...	hv.su buharının...	hw.w.duyulur.ent	t_yaş_hava sica...
1.01325	35.0	0.89794847943...	0.02813848018...	0.98511151981...	0.01776581050...	0.5	0.48571812448...	80.7326145728...	0.27517904560...	23.0220712201...	35.1456967409...	2565.99144795...	45.5869178318...	26.1425962594...
1.01325	25.0	0.86880849957...	0.02813848018...	0.98511151981...	0.01776581050...	0.88795521598...	0.88475479666...	70.3472921265...	0.24091804964...	23.0220712201...	25.0927734761...	2547.28139915...	45.2545186503...	23.5642744163...
1.01325	23.0220712201...	0.86304481909...	0.02813848018...	0.98511151981...	0.01776581050...	1.0	0.99999999999...	68.2958617162...	0.23401459436...	23.0220712201...	23.1070193067...	2543.56462220...	45.1688424114...	23.0220712201...

soğutma prosesi çıktı değerleri

m kg/s	Q soğutma KW	m yoğuşma kg/s
1.0	10.385322446346308	0.0



Şekil 8 Duyulur Isıtma Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

wet air and psychrometric processes

heating - humidifying heating - adiabatic humidifying-cooling adiabatic cooling summer air conditioning winter air conditioning

mixing with mass flow rates mixing with volumetric flow rates cooling cooling - dehumidifying - heating cooling - dehumidifying - mixing heating

cooling

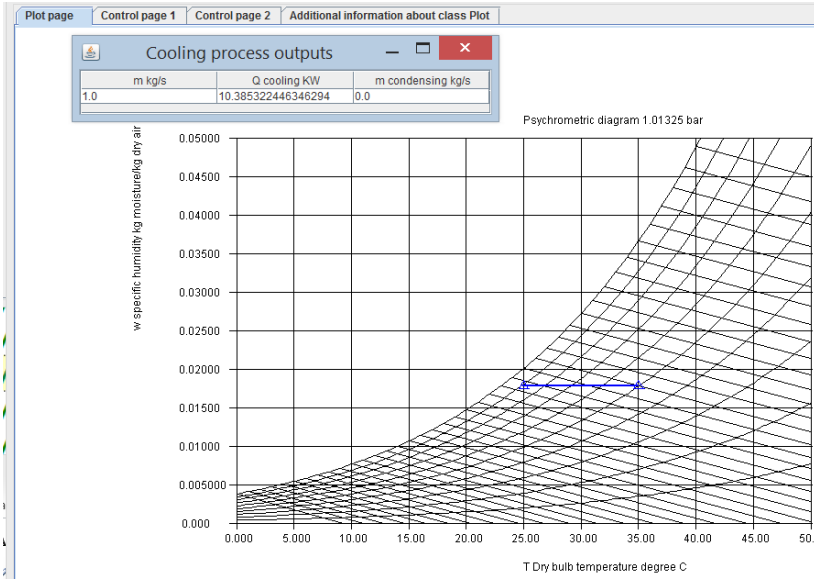
mass flow rate m1 1.0 kg/s

inlet temperature T1 35.0 degree C

inlet relative humidity Φ 1 0.5 0..1

exit temperature T2 25.0 degree C

i = 2 calculate the process



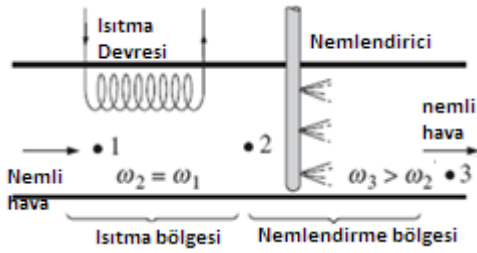
Cooling process thermodynamic properties

Pressure bar	Temperature degre.	v dry air specific vol.	Pv_water partial pr.	Pa_dry air partial pr.	w_specific humidit.	ϕ relative humidit.	dos.degree of satu.	h enthalpy KJ/kgth	s entropy KJ/kgth	dp_dew point temp.	ha enthalpy of dry a.	hv enthalpy of stea.	hw sensible heat.	tw wet air temperat.
1.01325	35.0	0.8979484794382.	0.0281384801869.	0.9851115198130.	0.0177658105089.	0.5	0.4857181244858.	80.732814572862.	0.2751790456065.	23.022071220145.	35.145696740990.	2565.9914479556.	145.588917831872.	26.142596259492.
1.01325	25.0	0.8688084995785.	0.0281384801869.	0.9851115198130.	0.0177658105089.	0.8879552159805.	0.8847547966658.	70.347292128516.	0.2409180496444.	23.022071220145.	25.092773476196.	2547.2813991578.	145.254518850319.	23.584274416312.
1.01325	23.022071220145.	0.8530448190952.	0.0281384801869.	0.9851115198130.	0.0177658105089.	1.0	0.8989898989899.	68.295861718253.	0.2340145943656.	23.022071220145.	23.107019300781.	2543.5848222056.	145.188842411492.	23.022071220145.

Figure 5.2.1.2 GUI output showing the cooling process

4.2. Isıtma ve nemlendirme:

Havanın ısıtmasından dolayı kuruması (bağıl nemin azalması) ısıtma prosesine nemlendirme prosesi eklenerek giderilebilir. Nemlendirme adyabatik olarak yapılabileceği gibi buhar gibi bir ortam kullanılarak ısıtma ile entegre edilebilir.



Şekil 4.2-1 Nemli havanın ısıtılması ve nemlendirilmesi

Prosesin temel enerji denklemleri

$$m_{a,1} = m_{a,2} = m_{a,3} = m_a$$

Kütlenin korunumu kanunundan

$$w_3 m_{a,3} - w_2 m_{a,2} - m_w = 0 \quad \text{hava içindeki nem için}$$

$$m_w = m_a (w_3 - w_2)$$

ve ısı transferi:

$$Q_1 = m_a (h_2 - h_1) \quad \text{kW}$$

$$Q_2 = m_a (h_3 - h_2) = m_w h_w = m_a (w_3 - w_2) h_w$$

Örnek problem 1 : Hava $m_a=1$ kg/s, $T_1=8^\circ\text{C}$, ϕ_1 (bağıl nem)=%30 ile girmekte ve ısıtma devresinde $T_2=32^\circ\text{C}$ ye kadar ısıtılmaktadır. Daha sonra hava adyabatik olarak nemlendirilmekte ($T_{3\text{yashavasıcaklığı}} = T_{2\text{yashavasıcaklığı}}$) ve $T_3=20^\circ\text{C}$ de çıkmaktadır.

Program 4.2.1 ısıtma ve adyabatik nemlendirme

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest4
{
    public static void main(String arg[])
    {
        yashava wa=new yashava();
        double m=1.0;// kg/s
        double p=1.01325;// bar
        double t1=8.0;// degree C
        double rh1=0.3;
        double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
        double h1=a[8];
        double w1=a[5];
        double twb1=a[14];
        double w2=w1;
        double t2=32.0;// degree C
        a=wa.property("tdb_w",t2,w2,p);
        double h2=a[8];
        double rh2=a[6];
        double twb2=a[14];
        double t3=20.0;
        double twb3=twb2;
        a=wa.property("tdb_twb",t3,twb3,p);
        double h3=a[8];
        double rh3=a[6];
        double w3=a[5];
        double Q1=m*(h2-h1);
        double Q2=m*(h3-h2);
        double dm=m*(w3-w2);

        String s="m="+m+" kg/s\n";
        s+="T1="+t1+" degree C h1="+h1+" kJ/kg "+"\u00D8"+"1 ="+"rh1*100+" % w1 = "+w1+" twb1 = "+twb1+" degree C\n";
        s+="T2="+t2+" degree C h1="+h2+" kJ/kg "+"\u00D8"+"1 ="+"rh2*100+" % w1 = "+w2+" twb2 = "+twb2+" degree C\n";
        s+="T3="+t3+" degree C h1="+h3+" kJ/kg "+"\u00D8"+"1 ="+"rh3*100+" % w1 = "+w3+" twb3 = "+twb3+" degree C\n";
        s+="Q1 = "+Q1+" kW\n";
        s+="Q2 = "+Q2+" kW\n";
        s+="moisturizing dm = "+dm+" kg/s";
        JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
    }
}
```


Message

✕



m=1.0 kg/s

T1=8.0 degree C h1=13.013329576608688 kJ/kg Ø1 =30.0 % w1 = 0.001981100981092346 twb1 = 2.056415001417048 degree C

T2=32.0 degree C h1=37.2024476890954 kJ/kg Ø1 =6.761043214044153 % w1 = 0.001981100981092346 twb2 = 13.393269191135754 degree C

T3=20.0 degree C h1=37.47635656827809 kJ/kg Ø1 =47.24252531947473 % w1 = 0.0068559196630507266 twb3 = 13.393269191135754 degree C

Q1 = 24.18911811248671 kW

Q2 = 0.2739088791826916 kW

moisturizing dm = 0.00487481868195838 kg/s

OK

İnsan arayüzü programıyla hesaplama:

Yaş havanın (hava su buharı karışımının) temel prosesleri

Isıtma	Isıtma - Nemlendirme	Isıtma - Adyabatik Nemlendirme	Adyabatik soğutma	Yaz kliması	Kış kliması
Kütleli karışım	Hacimsel karışım	Soğutma	Soğutma - Nem alma - Isıtma	Soğutma - Nem alma - Karıştırma	

Isıtma ve nemlendirme

kütleli debi m1: 1.0 kg/s

giriş sıcaklığı T1: 8.0 derece C

giriş bağıl nemi Φ1: 0.3 0..1

ısıtma prosesi çıkış sıcaklığı T2: 32.0 derece C

nemlendirme prosesi çıkış sıcaklığı T3: 20.0 derece C

i = 7 Prosesi Hesapla

Isıtma ve adyabatik nemlendirme prosesi termodinamik değerler

Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül ...	Pv_su_bu...	Pa_hava...	w_özgül ...	φ bağıl nem	dos.doygu...	h enthalpi...	s. entropi ...	tçn.çiğ no...	ha,kuru h...	hv,su buh...	hv*w,duyu...	t_yaş_hav...
1.01325	8.0	0.799056...	0.003217...	1.010032...	0.001981...	0.3	0.297770...	13.01332...	0.047802...	-8.51825...	8.028280...	2516.302...	4.985049...	2.056415...
1.01325	32.0	0.867266...	0.003217...	1.010032...	0.001981...	0.067610...	0.064640...	37.20244...	0.130361...	-8.51825...	32.12882...	2561.010...	5.073621...	13.39326...
1.01325	20.0	0.830515...	0.011047...	1.002202...	0.006855...	0.472425...	0.466609...	37.47635...	0.132722...	8.436951...	20.07315...	2538.419...	17.40319...	13.39326...

Isıtma ve adyabatik nemlendirme prosesi çıktı değerleri

m kg/s	Q ısıtma KW	nemlendirme kg/s
1.0	24.18911811248671	0.00487481868195838

Örnek problem 2 : Hava $m_a=1$ kg/s, $T_1=8^\circ\text{C}$, ϕ_1 (bağıl nem)=%30 ile girmekte ve ısıtma devresinde $T_2=15^\circ\text{C}$ ye kadar ısıtılmaktadır. Daha sonra daha sonra doymuş buhar kullanılarak nemlendirilmekte ve $T_3=30^\circ\text{C}$ ϕ_3 (bağıl nem)=%30 ile çıkmaktadır. Her iki prostedeki ısı transferini bulunuz.

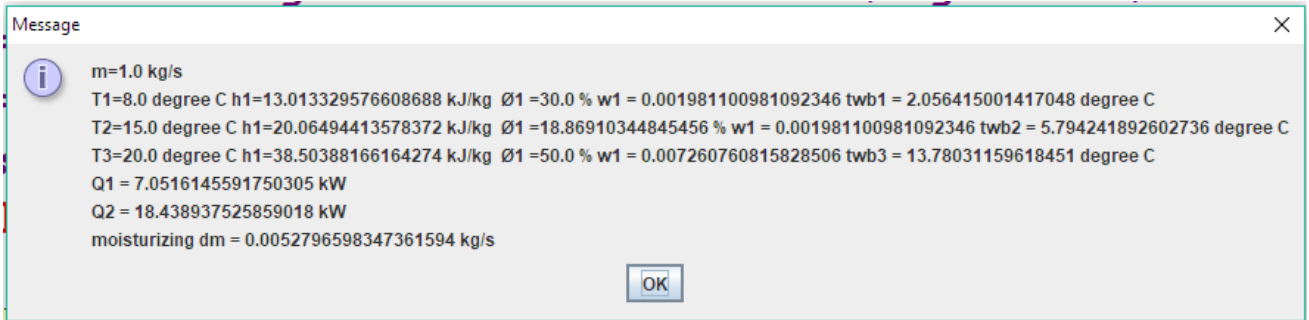
Program 4.2.2 ısıtma ve nemlendirme

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest4A
{
    public static void main(String arg[])
    {
        yashava wa=new yashava();
        double m=1.0;// kg/s
        double p=1.01325;// bar
        double t1=8.0;// degree C
        double rh1=0.3;
        double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
        double h1=a[8];
        double w1=a[5];
        double twb1=a[14];
        double w2=w1;
        double t2=15.0;// degree C
        a=wa.property("tdb_w",t2,w2,p);
        double h2=a[8];
        double rh2=a[6];
        double twb2=a[14];
        double t3=20.0;
        double fi3=0.5;
        a=wa.property("tdb_rh",t3,fi3,p);
```

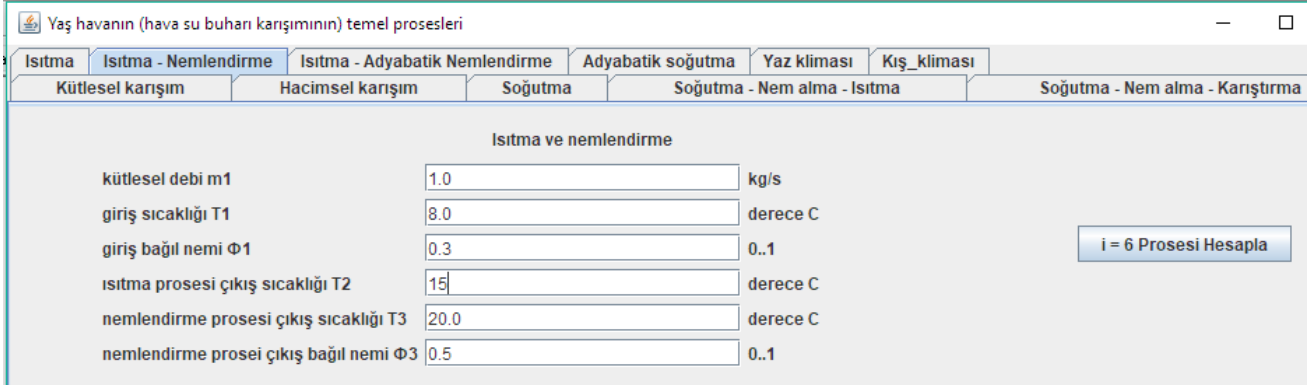
```

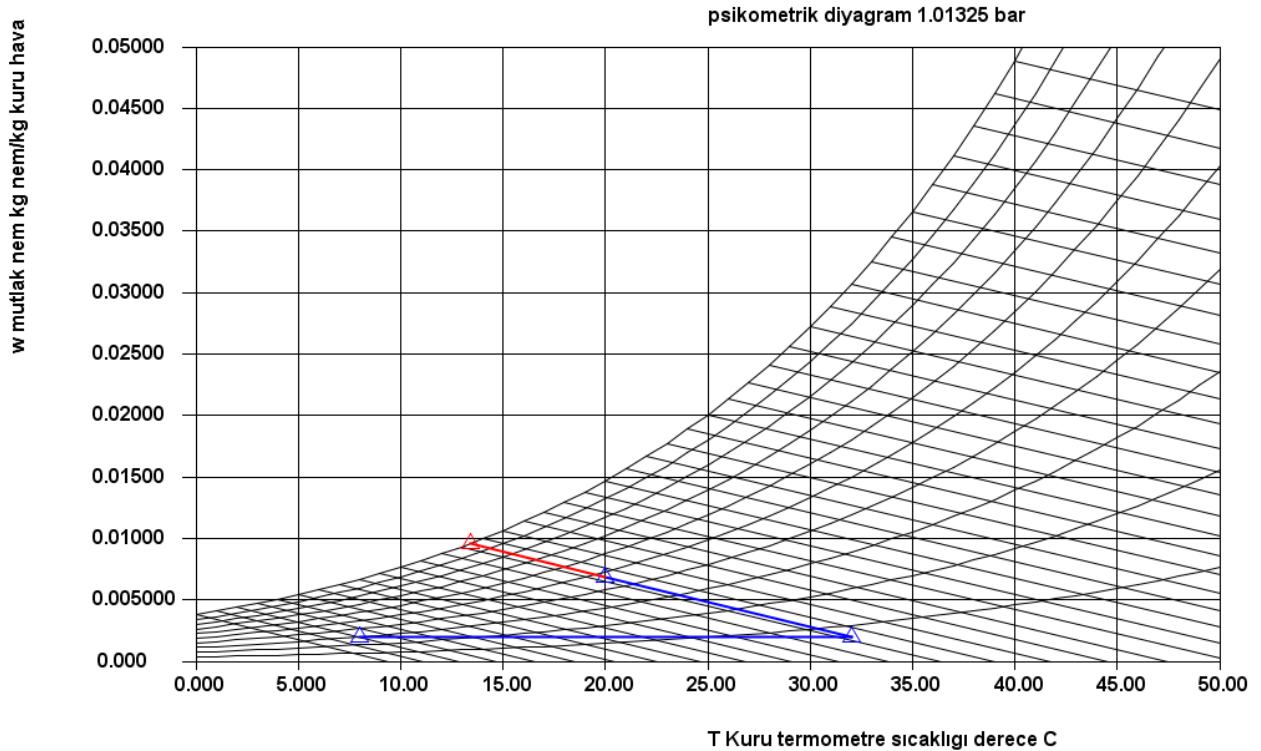
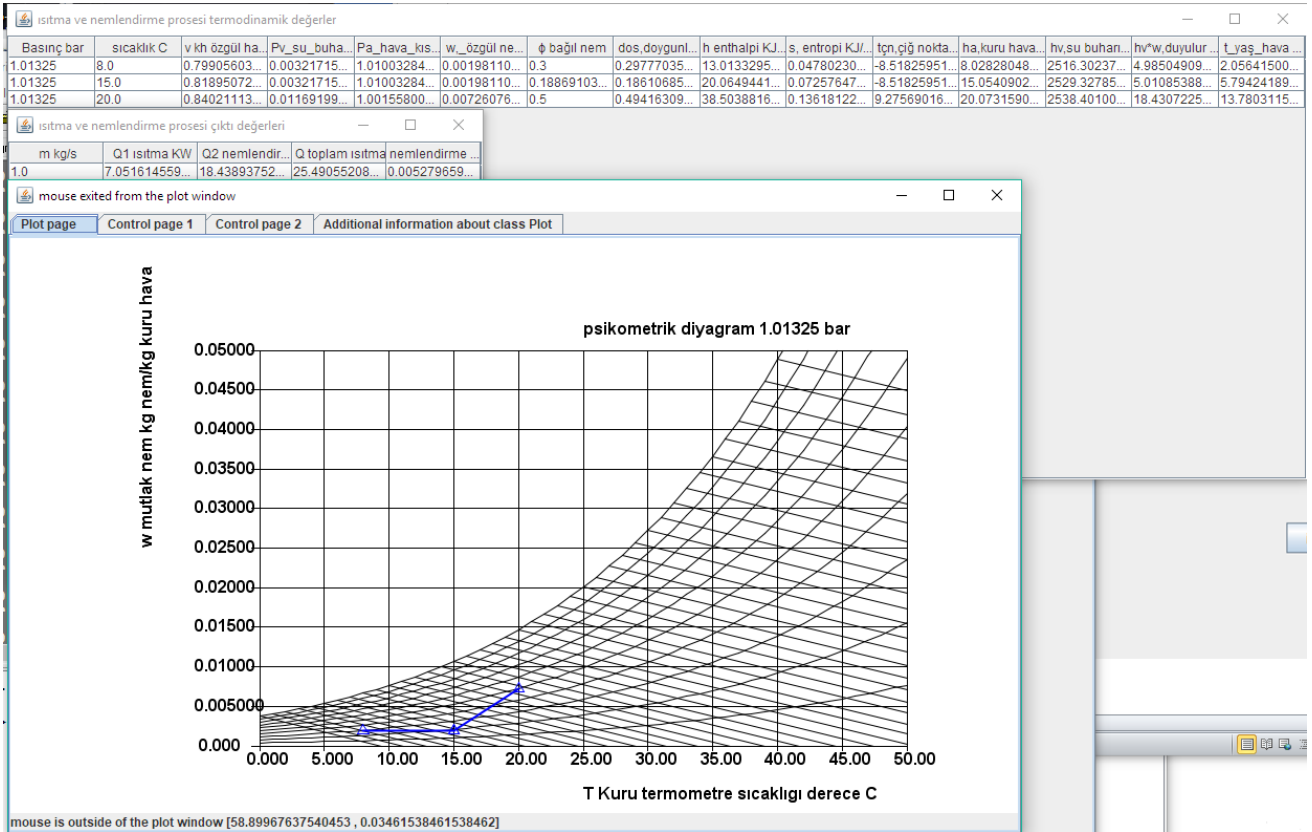
double h3=a[8];
double rh3=a[6];
double w3=a[5];
double twb3=a[14];
double Q1=m*(h2-h1);
double Q2=m*(h3-h2);
double dm=m*(w3-w2);
String s="m="+m+" kg/s\n";
s+="T1="+t1+" degree C h1="+h1+" kJ/kg "\u00D8"+"1 ="+"rh1*100+" % w1 = "+w1+" twb1 = "+twb1+" degree C\n";
s+="T2="+t2+" degree C h1="+h2+" kJ/kg "\u00D8"+"1 ="+"rh2*100+" % w1 = "+w2+" twb2 = "+twb2+" degree C\n";
s+="T3="+t3+" degree C h1="+h3+" kJ/kg "\u00D8"+"1 ="+"rh3*100+" % w1 = "+w3+" twb3 = "+twb3+" degree C\n";
s+="Q1 = "+Q1+" kW\n";
s+="Q2 = "+Q2+" kW\n";
s+="moisturizing dm = "+dm+" kg/s";
JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
}}

```



GUI programı:





4.3 Soğutma, nemlendirme ve tekrar ısıtma prosesi:

Normal soğutma prosesi sırasında mutlak nem miktarı sabit kalır. Ancak bu proses sırasında havanın mutlak nemi artar. Eğer çıkıştaki havanın mutlak nemi çok yüksek ise bu rahatsızlık oluşturabilir. Bu durumda havanın neminin alınması gerekir. Bunun için hava çok düşük sıcaklıklara kadar soğutulur. Bu soğutma sonucunda suya doymuş olan (bağıl nemi 100%) havadan su yoğunlaşarak ayrılır. Yoğuşuktan sonraki hava çok soğuk ve çok nemlidir, bu yüzden bağıl nemi konforlu bölgeye getirebilmek için ısıtma veya sıcak havayla karıştırma prosesi uygulanır.

	Hız(m/s)	Hız(m/s)	Hız(m/s)	Hız(m/s)	Hız(m/s)	Hız(m/s)	Hız(m/s)	Hız(m/s)
(sıra)	1.50	3.33	1.50	3.33	1.50	3.00	1.50	3.00
2	0.42	0.55	0.22	0.38				
3	0.27	0.4	0.1	0.23				
4	0.15	0.28	0.05	0.14	0.12	0.22	0.04	0.1
5	0.1	0.22	0.03	0.09	0.08	0.16	0.02	0.06
6	0.06	0.15	0.01	0.05	0.05	0.11	0.01	0.03
8	0.02	0.08	0	0.02	0.02	0.06	0	0.02

Tablo 4.3-2 TİPİK ATLATMA(BF) DEĞERLERİ (çeşitli uygulamalar için)

ATLATMA DEĞERİ	UYGULAMA TİPİ	ÖRNEK
0.3	0.5	Küçük toplam yük düşük duyulur ısı
0.2	0.3	orta toplam yük, konfor amaçlı
0.1	0.2	tipik konfor iklimlendirmesi
0.05	0.1	yüksek duyulur yük ve çok hava
0	0.1	toplam dış hava

Örnek problem 1 : Birinci örneğimizde soğutma devresine dokunmadan direk geçen hava-atlatma havası (bypass havası) oranının 0 olduğunu kabul edelim. $m_a=1$ kg/s, $T_1=32$ C, ϕ_1 (bağıl nem)=%70 , çıkış noktası da $T_4=22^{\circ}$ C, ϕ_4 (bağıl nem)=%45 olsun

Program 4.3.1 ideal soğutma nem alma-ısıtma prosesi

```

import javax.swing.*;
public class yashavatest5
{
public static void main(String arg[])
{
wetair wa=new wetair();
double m=1.0;// kg/s
double p=1.01325;// bar
double t1=32.0;// derece C
double rh1=0.7;
double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
double h1=a[8];
double w1=a[5];
double twb1=a[14];

double w2=w1;
double rh2=1.0;
a=wa.property("w_rh",w2,rh2,p);
double t2=a[1];// derece C
double twb2=a[14];
double h2=a[8];

double t4=22.0;// derece C
double rh4=0.45;
a=wa.property("tdb_rh",t4,rh4,p);
double h4=a[8];
double w4=a[5];
double twb4=a[14];

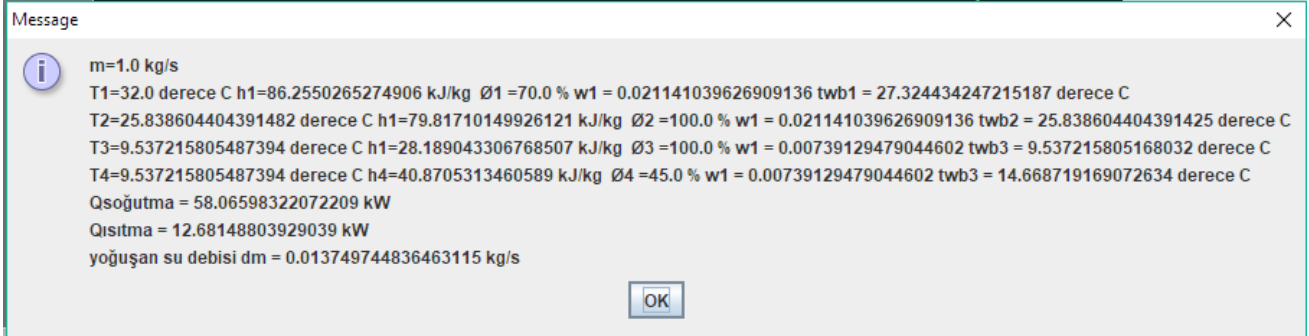
double w3=w4;
double rh3=1.0;
a=wa.property("w_rh",w3,rh3,p);
double t3=a[1];
double h3=a[8];
double twb3=a[14];
double Qcooling=m*(h1-h3);
double Qheating=m*(h4-h3);
double dm=m*(w2-w3);

String s="m="+m+" kg/s\n";
s+="T1="+t1+" derece C h1="+h1+" kJ/kg "\u00D8'+\"1\" ="+rh1*100+" % w1 = "+w1+" twb1 = "+twb1+" derece C\n";

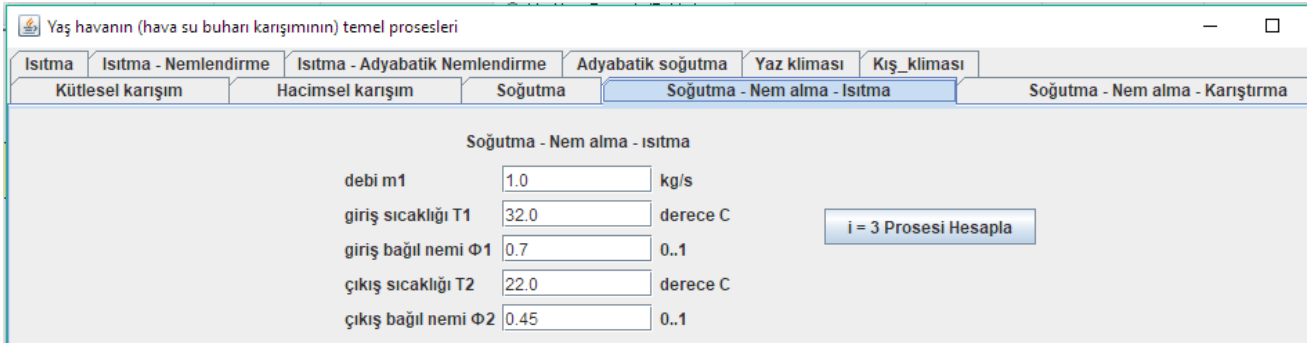
```

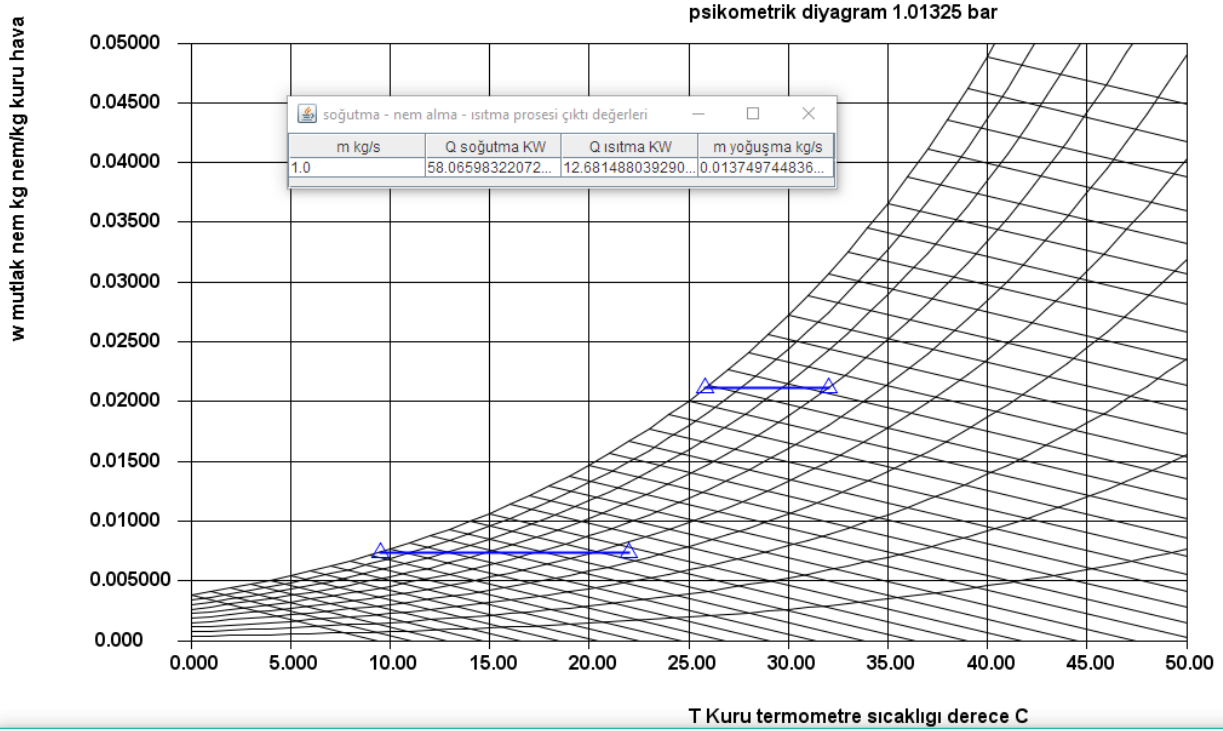
```
s+="T2="+t2+" derece C h1="+h2+" kJ/kg "+\u00D8+"2 =" +rh2*100+" % w1 = "+w2+" twb2 = "+twb2+" derece C\n";  
s+="T3="+t3+" derece C h1="+h3+" kJ/kg "+\u00D8+"3 =" +rh3*100+" % w1 = "+w3+" twb3 = "+twb3+" derece C\n";  
s+="T4="+t4+" derece C h4="+h4+" kJ/kg "+\u00D8+"4 =" +rh4*100+" % w1 = "+w3+" twb3 = "+twb4+" derece C\n";
```

```
s+="Qsoğutma = "+Qcooling+" kW\n";  
s+="Qısıtma = "+Qheating+" kW\n";  
s+="yoğuşan su debisi dm = "+dm+" kg/s";  
JOptionPane.showMessageDialog(null,s);  
}  
}
```



Aynı prosesi kullanıcı arayüzü üzerinden hesaplırsak





m kg/s	Q soğutma KW	Q ısıtma KW	m yoğuşma kg/s
1.0	58.06598322072...	12.681488039290...	0.013749744836...

Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül h...	Pv_su_buh...	Pa_hava_ki...	w_özgül n...	φ bağıl nem	dos_doygun...	h enthalpi ...	s_ entropi K...	tçn,çığ nokt...	ha,kuru hav...	hv,su buha...	hw*w,duyul...	t_yaş_hava...
1.01325	32.0	0.8938979...	0.0333086...	0.9799413...	0.0211410...	0.7	0.6898028...	86.255026...	0.2925800...	25.838604...	32.128826...	2560.2430...	54.126200...	27.324434...
1.01325	22.0	0.8461189...	0.0118997...	1.0013502...	0.0073912...	0.45	0.4434639...	40.870531...	0.1442137...	9.5372158...	22.080938...	2542.1246...	18.789592...	14.668719...
1.01325	25.838604...	0.8758488...	0.0333086...	0.9799413...	0.0211410...	1.0	1.0	79.817101...	0.2712665...	25.838604...	25.934722...	2548.7100...	53.882379...	25.838604...
1.01325	9.5372158...	0.8103913...	0.0118997...	1.0013502...	0.0073912...	1.0	0.9999999...	28.189043...	0.1003140...	9.5372158...	9.5710773...	2518.9045...	18.617965...	9.5372158...

Şekil 4.3.2 GUI çıktısı, ideal soğutma nem alma ve ısıtma prosesi

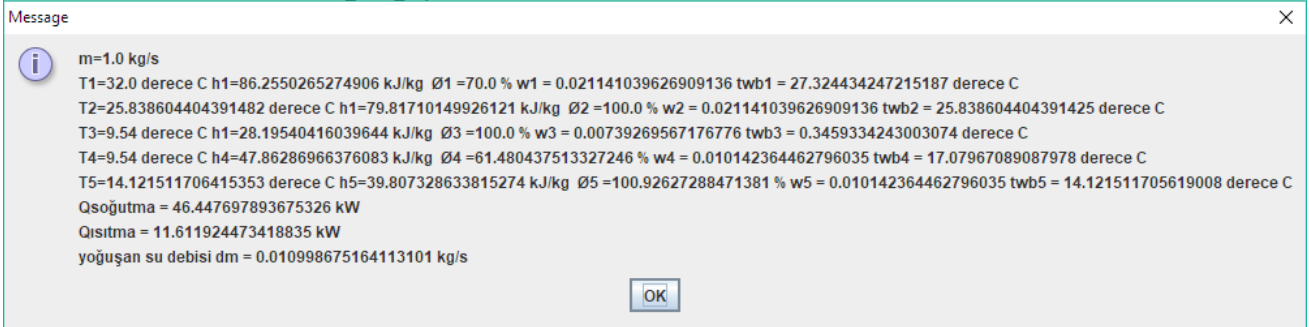
Örnek problem 2 : İkinci örneğimizde soğutma devresine dokunmadan direk geçen hava (bypass havası) oranının %20 olduğunu kabul edelim. $m_a=1$ kg/s, $T_1=32$ C, ϕ_1 (bağıl nem)=%70 , Soğutma prosesinin soğutma devresinden çıkışın ideal durumu aynı olan 9.54 C olduğunu alalım. çıkış noktası da $T_4=22$ °C olsun

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest5A
{
public static void main(String arg[])
{
wetair wa=new wetair();
double m=1.0;// kg/s
double p=1.01325;// bar
double t1=32.0;// derece C
double rh1=0.7;
double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
double h1=a[8];
double w1=a[5];
double twb1=a[14];
double w2=w1;
double rh2=1.0;
a=wa.property("w_rh",w2,rh2,p);
double t2=a[1];// derece C
double twb2=a[14];
double h2=a[8];
double t3=9.54;// derece C
double rh3=1.0;
a=wa.property("tdb_rh",t3,rh3,p);
double h3=a[8];
double w3=a[5];
double twb3=a[14];
```

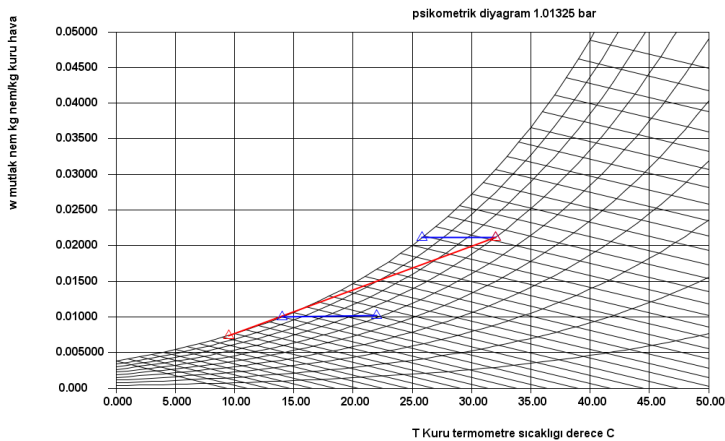
```

// bypass oranı
double b=0.2;
double h5=(1.0-b)*h3+b*h1;
double w5=(1.0-b)*w3+b*w1;
a=wa.property("w_h",w5,h5,p);
double t5=a[1];
double rh5=a[6];
double twb5=a[14];
double t4=22.0;// derece C
double w4=w5;
a=wa.property("tdb_w",t4,w4,p);
double rh4=a[6];
double twb4=a[14];
double h4=a[8];
double Qcooling=m*(h1-h5);
double Qheating=m*(h5-h3);
double dm=m*(w2-w5);
String s="m="+m+" kg/s\n";
s+="T1="+t1+" derece C h1="+h1+" kJ/kg "\u00D8"+"1 ="+"rh1*100+" % w1 = "+w1+" twb1 = "+twb1+" derece C\n";
s+="T2="+t2+" derece C h1="+h2+" kJ/kg "\u00D8"+"2 ="+"rh2*100+" % w2 = "+w2+" twb2 = "+twb2+" derece C\n";
s+="T3="+t3+" derece C h1="+h3+" kJ/kg "\u00D8"+"3 ="+"rh3*100+" % w3 = "+w3+" twb3 = "+twb3+" derece C\n";
s+="T4="+t4+" derece C h4="+h4+" kJ/kg "\u00D8"+"4 ="+"rh4*100+" % w4 = "+w4+" twb4 = "+twb4+" derece C\n";
s+="T5="+t5+" derece C h5="+h5+" kJ/kg "\u00D8"+"5 ="+"rh5*100+" % w5 = "+w5+" twb5 = "+twb5+" derece C\n";
s+="Qsoğutma = "+Qcooling+" kW\n";
s+="Qısıtma = "+Qheating+" kW\n";
s+="yoğuşan su debisi dm = "+dm+" kg/s";
JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
}
}

```



Aynı programın insan arayüzlü versiyonu:



soğutma - nem alma - ısıtma prosesi çıktı değerleri			
m kg/s	Q soğutma KW	Q ısıtma KW	m yoğuşma kg/s
1.0	71.5812396815909	33.192152476163...	0.010997467379...

soğutma - nem alma - ısıtma prosesi termodinamik değerler

Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül h...	Pv_su_buha...	Pa_hava_ki...	w_özgül ne...	φ bağıl nem	dos.doynul...	h enthalpi K...	s. entropi KJ...	tçn.çğ nokta...	ha_kuru hava...	hv_su buharın...	hw_w.duyulur...	t_yaş_hava s...
1.01325	32.0	0.89389791...	0.03330862...	0.97994137...	0.02114103...	0.7	0.68980287...	86.2550265...	0.29258001...	25.8386044...	32.1288264...	2560.24306...	54.1262000...	27.3244342...
1.01325	25.8386044...	0.87584889...	0.03330862...	0.97994137...	0.02114103...	1.0	1.0	79.8171014...	0.27126658...	25.8386044...	25.9347221...	2548.71001...	53.8823793...	25.8386044...
1.01325	9.543	0.81041166...	0.01190435...	1.00134564...	0.00739420...	1.0	1.0	28.2022587...	0.10035943...	9.543000000...	9.57688265...	2518.91515...	18.6253760...	9.54299999...
1.01325	22.0	0.84981910...	0.01625968...	0.99699031...	0.01014357...	0.61487641...	0.60859552...	47.8659393...	0.16749899...	14.2655312...	22.0809385...	2542.00395...	25.7850008...	17.0806800...
1.01325	14.0344	0.82668333...	0.01601776...	0.99723223...	0.00999022...	1.0	1.0	14.6737868...	0.05238587...	14.0344000...	14.0848692...	58.9493661...	0.58891764...	2.91974597...

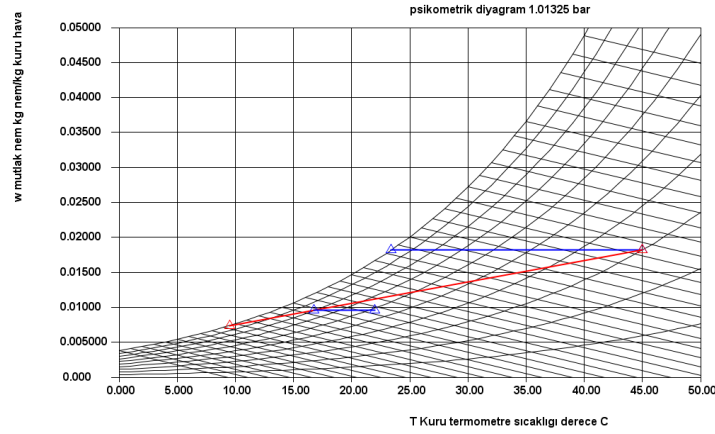
Örnek problem 3 : soğutma devresine dokunmadan direk geçen hava (bypass havası) oranının %20 olduğunu kabul edelim. $m_a=1$ kg/s, $T_1=45$ C, ϕ_1 (bağıl nem)=%30 , Soğutma prosesinin soğutma devresinden çıkışın ideal durumla aynı olan 9.54 C olduğunu alalım. çıkış noktası da $T_4=22^\circ\text{C}$ olsun

soğutma - nem alma - ısıtma prosesi çıktı değerleri

m kg/s	Q soğutma KW	Q ısıtma KW	m yoğuşma kg/s
1.0	51.19652645051...	5.36022204306277	0.00862992729585...

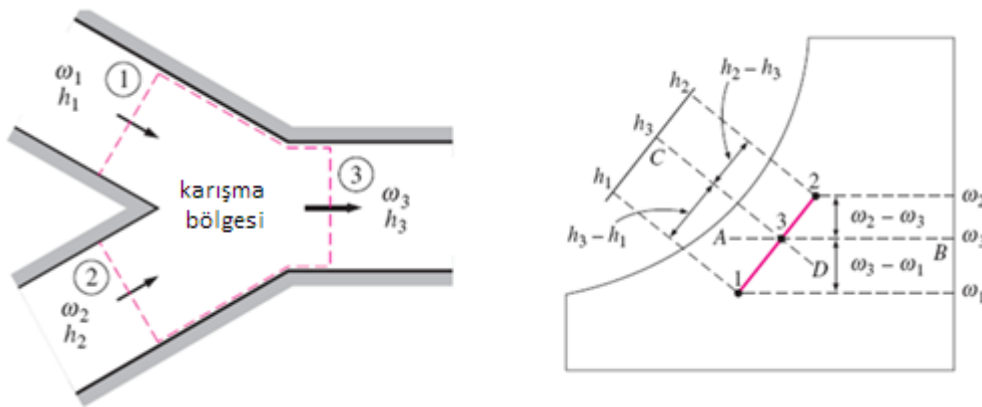
soğutma - nem alma - ısıtma prosesi termodinamik değerler

Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül hac...	Pv_su_buharı...	Pa_hava_kis...	w_özgül nem...	φ bağıl nem	dos.doynul...	h enthalpi KJ/...	s. entropi KJ/...	tçn.çğ noktas...	ha_kuru hava...	hv_su buharın...	hw_w.duyulur...	t_yaş_hava s...
1.01325	45.0	0.927691031...	0.028778348...	0.984471651...	0.018181614...	0.3	0.279537405...	92.19791679...	0.311806015...	23.39403796...	45.20358010...	2584.717470...	46.99433669...	28.69499598...
1.01325	23.39403796...	0.864690379...	0.028778348...	0.984471651...	0.018181614...	1.0	1.0	69.73924516...	0.238703964...	23.39403796...	23.48045102...	2544.262176...	46.25879413...	8.049820444...
1.01325	9.543	0.810411667...	0.011904351...	1.001345648...	0.007394205...	1.0	1.0	28.20225873...	0.100359434...	9.543000000...	9.576882657...	2518.915158...	18.62537607...	9.542999999...
1.01325	22.0	0.849023373...	0.015325268...	0.997924731...	0.009551687...	0.579540572...	0.573083518...	46.36161239...	0.162523474...	13.35539261...	22.08093850...	2542.029832...	24.28067388...	16.58115783...
1.01325	16.75161546...	0.833929196...	0.015325268...	0.997924731...	0.009551687...	0.803551399...	0.800534511...	41.00139034...	0.144196520...	13.35539261...	16.81345347...	2532.242118...	24.18718469...	14.66717796...



4.4 Adyabatik karıştırma

Karıştırma prosesi hava şartlandırma proseslerinde sıklıkla başvurulan bir alt prosesi yöntemidir. Karıştırma prosesi alttaki şekilde görülmektedir. Karıştırma prosesinde çevreye kaçan ısı genellikle düşüktür ve ihmal edilebilir.



Şekil 4.3.4 Adyabatik karıştırma prosesi

Temel denklemler:

$$m_{a1} + m_{a2} = m_{a3} \text{ Kuru hava kütleli dengesi}$$

$$m_{a1}w_1 + m_{a2}w_2 = m_{a3}w_3 \text{ su buharı kütleli dengesi}$$

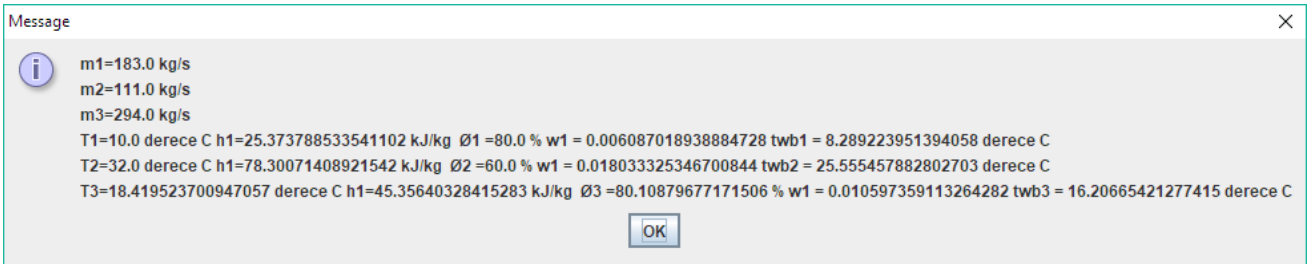
$$m_{a1}h_1 + m_{a2}h_2 = m_{a3}h_3 \text{ enerji dengesi}$$

Adyabatik karıştırma prosesi örneği ; $m_{a1}=183$ kg/s, $T_1=10^\circ\text{C}$, $\phi_1=\%80$, $m_{a2}=111$ kg/s, $T_2=32^\circ\text{C}$, $\phi_2=\%60$

Program 4.4.1 adyabatik karıştırma prosesi

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest6
{ // adiabatic mixing process
public static void main(String arg[])
{
yashava wa=new yashava();
double m1=183.0;// kg/s
double m2=111.0;// kg/s
double m3=m1+m2; //kg/s
double p=1.01325;// bar
double t1=10.0;// derece C
double rh1=0.8;
double t2=32.0;// derece C
double rh2=0.6;
double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
double h1=a[8];
double w1=a[5];
double twb1=a[14];
//point 2
a=wa.property("tdb_rh",t2,rh2,p);
double h2=a[8];
double w2=a[5];
double twb2=a[14];
double w3=(m1*w1+m2*w2)/m3;
double h3=(m1*h1+m2*h2)/m3;
a=wa.property("w_h",w3,h3,p);
double t3=a[1];
double rh3=a[6];
double twb3=a[14];

String s="m1="+m1+" kg/s\n";
s+="m2="+m2+" kg/s\n";
s+="m3="+m3+" kg/s\n";
s+="T1="+t1+" derece C h1="+h1+" kJ/kg "+"\u00D8"+"1 ="+"rh1*100+" % w1 = "+w1+" twb1 = "+twb1+" derece C\n";
s+="T2="+t2+" derece C h1="+h2+" kJ/kg "+"\u00D8"+"2 ="+"rh2*100+" % w1 = "+w2+" twb2 = "+twb2+" derece C\n";
s+="T3="+t3+" derece C h1="+h3+" kJ/kg "+"\u00D8"+"3 ="+"rh3*100+" % w1 = "+w3+" twb3 = "+twb3+" derece C\n";
JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
}
}
```

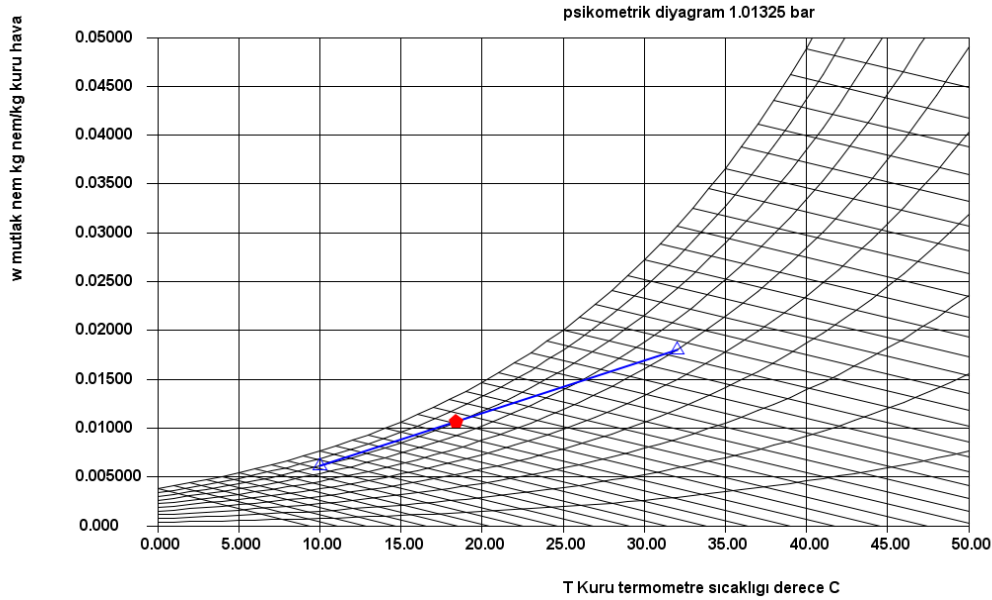


Aynı programın insan arayüzü versiyonu(GUI)



1. kanal m kg/s	2. kanal m kg/s	çıkış kanalı m ...	h, çıkış entalpi...	w, çıkış özgül ...
183.0	111.0	294.0	45.35640328...	0.010597359...

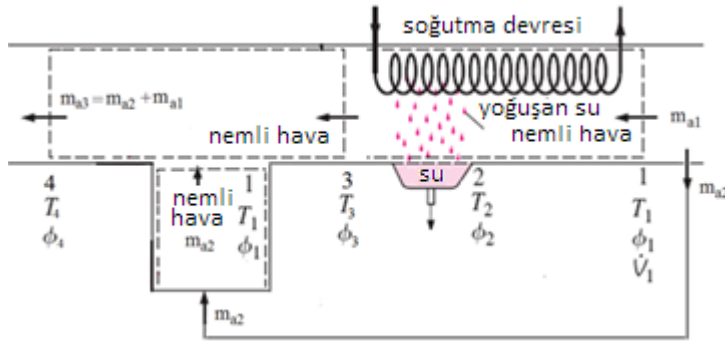
Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül ha...	Pv_su_buha...	Pa_hava_ki...	w_özgül ne...	φ bağıl nem	dos.doygunl...	h entalpi K...	s_ entropi KJ...	tçn çığ nokta...	ha_kuru hava...	hv_su buharı...	hw*w.duyulur...	t_yaş_hava ...
1.01325	10.0	0.81003583...	0.00982023...	1.00342976...	0.00608701...	0.8	0.79804266...	25.3737885...	0.09089094...	6.71405542...	10.0355512...	2519.82743...	15.3382372...	8.28922395...
1.01325	32.0	0.88957831...	0.02855024...	0.98469975...	0.01803332...	0.6	0.58840245...	78.3007140...	0.26720976...	23.2622740...	32.1288264...	2560.36458...	46.1718876...	25.5554578...
1.01325	18.4195237...	0.84011626...	0.01697489...	0.99627510...	0.01059735...	0.80108796...	0.79769883...	45.3564032...	0.15881369...	14.9316125...	18.4878759...	2535.30484...	26.8675359...	16.2066542...



Şekil 4.4.2 GUI çıktısı karışım prosesi

4.5 soğutma nem alma ve karıştırma prosesi

Bu proses temel olarak yukarıda bahsettiğimiz soğutma nem alma ve ısıtma prosesine banzer. Ancak ısıtma yerini adyabatik karıştırmaya bırakmıştır. Bu süreçte ısı eklememe avantajı mevcuttur, ancak düşük nem değerlerine inmek eğer ortamın orijinal nemi yüksekse daha zordur.



Şekil 4.5-1 soğutma-nem alma ve karıştırma prosesi

Temel denklemler:

$$w_1 = w_2$$

$$\phi_2 = \phi_2 = 100\%$$

$$w_3 = w_4$$

$$Q_{soğutma} = m_{a1}(h_1 - h_3)$$

$$\Delta m = m_{a1}(w_2 - w_3)$$

$$m_{a1} + m_{a2} = m_{a3} \text{ Kuru hava kütleli dengesi}$$

$$m_{a1}w_3 + m_{a2}w_2 = m_{a3}w_4 \text{ su buharı kütleli dengesi}$$

$$m_{a1}h_3 + m_{a2}h_2 = m_{a3}h_4 \text{ enerji dengesi}$$

Buradaki denklemlerde soğutma devresinin mükemmel olduğunu varsaydık. Genellikle soğutma devresinden havanın bir kısmı direk olarak soğutma devresine temas etmeden çıkar. Bu yüzden gerçek süreçte çıkış noktası 3 yerine Şekil 4.3-2 de gösterilen 5 noktasına bırakılır. Bu nokta aslında 1 noktasındaki havanın 5 noktasındaki havayla karıştırılmasıdır. Eğer

m_{a1} = 1 noktasındaki hava

m_{a3} = 3 noktasındaki soğutma devresinden geçerek gelen hava

m_{ab} = soğutma devresine dokunmadan direk geçen hava (bypass havası)

Bu durumda kütle korunumu

$$m_{a1} = m_{a3} + m_{ab}$$

$b = \frac{m_{ab}}{m_{a1}}$ soğutma devresine dokunmadan direk geçen hava oranı olarak verebiliriz. Bu durumda



Şekil 4.5-2 soğutma-nem alma karıştırma süreci gerçek çıkış şartları

$$h_5 = (1 - b)h_3 + bh_1$$

$$w = (1 - b)w_3 + bw_1$$

olacaktır. Veya

$$b = \frac{h_5 - h_3}{h_1 - h_3} = \frac{w_5 - w_3}{w_1 - w_3} \text{ olur.}$$

Sıcaklık bu iki denklemden psikometrik ilişkiler üzerinden bulunur.

Örnek problem olarak aşağıdaki şartları göz önüne alalım: $m_1 = 1 \text{ kg/s}$, $T_1 = 35^\circ\text{C}$, ϕ_1 (bağıl nem) = %40, $T_3 = 10^\circ\text{C}$, $m_2 = 0.5 \text{ kg/s}$ ve soğutma devrelerindeki bypas oranı 0 (ideal konum)

Program 4.5.1 ideal soğutma nem alma ve karıştırma süreci

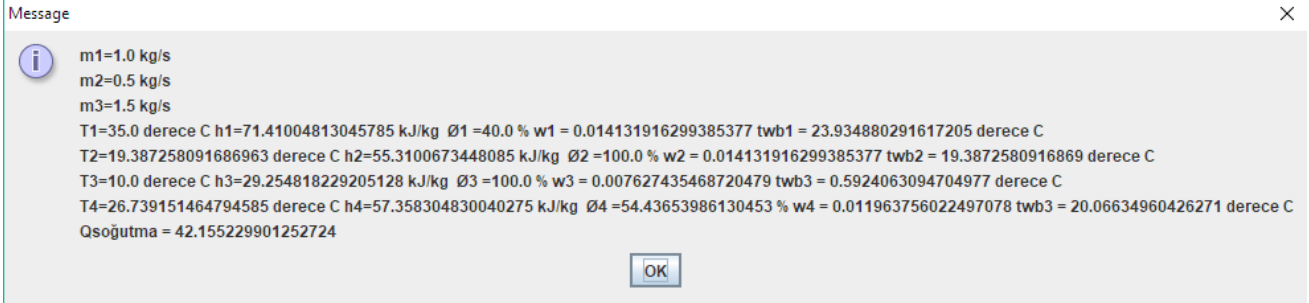
```
import javax.swing.*;
public class yashavatest6
{ // cooling-demoisturizing and adiabatic mixing process
public static void main(String arg[])
{
yashava wa=new yashava();
double m1=1.0; // kg/s
double m2=0.5; // kg/s
double m3=m1+m2; //kg/s
double p=1.01325; // bar
double t1=35.0; // derece C
double rh1=0.4;
double t3=10.0; // derece C
double rh3=1.0;
double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
double h1=a[8];
double w1=a[5];
double twb1=a[14];
//point 2
double w2=w1;
double rh2=1.0;
a=wa.property("w_rh",w2,rh2,p);
double t2=a[1];
double h2=a[8];
double twb2=a[14];
//point 4
```

```

a=wa.property("tdb_rh",t3,rh3,p);
double h3=a[8];
double w3=a[5];
double twb3=a[14];

double w4=(m1*w1+m2*w3)/m3;
double h4=(m1*h1+m2*h3)/m3;
a=wa.property("w_h",w4,h4,p);
double t4=a[1];
double rh4=a[6];
double twb4=a[14];
double Qcooling=m1*(h1-h3);
String s="m1="+m1+" kg/s\n";
s+="m2="+m2+" kg/s\n";
s+="m3="+m3+" kg/s\n";
s+="T1="+t1+" derece C h1="+h1+" kJ/kg "+'\u00D8'+ "1 =" +rh1*100+" % w1 = "+w1+" twb1 = "+twb1+" derece C\n";
s+="T2="+t2+" derece C h2="+h2+" kJ/kg "+'\u00D8'+ "2 =" +rh2*100+" % w2 = "+w2+" twb2 = "+twb2+" derece C\n";
s+="T3="+t3+" derece C h3="+h3+" kJ/kg "+'\u00D8'+ "3 =" +rh3*100+" % w3 = "+w3+" twb3 = "+twb3+" derece C\n";
s+="T4="+t4+" derece C h4="+h4+" kJ/kg "+'\u00D8'+ "4 =" +rh4*100+" % w4 = "+w4+" twb3 = "+twb4+" derece C\n";
s+="Qsoğutma = "+Qcooling+"\n";
JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
}
}

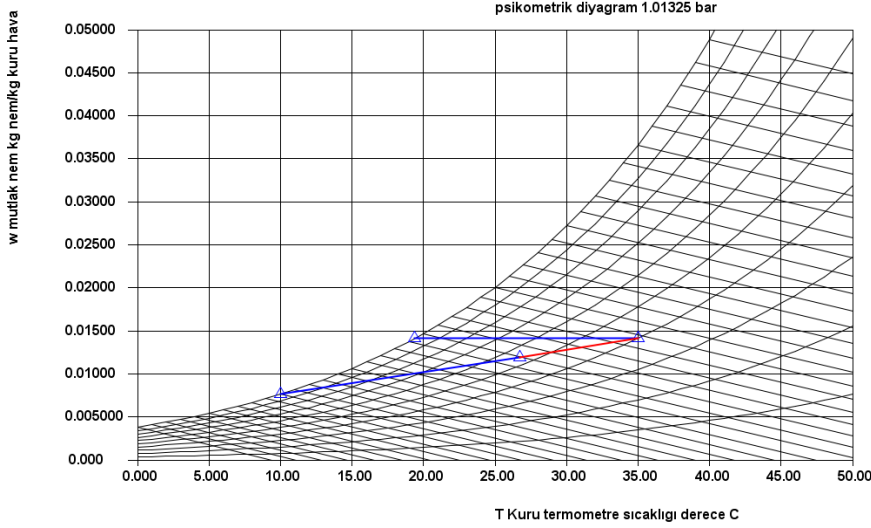
```



Programın kullanıcı arayüzü versiyonunu çalıştırsak:

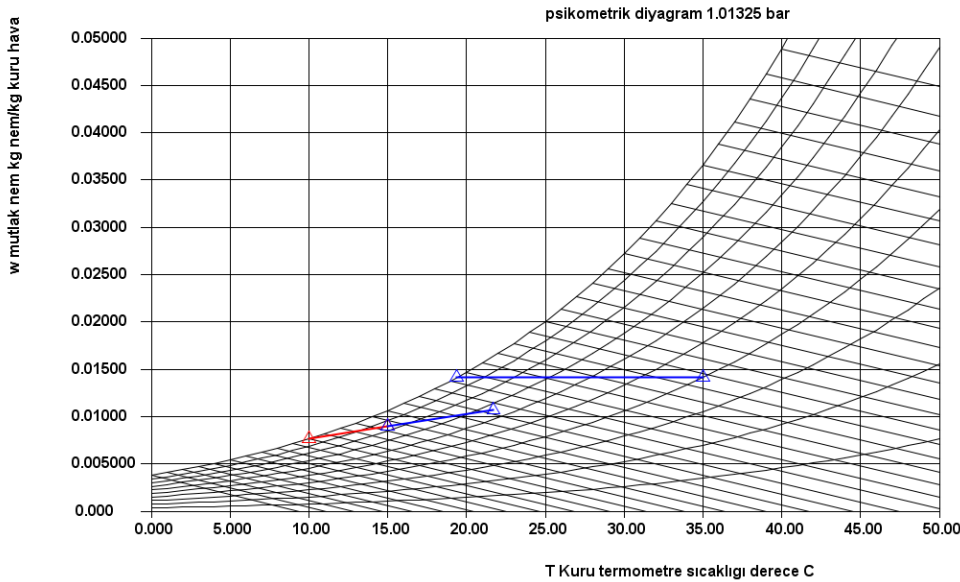
m kg/s	m bypass ha...	Q soğutma KW	Q ısıtma KW	m yoğuşma k...
1.0	0.5	42.15522990...	55.35830483...	0.002168160...

Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül h...	Pv_su_buh...	Pa_hava_k...	w_özgül ne...	φ bağıl nem	dos.doygunl...	h enthalpi K...	s, entropi K...	tçn,çğ nokt...	ha_kuru hav...	hv,su buhari...	hw,w,duyulu...	t_yağ_hava...
1.01325	35.0	0.89284786...	0.02251078...	0.99073921...	0.01413191...	0.4	0.38636727...	71.4100481...	0.24511622...	19.3872580...	35.1456967...	2566.13120...	36.2643513...	23.934880...
1.01325	10.0	0.81202258...	0.01227529...	1.00097470...	0.00762743...	1.0	1.0	29.2548182...	0.10397385...	10.0000000...	10.0355512...	2519.75478...	19.2192669...	0.5924063...
1.01325	19.3872580...	0.84761079...	0.02251078...	0.99073921...	0.01413191...	1.0	1.0	55.3100673...	0.19149953...	19.3872580...	19.4580513...	2536.95360...	35.8520160...	19.387258...
1.01325	26.7391514...	0.86596516...	0.01912229...	0.99412770...	0.01196375...	0.54436539...	0.53560115...	57.3583048...	0.19907118...	16.7931295...	26.8438695...	2550.77383...	30.5168358...	20.066349...



Şekil 4.5.2 GUI çıktısı soğutma-nem alma-karıştırma prosesi

İkinci örnek problem olarak aşağıdaki şartları göz önüne alalım: $m_1 = 1 \text{ kg/s}$, $T_1 = 35^\circ\text{C}$, ϕ_1 (bağıl nem)=%40, $T_3 = 10^\circ\text{C}$, $m_2 = 0.5 \text{ kg/s}$ ve soğutma devrelerindeki bypas oranı %20 alalım



4.6 evaporatif soğutma prosesi

Soğutma prosesi genel olarak termodinamik soğutma çevrimlerini kullanarak yapılır. Bu çevrimleri kullanarak istediğimiz sıcaklık değerlerini elde edebiliriz, ancak bu çevrimlerin çalıştırma ve ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Çok sıcak ve bağıl nemin düşük olduğu ortamlarda evaporatif soğutma bir alternatif olabileceği gibi soğutma prosesinden önce birinci kademe olarak ta kullanılabilir. Evaporatif soğutma suyun buharlaşması temeline dayanır. Su buharlaşırken bu buharlaşma için gerekli olan buharlaşma enerjisi hava akımının kuru hava sıcaklığını düşürür. Bu metod yüzyıllar boyunca su soğutma (toprak testi), karpuz soğutma gibi çeşitli uygulamalar için kullanılmagelmiştir. Bahçelerdeki fiskiyeli havuzların da temel işlevi budur. Ağaçlarda yaprakları aracılığıyla su buharlaştırdıkları için etraflarını serinletirler.



Şekil 4.6.1 Evaporatif soğutma prosesi

Temel Denklemler:

$$T_{\text{yaş termometre 1}} = T_{\text{yaş termometre 2}}$$

$$\phi_1 < \phi_2 < 100\%$$

Evaporatif soğutma için örnek veri : $m_1 = 1 \text{ kg/s}$, $T_1 = 32^\circ\text{C}$, ϕ_1 (bağıl nem) = %6, $T_2 = 26^\circ\text{C}$

Program 4.6.1 Evaporatif soğutma prosesi

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest7
{ // adiabatic cooling process
public static void main(String arg[])
{
yashava wa=new yashava();
double m1=1.0;// kg/s
double p=1.01325;// bar
double t1=32.0;// derece C
double rh1=0.06;
double t2=26.0;// derece C
double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
double h1=a[8];
double w1=a[5];
double twb1=a[14];
double twb2=twb1;
//point 2
a=wa.property("tdb_twb",t2,twb2,p);
double h2=a[8];
double rh2=a[6];
double w2=a[5];
String s="m1="+m1+" kg/s\n";
s+="T1="+t1+" derece C h1="+h1+" kJ/kg "+'\u00D8'+ "1 "+rh1*100+" % w1 = "+w1+" twb1 = "+twb1+" derece C\n";
s+="T2="+t2+" derece C h2="+h2+" kJ/kg "+'\u00D8'+ "2 "+rh2*100+" % w2 = "+w2+" twb2 = "+twb2+" derece C\n";
JOptionPane.showMessageDialog(null,s);
}
}
```

Message



m1=1.0 kg/s

T1=32.0 derece C h1=36.62974821905096 kJ/kg Ø1 =6.0 % w1 = 0.0017574722221115088 twb1 = 13.173201736164064 derece C

T2=26.0 derece C h2=36.7636293928793 kJ/kg Ø2 =20.131308218495587 % w2 = 0.004183536164106662 twb2 = 13.173201736164064 derece C

OK

Bu veriyi GUI programında çalıştırsak:

Yaş havanın (hava su buharı karışımının) temel prosesleri

Isıtma Isıtma - Nemlendirme Isıtma - Adyabatik Nemlendirme **Adyabatik soğutma** Yaz ikliması Kış ikliması

Kütleli karışım Hacimsel karışım Soğutma Soğutma - Nem alma - Isıtma Soğutma - Nem alma - Karıştırma

Adyabatik nemlendirme

kütleli debi m1 1.0 kg/s

giriş sıcaklığı T1 32.0 derece C

giriş bağıl nemi Φ 1 0.06761043214044153 0..1

nemlendirme prosesi çıkış sıcaklığı T2 26.0 derece C

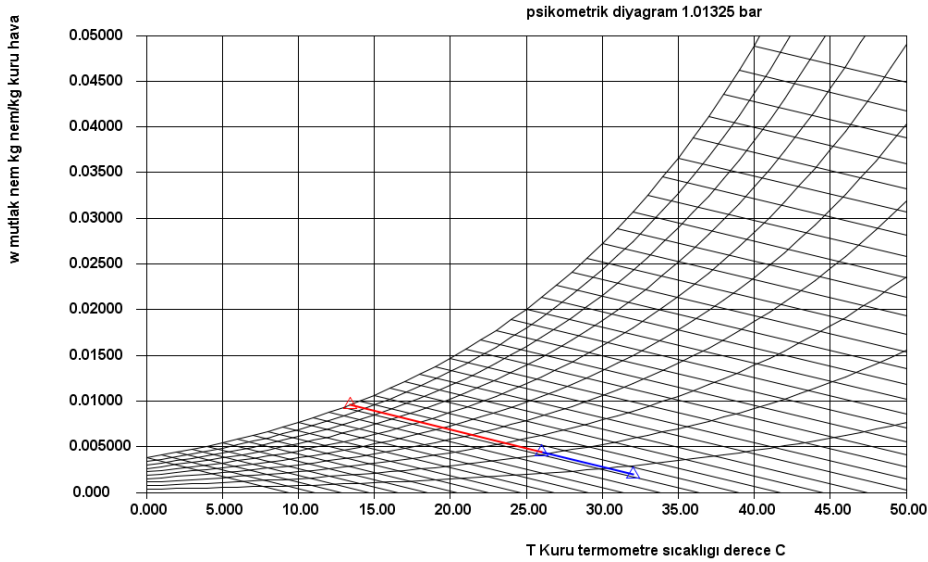
i = 8 Prosesi Hesapla

adyabatik soğutma prosesi çıktı değerleri

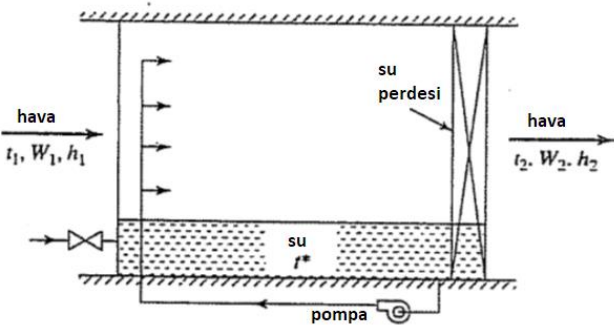
m kg/s	Q duyulur soğutma KW	nemlendirme kg/s	çıkış sıcaklığı derece C	yaş hava sıcaklığı
1.0	6.032063247534495	0.0024279945814339...	26.0	13.393269191135754

adyabatik soğutma prosesi termodinamik değerler

Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül ha...	Pv_su_buha...	Pa_hava_kıs...	w_özgül ne...	ϕ bağıl nem	dos.doynul...	h enthalpi KJ/...	s_ entropi KJ/...	tçn.çığ nokta...	ha,kuru hava...	hv.su buharı...	hw.w.duyulur...	t_yaş_hava...
1.01325	32.0	0.86726640...	0.00321715...	1.01003284...	0.00198110...	0.06761043...	0.06464058...	37.2024476...	0.13036179...	-8.51825951...	32.1288264...	2561.01091...	5.07362124...	13.3932691...
1.01325	26.0	0.84751430...	0.00713228...	1.00611771...	0.00440909...	0.21209067...	0.20650524...	37.3387009...	0.13206470...	2.15109844...	26.0967631...	2549.71514...	11.2419377...	13.3932691...
1.01325	13.3932691...	0.82429672...	0.01536319...	0.99788680...	0.00857568...	1.0	1.0	37.6293674...	0.13249008...	13.3932691...	13.4413449...	2525.98275...	24.1880224...	13.3932691...



Şekil 4.6.2 Adyabatik soğutma prosesi insan arayüzü programı çıktısı



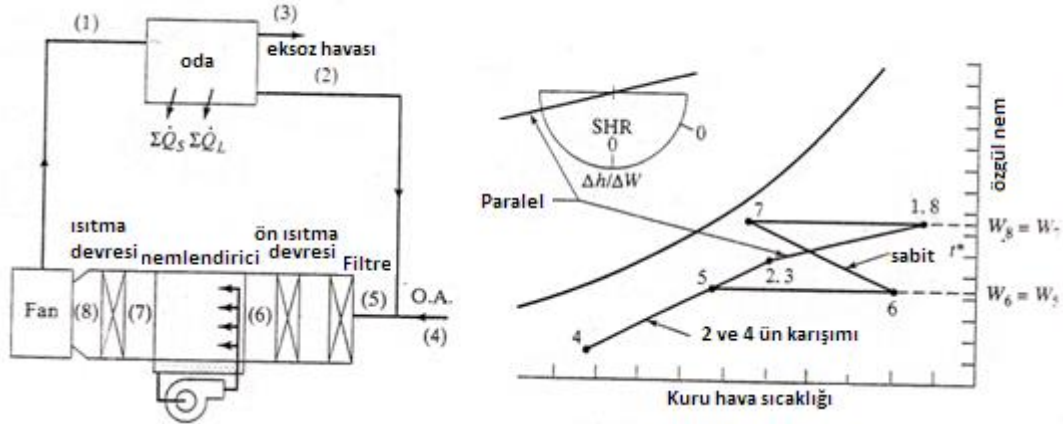
Şekil 4.6.2 Bir evaporatif soğutucunun görünümü

Şekil 4.6.2 de bir evapoartif soğutucunun genel görünümü verilmiştir. Bir pompa ile su hava girişi tarafına verilir. Burada kaüt ıslatma veya suyun bir perde gibi akıtılması söz konusudur. Bu proses sonucu hava nemlenir ve nemli olarak dışarı çıkar çıkışta suyun da dışarı çıkmaması için su geçişini enegelleyci kağıttan veya değik yöntemlerle yapılmış hava perdeleri kullanılır. Evaporatif soğutucunun verimi doymuş karışıma (yaş hava sıcaklığına) ne kadar yaklaştığıyla ölçülür.

$$\eta_w = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w^*}$$

buradaki w^* doymuş hava buhar karışımının entalpisidir.

4.7 Tek oda kış iklimlendirmesi



Şekil 4.7.1 Tek oda kış iklimlendirmesi prosesi

Şekil 4.7.1 Tek odalı bir mekanın kış iklimlendirmesini göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi daha önce detayları verilmiş olan basit iklimlendirme proseslerinin bir bileşimidir. Bu bölümün en başında söylediğimiz gibi hava içindeki kirletici maddelerin oranı da önemli bir iklimlendirme prosesi bileşenidir. Bu yüzden kullanılan havanın bir kısmı sirküle edilirken bir kısmı dışarı atılır ve dışarıdan taze hava beslenir. Taze hava beslemesinde ve sirkülasyonda ek kirlilikleri mümkün olduğunca elimine etmek için filtre kullanılır. Verilen proseste ısıtılan sıcak hava odadaki havayla karıştırılarak konfor şartındaki hava elde edilmektedir. Daha önce basit proseslerde denklemler verildiği için biz burada tüm sistemin hesaplanması için gerekli olan programlama kodunu vermekle yetineceğiz. Çok daha detaylı olan çok odalı sistemlerin şartlandırılmasını da benzer metodlarla yapabileceğimizi ekleyelim.

Örnek problem: Şekil 4.7.1 de görülen tek odalı kış iklimlendirmesi için aşağıdaki şartlar belirlenmiştir. Atmosfer basıncı $p=1.01325$ bar, oda giriş sıcaklığı 45 derece C, oda çıkış sıcaklığı 21 derece C, oda çıkış bağıl nemi $\phi=50\%$, dış hava sıcaklığı 0 derece C, dış hava bağıl nemi $\phi=100\%$, ön ısıtıcı çıkış sıcaklığı 25 derece C, oda duyulur ısı kaybı 100 kW, oda gizli ısı kaybı 25 kW. Hava sirküle oranı %50 olarak verilmiştir.

Kullanılan denklemler:

$$\text{duyulur ısı oranı} = SHR = \frac{\sum Q_s}{\sum Q_s + \sum Q_L} = \frac{\text{Toplam duyulur ısı}}{\text{Toplam ısı}} = \frac{(h_{a1} - h_{a2})}{(h_1 - h_2)}$$

$$\sum Q_s = m_{a1}(h_{a1} - h_{a2})$$

$$m_{a1} = \frac{\sum Q_s}{(h_{a1} - h_{a2})}$$

$$\sum Q_s + \sum Q_L = m_{a1}(h_1 - h_2)$$

$$h_1 = h_2 + \frac{\sum Q_s + \sum Q_L}{m_{a1}}$$

h_1 ve T_1 bilindiğinden oda giriş şartları psikometriden hesaplanır.

Eksoz havası giriş havasına eşit olmalıdır.

$$m_{a3} = m_{a4}$$

Dış hava şartları 4 verilmiş, psikometriden hesaplanır.

$$\text{Hava sirküle oranı} : hso = \frac{m_{a4}}{m_{a1}} = \frac{m_{a3}}{m_{a1}}$$

$$h_5 = (1 - hso)h_2 + hsoh_4 = \left(1 - \frac{m_{a4}}{m_{a1}}\right)h_2 + \frac{m_{a4}}{m_{a1}}h_4$$

$$w_5 = (1 - hso)w_2 + hso w_4 = \left(1 - \frac{m_{a4}}{m_{a1}}\right)w_2 + \frac{m_{a4}}{m_{a1}}w_4$$

Bu denklemlerden 5 noktası şartları psikometriden hesaplanır

$w_5 = w_6$ ve T_6 verilmiş 6 noktası şartları psikometriden hesaplanır

Proses 6-7 adyabatik nemlendirme

$$T_{6_yaş\ hava} = T_{7_yaş\ hava}$$

$w_1 = w_7$ 7 noktası nı bulmak için psikometrik tablomuzda $T_{7_yaş\ hava}$ w_7 giriş şartları verilmemiş bu yüzden önce $T = T_{7_yaş\ hava}$ ve $\phi = \%100$ şartlarından psikometrik tabloyu kullanarak 7s noktası ve w_{7s} noktası bulunur.

Buradan

$$\frac{w_7 - w_6}{w_{7s} - w_6} = \frac{T_7 - T_6}{T_{7s} - T_6}$$

$$T_7 = T_6 + \frac{w_7 - w_6}{w_{7s} - w_6} (T_{7s} - T_6) \text{ bulunur.}$$

Ve psikometrik tablodan (T_7, w_7) diğer özellikler hesaplanır.

Program 4.7.1 tek oda kış iklimlendirme

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest10
{ // cooling-demoisturizing and adiabatic winter air conditioning process
Plot pi;
double P;
yashava yh;
double tmin=0;
double tmax=50.0;
String heading[]={"Basınç bar",
"Sıcaklık derece C",
"v kuru hava özgül ısısı m^3/kgkh",
"Pv_su kısmi basıncı bar",
"Pa_kuru hava kısmi basıncı bar",
"w_özgül nem kg nem/kg kuru hava",
"\u03D5+" bağıl nem",
"dos,doygunluk derecesi",
"h entalpi KJ/kgkh",
"s, entropi KJ/kgkh",
"dp ,çığ noktası sıcaklığı derece C",
"ha,kuru havanın entalpisi KJ/kgkh",
"hv,su buharının entalpisi KJ/kgkh",
"hw*w,gizli sı KJ/kgkh",
"tw yaş hava sıcaklığıC"};
public double[][] kis_iklimlendirmesi(double Pi,double T1,double T2,double f2,double T4,double
f4,double T6,double Qsensible,double Qlatent,double hso)
{ P=Pi;
yh=new yashava();
ps_plot_hazirla(tmin,tmax,P);
// 2: oda iklimlendirme odadan çıkış
double a2[]=yh.property("tdb_rh",T2,f2,P);
double h2=a2[8];
double ha2=a2[11];
double w2=a2[5];
double hv2=a2[12];
// 4: dış hava giriş
double a4[]=yh.property("tdb_rh",T4,f4,P);
double h4=a4[8];
double w4=a4[5];
// ön ısıtıcı giriş
double h5=h2*(1.0-hso)+h4*hso;
double w5=w2*(1.0-hso)+w4*hso;
double a5[]=yh.property("w_h",w5,h5,P);
double T5=a5[1];
// ön ısıtıcı çıkış
double w6=w5;
double a6[]=yh.property("tdb_w",T6,w6,P);
```

```

double h6=a6[8];
double twb6=a6[14];
// 1: oda iklimlendirme odaya giriş
double ha1=yh.ha(T1);
double m1=Qsensible/(ha1-ha2);
double h1=(Qsensible+Qlatent)/m1+h2;
double a1[]=yh.property("tdb_h",T1,h1,P);
double w1=a1[5];
//yaş hava sıcaklığı
double twb7=twb6;
double w7=w1;
double a7s[]=yh.property("tdb_rh",twb7,1.0,P);
double w7s=a7s[5];
double T7=T6+(w7-w6)/(w7s-w6)*(twb7-T6);

double a7[]=yh.property("tdb_w",T7,w7,P);
double rh7=a7[6];
System.out.println("rh7="+rh7+"T7="+T7+"twb7="+twb7+"T6="+T6);
double mw=m1*(w7-w6);
double Q56=m1*(h6-h5); // ön ısıtıcı ısıtma kW
double Q78=m1*(h1-h6); // ikinci ısıtıcı kW
double a[][]=new double[6][a1.length];

a[0]=a1;
a[1]=a2;
a[2]=a4;
a[3]=a5;
a[4]=a6;
a[5]=a7;

    addData(a1,a7,5,0,0,255);
addData(a7,a6,5,0,0,255);
    addData(a1,a2,5,0,0,255);
    addData(a6,a5,5,0,0,255);
    addData(a2,a4,5,0,0,255);

ps_plot(0,50);
    print(a,heading,"Kış kliması termodinamik özellikler");
    String baslik2[]={"ön ısıtıcı ısı transferi kW","İkinci ısıtıcı ısı transferi
kW","nemlendirme ünitesinde eklenen su kg/s"};
    double b[][]={{Q56,Q78,mw}};
    print(b,baslik2,"Kış iklimlendirmesi prosesi hesaplanmış özellikleri");

    return a;
}

public void print(double a[],String s)
{ //String heading={"Kış iklimlendirmesi"};
Text.print(a,heading,"kış iklimlendirmesi verileri");}

public void print(double a[],String heading2[],String s)
{String heading[];Text.print(a,heading2,s);}
public void ps_plot_hazirla(double tmin,double tmax,double P1)
{
    double x1[][]=new double[62][51];
    double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];
    A=ps_verisi(tmin,tmax,P1);
    for(int i=0;i<A[0].length;i++)
    for(int j=0;j<A[0][0].length;j++)
    {x1[i][j]=A[0][i][j];y1[i][j]=A[1][i][j];}
}

```

```

pi=new Plot(x1,y1);
String ss2="Psychrometric diagram "+P+" bar";
pi.setPlabel(ss2);
pi.setXlabel("T Kuru hava sıcaklığı derece C");
pi.setYlabel("w özgül nem kg nem/kg kuru hava");
pi.setMinMax(tmin,tmax,0.0,0.05);
pi.setXgrid(1);
pi.setYgrid(1);
}
public static double[][][] ps_verisi(double tmin,double tmax,double P)
{
    //psikometrik diyagramı P basıncı için hazırla
    yashava w=new yashava();
    double aa[]=new double[14];
    double bb[]=new double[14];
    //f2 ff=new f2();
    //double x1[][]=new double[62][51];
    //double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];
    //initilise as a function plot
    int i,j;
    i=0;
    double h;
    for(double rh=0.1;rh<=1.0;rh+=0.1)
    {
        j=0;
        for(double t=tmin;t<=tmax;t+=1.0)
        {
            aa=w.property1("tdb_rh",t,rh,P);
            h=aa[8];
            if(rh>0.99)
            {
                h=aa[8];
                A[0][11+j][0]=t;A[1][11+j][0]=aa[5];
                bb=w.property1("w_h",0.0,h,P);
                A[0][11+j][1]=bb[10];A[1][11+j][1]=0.0;
            }
            A[0][i][j]=t;
            A[1][i][j]=aa[5];
            j++;
        }
        i++;
    }
    return A;
}
public void addData(double a1[][],int plottype,int red,int green,int blue)
{
    double x1[]=new double[2];
    double y1[]=new double[2];
    x1[0]=a1[0][1];
    y1[0]=a1[0][5];
    x1[1]=a1[1][1];
    y1[1]=a1[1][5];
    pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],double a2[],int plottype,int red,int green,int blue)
{
    double x1[]=new double[2];
    double y1[]=new double[2];
    x1[0]=a1[1];
}

```

```

y1[0]=a1[5];
x1[1]=a2[1];
y1[1]=a2[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[1];
double y1[]=new double[1];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void ps_plot(double tmin,double tmax)
{ pi.setMinMax(tmin,tmax,0,0.05);
pi.plot();
}

public static void main(String arg[])
{ yashavatest10 wat=new yashavatest10();
double p=1.01325; // bar
double T1=45.0; // oda giriş sıcaklığı derece C
double T2=21.0; // room çıkış Sıcaklığı derece C
double f2=0.5; // oda çıkış bağıl nemi
double T4=0.0; // dış hava sıcaklığı
double f4=1.0; // dış hava bağıl nemi
double T6=25.0; // ön ısıtıcı çıkış sıcaklığı
double Qsensible=100.0; // duyulur ısı yükü kW
double Qlatent=25.0; // gizli ısı yükü kW
double hso=0.5; //hava sirküle oranı
double a[][]=wat.kis_iklimlendirmesi(p,T1,T2,f2,T4,f4,T6,Qsensible,Qlatent,hso);
}
}

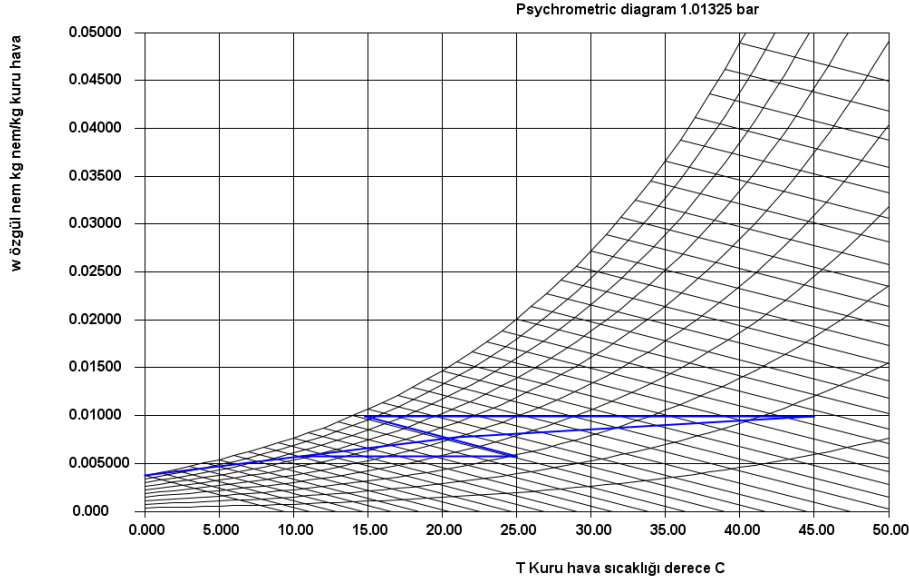
```

Kış iklimlendirmesi prosesi hesaplanmış özellikleri

ön ısıtıcı ısı transferi kW	ikinci ısıtıcı ısı transferi kW	nemlendirme ünitesinde ...
60.80868062669819	129.0034496513412	0.017344305146736027

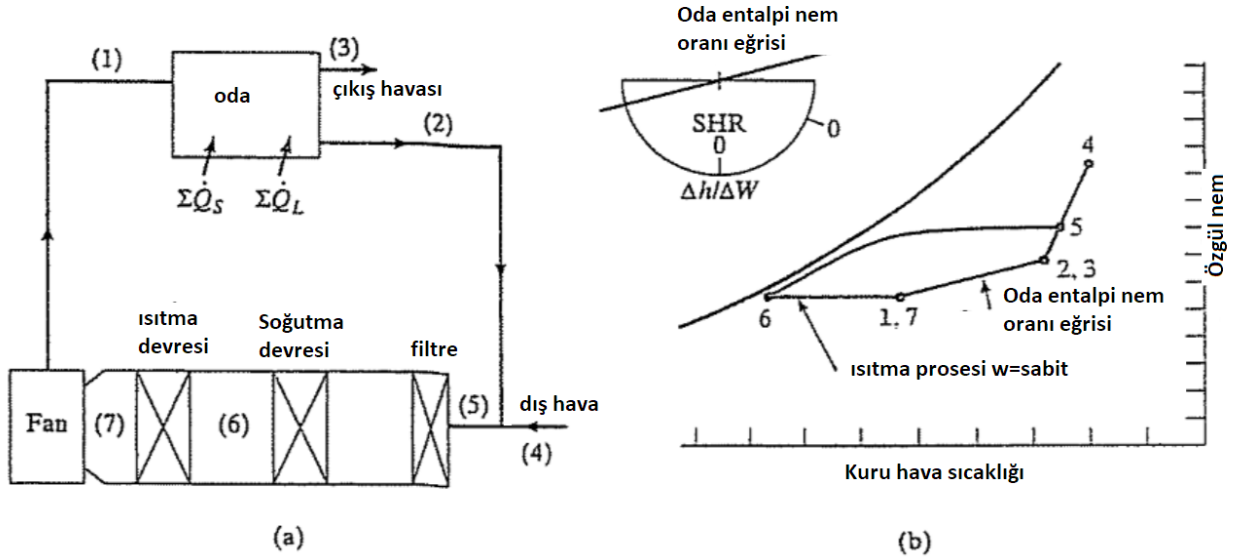
Kış kliması termodinamik özellikler

Basıncı bar	Sıcaklık derece...	v kuru hava özgül...	Pv_su kısmi ba...	Pa_kuru hava k...	w_özgül nem ...	φ bağıl nem	dos,doygunluk...	h entalpi KJ/kgk...	s, entropi KJ/kg...	dp ,çığ noktası ...	ha,kuru havanı...	hv,su buhannin...
1.01325	45.0	0.9157405417...	0.0159309128...	0.9973190871...	0.0099351932...	0.1660718576...	0.1527509088...	70.868208464...	0.2425811513...	13.950670304...	45.203580106...	2585.0063099...
1.01325	21.0	0.8437043636...	0.0124363904...	1.0008136095...	0.0077287797...	0.5	0.4937868598...	40.710030617...	0.1436348884...	10.194691590...	21.077037828...	2540.2448136...
1.01325	0.0	0.7785480338...	0.0061086255...	1.0071413744...	0.0037724444...	1.0	1.0	9.4361785919...	0.0345424850...	-4.921354324...	0.0	2501.3432755...
1.01325	10.538637814...	0.8111447243...	0.0092824785...	1.0039675214...	0.0057506121...	0.7294365845...	0.7269350104...	25.073104604...	0.0899427433...	5.8982611282...	10.577095143...	2520.8458284...
1.01325	25.0	0.8524909851...	0.0092824785...	1.0039675214...	0.0057506121...	0.2929236108...	0.2863861270...	39.744136644...	0.1403815157...	5.8982611282...	25.092773476...	2547.7919288...
1.01325	14.823477256...	0.8288825650...	0.0159309128...	0.9973190871...	0.0099351932...	0.9450655502...	0.9441880418...	39.999341993...	0.1405834327...	13.950670304...	14.876904062...	2528.6310306...



4.8 Tek oda yaz iklimlendirmesi

Yaz iklimlendirmesi soğutma ve nem alma proseslerini içerir. Genel olarak nem alma soğutma yoluyla elde edilir. Ancak katı adsorbsiyon devreleri ve sıvı tuzlar gibi değişik yöntemlere de başvurulabilir. Soğutulan havanın bağıl nemi çok arttığından bu bağıl nem oda havasıyla karıştırılarak veya ısıtılarak düşürülebilir. Oda havasının kirlenmesinden dolayı bir kısım havanın atılırken, taze havanın sisteme beslenmesi gerekmektedir. Aşağıdaki ilk örneğimizde yaz iklimlendirmesi ısıtma ile kombine olarak kullanılmaktadır. Daha önce değindiğimiz gibi soğutma devresindeki bypass oranını da hesabımıza katmamız gerekir.



Şekil 4.8-1 ısıtma devreli tek oda yaz iklimlendirmesi

Temel deklemler:

Temel denklemler:

$$\text{duyulur ısı oranı} = SHR = \frac{\sum Q_s}{\sum Q_s + \sum Q_L} = \frac{\text{Toplam duyulur ısı}}{\text{Toplam ısı}} = \frac{h_{a2} - h_{a1}}{h_2 - h_1}$$

$$\text{duyulur ısı} = \sum Q_s = m_{a1}(h_{a2} - h_{a1})$$

$$h_{a1} = \left(h_{a2} - \frac{\sum Q_s}{m_{a1}} \right)$$

$$\text{Toplam ısı} = \sum Q_s + \sum Q_L = m_{a1}(h_2 - h_1)$$

$$h_1 = \left(h_2 - \frac{\sum Q_s + \sum Q_L}{m_{a1}} \right)$$

h_{a1} kuru havanın entalpisidir. Birinci bölümümüzde kuru havanın entalpisinin hesabını detaylı olarak vermiştik. Buna göre

$h_{a1}(T) = \int_{T_{ref}}^T C_p(T) dT$ şeklinde tanımlanmıştı ve bunu hesaplayacak bilgisayar programı gas.java

geliştirilmişti. Nemli hava özelliklerini hesaplayan temel programımız olan yashava.java da bu programı kullanmaktadır. Bu yüzden

$f(T) = h_{a1} - \int_{T_{ref}}^T C_p(T) dT = 0$ kök bulma prosesi bize T1 değerini tanımlayacaktır. Örnek problemde kök bulmak için bisection kök bulma metodunu kullandık. Fonksiyonu ise lambda değişkeni olarak yashava programı içinde tanımladık.

$$Q_{5-6} = m_{a5}(h_6 - h_5)$$

Aşağıda örnek bir problem verilmiştir. Problemde bypass oranı yerine soğutma devresi çıkış sıcaklığı ve bağıl neminin verildiğini not edelim.

Örnek problem 1 : Şekil 4.8.1 de görülen tek odalı ısıtma devreli yaz iklimlendirmesi için aşağıdaki şartlar belirlenmiştir.

Atmosfer basıncı $p=1.01325$ bar, oda giriş sıcaklığı 30 derece C, oda giriş kuru hava kütleli debisi 30 kg/s, çıkış havası kütleli debisi 4.5 kg/s, oda çıkış sıcaklığı 25 derece C, oda çıkış bağıl nemi $\phi=50\%$, dış hava giriş sıcaklığı 35 derece C, dış hava bağıl nemi $\phi=40\%$, soğutma devresi çıkış sıcaklığı 10 derece C, soğutma devresi çıkış bağıl nemi $\phi=95\%$, oda duyulur ısı kazancı 205 kW, oda gizli ısı kazancı 88 kW

T1=30.0 oda giriş sıcaklığı derece C

m1=30.0 kg/s oda giriş kuru hava kütleli debisi

m3=4.5 kg/s çıkış havası kütleli debisi

T2=25.0 oda çıkış sıcaklığı

$\phi_2=0.5$ oda çıkış bağıl nemi

double T4=35.0 dış hava giriş sıcaklığı

$\phi_4=0.4$ dış hava bağıl nemi

double T6=10.0 soğutma devresi çıkış sıcaklığı

$\phi_6=0.95$ soğutma devresi çıkış bağıl nemi

Qsensible=205.0 oda duyulur ısı kazancı kW

Qlatent=88.0 oda gizli ısı kazancı kW

Program 4.8.1 ısıtma devreli tek oda yaz iklimlendirmesi

```
import javax.swing.*;

public class yashavatest11
{ // cooling-demoisturizing and adiabatic summer air conditioning process
Plot pi;
double P;
yashava yh;
double tmin=0;
double tmax=50.0;
String heading[]={"Basınç bar",
"Sıcaklık derece C",
"v kuru hava özgül ısı m^3/kgkh",
"Pv_su kısmi basıncı bar",
"Pa_kuru hava kısmi basıncı bar",
"ws_özgül nem kg nem/kg kuru hava",
"u03D5"+" bağıl nem",
"dos,doyunluk derecesi",
"h entalpi KJ/kgkh",
"s, entropi KJ/kgkh",
"dp ,çığ noktası sıcaklığı derece C",
"ha,kuru havanın entalpi KJ/kgkh",
"hv,su buharının entalpi KJ/kgkh",
```

```

"hv*w,gizli sı KJ/kgkh",
"tw yaş hava sıcaklığıC");
public static double bisection(if_x f,double a,double b)
{ double b1=2.0*b;
double r=(a+b)/2.0;
double eps=1.0e-4;
int nmax=100;
int i=0;
while(Math.abs(f.func(r))>eps && i<nmax)
{if(f.func(a)*f.func(r)<0) b=r;
else a=r;
r=(a+b)/2.0;
i++;
}
return r;
}

public double[][] summer_air_conditioning(double Pi,double m1, double m3,double T2, double f2,
double T4, double f4, double T6,double f6,double dQsensible,double dQlatent)
{ // m1 oda girişi kütleel debikg/s
// m3 oda çıkışı kütleel dabi kg/s
// T2 oda sıcaklığı, derece C
// f2 oda bağıl nemi, 0-1
// T4 dış hava sıcaklığı, derece C
// f4 dış hava bağıl nemi 0-1
// T6 soğutma devresi çıkış sıcaklığı
// f6 soğutma devresibağıl nemi
// f2 giriş bağıl nemi, ikinci kanal 0-1
// dQs duyulur ısı girişi kW
// dQ1 gizli ısı girişi kW
//2 oda çıkışı
P=Pi;
ps_plot_hazirla(tmin,tmax,P);
yh=new yashava();
double a2[]=yh.property("tdb_rh",T2,f2,P);
double h2=a2[8];
double w2=a2[5];
double ha2=a2[11];
//6 soğutma devresi çıkışı
double a6[]=yh.property("tdb_rh",T6,f6,P);
double h6=a6[8];
double w6=a6[5];
double w1=w6;
double ha1=ha2-dQsensible/m1;
//bisection kök bulma ile yashava sınıfında hesaplandı
double T1=yh.ta(ha1,T6,T2);
double a1[]=yh.property("tdb_w",T1,w1,P);
double h1=a1[8];
double m2=m1-m3;
double m4=m3;
double m5=m1;
// dış hava girişi
double a4[]=yh.property("tdb_rh",T4,f4,P);
double h4=a4[8];
double w4=a4[5];

double h5=(m4*h4+m2*h2)/m5;
double w5=(m4*w4+m2*w2)/m5;
double a5[]=yh.property("w_h",w5,h5,P);
double T5=a5[1];
double Q56=m5*(h5-h6);//KW
double Q67=m5*(h1-h6);//KW
double dm=m5*(w5-w6);
double a8[]=yh.property("w_rh",w6,1.0,P);
double a9[]=yh.property("w_rh",w5,1.0,P);

```



```

double a[][]=new double[8][a1.length];
a[0]=a1;
a[1]=a2;
a[2]=a2;
a[3]=a4;
a[4]=a5;
a[5]=a6;
a[6]=a8;
a[7]=a9;
// Plot
// kalın mavi çizgi
addData(a9,a5,5,0,0,255);
//üçgen
addData(a9,a5,24,0,0,255);
addData(a8,a1,5,0,0,255);
addData(a6,a1,24,0,0,255);
addData(a1,a2,5,255,0,0);
addData(a2,a4,5,255,0,0);
addData(a2,a4,24,255,0,0);
ps_plot();
print(a,"tek oda yaz iklimlendirmesi ısıtma prosesi ile");
String baslik2[]={ "soğutma devresi ısı transferi kW","ısıtma devresi ısı transferi kW","yoğuşma debisi kg/s"};
double b[][]={ {Q56,Q67,dm} };
print(b,baslik2,"ısıtma prosesi tek oda yaz kliması çıktı değerleri");
return a;
}
public void print(double a[][],String s)
{ //String heading[]={ "Yaz iklimlendirmesi - ısıtma prosesi"};
Text.print(a,heading,"Yaz iklimlendirmesi verisi");

public void print(double a[][],String heading2[],String s)
{String heading[];Text.print(a,heading2,s);}
public void ps_plot_hazirla(double tmin,double tmax,double P1)
{
    double x1[][]=new double[62][51];
    double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];
    A=ps_verisi(tmin,tmax,P1);
    for(int i=0;i<A[0].length;i++)
    for(int j=0;j<A[0][0].length;j++)
    {x1[i][j]=A[0][i][j];y1[i][j]=A[1][i][j];}
pi=new Plot(x1,y1);
String ss2="Psikometrik diyagram "+P+" bar";
pi.setPlabel(ss2);
pi.setXlabel("T Kuru hava sıcaklığı C");
pi.setYlabel("w özgül nem kg nem/kg kuru hava");
pi.setMinMax(tmin,tmax,0.0,0.05);
pi.setXgrid(1);
pi.setYgrid(1);
}
public static double[][][] ps_verisi(double tmin,double tmax,double P)
{
    //prepare psychrometric chart data for pressure P
yashava w=new yashava();
    double aa[]=new double[14];
double bb[]=new double[14];
    //f2 ff=new f2();
    //double x1[][]=new double[62][51];
    //double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];

//initilise as a function plot
int i,j;
i=0;
double h;
for(double rh=0.1;rh<=1.0;rh+=0.1)

```

```

{ j=0;
for(double t=tmin;t<=tmax;t+=1.0)
{
    aa=w.property1("tdb_rh",t,rh,P);
    h=aa[8];
    if(rh>0.99)
    {
        h=aa[8];
A[0][11+j][0]=t;A[1][11+j][0]=aa[5];
bb=w.property1("w_h",0.0,h,P);
A[0][11+j][1]=bb[10];A[1][11+j][1]=0.0;
    }
    A[0][i][j]=t;
A[1][i][j]=aa[5];
    j++;
}
i++;
}
return A;
}

public void addData(double a1[],int plotype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[0][1];
y1[0]=a1[0][5];
x1[1]=a1[1][1];
y1[1]=a1[1][5];
pi.addData(x1,y1,plotype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],double a2[],int plotype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
x1[1]=a2[1];
y1[1]=a2[5];
pi.addData(x1,y1,plotype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],int plotype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[1];
double y1[]=new double[1];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
pi.addData(x1,y1,plotype,red,green,blue);
}

public void ps_plot()
{ pi.setMinMax(tmin,tmax,0,0.05);
    pi.plot();
}

public static void main(String arg[])
{ yashavatest11 wat=new yashavatest11();
double p=1.01325; // bar
double T1=30.0; // oda giriş sıcaklığı derece C
double m1=30.0;//kg/s oda giriş kuru hava kütleli debisi
double m3=4.5; //kg/s çıkış havası kütleli debisi
double T2=25.0; // oda çıkış sıcaklığı
double f2=0.5; // oda çıkış bağıl nemi
double T4=35.0; // dış hava giriş sıcaklığı
double f4=0.4; // dış hava bağıl nemi
double T6=10.0; // soğutma devresi çıkış sıcaklığı
double f6=0.95; // soğutma devresi çıkış bağıl nemi
}

```

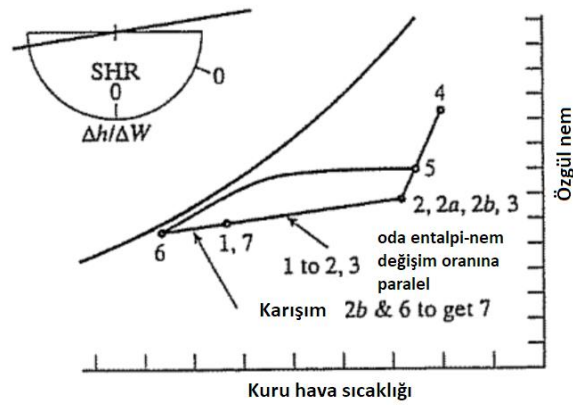
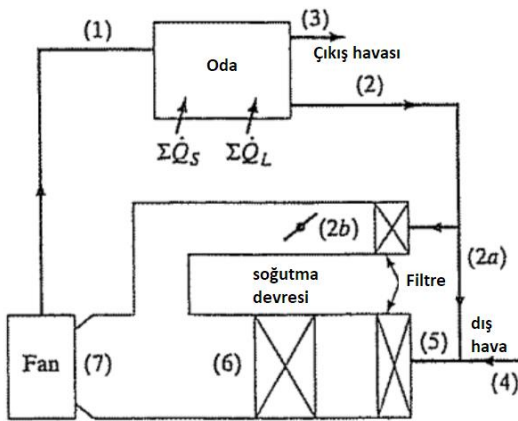
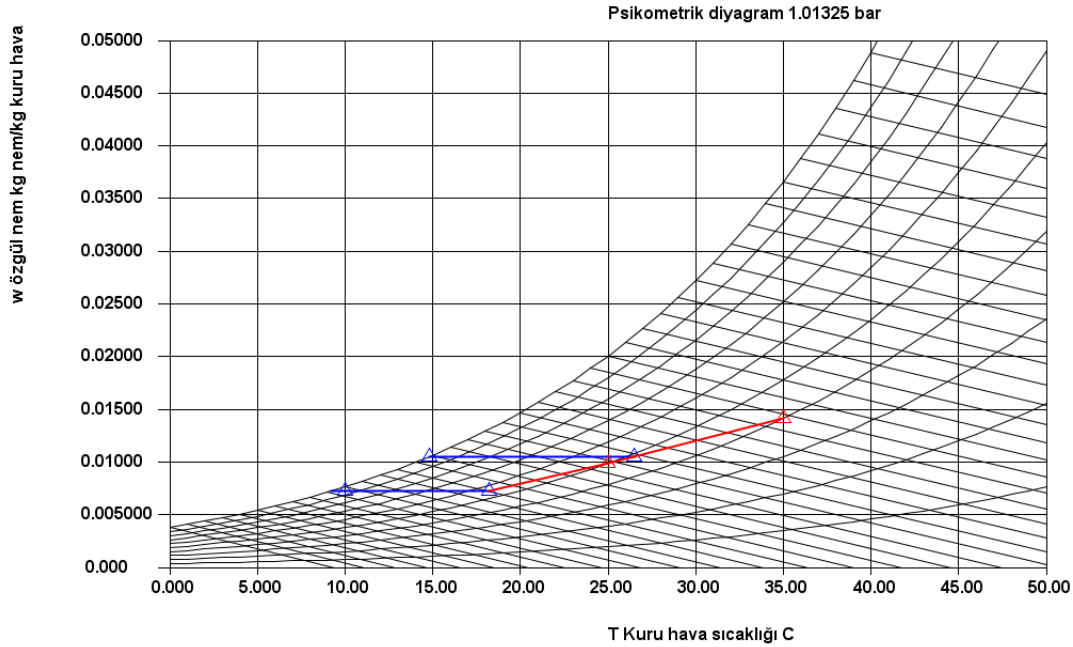
```

double Qsensible=205.0; // oda duyulur ısı kazancı kW
double Qlatent=88.0; // oda gizli ısı kazancı kW
double a[][]=wat.summer_air_conditioning(p,m1,m3,T2,f2,T4,f4,T6,f6,Qsensible,Qlatent);
}
}

```

soğutma devresi ısı trans...	ısıtma devresi ısı transfer...	yoğuşma debisi kg/s
754.6035194079752	250.03357219799864	0.09829691816952062

Basınç bar	Sıcaklık derec...	v kuru hava öz...	Pv_su kısmi b...	Pa_kuru hava	w_özgül nem...	φ bağıl nem	dos.doynunlu...	h entalpi KJ/K...	s, entropi KJ/K...	dp çığ noktas...	ha_kuru havan...	hv_su buharını...	hw*w.gizli sı K...	tw yaş hava sı...
1.01325	18.19328308...	0.835007425...	0.011661528...	1.001588471...	0.007241623...	0.558209312...	0.553065528...	36.61725028...	0.129728521...	9.236995232...	18.25948965...	2535.033886...	18.35776063...	13.04957727...
1.01325	25.0	0.858099633...	0.015844537...	0.997405462...	0.009880470...	0.5	0.492057122...	50.26440154...	0.175628665...	13.86700289...	25.09277347...	2547.614331...	25.17162806...	17.88662108...
1.01325	35.0	0.892847862...	0.022510784...	0.990739215...	0.014131916...	0.4	0.386367279...	71.41004813...	0.245116228...	19.38725809...	35.14589674...	2566.131204...	36.26435138...	23.93488029...
1.01325	26.50924955...	0.863330438...	0.016850188...	0.996399811...	0.010518187...	0.486223230...	0.477534715...	53.43624852...	0.185179408...	14.81726776...	26.61384280...	2550.405168...	26.82563928...	18.89184789...
1.01325	10.0	0.811524982...	0.011661528...	1.001588471...	0.007241623...	0.95	0.949417848...	28.28279788...	0.100711597...	9.236995232...	10.03555124...	2519.772943...	18.24724664...	9.581246535...
1.01325	9.236995232...	0.809338164...	0.011661528...	1.001588471...	0.007241623...	1.0	1.0	27.50672583...	0.097967047...	9.236995232...	9.269763010...	2518.352845...	18.23695282...	9.236995231...
1.01325	14.81726776...	0.829629399...	0.016850188...	0.996399811...	0.010518187...	1.0	1.0	41.46688420...	0.145425452...	14.81726776...	14.87067124...	2528.592624...	26.59621295...	14.81726776...



Şekil 4.8-2 karıştırma devreli tek oda yaz iklimlendirmesi

Şekil 4.8-2 de tek odalı, karıştırılmalı devreli bir yaz iklimlendirme prosesi görülmektedir.

Temel denklemler:

$$\text{duyulur ısı oranı} = SHR = \frac{\sum Q_s}{\sum Q_s + \sum Q_L} = \frac{\text{Toplam duyulur ısı}}{\text{Toplam ısı}}$$

$$\text{duyulur ısı} = \sum Q_s = m_{a1}(h_{a2} - h_{a1})$$

$$h_{a1} = \left(h_{a2} - \frac{\sum Q_s}{m_{a1}} \right)$$

h_{a1} kuru havanın entalpisidir. Birinci bölümümüzde kuru havanın entalpisinin hesabını detaylı olarak vermiştik. Buna göre

$$h_{a1}(T) = \int_{T_{ref}}^T C_p(T) dT \text{ şeklinde tanımlanmıştı ve bunu hesaplayacak bilgisayar programı gas.java}$$

geliştirilmişti. Nemli hava özelliklerini hesaplayan temel programımız olan yashava.java da bu programı kullanmaktadır. Bu yüzden

$f(T) = h_{a1} - \int_{T_{ref}}^T C_p(T) dT = 0$ kök bulma prosesi bize T1 değerini tanımlayacaktır. Örnek problemde kök bulmak için bisection kök bulma metodunu kullandık. Fonksiyonu ise lambda değişkeni olarak yashava programı içinde tanımladık.

$$m_{a2b} = m_{a1} - m_{a6}$$

$$m_{a5} = m_{a6}$$

$$\frac{m_{a5}}{m_{a1}} = \frac{T_1 - T_2}{T_6 - T_2} = \frac{w_1 - w_2}{w_6 - w_2}$$

$$m_{a2a} = m_{a1} - m_{a3} - m_{a2b}$$

$$Q_{5-6} = m_{a5}[(h_{a6} - h_{a5}) + (w_6 - w_5) * h_{f6}] \text{ Buradaki } h_{f6} \text{ 6 noktasındaki sıvı suyun entalpisidir.}$$

Program 4.8.2 karıştırma devreli tek oda yaz iklimlendirmesi

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest11A
{ //
Plot pi;
double P;
yashava yh;
double tmin=0;
double tmax=50.0;
String heading[]={"Basınç bar",
"Sıcaklık derece C",
"v kuru hava özgül ısı m^3/kgkh",
"Pv_su kısmi basıncı bar",
"Pa_kuru hava kısmi basıncı bar",
"w_ özgül nem kg nem/kg kuru hava",
"\u03D5'+ bağıl nem",
"dos,doyunluk derecesi",
"h entalpi KJ/kgkh",
"s, entropi KJ/kgkh",
"dp ,çiğ noktası sıcaklığı derece C",
"ha,kuru havanın entalpisini KJ/kgkh",
"hv,su buharının entalpisini KJ/kgkh",
"hv*w,gizli sı KJ/kgkh",
"tw yaş hava sıcaklığıC"};
public double[][] summer_air_conditioning(double Pi,double m1, double m3,double T2, double f2,
double T4, double f4, double T6,double f6,double dQsensible,double dQlatent)
{ // m1 oda girişi kütleli debi kg/s
// m3 çıkış havası kütleli debi kg/s
// m2=m1-m3 oda çıkışı kütleli debi kg/s
// m2b bypass devresi kütleli debi kg/s
// m2a=m2-m2b kütleli debi kg/s
// m4=m3 taze hava kütleli debisi kg/s
// m5=m2a+m4 soğutma devresine gelen kütleli debi
// T2 oda sıcaklığı, derece C
// f2 oda bağıl nemi, 0-1
```

```

// T4 dış hava sıcaklığı, derece C
// f4 dış hava bağıl nemi 0-1
// T6 soğutma devresi çıkış sıcaklığı
// f6 soğutma devresi bağıl nemi 0-1
// T2 oda girişi sıcaklığı derece C
// f2 oda girişi bağıl nemi, ikinci kanal 0-1
// dQs duyulur ısı girişi kW
// dQl gizli ısı girişi kW

//2 oda çıkışı
P=Pi;
ps_plot_hazirla(tmin,tmax,P);
yh=new yashava();
double a2[]=yh.property("tdb_rh",T2,f2,P);
double h2=a2[8];
double w2=a2[5];
double ha2=a2[11];
//6 soğutma devresi çıkışı
double a6[]=yh.property("tdb_rh",T6,f6,P);
double h6=a6[8];
double ha6=a6[11];
double w6=a6[5];
double ha1=ha2-dQsensible/m1;
//bisection kök bulma ile yashava sınıfında hesaplandı
double T1=yh.ta(ha1,T6,T2);
double w1=w6+(T1-T6)/(T2-T6)*(w2-w6);
double a1[]=yh.property("tdb_w",T1,w1,P);
double h1=a1[8];
double m2=m1-m3;
double m4=m3;
//double m5=m1;
// dış hava girişi
double a4[]=yh.property("tdb_rh",T4,f4,P);
double h4=a4[8];
double w4=a4[5];
double m5=(T1-T2)/(T6-T2)*m1;
double m2b=m1-m5;
double m2a=m1-m3-m2b;
//System.out.println("m1="+m1+"m2="+m2+"m3="+m3+"m2a="+m2a+"m2b="+m2b+"m5="+m5);
double T5=(m4/m5)*T4+(m2a/m5)*T2;
double w5=(m4/m5)*w4+(m2a/m5)*w2;
double a5[]=yh.property("tdb_w",T5,w5,P);
double h5=a5[8];
double ha5=a5[11];
//Su buharının termodinamiğine giriyoruz burada
double ahf6[]=yh.s.property("tx",T6,0.0);
double hf6=ahf6[3];
double Q56=m5*((h6-h5)-(w6-w5)*hf6)//KW
double dm=m5*(w5-w6);
double a8[]=yh.property("w_rh",w6,1.0,P);
double a9[]=yh.property("w_rh",w5,1.0,P);
double a[][]=new double[8][a1.length];
a[0]=a1;
a[1]=a2;
a[2]=a2;
a[3]=a4;
a[4]=a5;
a[5]=a6;
a[6]=a8;
a[7]=a9;
// Plot
// kalın mavi çizgi
addData(a9,a5,5,0,0,255);
//üçgen
addData(a9,a5,24,0,0,255);
addData(a6,a1,24,0,0,255);

```

```

addData(a6,a1,5,255,0,0);
addData(a1,a2,5,255,0,0);
addData(a2,a4,5,255,0,0);
addData(a2,a4,24,255,0,0);
ps_plot();
print(a,"tek oda yaz iklimlendirmesi karıştırma prosesi ile");
String baslik2[]={"soğutma devresi ısı transferi kW","yoğuşma debisi kg/s"};
double b[][]={{ Q56,dm }};
print(b,baslik2,"karıştırma prosesi tek oda yaz kliması çıktı değerleri");
return a;
}
public void print(double a[],String s)
{ //String heading[]={"Yaz iklimlendirmesi - ısıtma prosesi"};
Text.print(a,heading,"Yaz iklimlendirmesi verisi");}

public void print(double a[],String heading2[],String s)
{String heading[];Text.print(a,heading2,s);}
public void ps_plot_hazirla(double tmin,double tmax,double P1)
{
    double x1[][]=new double[62][51];
    double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];
    A=ps_verisi(tmin,tmax,P1);
    for(int i=0;i<A[0].length;i++)
    for(int j=0;j<A[0][0].length;j++)
    { x1[i][j]=A[0][i][j];y1[i][j]=A[1][i][j];}
pi=new Plot(x1,y1);
String ss2="Psikometrik diyagram "+P+" bar";
pi.setPLabel(ss2);
pi.setXlabel("T Kuru hava sıcaklığı C");
pi.setYlabel("w özgül nem kg nem/kg kuru hava");
pi.setMinMax(tmin,tmax,0.0,0.05);
pi.setXgrid(1);
pi.setYgrid(1);
}
public static double[][][] ps_verisi(double tmin,double tmax,double P)
{
    //prepare psychrometric chart data for pressure P
yashava w=new yashava();
    double aa[]=new double[14];
double bb[]=new double[14];
    //f2 ff=new f2();
    //double x1[][]=new double[62][51];
    //double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];
//initilise as a function plot
int i,j;
i=0;
double h;
for(double rh=0.1;rh<=1.0;rh+=0.1)
{ j=0;
for(double t=tmin;t<=tmax;t+=1.0)
{
    aa=w.property1("tdb_rh",t,rh,P);
    h=aa[8];
    if(rh>0.99)
    {
        h=aa[8];
A[0][11+j][0]=t;A[1][11+j][0]=aa[5];
bb=w.property1("w_h",0.0,h,P);
A[0][11+j][1]=bb[10];A[1][11+j][1]=0.0;
    }
    A[0][i][j]=t;
A[1][i][j]=aa[5];
    j++;
}
}
}

```

```

i++;
}
return A;
}
public void addData(double a1[][],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[0][1];
y1[0]=a1[0][5];
x1[1]=a1[1][1];
y1[1]=a1[1][5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],double a2[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
x1[1]=a2[1];
y1[1]=a2[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[1];
double y1[]=new double[1];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

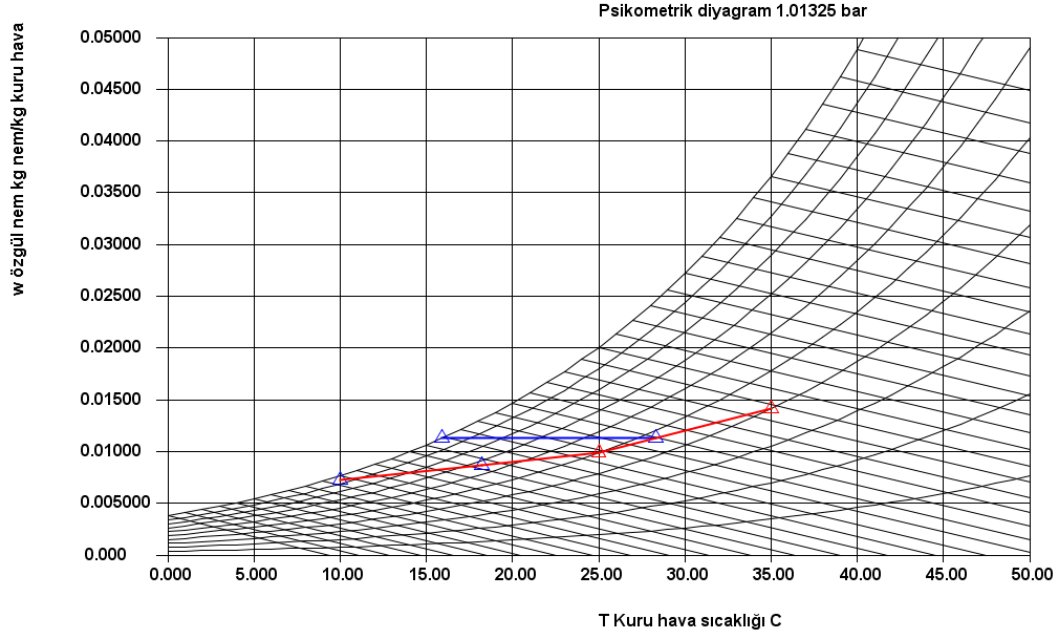
public void ps_plot()
{ pi.setMinMax(tmin,tmax,0,0.05);
pi.plot();
}

public static void main(String arg[])
{ yashavatest11A wat=new yashavatest11A();
double p=1.01325; // bar
double T1=30.0; // oda giriş sıcaklığı derece C
double m1=30.0; //kg/s oda giriş kuru hava kütleli debisi
double m3=4.5; //kg/s çıkış havası kütleli debisi
double T2=25.0; // oda çıkış sıcaklığı
double f2=0.5; // oda çıkış bağıl nemi
double T4=35.0; // dış hava giriş sıcaklığı
double f4=0.4; // dış hava bağıl nemi
double T6=10.0; // soğutma devresi çıkış sıcaklığı
double f6=0.95; // soğutma devresi çıkış bağıl nemi
double Qsensible=205.0; // oda duyulur ısı kazancı kW
double Qlatent=88.0; // oda gizli ısı kazancı kW
double a[][]=wat.summer_air_conditioning(p,m1,m3,T2,f2,T4,f4,T6,f6,Qsensible,Qlatent);
}

```

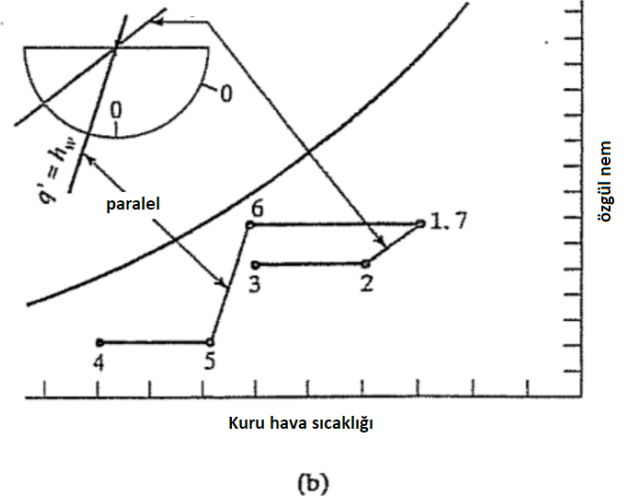
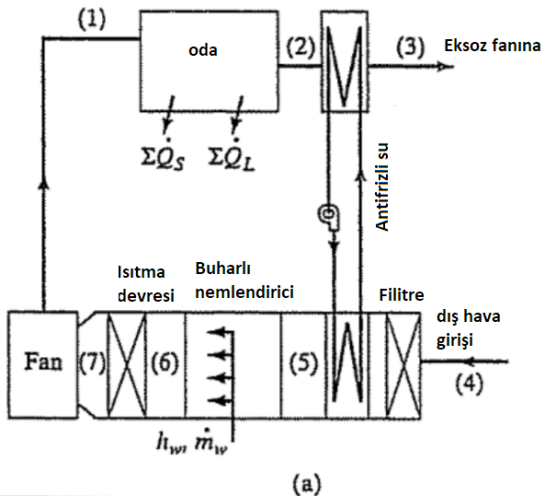
soğutma devresi ısı transferi kW	yoğuşma debisi kg/s
-391.9741137329648	0.05507365674473921

Yaz iklimlendirmesi verisi														
Basınç bar	Sıcaklık derec...	v_kuru hava öz...	Pv_su kısmi b...	Pa_kuru hava ...	w_özgül nem...	φ bağıl nem	dos_doygunlu...	h entalpi KJ/k...	s_entropi KJ/k...	dp_giğ noktas...	ha_kuru havan...	hv_su buharını...	hw_w,gizli sı K...	hw_yaş hava sı...
1.01325	18.19328308...	0.836920245...	0.013950705...	0.999299294...	0.008683011...	0.667786722...	0.663148863...	40.27065324...	0.141949074...	11.92359975...	18.25948965...	2534.968859...	22.01116359...	14.41620239...
1.01325	25.0	0.858099633...	0.015844537...	0.997405462...	0.009880470...	0.5	0.492057122...	50.26440154...	0.175628665...	13.86700289...	25.09277347...	2547.614331...	25.17162806...	17.88662108...
1.01325	25.0	0.858099633...	0.015844537...	0.997405462...	0.009880470...	0.5	0.492057122...	50.26440154...	0.175628665...	13.86700289...	25.09277347...	2547.614331...	25.17162806...	17.88662108...
1.01325	35.0	0.892847862...	0.022510784...	0.990739215...	0.014131916...	0.4	0.386367279...	71.41004813...	0.245116228...	19.38725809...	35.14569674...	2566.131204...	36.26435138...	23.93488029...
1.01325	28.30555835...	0.869543010...	0.018058008...	0.995191991...	0.011285810...	0.469058160...	0.459424087...	57.23469514...	0.198733658...	15.89483444...	28.41380110...	2553.728294...	28.82089403...	20.04704763...
1.01325	10.0	0.811524982...	0.011661528...	1.001588471...	0.007241623...	0.95	0.949417848...	28.28279788...	0.100711597...	9.236995232...	10.03555124...	2519.772943...	18.24724664...	9.581246535...
1.01325	9.236995232...	0.809338164...	0.011661528...	1.001588471...	0.007241623...	1.0	1.0	27.50672583...	0.097967047...	9.236995232...	9.269763010...	2518.352845...	18.23696282...	9.236995231...
1.01325	15.89483444...	0.833744505...	0.018058008...	0.995191991...	0.011285810...	1.0	1.0	44.51179169...	0.155635558...	15.89483444...	15.95229801...	2530.566435...	28.55949368...	15.89483444...



4.9 Tek oda %100 dış hava kullanan kış kliması

Aşağıdaki şekilde %10 dış hava kullanan bir kış kliması sistemi görülmektedir. Havanın tamamı dıştan alındığında iç hava kalitesi yönünden iyi bir tercih olabilir, ancak enerji dengesi yönünden kötü bir seçimdir. Bu yüzden hava dışarıya atılırken ısı enerjisinin büyük bir kısmının geri kazanılması için yüksek verimli ısı değiştiricileri kullanılır. Şekil 4.9-1 de verilen sistemde ayrıca buharlı nemlendirici kullanılmıştır. Böylece gerekli ısı bir kısmı buhardan sağlanmaktadır.



Şekil 4.9-1 %100 hava sirkülasyonlu kış iklimlendirmesi

Sistemde kullanılan bazı bağıntılar:

$$Q_{\text{ısı değiştirici}} = Q_{2-3} = Q_{5-4} = m_a(h_2 - h_3) = m_a(h_5 - h_4)$$

$$\Sigma Q_s = m_a(h_{a1} - h_{a2})$$

$$h_{a1} = \left(h_{a2} - \frac{\Sigma Q_s}{m_{a1}} \right)$$

h_{a1} kuru havanın entalpisidir. Birinci bölümümüzde kuru havanın entalpisinin hesabını detaylı olarak vermiştik. Buna göre

$h_{a1}(T) = \int_{T_{ref}}^T C_p(T) dT$ şeklinde tanımlanmıştı ve bunu hesaplayacak bilgisayar programı gas.java geliştirilmişti. Nemli hava özelliklerini hesaplayan temel programımız olan yashava.java da bu programı kullanmaktadır. Bu yüzden

$f(T) = h_{a1} - \int_{T_{ref}}^T C_p(T) dT = 0$ kök bulma prosesi bize T1 değerini tanımlayacaktır. Örnek problemde kök bulmak için bisection kök bulma metodunu kullandık. Fonksiyonu ise lambda değişkeni olarak yashava programı içinde tanımladık.

Bir örnek problem verelim:

Atmosfer basıncı $p=1.01325$ bar, oda çıkış sıcaklığı 20 derece C, oda çıkış bağıl nemi $\phi=50\%$, dış hava sıcaklığı 0 derece C, dış hava bağıl nemi $\phi=100\%$, ısı değiştiriciden dışarıya atılan hava sıcaklığı 14 derece C, oda duyulur ısı kaybı 20 kW, oda gizli ısı kaybı 10 kW, buharlı nemlendirici sıcaklık artışı 10 C

Program 4.9-1 %10 hava dolaşımli tek odalı kış iklimlendirme sistemi

```
import javax.swing.*;
public class yashavatest12
{
//
Plot pi;
double P;
yashava yh;
double tmin=0;
double tmax=50.0;
String heading[]={ "Basıncı bar",
"Sıcaklık derece C",
"v kuru hava özgül ısısı m^3/kgkh",
"Pv_su kısmi basıncı bar",
"Pa_kuru hava kısmi basıncı bar",
"w_özgül nem kg nem/kg kuru hava",
"u03D5"+ " bağıl nem",
"dos,doygunluk derecesi",
"h entalpi KJ/kgkh",
"s, entropi KJ/kgkh",
"dp ,çiğ noktası sıcaklığı derece C",
"ha,kuru havanın entalpisi KJ/kgkh",
"hv,su buharının entalpisi KJ/kgkh",
"hv*w,gizli sı KJ/kgkh",
"tw yaş hava sıcaklığıC"};
public double[][] winter_air_conditioning(double Pi,double m1,double T2, double f2,
double T3, double T4,double f4,double dQsensible,double dQlatent,double dTbuhar)
{ // m1 hava kütleli debi kg/s
// T2 oda sıcaklığı, derece C
// f2 oda bağıl nemi, 0-1
// T1 oda giriş sıcaklığı, derece C
// f1 oda giriş bağıl nemi, 0-1
// T4 dış hava sıcaklığı, derece C
// f4 dış hava bağıl nemi 0-1
// T6 soğutma devresi çıkış sıcaklığı
// f6 soğutma devresi bağıl nemi 0-1
// T2 oda giriş sıcaklığı derece C
// f2 oda girişi bağıl nemi, ikinci kanal 0-1
// dQs duyulur ısı girişi kW
// dQl gizli ısı girişi kW

//2 oda çıkışı
P=Pi;
ps_plot_hazirla(tmin,tmax,P);
yh=new yashava();
double a2[]=yh.property("tdb_rh",T2,f2,P);
double h2=a2[8];
double w2=a2[5];
```

```

double ha2=a2[11];
//3 ısı değiştiricisi çıkışı
double w3=w2;
double a3[]=yh.property("tdb_w",T3,w3,P);
double h3=a3[8];

//4 dış hava girişi
double a4[]=yh.property("tdb_rh",T4,f4,P);
double h4=a4[8];
double ha4=a4[11];
double w4=a4[5];

//5 buharlı nemlendirici girişi
double w5=w4;
//heat exchanger equation
double h5=h4+(h2-h3);
//System.out.println("h2="+h2+"h3="+h3+"h4="+h4+"h5="+h5);
double a5[]=yh.property("w_h",w5,h5,P);
double T5=a5[1];
// 1 oda girişi
double ha1=ha2+dQsensible/m1;
//bisection kök bulma ile yashava sınıfında hesaplandı
double T1=yh.ta(ha1,T2,40.0);
double h1=h2+(dQsensible+dQlatent)/m1;
double a1[]=yh.property("tdb_h",T1,h1,P);
double w1=a1[5];
//6 buharlı nemlendirici çıkışı
double T6=T5+dTbuhar;
double w6=w1;
double a6[]=yh.property("tdb_w",T6,w6,P);
double h6=a6[8];
double Q61=m1*(h1-h6);//KW
double Q56=m1*(h6-h5);//KW
double Q32=m1*(h2-h3);//KW
double dm=m1*(w6-w5);
double a[][]=new double[6][a1.length];
a[0]=a1;
a[1]=a2;
a[2]=a3;
a[3]=a4;
a[4]=a5;
a[5]=a6;

// Plot
// kalın mavi çizgi
addData(a2,a1,5,0,0,255);
addData(a2,a3,5,0,0,255);
addData(a4,a5,5,0,0,255);
addData(a5,a6,5,0,0,255);
addData(a6,a1,5,0,0,255);
addData(a1,a2,24,0,0,255);
addData(a3,a4,24,0,0,255);
addData(a5,a6,24,0,0,255);
ps_plot();
print(a,"tek oda kış iklimlendirmesi %100 değişen hava");
String baslik2[]={ "Q67 ısıtma devresi ısı transferi kW","Q56 buharlı nemlendirme ısı transferi kW","Q32 ısı değiştirici ısı transferi
kW","nemlendirme debisi kg/s" };
double b[][]={{ Q61,Q56,Q32,dm }};
print(b,baslik2,"tek oda kış kliması %100 değişen hava çıktı değerleri");
return a;
}
public void print(double a[],String s)
{
Text.print(a,heading,"tek oda kış kliması %100 değişen hava");}

public void print(double a[],String heading2[],String s)

```

```

{String heading[];Text.print(a,heading2,s);}
public void ps_plot_hazirla(double tmin,double tmax,double P1)
{
    double x1[][]=new double[62][51];
    double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];
    A=ps_verisi(tmin,tmax,P1);
    for(int i=0;i<A[0].length;i++)
    for(int j=0;j<A[0][0].length;j++)
    {x1[i][j]=A[0][i][j];y1[i][j]=A[1][i][j];}
    pi=new Plot(x1,y1);
    String ss2="Psikometrik diyagram "+P+" bar";
    pi.setPlabel(ss2);
    pi.setXlabel("T Kuru hava sıcaklığı C");
    pi.setYlabel("w özgül nem kg nem/kg kuru hava");
    pi.setMinMax(tmin,tmax,0.0,0.05);
    pi.setXgrid(1);
    pi.setYgrid(1);
}
public static double[][][] ps_verisi(double tmin,double tmax,double P)
{
    //prepare psychrometric chart data for pressure P
    yashava w=new yashava();
    double aa[]=new double[14];
    double bb[]=new double[14];
    //f2 ff=new f2();
    //double x1[][]=new double[62][51];
    //double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];
    //initilise as a function plot
    int i,j;
    i=0;
    double h;
    for(double rh=0.1;rh<=1.0;rh+=0.1)
    { j=0;
    for(double t=tmin;t<=tmax;t+=1.0)
    {
        aa=w.property1("tdb_rh",t,rh,P);
        h=aa[8];
        if(rh>0.99)
        {
            h=aa[8];
            A[0][11+j][0]=t;A[1][11+j][0]=aa[5];
            bb=w.property1("w_h",0.0,h,P);
            A[0][11+j][1]=bb[10];A[1][11+j][1]=0.0;
        }
        A[0][i][j]=t;
        A[1][i][j]=aa[5];
        j++;
    }
    i++;
}
return A;
}
public void addData(double a1[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[0][1];
y1[0]=a1[0][5];
x1[1]=a1[1][1];
y1[1]=a1[1][5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],double a2[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];

```

```

double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
x1[1]=a2[1];
y1[1]=a2[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[1];
double y1[]=new double[1];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void ps_plot()
{ pi.setMinMax(tmin,tmax,0,0.05);
pi.plot();
}

public static void main(String arg[])
{ yashavatest12 wat=new yashavatest12();
double p=1.01325; // bar
double m1=1.0; //kg/s
double T2=20.0; // oda giriş sıcaklığı derece C
double fi2=0.5;
double dTbuhar=8.0; //derece C
double Qsensible=10.0; // oda duyulur ısı kazancı kW
double Qlatent=10.0; // oda gizli ısı kazancı kW
double T3=10.0; //derece C ısı değiştirici hava çıkış sıcaklığı
double T4=0.0; //dış hava giriş sıcaklığı
double fi4=0.0; //dış hava giriş bağlı nemi
double a[][]=wat.winter_air_conditioning(p,m1,T2,fi2,T3,T4,fi4,Qsensible,Qlatent,dTbuhar);
}

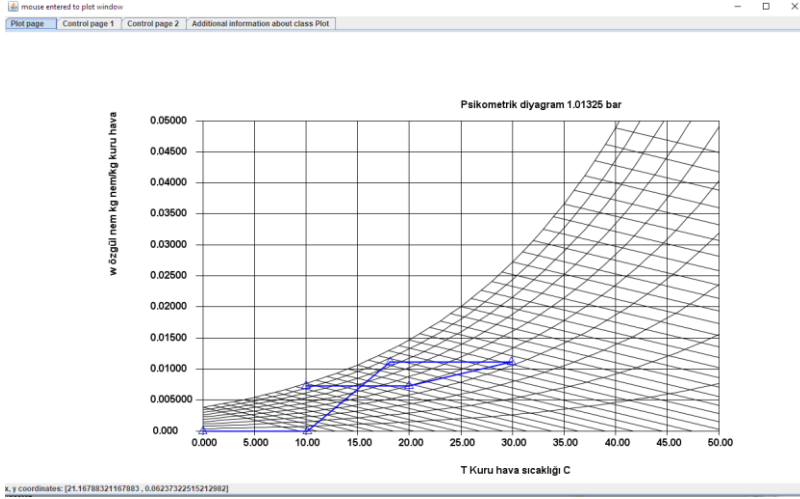
```

tek oda kış kliması %100 değişen hava çıktı değerleri

Q67 ısıtma devresi ısı tr...	Q56 buharlı nemlendir...	Q32 ısı değiştirici ısı tra...	nemlendirme debisi kg/s
12.109717320419719	36.22129603231939	10.172868308903631	0.011122345481343839

tek oda kış kliması %100 değişen hava

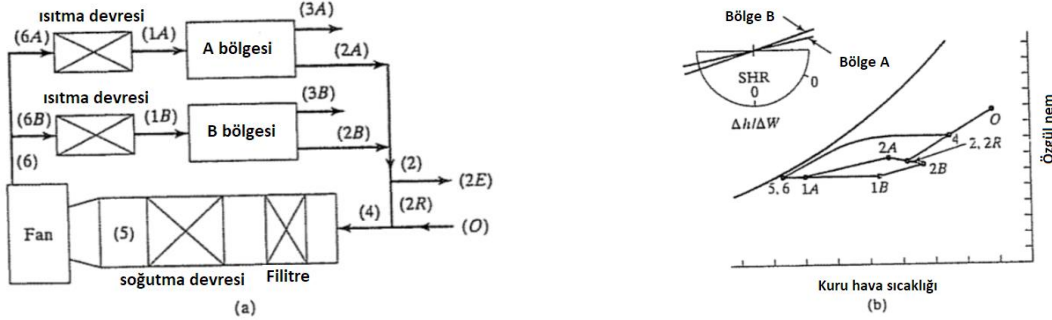
Basınç bar	Sıcaklık derec...	v kuru hava öz...	Pv_su kısmi b...	Pa_kuru hava ...	w_özgül nem ...	φ bağlı nem	dos.doygunlu...	h entalpi KJ/k...	s. entropi KJ/k...	dp_çiğ noktası...	ha_kuru havan...	hv_su buhanni...	hw_gizli sı K...	tw yaş hava sı...
1.01325	29.95574951...	0.874077268...	0.017801048...	0.995448951...	0.011122345...	0.420326002...	0.409960021...	58.50388166...	0.202965486...	15.67100169...	30.07316543...	2556.818321...	28.43781670...	20.43404123...
1.01325	20.0	0.840211139...	0.011691990...	1.001558009...	0.007260760...	0.5	0.494163098...	38.50388166...	0.136181223...	9.275690167...	20.07315909...	2538.401006...	18.43072256...	13.78031159...
1.01325	0.0	0.773854366...	0.0	1.01325	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	NaN	0.0	-0.024477109...	-0.0	0.0
1.01325	10.13578776...	0.802531477...	0.0	1.01325	0.0	0.0	0.0	10.17286830...	0.036516763...	10.13578776...	10.15825537...	0.0	0.0	0.434216123...
1.01325	18.13578776...	0.839991607...	0.017801048...	0.995448951...	0.011122345...	0.855178088...	0.852588320...	46.39416434...	0.162189887...	15.67100169...	18.20177424...	2534.752237...	28.19239009...	16.55471953...



Şekil 4.9-2 %100 hava sirkülasyonlu kış iklimlendirmesi psikometrik diyagram göeüntüsü

4.10 Çok bölgeli sistemler

Çok bölgeli sistemlerin tek bölgeli sistemlerden en önemli farkı bölgesel kontrolların gerekmesidir. İki ayrı bölgenin değişik ihtiyaçları olabileceği gibi ısı yükleri de değişik olabilir. Şekil 4.10-1 de verilen 2 bölgeli sistemde yerel kontrol her bölge için ayrı bir ısıtma devresi oluşturularak yapılmıştır.



Şekil 4.10-1 çok bölgeli ve ısıtma devreli yaz iklimlendirme sistemi

Şekil 4-10-1 deki sistem için temel denklemler:

Bu problemde O noktası, 5 noktası, 2A ve 2B noktaları verilmiştir önce bu noktaların değerlerini hesaplarız. 5 noktasından $w_5 = w_{6A} = w_{1A}$ aynı zamanda odaların duyulur ve gizli ısıları verildiğinden

$$\text{duyulur ısı oranı} = SHRA = \frac{\sum Q_{sA}}{\sum Q_{sA} + \sum Q_{LA}} = \frac{\text{Toplam duyulur ısı}}{\text{Toplam ısı}}$$

$$\text{Toplam duyulur ısı} = \sum Q_s = m_{1A}(h_{a2A} - h_{a1A})$$

$$\text{Toplam ısı} = \sum Q_s = m_{1A}(h_{2A} - h_{1A})$$

$$SHRA = \frac{\sum Q_{sA}}{\sum Q_{sA} + \sum Q_{LA}} = \frac{(h_{a2A} - h_{a1A})}{(h_{2A} - h_{1A})}$$

$\frac{(h_{a2A} - h_{a1A})}{(h_{2A} - h_{1A})} - SHRA = 0$ Bu denklemdeki h_{a1A} ve h_{1A} kuru hava sıcaklığının fonksiyonudur, aynı zamanda psikometrik olarak tanımlanması için ikinci bir parametreye ihtiyaç duymaktadır ve w_{1A} bilindiği için sadece kuru hava sıcaklığının fonksiyonu olarak bir kök bulma nümerik metoduyla çözülerek T_{2A} sıcaklığı elde edilir.

Aynı şekilde 5 noktasından $w_5 = w_{6B} = w_{1B}$ aynı zamanda odaların duyulur ve gizli ısıları verildiğinden

$$\text{duyulur ısı oranı} = SHRB = \frac{\sum Q_{sB}}{\sum Q_{sB} + \sum Q_{LB}} = \frac{\text{Toplam duyulur ısı}}{\text{Toplam ısı}}$$

$$\text{Toplam duyulur ısı} = \sum Q_{sB} = m_{1B}(h_{a2B} - h_{a1B})$$

$$\text{Toplam ısı} = \sum Q_{sB} = m_{1B}(h_{2B} - h_{1B})$$

$$SHRB = \frac{\sum Q_{SB}}{\sum Q_{SB} + \sum Q_{LB}} = \frac{(h_{a2B} - h_{a1B})}{(h_{2B} - h_{1B})}$$

$\frac{(h_{a2B} - h_{a1B})}{(h_{2B} - h_{1B})} - SHRB = 0$ denklemi oluşturularak sayısal kök bulma metodlarıyla çözülerek T_{2B} sıcaklığı elde edilir. Bu sıcaklıklar bilinince her iki mekan için de kütleli kuru hava debileri hesaplanabilir.

$$m_{1A} = \frac{\sum Q_{SA}}{(h_{a2A} - h_{a1A})} \quad m_{1B} = \frac{\sum Q_{SB}}{(h_{a2B} - h_{a1B})}$$

Bu debiler bilinince ısıtma devrelerinin ısı transferini hesaplayabiliriz.

$$Q_{6A-1A} = m_{1A}(h_{1A} - h_{6A})$$

$$Q_{6B-1B} = m_{1B}(h_{1B} - h_{6B})$$

2A ve 2B akımları karışarak 2 akımını oluşturmaktadır. Bu akımın termodinamik özelliklerini karışım denklemlerinden elde edebiliriz.

$$m_2 = m_{1A} + m_{1B}$$

$$m_2 h_2 = m_{1A} h_{2A} + m_{1B} h_{2B}$$

$$m_2 w_2 = m_{1A} w_{2A} + m_{1B} w_{2B}$$

Bu denklemlerden psikometrik özellik hesaplarıyla T_2 bulunur.

Girişteki taze hava oranı verilmişse bu veri kullanılarak T_4 sıcaklığı yukarıdakine paralel bir şekilde karışım denklemlerinden elde edilebilir.

$$taze\ hava\ oranı = tho = \frac{m_o}{m_2}$$

$$h_4 = (1 - tho)h_2 + thoh_o$$

$$w_4 = (1 - tho)w_2 + thow_o$$

Buradan T_4 sıcaklığı elde edilir ve soğutma devresinin soğutma yükü hesaplanır.

$$Q_R = Q_{4-5} = m_2(h_4 - h_5)$$

Örnek problem: Şekil 4.10-1 de görülen 2 zonlu yaz iklimlendirme sistemi dış ortam kuru hava sıcaklığı 32 C ve yaş hava sıcaklığı 23 C için dizayn edilecektir. Bu sistemde tek çıkış havası 2E ile gösterilen ana çıkış olup 3A ve 2B ile gösterilen çıkışlar yapılmayacaktır. Her zona giriş havasını %25 i taze hava olacaktır. Sistem basıncını 1.01325 bar olarak kabul edeceğiz. Soğutma devresi çıkışı 5 C de doymuş hava olacaktır ($\phi = \%100$). Bölge A nın dizayn şartları 22 C kuru hava sıcaklığı ve $\phi = \%22$ bağıl nemdir. Bu bölgede 80 kW duyulur ısı kazancı ve 20 kW gizli ısı kazancı olacaktır. Bölge B nın dizayn şartları 26 C kuru hava sıcaklığı ve $\phi = \%30$ bağıl nemdir. Bu bölgede 75 kW duyulur ısı kazancı ve 25 kW gizli ısı kazancı olacaktır. Her iki bölge için de gerekli kütleli debileri ve ısı yüklerini hesaplayınız.

Program 4.10.1 İki bölge ısıtma devreli yaz iklimi

```
import javax.swing.*;
class ff implements if_x
{
    public double w1,SHR,h2a,h2,P;
    public double h1,h1a;
    public yashava yh;
    public ff(yashava yhi,double Pi,double w1i,double SHRi,double h2i,double h2ai)
    {yh=yhi;P=Pi;w1=w1i;SHR=SHRi;h2=h2i;h2a=h2ai;}
    public double func(double tdb)
    {double a[]=yh.property("tdb_w",tdb,w1,P);
    h1a=a[11];
    h1=a[8];
    return (h2a-h1a)/(h2-h1)-SHR;
    }
}
public class yashavatest13
{
    //
    Plot pi;
    double P;
    yashava yh;
    double tmin=0;
    double tmax=50.0;
}
```

```

String heading[]={ "Basınç bar",
"Sıcaklık derece C",
"v kuru hava özgül ısı m^3/kgkh",
"Pv_su kısmi basıncı bar",
"Pa_kuru hava kısmi basıncı bar",
"w_ özgül nem kg nem/kg kuru hava",
"\u03D5'+\" bağıl nem",
"dos,doygunluk derecesi",
"h entalpi KJ/kgkh",
"s, entropi KJ/kgkh",
"dp ,çiğ noktası sıcaklığı derece C",
"ha,kuru havanın entalpisi KJ/kgkh",
"hv,su buharının entalpisi KJ/kgkh",
"hv*w,gizli sı KJ/kgkh",
"tw yaş hava sıcaklığıC"};
public static double bisection(if_x f,double a,double b)
{double b1=2.0*b;
double r=(a+b)/2.0;
double eps=1.0e-8;
int nmax=100;
int i=0;
while(Math.abs(f.func(r))>eps && i<nmax)
{if(f.func(a)*f.func(r)<0) b=r;
else a=r;
r=(a+b)/2.0;
i++;
}
return r;
}
public double[][] yaz_iklimlendirme(double Pi,double T2R,double T2RWB,double T2A,double f2A,double QAS,double QAL,
double T2B,double f2B,double QBS,double QBL,double T5,double f5)
{
// T2R dış hava sıcaklığı derece C
// T2RWB dış yaş hava sıcaklığı derece C
// T2A bölge A çıkış hava sıcaklığı derece C
// f2A bölge A çıkış hava bağıl nem
// QAS bölge A duyulur ısı kazancı kW
// QAL bölge A gizli ısı kazancı kW
// T2B bölge B çıkış hava sıcaklığı derece C
// f2B bölge B çıkış hava bağıl nem
// QBS bölge B duyulur ısı kazancı kW
// QBL bölgeB gizli ısı kazancı kW
// T5 soğutma devresi çıkışı sıcaklığı derece C
// f5 soğutma devresi çıkışı bağıl nem
P=Pi;
ps_plot_hazirla(tmin,tmax,P);
yh=new yashava();
//Giriş havası
double aO[]=yh.property("tdb_tw",T2R,T2RWB,P);
double hO=aO[8];
double wO=aO[5];
double haO=aO[11];
// bölge A çıkış 2A
double a2A[]=yh.property("tdb_rh",T2A,f2A,P);
double h2A=a2A[8];
double w2A=a2A[5];
double ha2A=a2A[11]; double hv2A=a2A[12];
// bölge B çıkış 2B
double a2B[]=yh.property("tdb_rh",T2B,f2B,P);
double h2B=a2B[8];
double w2B=a2B[5];
double ha2B=a2B[11];
double hv2B=a2B[12];
double SHRA=QAS/(QAS+QAL);
double SHRB=QBS/(QBS+QBL);
// 5 soğutma devresi çıkışı

```

```

double a5[]=yh.property("tdb_rh",T5,f5,P);
double h5=a5[8];
double w5=a5[5];
double ha5=a5[11];
double w1A=w5;
double w1B=w5;
ff fA=new ff(yh,P,w1A,SHRA,h2A,ha2A);
// SHRA w1 ve h2A ha2A değerlerinden kk bulma ile bulundu
double T1A=bisection(fA,T5,T2A);
double ha1A=fA.h1a;
double h1A=fA.h1;
double m1A=QAS/(ha2A-ha1A);
double Q6A1A=m1A*(h1A-h5);//KW
double a1A[]=yh.property("tdb_h",T1A,h1A,P);
System.out.println("T1A="+T1A+"m1A="+m1A+"Q6A1A="+Q6A1A);
ff fB=new ff(yh,P,w1B,SHRB,h2B,ha2B);
// SHRA w1 ve h2B ha2B değerlerinden kk bulma ile bulundu
double T1B=bisection(fB,T5,T2B);
double ha1B=fB.h1a;
double h1B=fB.h1;
double m1B=QBS/(ha2B-ha1B);
double Q6B1B=m1B*(h1B-h5);//KW
double a1B[]=yh.property("tdb_h",T1B,h1B,P);
System.out.println("T1B="+T1B+"mB="+m1B+"Q6B1B="+Q6B1B);
// 2 blge A ve blge B karışımı
double m2=m1A+m1B;
double h2=(m1A*h2A+m1B*h2B)/m2;
double w2=(m1A*w2A+m1B*w2B)/m2;
double a2[]=yh.property("w_h",w2,h2,P);
double T2=a2[1];
System.out.println("m2="+m2+"T2="+T2);
//dışarıdan alınan hava oranı
double mfratio=0.25;
// 4 noktası
double h4=((1.0-mfratio)*h2+mfratio*hO);
double w4=((1.0-mfratio)*w2+mfratio*wO);
double a4[]=yh.property("w_h",w4,h4,P);
double T4=a4[1];
double m5=m2;
double Q45=m5*(h4-h5);
//soğutma devresindeki nem alma
double dm=m2*(w4-w5);
//7 noktası 4 noktasının doyma noktası bağıl nem %100
double w7=w4;
double rh7=1.0;
double a7[]=yh.property("w_rh",w7,rh7,P);
System.out.println("T4="+T4+"h4="+h4+"w4="+w4);
double a[][]=new double[8][a7.length];
a[0]=aO;
a[1]=a1A;
a[2]=a2A;
a[3]=a1B;
a[4]=a2B;
a[5]=a2;
a[6]=a4;
a[7]=a4;

// Plot
// kalın mavi çizgi
addData(a4,a7,5,0,0,255);
addData(a5,a1B,5,0,0,255);
addData(a1B,a2B,5,0,0,255);
addData(a2B,a2A,5,0,0,255);
addData(a2A,a1A,5,0,0,255);
addData(aO,a2,5,0,0,255);
//

```



```

addData(a5,a1A,24,0,0,255);
addData(a5,a1B,24,0,0,255);
addData(a1B,a2B,24,0,0,255);
addData(a2A,a1A,24,0,0,255);
addData(aO,a4,24,0,0,255);
addData(a4,a2,24,0,0,255);
ps_plot();
print(a,"iki oda yaz iklimlendirmesi ısıtma devreli");
String baslik2[]={ "Q6A-1A ısıtma kW","Q6B-1B ısıtma kW","Q3R soğutma kW","nemlendirme debisi kg/s"};
double b[][]={{ Q6A1A,Q6B1B,Q45,dm}};
print(b,baslik2,"iki oda yaz iklimlendirmesi ısıtma devreli çıktı değerleri");
return a;
}
public void print(double a[],String s)
{
Text.print(a,heading,"iki oda yaz iklimlendirmesi ısıtma devreli");

public void print(double a[],String heading2[],String s)
{String heading[];Text.print(a,heading2,s);}
public void ps_plot_hazirla(double tmin,double tmax,double P1)
{
double x1[][]=new double[62][51];
double y1[][]=new double[62][51];
double A[][]=new double[2][62][51];
A=ps_verisi(tmin,tmax,P1);
for(int i=0;i<A[0].length;i++)
for(int j=0;j<A[0][0].length;j++)
{x1[i][j]=A[0][i][j];y1[i][j]=A[1][i][j];}
pi=new Plot(x1,y1);
String ss2="Psikometrik diyagram "+P+" bar";
pi.setLabel(ss2);
pi.setXlabel("T Kuru hava sıcaklığı C");
pi.setYlabel("w özgül nem kg nem/kg kuru hava");
pi.setMinMax(tmin,tmax,0.0,0.05);
pi.setXgrid(1);
pi.setYgrid(1);
}
public static double[][] ps_verisi(double tmin,double tmax,double P)
{
//prepare psychrometric chart data for pressure P
yashava w=new yashava();
double aa[]=new double[14];
double bb[]=new double[14];
//f2 ff=new f2();
//double x1[][]=new double[62][51];
//double y1[][]=new double[62][51];
double A[][]=new double[2][62][51];
//initilise as a function plot
int i,j;
i=0;
double h;
for(double rh=0.1;rh<=1.0;rh+=0.1)
{ j=0;
for(double t=tmin;t<=tmax;t+=1.0)
{
aa=w.property1("tdb_rh",t,rh,P);
h=aa[8];
if(rh>0.99)
{
h=aa[8];
A[0][11+j][0]=t;A[1][11+j][0]=aa[5];
bb=w.property1("w_h",0.0,h,P);
A[0][11+j][1]=bb[10];A[1][11+j][1]=0.0;
}
A[0][i][j]=t;
A[1][i][j]=aa[5];
}
}
}

```

```

        j++;
    }
    i++;
}
return A;
}
public void addData(double a1[][],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[0][1];
y1[0]=a1[0][5];
x1[1]=a1[1][1];
y1[1]=a1[1][5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],double a2[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
x1[1]=a2[1];
y1[1]=a2[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[1];
double y1[]=new double[1];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

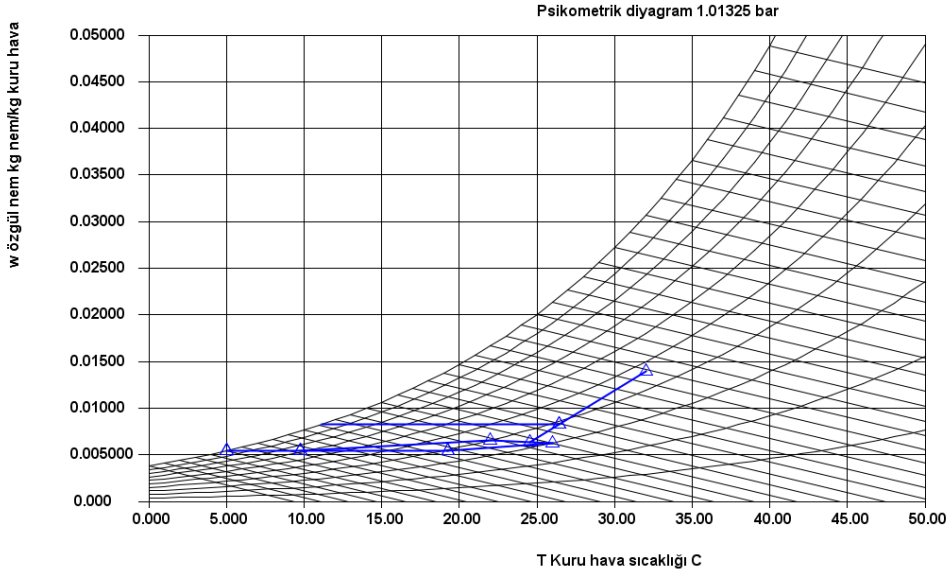
public void ps_plot()
{ pi.setMinMax(tmin,tmax,0,0.05);
    pi.plot();
}

public static void main(String arg[])
{ yashavatest13 wat=new yashavatest13();
double p=1.01325; // bar
double T2R=32.0;
double T2RWB=23.0;
double T2A=22.0;
double f2A=0.4;
double QAS=80.0;
double QAL=20.0;
double T2B=26.0;
double f2B=.3;
double QBS=75.0;
double QBL=25.0;
double T5=5.0;
double f5=1.0;
double a[][]=wat.yaz_iklimlendirme(p,T2R,T2RWB,T2A,f2A,QAS,QAL,
T2B,f2B,QBS,QBL,T5,f5);
}}

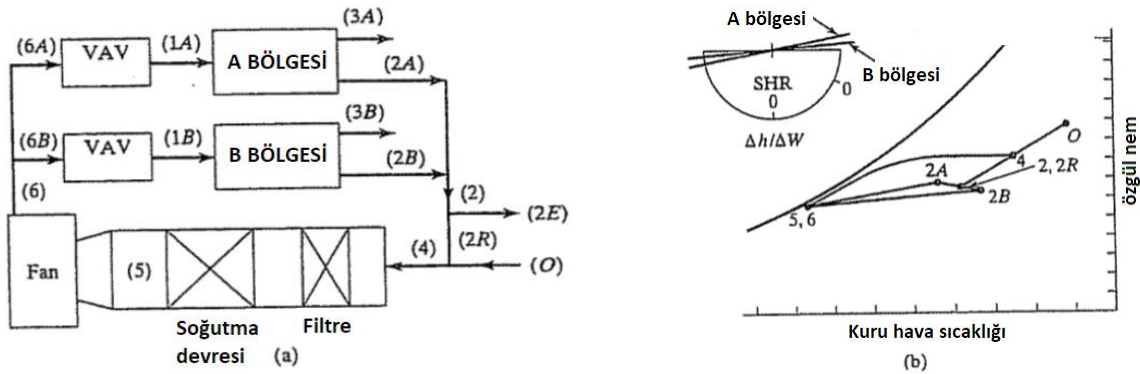
```

iki oda yaz iklimlendirmesi ısıtma devreli çıktı değ...			
Q6A-1A ısıtma kW	Q6B-1B ısıtma kW	Q3R soğutma kW	nemlendirme debi...
31.230108664044...	160.9513621858...	511.15677378708...	0.050453612712...

Basınç bar	Sıcaklık derece C	v kuru hava özgülü...	Pv_su kısmi bas...	Pa_kuru hava k...	w_özgül nem k...	φ bağıl nem	dos.doygunluk d...	h entalpi KJ/kg	s. entropi KJ/kgK	dp_çij noktasi s...	ha_kuru havanın...	hv_su buhanının...	hw_w.gizli sı KJ/k...	tw_yaz hava sıca...
1.01325	32.0	0.86451275829...	0.02222536159...	0.99102463840...	0.01394871401...	0.46707887474...	0.45512723978...	67.8448722074...	0.23349693456...	19.1824548671...	32.1288264438...	2560.52606102...	35.7160457636...	23.0
1.01325	9.73958599567...	0.80840521439...	0.00872095394...	1.00452904605...	0.00539972050...	0.72296930439...	0.72056422517...	23.3775741025...	0.08406610375...	5.00055834678...	9.77418589626...	2519.37533403...	13.6039226405...	7.36605184691...
1.01325	22.0	0.84500317628...	0.01057752932...	1.00267247067...	0.00856137811...	0.4	0.39367039807...	38.7610147625...	0.13710794959...	7.79841394642...	22.0809385064...	2542.16127143...	16.6800762560...	13.8940951302...
1.01325	19.2804632782...	0.83567070517...	0.00872192588...	1.00452807411...	0.00540032752...	0.39004116111...	0.38474512616...	33.0501718243...	0.11759953954...	5.00215581930...	19.3508449923...	2537.14333699...	13.7014049919...	11.6524924749...
1.01325	26.0	0.85003754382...	0.01008853748...	1.00316146251...	0.00625499776...	0.3	0.29296027956...	42.0447293387...	0.14814473948...	7.10642348060...	26.0967631962...	2549.63578567...	15.9479661425...	15.1269763019...
1.01325	24.5208411553...	0.85190646562...	0.01026901246...	1.00299099753...	0.00636039776...	0.33346480142...	0.32664048936...	40.8331630949...	0.14411166907...	7.36519952114...	24.6196173351...	2546.87136404...	16.2185761297...	14.6771009999...
1.01325	26.4110526961...	0.85097545681...	0.01328506509...	0.99996493490...	0.00626320833...	0.38557549795...	0.37741254220...	47.5860903730...	0.16678068628...	11.1850732653...	26.5189660733...	2550.31721767...	21.0738024767...	17.0304956856...
1.01325	26.4110526961...	0.85997545681...	0.01328506509...	0.99996493490...	0.00626320833...	0.38557549795...	0.37741254220...	47.5860903730...	0.16678068628...	11.1850732653...	26.5189660733...	2550.31721767...	21.0738024767...	17.0304956856...



Şekil 4.10-2 de değişken hava hacimli ve iki bölgeci bir yaz



Şekil 4.10-3 çok bölgeci ve değişken hava hacimli iklimlendirme sistemi

Bu problemde O noktası, 5 noktası, 2A ve 2B noktaları verilmiştir önce bu noktaların değerlerini hesaplarız. 5 noktasından $w_5 = w_{6A} = w_{1A}$ aynı zamanda odaların duyulur ve gizli ısıları verildiğinden

$$\text{duyulur ısı oranı} = SHRA = \frac{\sum Q_{sA}}{\sum Q_{sA} + \sum Q_{LA}} = \frac{\text{Toplam duyulur ısı}}{\text{Toplam ısı}}$$

$$h_{6A} = h_5$$

$$SHRA = \frac{\sum Q_{sA}}{\sum Q_{sA} + \sum Q_{LA}} = \frac{(h_{a2A} - h_{a6A})}{(h_{2A} - h_{6A})}$$

$$\frac{(h_{a2A} - h_{a6A})}{(h_{2A} - h_{6A})} - SHRA = 0 \text{ Bu denklemdeki } h_{a2A} \text{ ve } h_{2A} \text{ kuru hava sıcaklığının fonksiyonudur, sadece kuru}$$

hava sıcaklığının fonksiyonu olarak bir kök bulma nümerik metoduyla çözümlenerek h_{2A} , w_{2A} elde edilir. Aynı yöntemle diğer odanın şartları da elde edilebilir.

$$m_{1A} = \frac{\sum Q_{sA}}{(h_{a2A} - h_{a6A})} \quad m_{1B} = \frac{\sum Q_{sB}}{(h_{a2B} - h_{a6B})}$$

Bu debiler bilinince ısıtma devrelerinin ısı transferini hesaplayabiliriz.

2A ve 2B akımları karışarak 2 akımını oluşturmaktadır. Bu akımın termodinamik özelliklerini karışım denklemlerinden elde edebiliriz.

$$m_2 = m_{1A} + m_{1B}$$

$$m_2 h_2 = m_{1A} h_{2A} + m_{1B} h_{2B}$$

$$m_2 w_2 = m_{1A} w_{2A} + m_{1B} w_{2B}$$

Bu denklemlerden psikometrik özellik hesaplarıyla T_2 bulunur.

Girişteki taze hava oranı verilmişse bu veri kullanılarak T_4 sıcaklığı yukardakine paralel bir şekilde karışım denklemlerinden elde edilebilir.

$$taze\ hava\ oranı = th_o = \frac{m_o}{m_2}$$

$$h_4 = (1 - th_o)h_2 + th_o h_o$$

$$w_4 = (1 - th_o)w_2 + th_o w_o$$

Buradan T_4 sıcaklığı elde edilir ve soğutma devresinin soğutma yükü hesaplanır.

$$Q_R = Q_{4-5} = m_2(h_4 - h_5)$$

Örnek problem: Şekil 4.10-2 de görülen 2 zonlu yaz iklimlendirme sistemi dış ortam kuru hava sıcaklığı 32 C ve yaş hava sıcaklığı 23 C için dizayn edilecektir. Bu sistemde tek çıkış havası 2E ile gösterilen ana çıkış olup 3A ve 3B ile gösterilen çıkışlar yapılmayacaktır. Her zona giriş havasını %25 i taze hava olacaktır. Sistem basıncını 1.01325 bar olarak kabul edeceğiz. Soğutma devresi çıkışı 5 C de doymuş hava olacaktır x Bölge A nın termostat seçimi 22 C kuru hava sıcaklığıdır. Bu bölgede 80 kW duyulur ısı kazancı ve 20 kW gizli ısı kazancı olacaktır. Bölge B nin termostat seçimi 26 C kuru hava sıcaklığıdır. Bu bölgede 75 kW duyulur ısı kazancı ve 25 kW gizli ısı kazancı olacaktır. Değişken hava hacimli sistemler için hem sıcaklık hem de nem değerlerini set etmek mümkün değildir. Her iki bölge için de gerekli kütledebileri ve ısı yüklerini hesaplayınız.

Program 4.10.2 İki bölge VAV karıştırmalı yaz kliması

```
import javax.swing.*;
class ff implements if_x
{
    public double T2,w2,SHR,h6a,h6,P;
    public double h2,h2a,rh2;
    public double a[];
    public yashava yh;

    public ff(yashava yhi,double Pi,double T2i,double SHRi,double h6i,double h6ai)
    {yh=yhi;P=Pi;T2=T2i;SHR=SHRi;h6=h6i;h6a=h6ai;}
    public double func(double w)
    {a=yh.property("tdb_w",T2,w,P);
    h2a=a[11];
    h2=a[8];
    rh2=a[6];
    return (h2a-h6a)/(h2-h6)-SHR;
    }
}

public class yashavatest14
{
    //
    Plot pi;
    double P;
    yashava yh;
    double tmin=0;
    double tmax=50.0;
    String heading[]={"Basınç bar",
    "Sıcaklık derece C",
    "v kuru hava özgül ısı m^3/kgkh",
    "Pv_su kısmi basıncı bar",
    "Pa_kuru hava kısmi basıncı bar",
    "w_özgül nem kg nem/kg kuru hava",
    "\u03D5'+ "bağıl nem",
    "dos,doygunluk derecesi",
    "h entalpi KJ/kgkh",
```

```

"s, entropi KJ/kgkh",
"dp ,çiğ noktası sıcaklığı derece C",
"ha,kuru havanın entalpisi KJ/kgkh",
"hv,su buharının entalpisi KJ/kgkh",
"hv*w,gizli sı KJ/kgkh",
"tw yaş hava sıcaklığıC");
public static double bisection(if_x f,double a,double b)
{ double b1=2.0*b;
double r=(a+b)/2.0;
double eps=1.0e-4;
int nmax=100;
int i=0;
while(Math.abs(f.func(r))>eps && i<nmax)
{if(f.func(a)*f.func(r)<0) b=r;
else a=r;
r=(a+b)/2.0;
i++;
//System.out.println("a="+a+"r="+r+"b="+b);
}
return r;
}
public double[][] yaz_iklimlendirme(double Pi,double TO,double T2RWB,double T2A,double QAS,double QAL,
double T2B,double QBS,double QBL,double T5,double f5)
{
// T2R dış hava sıcaklığı derece C
// T2RWB dış yaş hava sıcaklığı derece C
// T2A bölge A çıkış hava sıcaklığı derece C
// f2A bölge A çıkış hava bağıl nem
// QAS bölge A duyulur ısı kazancı kW
// QAL bölge A gizli ısı kazancı kW
// T2B bölge B çıkış hava sıcaklığı derece C
// f2B bölge B çıkış hava bağıl nem
// QBS bölge B duyulur ısı kazancı kW
// QBL bölgeB gizli ısı kazancı kW
// T5 soğutma devresi çıkışı sıcaklığı derece C
// f5 soğutma devresi çıkışı bağıl nem
P=Pi;
ps_plot_hazirla(tmin,tmax,P);
yh=new yashava();
//Giriş havası
double aO[]=yh.property("tdb_twb",TO,T2RWB,P);
double hO=aO[8];
double wO=aO[5];
double haO=aO[11];
// 5 soğutma devresi çıkışı
double a5[]=yh.property("tdb_rh",T5,f5,P);
double h5=a5[8];
double w5=a5[5];
double ha5=a5[11];
double w1A=w5;
double w1B=w5;
double SHRA=QAS/(QAS+QAL);
double SHRB=QBS/(QBS+QBL);
ff fA=new ff(yh,P,T2A,SHRA,h5,ha5);
// SHRA T2A ve değerlerinden kök bulma ile bulundu
double w2A=bisection(fA,w5,wO);
double ha2A=fA.h2a;
double h2A=fA.h2;
double rh2A=fA.rh2;
System.out.println("T2A="+T2A+"w2A="+w2A+"h2A="+h2A+"rh2A="+rh2A*100);
double a2A[]=fA.a;
double m1A=QAS/(ha2A-ha5);
ff fB=new ff(yh,P,T2B,SHRB,h5,ha5);
// SHRB T2B ve değerlerinden kök bulma ile bulundu
double w2B=bisection(fB,w5,wO);
double ha2B=fB.h2a;

```

```
double h2B=fB.h2;
double rh2B=fB.rh2;
System.out.println("T2B="+T2B+"w2B="+w2B+"h2B="+h2B+"rh2B="+rh2B*100);
```

```
double a2B[]=fB.a;
double m1B=QBS/(ha2B-ha5);
// 2 bölge A ve bölge B karışımı
double m2=m1A+m1B;
double h2=(m1A*h2A+m1B*h2B)/m2;
double w2=(m1A*w2A+m1B*w2B)/m2;
double a2[]=yh.property("w_h",w2,h2,P);
double T2=a2[1];
System.out.println("m2="+m2+"T2="+T2);
//dışarıdan alınan hava oranı
double mfratio=0.25;
// 4 noktası
double h4=((1.0-mfratio)*h2+mfratio*hO);
double w4=((1.0-mfratio)*w2+mfratio*wO);
double a4[]=yh.property("w_h",w4,h4,P);
double T4=a4[1];
double m5=m2;
double Q45=m5*(h4-h5);
//soğutma devresindeki nem alma
double dm=m2*(w4-w5);
//7 noktası 4 noktasının doyma noktası bağıl nem %100
double w7=w4;
double rh7=1.0;
double a7[]=yh.property("w_rh",w7,rh7,P);
System.out.println("T4="+T4+"h4="+h4+"w4="+w4);
double a[][]=new double[7][a5.length];
a[0]=aO;
a[1]=a2A;
a[2]=a2B;
a[3]=a2;
a[4]=a4;
a[5]=a5;
a[6]=a7;
// Plot
// kalın mavi çizgi
addData(a5,a2A,5,0,0,255);
addData(a5,a2B,5,0,0,255);
addData(a2A,a2B,5,0,0,255);
addData(a2,aO,5,0,0,255);
addData(a4,a7,5,0,0,255);
//
addData(a5,a2A,24,0,0,255);
addData(a5,a2B,24,0,0,255);
addData(a2,aO,24,0,0,255);
addData(a4,a2A,24,0,0,255);
addData(aO,a4,24,0,0,255);
addData(a4,a2,24,0,0,255);
ps_plot();
print(a,"iki oda yaz iklimlendirmesi VAV devreli");
String baslik2[]="QR soğutma kW","nemlendirme debisi kg/s";
double b[][]={{ Q45,dm }};
print(b,baslik2,"iki oda yaz iklimlendirmesi VAVa devreli çıktı değerleri");
return a;
}
public void print(double a[][],String s)
{
Text.print(a,heading,"iki oda yaz iklimlendirmesi ısıtma devreli");}

public void print(double a[][],String heading2[],String s)
{String heading[];Text.print(a,heading2,s);}
public void ps_plot_hazirla(double tmin,double tmax,double P1)
{
```

```

        double x1[][]=new double[62][51];
        double y1[][]=new double[62][51];
        double A[][][]=new double[2][62][51];
        A=ps_verisi(tmin,tmax,P1);
        for(int i=0;i<A[0].length;i++)
            for(int j=0;j<A[0][0].length;j++)
                {x1[i][j]=A[0][i][j];y1[i][j]=A[1][i][j];}
pi=new Plot(x1,y1);
String ss2="Psikometrik diyagram "+P+" bar";
pi.setLabel(ss2);
pi.setXlabel("T Kuru hava sıcaklığı C");
pi.setYlabel("w özgül nem kg nem/kg kuru hava");
pi.setMinMax(tmin,tmax,0.0,0.05);
pi.setXgrid(1);
pi.setYgrid(1);
}
public static double[][] ps_verisi(double tmin,double tmax,double P)
{
    //prepare psychrometric chart data for pressure P
    yashava w=new yashava();
    double aa[]=new double[14];
    double bb[]=new double[14];
    //f2 ff=new f2();
    //double x1[][]=new double[62][51];
    //double y1[][]=new double[62][51];
    double A[][][]=new double[2][62][51];
//initilise as a function plot
int i,j;
i=0;
double h;
for(double rh=0.1;rh<=1.0;rh+=0.1)
{
    j=0;
    for(double t=tmin;t<=tmax;t+=1.0)
    {
        aa=w.property1("tdb_rh",t,rh,P);
        h=aa[8];
        if(rh>0.99)
        {
            h=aa[8];
            A[0][11+j][0]=t;A[1][11+j][0]=aa[5];
            bb=w.property1("w_h",0.0,h,P);
            A[0][11+j][1]=bb[10];A[1][11+j][1]=0.0;
        }
        A[0][i][j]=t;
        A[1][i][j]=aa[5];
        j++;
    }
    i++;
}
return A;
}
public void addData(double a1[],int plotype,int red,int green,int blue)
{
    double x1[]=new double[2];
    double y1[]=new double[2];
    x1[0]=a1[0][1];
    y1[0]=a1[0][5];
    x1[1]=a1[1][1];
    y1[1]=a1[1][5];
    pi.addData(x1,y1,plotype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],double a2[],int plotype,int red,int green,int blue)
{
    double x1[]=new double[2];
    double y1[]=new double[2];
    x1[0]=a1[1];
    y1[0]=a1[5];
}

```

```

x1[1]=a2[1];
y1[1]=a2[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[1];
double y1[]=new double[1];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

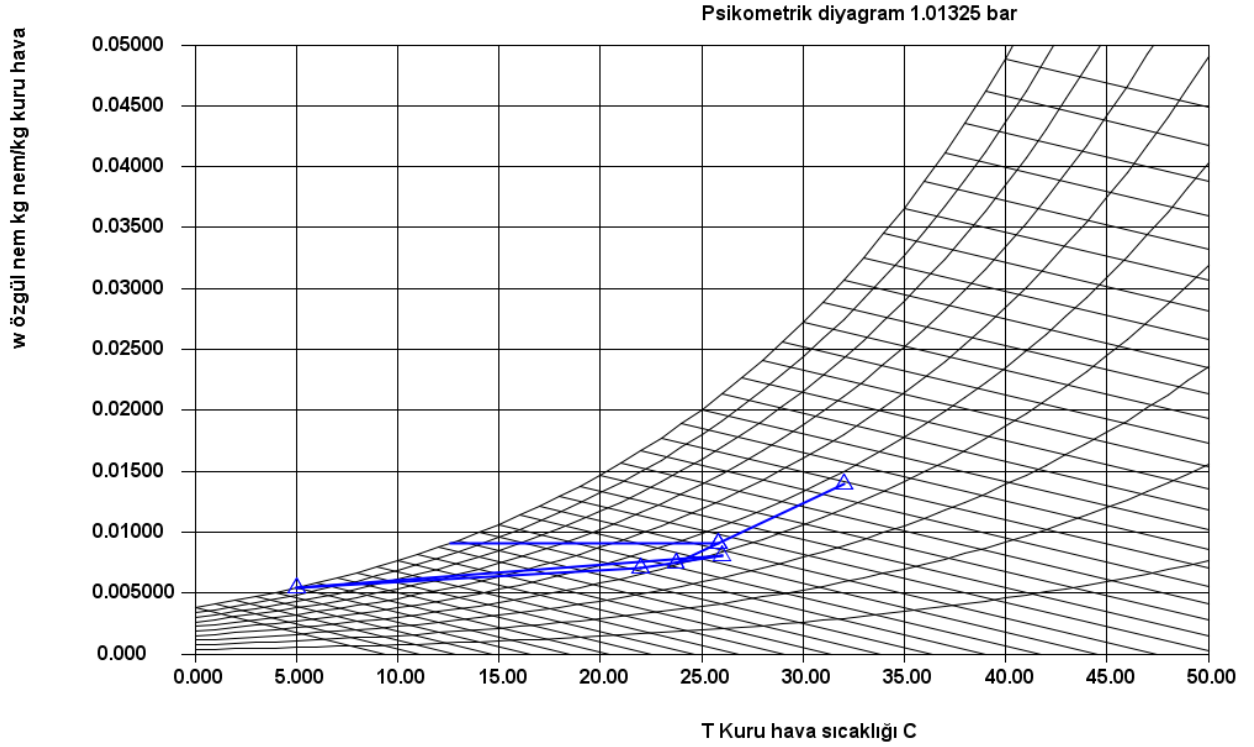
public void ps_plot()
{ pi.setMinMax(tmin,tmax,0,0.05);
pi.plot();
}

public static void main(String arg[])
{ yashavatest14 wat=new yashavatest14();
double p=1.01325; // bar
double T2R=32.0;
double T2RWB=23.0;
double T2A=22.0;
double QAS=80.0;
double QAL=20.0;
double T2B=26.0;
double QBS=75.0;
double QBL=25.0;
double T5=5.0;
double f5=1.0;
double a[][]=wat.yaz_iklimlendirmesi(p,T2R,T2RWB,T2A,QAS,QAL,
T2B,QBS,QBL,T5,f5);
}}

```

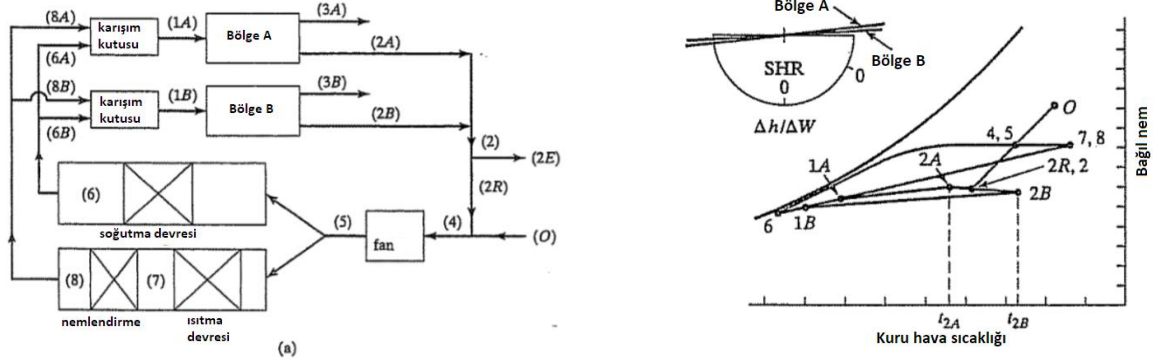
QR soğutma kW	nemlendirme debisi kg/s
251.58391701234757	0.03042574484586236

Basınç bar	Sıcaklık derec...	v kuru hava öz...	Pv_su kısmi b...	Pa_kuru hava ...	w_özgül nem ...	φ bağıtl nem	dos.doygunluk:	h entalpi KJ/kg...	s_entropi KJ/k...	dp_gğ noktası ...	ha_kuru havanı...	hv_su buhannı...	hw_gizli sı KJ/...	tw yaş hava sic...
1.01325	32.0	0.8645127582...	0.0222253615...	0.9910246384...	0.0139487140...	0.4670788747...	0.4551272397...	67.844872207...	0.2334969345...	19.182454867...	32.128826443...	2560.5260610...	35.716045763...	23.0
1.01325	22.0	0.8456074299...	0.0112940184...	1.0019559815...	0.0070108332...	0.4270947631...	0.4206369921...	39.903468219...	0.1409617461...	8.7630016179...	22.080938506...	2542.1414383...	17.822529712...	14.316500061...
1.01325	26.0	0.8585151072...	0.0129835315...	1.0002664684...	0.0080732223...	0.3860876226...	0.3781189953...	46.679912257...	0.1637379953...	10.839745842...	26.096763196...	2549.5580599...	20.583149060...	16.726351052...
1.01325	23.725381919...	0.8511883715...	0.0120236779...	1.0012263220...	0.0074692132...	0.4095397839...	0.4024489760...	42.827243326...	0.1508325455...	9.6913633002...	23.819354544...	2545.3396257...	19.011684576...	15.382115327...
1.01325	25.813441201...	0.8593813330...	0.0145937389...	0.9986562610...	0.0090890884...	0.4387907433...	0.4305895817...	49.081650546...	0.1717507297...	12.608161216...	25.915828207...	2549.1665628...	23.169600432...	17.513801699...
1.01325	5.0	0.7948607706...	0.0087206142...	1.0045293857...	0.0053995083...	1.0	1.0	18.573308836...	0.0669375779...	4.9999999999...	5.0175263882...	2510.5586601...	13.555782447...	4.9999999998...
1.01325	12.608161216...	0.8214048418...	0.0145937389...	0.9986562610...	0.0090890884...	1.0	0.9999999999...	35.599110711...	0.1256144024...	12.608161216...	12.653317860...	2524.5427975...	22.945792850...	12.608161216...



Şekil 4.10-4 çok bölgeli ve değişken hava hacimli iklimlendirme sisteminin psikometrik diyagramda görünümü

Şimdi de iki bölgeli ve iki paralel sistem (bir soğutma devresi ve bir ısıtma ve nemlendirme devresi) içeren bir iklimlendirme sistemini inceleyelim. Bu sistemin bir avantajı da hem yaz iklimlendirmesi hem de kış iklimlendirmesi için kullanılabilir olmasıdır.



Şekil 4.10-5 iki bölgeli ve karışım kutulu ve paralel iki devreli iklimlendirme sistemi görünümü

Problem için gereken denklemler:

$$\sum Q_s = m_a(h_{a1} - h_{a2})$$

$$ha_{1A} = \left(ha_{2A} - \frac{\sum Q_{sA}}{m_{1A}} \right) \quad ha_{1B} = \left(ha_{2B} - \frac{\sum Q_{sB}}{m_{1B}} \right)$$

ha_1 kuru havanın entalpisidir. Birinci bölümümüzde kuru havanın entalpisinin hesabını detaylı olarak vermiştik. Buna göre

$$ha_{1A}(T) = \int_{T_{ref}}^T C_p(T) dT \text{ şeklinde tanımlanmıştı ve bunu hesaplayacak bilgisayar programı gas.java}$$

geliştirilmişti. Nemli hava özelliklerini hesaplayan temel programımız olan yashava.java da bu programı kullanmaktadır. Bu yüzden

$f(T) = ha_{1A} - \int_{T_{ref}}^T C_p(T)dT = 0$ kök bulma prosesi bize T_{1A} değerini tanımlayacaktır. Örnek problemde kök bulmak için bisection kök bulma metodunu kullandık. Fonksiyonu ise lambda değişkeni olarak yashava programı içinde tanımladık. Buyöntem kullanılarak T_{1A} ve T_{1B} noktaları bulunur. Bu değerlerden yararlanılarak

$$m_{6A} = m_{1A} \frac{ha_{1A} - ha_{8A}}{ha_6 - ha_{8A}} \quad m_{6B} = m_{1A} \frac{ha_{1B} - ha_{8B}}{ha_6 - ha_{8B}} \quad \text{şeklinde hesaplanır. (} h_7 = h_8 = h_{8A} = h_{8B} \text{)}$$

$$m_{8A} = m_{1A} - m_{6A} \quad m_{8B} = m_{1B} - m_{6B} \quad m_2 = m_{1A} + m_{1B}$$

$ha_2 = \frac{m_{1A}}{m_2} ha_{2A} + \frac{m_{1B}}{m_2} ha_{2B}$ bu değerden yararlanılarak yukarıda belirtilen kök bulma yöntemiyle T_2 bulunur.

Taze hava oranı = tho

$$ha_2 = (1 - tho)ha_2 + tho * ha_0$$

Bu noktadan sonra noktaların termodinamik değerlerini bulmak için iteratif yaklaşım kullanılır. 4 noktasının bağıl nemi için bir değer kabul edelim (örnek problemin çözümünde $\phi_4 = 0.4$ alındı)

Daha sonra iteratif döngü içinde aşağıdaki değerler hesaplanır:

$$\frac{h_7 - h_{1A}}{h_7 - h_6} = \frac{T_7 - T_{1A}}{T_7 - T_6} \quad \frac{h_7 - h_{1B}}{h_7 - h_6} = \frac{T_7 - T_{1B}}{T_7 - T_6} \quad \frac{h_0 - h_4}{h_0 - h_2} = \frac{T_0 - T_4}{T_0 - T_2}$$

$$\frac{\sum Q_{SA}}{\sum Q_{SA} + \sum Q_{LA}} = \frac{ha_{2A} - ha_{1A}}{h_{2A} - h_{1A}} \quad \frac{\sum Q_{SB}}{\sum Q_{SB} + \sum Q_{LB}} = \frac{ha_{2B} - ha_{1B}}{h_{2B} - h_{1B}}$$

Bu denklemleri kullanarak ϕ_4 hesaplanır ve döngü devam ettirilir.

Program 4.10.3 İki bölge iki devreli 2 karıştırma kutulu yaz kliması

```
import javax.swing.*;

public class yashavatest15
{
//
Plot pi;
double P;
yashava yh;
double tmin=0;
double tmax=50.0;
String heading[]={"Basınç bar",
"Sıcaklık derece C",
"v kuru hava özgül ısı m^3/kgkh",
"Pv_su kısmi basıncı bar",
"Pa_kuru hava kısmi basıncı bar",
"w_özgül nem kg nem/kg kuru hava",
"\u03D5"+" bağıl nem",
"dos,doygunluk derecesi",
"h entalpi KJ/kgkh",
"s, entropi KJ/kgkh",
"dp ,çiğ noktası sıcaklığı derece C",
"ha,kuru havanın entalpisi KJ/kgkh",
"hv,su buharının entalpisi KJ/kgkh",
"hw*gizli sı KJ/kgkh",
"tw yaş hava sıcaklığıC"};
double TODB; // dış kuru hava sıcaklığı derece C
double TOWB; // dış kuru hava sıcaklığı derece C
double mA; // bölge A debisi kg/s
double T2A; // bölge A çıkış hava sıcaklığı derece C
double QAS; // bölge A duyulur ısı kazancı kW
double QAL; // bölge A gizli ısı kazancı kW
double mB; // bölge B debisi
double T2B; // bölge B çıkış hava sıcaklığı derece C
double QBS; // bölge B duyulur ısı kazancı kW
double QBL; // bölgeB gizli ısı kazancı kW
double T6; // soğutma devresi çıkışı sıcaklığı derece C
double f6; // soğutma devresi çıkışı bağıl nem
double T8; // ısıtma devresi çıkış sıcaklığı derece C
```

```

double T1A,T1B,h1A,h2A,ha1A,ha2A,ha1B,ha2B,ha8;
double tazehavaoranı;
public double[][] yaz_iklimlendirmesi(double Pi,double TODBi,double TOWBi,double mAi,double T2Ai,double mBi,double T2Bi,double QASi,
double QALi,double QBSi,double QBLi,double T6i,double fi6i,double T8i,double tazehavaoranı_i)
{
P=Pi;
TODB=TODBi; // dış kuru hava sıcaklığı derece C
TOWB=TOWBi; // dış kuru hava sıcaklığı derece C
mA=mAi; // bölge A debisi kg/s
T2A=T2Ai; // bölge A çıkış hava sıcaklığı derece C
QAS=QASi; // bölge A duyulur ısı kazancı kW
QAL=QALi; // bölge A gizli ısı kazancı kW
mB=mBi; // bölge B debisi
T2B=T2Bi; // bölge B duyulur hava sıcaklığı
QBS=QBSi; // bölge A duyulur ısı kazancı kW
QBL=QBLi; // bölgeB gizli ısı kazancı kW
T6=T6i; // soğutma devresi çıkışı sıcaklığı derece C
fi6=fi6i; // soğutma devresi çıkışı bağıl nem
T8=T8i;
double a4[],a2[],a7[],a1A[],a1B[],a2A[],a2B[];
tazehavaoranı=tazehavaoranı_i;
ps_plot_hazirla(tmin,tmax,P);
yh=new yashava();
//Giriş havası
double aO[]=yh.property("tdb_twb",TODB,TOWB,P);
double hO=aO[8];
double wO=aO[5];
double haO=aO[11];
double fiO=aO[6];
// 6 soğutma devresi çıkışı
double a6[]=yh.property("tdb_rh",T6,fi6,P);
double h6=a6[8];
double w6=a6[5];
double ha6=a6[11];

// 2 noktası sadece sıcaklık biliniyor
// ideal gaz denkleminde kuru hava entalpi hesaplanabilir.
ha2A=yh.ha(T2A);
ha2B=yh.ha(T2B);
// 1 noktası kuru hava entalpisi
ha1A=ha2A-QAS/mA;
T1A=yh.ta(ha1A,T6,T2A);
System.out.println("T1A="+T1A);
ha1B=ha2B-QBS/mB;
T1B=yh.ta(ha1B,T6,T2B);
System.out.println("T1B="+T1B);
//8 noktası ısıtma devresi çıkışı
ha8=yh.ha(T8);
double m6A=mA*(ha1A-ha8)/(ha6-ha8);
double m6B=mB*(ha1B-ha8)/(ha6-ha8);
double m8A=mA-m6A;
double m8B=mB-m6B;
double m2=mA+mB;
System.out.println("m6A="+m6A+"m6B="+m6B+"m8A="+m8A+"m8B="+m8B+"m2="+m2);
double ha2=mA/m2*ha2A+mB/m2*ha2B;
double T2;
if(T2A<=T2B) T2=yh.ta(ha2,T2A,T2B);
else T2=yh.ta(ha2,T2B,T2A);
System.out.println("T2="+T2);
double ha4=(1.0-tazehavaoranı)*ha2+tazehavaoranı*haO;
double T4=yh.ta(ha4,T2,TODB);
System.out.println("T4="+T4);
// iteratif yaklaşım: fi4=0.4 four iteration
double fi4=0.4;
double m4=m2;
a4=new double[8];

```

```

a2=new double[8];
a2A=new double[8];
a2B=new double[8];
a1A=new double[8];
a1B=new double[8];
a7=new double[8];
double h4=0,w4=0,h2,w2,fi2,w7,h7=0,h1A,h1B,h2A,h2B;
for(int i=0;i<4;i++)
{a4=yh.property("tdb_rh",T4,fi4,P);
h4=a4[8];
w4=a4[5];
w7=w4;
double T7=T8;
a7=yh.property("tdb_w",T7,w7,P);
h7=a7[8];
h1A=h7-(h7-h6)*(T7-T1A)/(T7-T6);
a1A=yh.property("tdb_h",T1A,h1A,P);
h1B=h7-(h7-h6)*(T7-T1B)/(T7-T6);
a1B=yh.property("tdb_h",T1B,h1B,P);
h2A=h1A+(QAS+QAL)/QAS*(ha2A-ha1A);
a2A=yh.property("tdb_h",T2A,h2A,P);
h2B=h1B+(QBS+QBL)/QBS*(ha2B-ha1B);
a2B=yh.property("tdb_h",T2B,h2B,P);
h2=mA/m2*h2A+mB/m2*h2B;
a2=yh.property("tdb_h",T2,h2,P);
fi2=a2[6];
w2=a2[5];
h4=hO-(hO-h2)*(TODB-T4)/(TODB-T2);
a4=yh.property("tdb_h",T4,h4,P);
fi4=a4[6];
}
double Q57=(m8A+m8B)*(h4-h7);
double Q56=(m6A+m6B)*(h4-h6);
double dm=(m6A+m6B)*(w4-w6);
double a[][]=new double[8][aO.length];
a[0]=a1A;
a[1]=a1B;
a[2]=a2A;
a[3]=a2B;
a[4]=a2;
a[5]=a4;
a[6]=a7;
a[7]=aO;
// Plot
// kalın mavi çizgi
addData(aO,a2,5,0,0,255);
addData(a6,a2B,5,0,0,255);
addData(a1B,a7,5,0,0,255);
addData(a2A,a2B,5,0,0,255);
addData(a1A,a2A,5,0,0,255);

//
addData(aO,a2,24,0,0,255);
addData(a6,a2B,24,0,0,255);
addData(a1B,a2B,24,0,0,255);
addData(a1A,a2A,24,0,0,255);

addData(a1B,a1A,24,0,0,255);
addData(a1A,a7,24,0,0,255);
addData(a7,a4,24,0,0,255);
ps_plot();
print(a,"iki oda yaz iklimlendirmesi VAV devreli");
String baslik2[]={"Q56 soğutma kW","Q57 ısıtma kW","nemlendirme debisi kg/s"};
double b[][]={{Q56,Q57,dm}};
print(b,baslik2,"iki oda yaz iklimlendirmesi iki devre karıştırma odalı çıktı değerleri");
return a;

```

```

}
public void print(double a[][],String s)
{
Text.print(a,heading,"iki oda yaz iklimlendirmesi ısıtma devreli");}

public void print(double a[][],String heading2[],String s)
{String heading[];Text.print(a,heading2,s);}
public void ps_plot_hazirla(double tmin,double tmax,double P1)
{
double x1[][]=new double[62][51];
double y1[][]=new double[62][51];
double A[][][]=new double[2][62][51];
A=ps_verisi(tmin,tmax,P1);
for(int i=0;i<A[0].length;i++)
for(int j=0;j<A[0][0].length;j++)
{x1[i][j]=A[0][i][j];y1[i][j]=A[1][i][j];}
pi=new Plot(x1,y1);
String ss2="Psikometrik diyagram "+P+" bar";
pi.setPLabel(ss2);
pi.setXlabel("T Kuru hava sıcaklığı C");
pi.setYlabel("w özgül nem kg nem/kg kuru hava");
pi.setMinMax(tmin,tmax,0.0,0.05);
pi.setXgrid(1);
pi.setYgrid(1);
}
public static double[][][] ps_verisi(double tmin,double tmax,double P)
{
//prepare psychrometric chart data for pressure P
yashava w=new yashava();
double aa[]=new double[14];
double bb[]=new double[14];
//f2 ff=new f2();
//double x1[][]=new double[62][51];
//double y1[][]=new double[62][51];
double A[][][]=new double[2][62][51];
//initilise as a function plot
int i,j;
i=0;
double h;
for(double rh=0.1;rh<=1.0;rh+=0.1)
{ j=0;
for(double t=tmin;t<=tmax;t+=1.0)
{
aa=w.property1("tdb_rh",t,rh,P);
h=aa[8];
if(rh>0.99)
{
h=aa[8];
A[0][11+j][0]=t;A[1][11+j][0]=aa[5];
bb=w.property1("w_h",0.0,h,P);
A[0][11+j][1]=bb[10];A[1][11+j][1]=0.0;
}
A[0][i][j]=t;
A[1][i][j]=aa[5];
j++;
}
i++;
}
return A;
}
public void addData(double a1[][],int plotype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[0][1];
y1[0]=a1[0][5];
x1[1]=a1[1][1];

```

```

y1[1]=a1[1][5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],double a2[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[2];
double y1[]=new double[2];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
x1[1]=a2[1];
y1[1]=a2[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

public void addData(double a1[],int plottype,int red,int green,int blue)
{ double x1[]=new double[1];
double y1[]=new double[1];
x1[0]=a1[1];
y1[0]=a1[5];
pi.addData(x1,y1,plottype,red,green,blue);
}

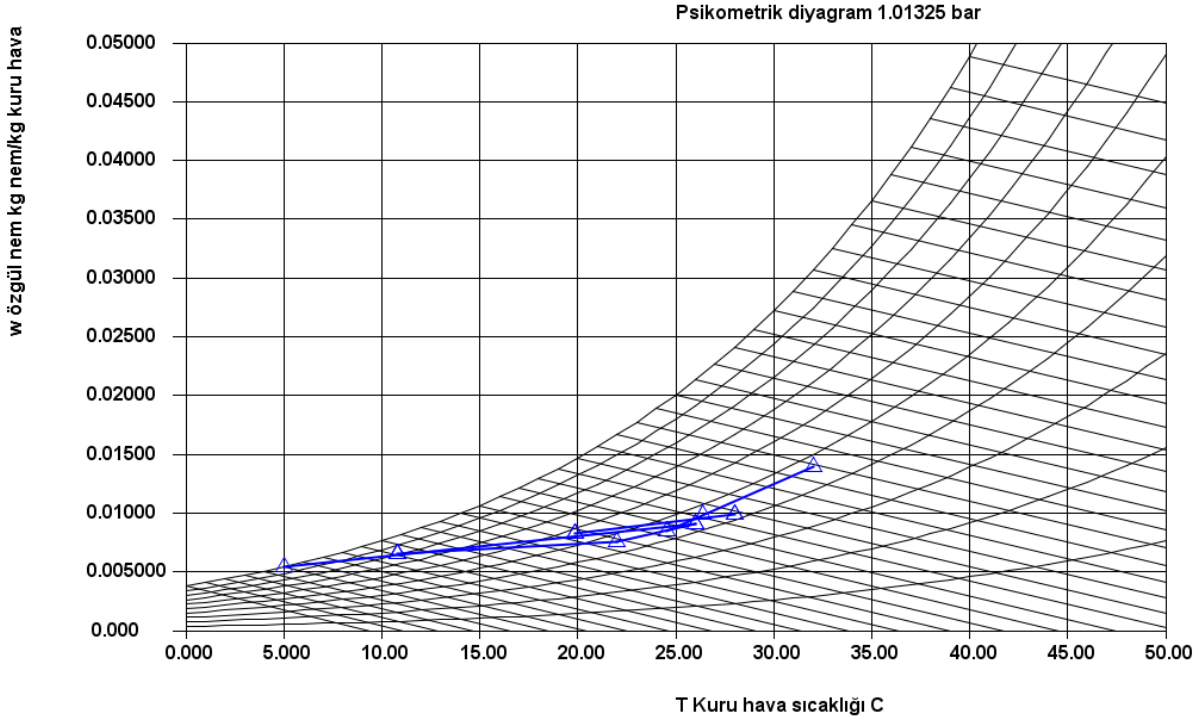
public void ps_plot()
{ pi.setMinMax(tmin,tmax,0,0.05);
pi.plot();
}

public static void main(String arg[])
{ yashavatest15 wat=new yashavatest15();
double Pi=1.01325; // bar
double TODBi=32.0; //derece C
double TOWBi=23.0; //derece C
double mAi=7.1; //kg/s
double T2Ai=22.0; // derece C
double mBi=12.2; //kg/s
double T2Bi=26.0; // derece C
double QASi=80.0; //kW
double QALi=20.0; //kW
double QBSi=75.0; //kW
double QBLi=25.0; //kW
double T6i=5.0; //derece C
double fi6i=1.0; // 0-1
double T8i=28.0; //derece C
double tazehavaoranam_i=0.25;
double a[][]=wat.yaz_iklimlendirmesi(Pi,TODBi,TOWBi,mAi,T2Ai,mBi,T2Bi,QASi,QALi,QBSi,QBLi,T6i,fi6i,T8i,tazehavaoranam_i);
}}

```

Q56 soğutma kW	Q57 ısıtma kW	nemlendirme debisi kg/s
318.9063727809779	-14.803583881560899	0.042739695469798965

Basıncı bar	Sıcaklık derec.	v.kuru hava öz.	Pv_su kısmi b.	Pa_kuru hava.	w_özgül nem.	φ bağıl nem	dos.doygunlu.	h entalpi KJ/k.	s. entropi KJ/k.	dp. gjğ noktas.	ha.kuru havan.	hv.su buhann.	hv*w.gizli sı K.	tw yaş hava sı.
1.01325	10.77500915...	0.812824664...	0.010525976...	1.002724023...	0.006529061...	0.814220035...	0.812269832...	27.27432759...	0.097438199...	7.726807006...	10.81339991...	2521.249088...	16.46139040...	9.145609811...
1.01325	19.87649536...	0.841230556...	0.013327142...	0.999922857...	0.008289728...	0.574306367...	0.568632650...	40.98724130...	0.144498238...	11.23271138...	19.94917693...	2538.124802...	21.04036603...	14.69227541...
1.01325	22.0	0.846378781...	0.012207155...	1.001042844...	0.007584581...	0.461625980...	0.455060811...	41.35883463...	0.145862389...	9.916976185...	22.08093850...	2542.116160...	19.28088668...	14.84581913...
1.01325	26.0	0.859856098...	0.014543500...	0.998706499...	0.009057343...	0.432475968...	0.424211493...	49.18396261...	0.172097506...	12.55564362...	26.09676319...	2549.516171...	23.09184422...	17.55110694...
1.01325	24.52856445...	0.854893375...	0.013686806...	0.999563193...	0.008516509...	0.444245174...	0.436635341...	46.30528859...	0.162480899...	11.63459454...	24.61946482...	2546.792933...	21.68978739...	16.58796189...
1.01325	26.39847543...	0.862128175...	0.015848722...	0.997401277...	0.009883121...	0.460322543...	0.451747059...	51.69610051...	0.180435576...	13.87106577...	26.49683471...	2550.225118...	25.20418471...	18.35430770...
1.01325	28.0	0.866676453...	0.015778456...	0.997471543...	0.009838610...	0.417202517...	0.407983563...	53.22666194...	0.185517650...	13.80272140...	28.10654715...	2553.217680...	25.12011479...	18.84337293...
1.01325	32.0	0.864512758...	0.022225361...	0.991024638...	0.013948714...	0.467078874...	0.455127239...	67.84487220...	0.233496934...	19.18245486...	32.12882644...	2560.526061...	35.71604576...	23.0



5.3 Soğutma kuleleri

Soğutma kuleleri suyu evaporative soğutma prensibini kullanarak soğuturlar. Soğutma kulesine bir taraftan sıcak su girer diğer taraftan çevre havası girer. Suyun bir kısmı buharlaşır ve buharlaşan su havanın nemini artırır, nemli hava sistemden atılır. Geriye kalan su soğutulmuş olur. Soğutma kulesi temel enerji ve kütle denklilikleri aşağıda verilmiştir.

$$m_{a3} = m_{a4} = m_a \quad (\text{kuru hava}) \quad (5.3.1)$$

$$m_1 + m_5 + m_{v3} = m_2 + m_{v4} \quad (\text{su}) \quad \text{or} \quad (5.3.2)$$

$$m_1 + m_5 + m_a w_3 = m_2 + m_a w_4 \quad (\text{su}) \quad (5.3.3)$$

Eğer besleme suyu debisinin buharlaşma prosesindeki su kaybına eşit olduğunu varsayarsak:

$$m_5 = m_a (w_4 - w_3) \quad (5.3.4)$$

Kuleye giren sıcak su debisinin kuleden çıkan su debisine eşit olduğunu varsayabiliriz.

$$m_1 = m_2 \quad (5.3.5)$$

Enerji dengesi:

$$m_a h_3 + m_5 h_5 + m_1 h_1 = m_a h_4 + m_2 h_2 \quad (5.3.6)$$

$$m_a h_3 + m_a (w_4 - w_3) h_5 + m_1 h_1 = m_a h_4 + m_1 h_2 \quad (5.3.7)$$

Gerçek bir soğutma kulesi hesabında soğutma kulesi hava çıkış şartları soğutma kulesi ısı ve kütle transferinden hesaplanır. Burada çıkış şartlarını bildiğimizi varsayacağız.

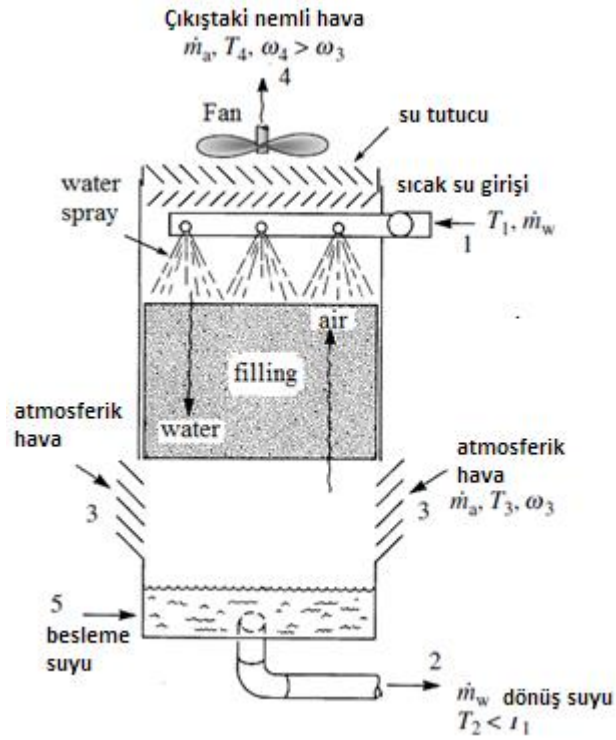


Figure 5.3.1 schematic view of a cooling tower

Bir örnek problemi inceleyelim: Kondenserdan gelen sıvı su soğutma kulesine 38 C ile byline bir debide geliyor. Soğumuş su kondensere 30 C de aynı debiyle dönüyor. Ek besleme suyu sisteme 20 C de ekleniyor. Giren atmosferik hava 24 C ve $\phi = 40\%$ bağıl nemdedir. Nemli hava kuleyi 35 C ve $\phi = 90\%$ şartlarında terk ediyor. Kuru hava ve besleme suyu debilerini bulunuz.

Program 5.3.1 Soğutma kulesi programı

```

import javax.swing.*;
public class wetairtest8
{ // adiabatic cooling process
public static void main(String arg[])
{
wetair wa=new wetair();
steam st=new steam();
//1 hot water inlet
double m1=1.0;// kg/s
double p=1.01325;// bar
double T1=38.0;// degree C
double a1[]=st.property("tp",T1,p);
double h1=a1[3];
//2 cold water outlet
double T2=30.0;// degree C
double m2=m1;
a1=st.property("tp",T2,p);
double h2=a1[3];
// atmospheric air inlet
double T3=24.0;// degree C
double rh3=0.4;
double a[]=wa.property("tdb_rh",T3,rh3,p);
double h3=a[8];
double w3=a[5];
// cooling tower air exit
double T4=35.0;// degree C

```



```

double rh4=0.9;
a=wa.property("tdb_rh",T4,rh4,p);
double h4=a[8];
double w4=a[5];
// feed water
double T5=20.0;// degree C
a1=st.property("tp",T5,p);
double h5=a1[3];
//air mass flow rate
double ma=(m1*h1-m2*h2)/(h4-h3-(w4-w3)*h5);
double m5=ma*(w4-w3);
double Qwater=m1*h1-m2*h2; //kW
double Qair=ma*(h4-h3); //kW
String s="Wet Cooling Tower\n";
s+="Warm water inlet\n";
s+="m1="+m1+" kg/s\n";
s+="T1="+T1+" degree C\n";
s+="h1="+h1+" kJ/kg\n";
s+="Cold water outlet\n";
s+="m2="+m2+" kg/s\n";
s+="T2="+T2+" degree C\n";
s+="h2="+h2+" kJ/kg\n";
s+="Feed water inlet\n";
s+="m5="+m5+" kg/s\n";
s+="T5="+T5+" degree C\n";
s+="h5="+h5+" kJ/kg\n";
s+="Atmospheric air inlet\n";
s+="ma="+ma+" kg/s\n";
s+="T3="+T3+" degree C\n";
s+="h3="+h3+" kJ/kg\n";
s+="w3="+w3+" kJ/kg\n";
s+=""+'\u00D8'+ "3="+rh3+" \n";
s+=" air outlet\n";
s+="ma="+ma+" kg/s\n";
s+="T4="+T4+" degree C\n";
s+="h4="+h4+" kJ/kg\n";
s+="w4="+w4+" kJ/kg\n";
s+=""+'\u00D8'+ "4="+rh4+" \n";
s+="Qwater = "+Qwater+" kW\n";
s+="Qair = "+Qair+" kW\n";
System.out.println(s);
}
}

```

----- Capture Output -----

"C:\java\bin\javaw.exe" wetairtest8

```

Wet Cooling Tower
Warm water inlet
m1=1.0 kg/s
T1=38.0 degree C
h1=159.2910629405701 kJ/kg
Cold water outlet
m2=1.0 kg/s
T2=30.0 degree C
h2=125.87625939254804 kJ/kg
Feed water inlet
m5=0.0114278760818863 kg/s

```

```
T5=20.0 degree C
h5=84.05043818331433 kJ/kg
Atmospheric air inlet
ma=0.45151290670932415 kg/s
T3=24.0 degree C
h3=42.969116948158174 kJ/kg
w3=0.007416100378795528 kJ/kg
Ø3=0.4
air outlet
ma=0.45151290670932415 kg/s
T4=35.0 degree C
h4=119.10275793472566 kJ/kg
w4=0.03272628733485382 kJ/kg
Ø4=0.9
Qwater33.414803548022064 kW
Qair34.37532154020922 kW
```

```
> Terminated with exit code 0.
```

5.0 SOĞUTMA VE ISI POMPASI ÇEVİRİMLERİ TERMODİNAMİK MODELLENMESİ

Bir önceki bölümümüzde yaş hava proseslerini irdeledik. Proseslerde çeşitli ısıtma ve soğutma prosesleri mevcuttur. Bu proseslerin etkin kısmında soğutma ve ısıtma için standart soğutma çevriminden yararlanılabilir. Bu bölümümüzde soğutma makinalarının termodinamik modellenmesine göz atacağız. bu makinaların temel çevrimlerini termodinamik açıdan daha detaylı olarak tanımlayarak, bilgisayar modelleriyle nasıl hesaplanacağını detaylarını vereceğiz. Termodinamik çevrimlerin hesabı herşeyden önce kullanılan soğutkanların termodinamik özelliklerinin bilinmesine bağlıdır. Denklemsel bazda termodinamik özelliklerini hesaplamak için gerekli hal denklemlerinin neler olduğu fazla detay olduğu için burada verilmemiştir. İlgilenenler www.turhancoban.com adresindeki numerical thermodynamics kitabından hal denklemleri detaylarını inceleyebilirler. Elbetteki bunların bilgisayar ortamında simülasyonlarda kullanılmaları bilgisayar programlarına çevrilmeleriyle mümkün olmaktadır. Kod listeleri ekte verilmiştir. Ayrıca yukardaki verilen internet adresinden de temin edilebilirler. Genellikle programlar bilgisayarı sadece veri elde etmek için kullananlar için insan arayüzü programları da içermektedir. Soğutucu akışkanların doyma termodinamik ve termofiziksel özelliklerini içeren ref_CS3.java programının GUI programı olan ref_CS_Table3.java grafik çıktı pencereleri:

SOĞUTUCU AKIŞKANLAR DOYMA TERMOFİZİKSEL DEĞERLERİ		
Soğutucu akışkanlar		Soğutucu akışkanlar ek bilgi
soğutucu akışkan ismi :	R732	
sıcaklık	0.0	derece C
İsim	Değer	Birimler
Soğutucu akışkan adı	R134a	
Soğutucu akışkan formülü	1,1,1,2-tetrafluoroethane CF3CH2F	
M, Soğutucu akışkan molekül ağırlığı	102.03	kg/kmol
Tb, kaynama noktası	-26.074	derece C
Td, donma noktası	-103.3	derece C
Tc, kritik sıcaklık	101.06	derece C
Pc, kritik basınç	4059.3	kPa
pc, kritik yoğunluk	511.9	kg/m^3
t doyma sıcaklığı	0.0	derece C
Psb, doymuş sıvı basıncı	292.93	kPa
Psd, doymuş buhar basıncı	292.93	kPa
p_l, doymuş sıvı yoğunluğu	1293.3	kg/m^3
p_v, doymuş buhar yoğunluğu	14.430014430014428	kg/m^3
h_l, doymuş sıvı entalpisi	200.00000000000003	KJ/kg
h_v, doymuş buhar entalpisi	398.8	KJ/kg
h_lv, kaynama entalpisi	198.79999999999998	KJ/kg
s_l, doymuş sıvı entropisi	1.0	KJ/kgK
s_v, doymuş buhar entalpisi	1.7278	KJ/kgK
s_lv, kaynama entropisi	0.7278	KJ/kgK
μ_l, doymuş sıvı viskozitesi	2.7110000000000003E-4	Pa.s
μ_v, doymuş buhar viskozitesi	1.0729999999999999E-5	Pa.s
k_l, doymuş sıvı ısı iletkenlik katsayısı	0.09200000000000001	KJ/mK
k_v, doymuş buhar ısı iletkenlik katsayısı	0.01151000000000001	KJ/mK
Cp_l, doymuş sıvı özgül ısı	1.341	KJ/kgK
Cp_v, doymuş buhar özgül ısı	0.8969999999999999	KJ/kgK

SOĞUTUCU AKIŞKANLAR DOYMA TERMOFİZİKSEL DEĞERLERİ	
Soğutucu akışkanlar	
Soğutucu akışkanlar ek bilgi	
SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN DOYMA TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	
M. Turhan ÇOBAN EGE Üniversitesi, Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği e-mail : turhan.coban@ege.edu.tr	

Programda yer alan soğutucu akışkanlar :	

Kloro-Floro Karbon Soğutucu akışkanlar	

Metan serisi	

R-12 (dichlorodifluoromethane) R-22 (chlorodifluoromethane) R-23 (trifluoromethane) R-32 (difluoromethane)	

Etan Serisi	

R-123 (2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane) R-124 (2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane) R-125 (pentafluoroethane) R-134a (1,1,1,2-tetrafluoroethane) R-143a (1,1,1-trifluoroethane) R-152a (1,1-difluoroethane)	

Propan Serisi	

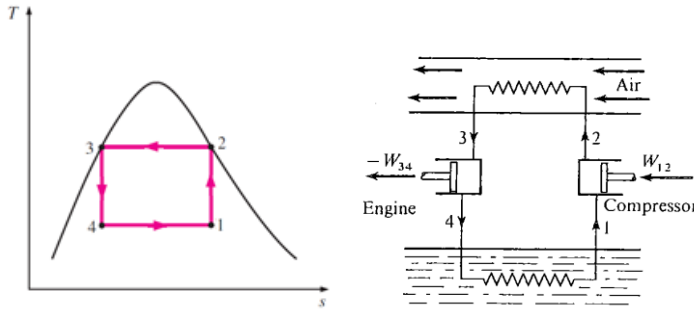
R-245fa (1,1,1,3,3-pentafluoropropane)	

Soğutucu akışkanların termodinami özelliklerini (hal denklemleri) hesaplayan refrigerant.java programı GUI çıktı programı ref_Table.java çıktı grafik ekranı:

SOĞUTKANLARIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ		
birim	SI	
Soğutkan ismi	R22	R22
bilinen değişken çiftini seçiniz:	tx	tx
Sıcaklık	0.0	derece C
Basınç	1.0	kg buhar/kg karışım
Dr. Turhan Çoban, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümü eposta : turhan.coban@ege.edu.tr Çeşitli hal denklemleri kullanılmıştır		
refrigerant name	Chlorodifluoromethane CHClF2	
P, pressure	498.0	kPa
T, temperature	0.0	degree C
v, specific volume	0.0471	m ³ /kg
h, enthalpy	405.0	KJ/kg
u, internal energy	381.5442	KJ/kg
s, entropy	1.751	KJ/kg
x, quality	1.0	kg vapor/kg total phase
density	21.231422505307854	kg/m ³
phase	saturated vapor	

Şimdi bu programları kullanarak çeşitli soğutma çevimlerini nasıl hesaplayacağımızı inceleyelim.

5.1 CARNOT ÇERİMİ



Carnot çevrimi ideal bir çevrim olup temel olarak referans çevrimi olarak kullanılır. 2 izotermal ve iki isentropik süreçten oluşur. Burada Carnot çevrimini oluşturmak için bir isentropik kompresör, bir isentropik türbin, ve iki izotermal ısı değiştiriciden yararlanılmaktadır. Bu çevrim aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanabilir.

$$W_{isentropic\ compressor} = m(h_2 - h_1) \quad s_2 = s_1 \quad (5.1.1)$$

$$Q_{condenser} = m(h_2 - h_3) = mT_2(s_2 - s_3) = mT_2(s_1 - s_4) \quad (5.1.2)$$

$$W_{isentropic\ turbine} = m(h_3 - h_4) \quad s_3 = s_4 \quad (5.1.3)$$

$$Q_{evaporator} = m(h_1 - h_4) = mT_1(s_1 - s_4) \quad (5.1.4)$$

$$W_{net\ in} = W_{isentropic\ compressor} - W_{isentropic\ turbine} = Q_{condenser} - Q_{boiler} \quad (5.1.5)$$

$$W_{net\ in} = mT_2(s_1 - s_4) - mT_1(s_1 - s_4) = m(T_2 - T_1)(s_1 - s_4) \quad (5.1.6)$$

$$\text{Buharlaştırıcı etkinlik katsayısı COP} = \frac{Q_{evaporator}}{W_{compressor} - W_{turbine}} = \frac{mT_1(s_1 - s_4)}{m(T_2 - T_1)(s_1 - s_4)} = \frac{T_1}{(T_2 - T_1)} \quad (5.1.7)$$

$$\text{Yoğuşturucu etkinlik katsayısı COP} = \frac{Q_{\text{condenser}}}{W_{\text{compressor}} - W_{\text{turbine}}} = \frac{mT_2(s_1 - s_4)}{m(T_2 - T_1)(s_1 - s_4)} = \frac{T_2}{(T_2 - T_1)} \quad (5.1.8)$$

Çevrimi detaylı olarak hesaplamak için küçük bir program örneği hazırlandı

Program 8.1.1 ideal soğutma Carnot çevrimi

```
public class carnot1T
{
// R134 ideal carnot soğutma çevrimi
// refrigerant b=new refrigerant("R134a");
// double a[]=b.property("tp",30.0,1.01325);
//---- String s değerleri ve anlamları -----
// tv=sıcaklık-ölgül hacim
// tp=sıcaklık-basınç
// th=sıcaklık-enthalpy
// tu=sıcaklık-iç enerji
// ts=sıcaklık-entropi
// tx=sıcaklık-doygunluk derecesi
// pv=basınç-ölgül hacim e
// pt=basınç-sıcaklık
// ph=basınç-enthapi
// pu=basınç-iç enerji
// ps=basınç-entropy
// px=basınç-qualiti
// vp=ölgül hacim - basınç
// vt=ölgül hacim - sıcaklık
//---- çıktı değerleri -----
// r[0] P basınç kPa
// r[1] t sıcaklık degree C
// r[2] v ölgül hacim m^3/kg
// r[3] h enthapi KJ/kg
// r[4] u iç enerji KJ/kg
// r[5] s entropi KJ/kgK
// r[6] x doyunluk derecesi kg buhar/kg toplam
// r[7] ro yoğunluk kg/m^3

double T[];
double P[];
double h[];
double s[];
double x[];
double COP_condenser,COP_ebuharator,COP_evap_carnot,COP_condenser_carnot;
double m;//kg/s
double Wt,Wp,W;//work
double Qebuharator,Qcondenser;
refrigerant b;
double c1[][];
double c3[][];
public carnot1T(double mi,double P1, double P2)
{
m=mi;
b=new refrigerant("R134a");
T=new double[9];
P=new double[9];
h=new double[9];
s=new double[9];
x=new double[9];

P[1]=P1;//compressor inlet
P[2]=P2;//compressor outlet
c1=new double[2][20];
c3=new double[2][20];
}
public void cycle()
```

```

{
// izentropik kompresör çıkışı
double a1[]=b.property("px",P[2],1.0);
h[2]=a1[3];
s[2]=a1[5];
T[2]=a1[1];
// izentropik kompresör girişi
s[1]=s[2];
a1=b.property("ps",P[1],s[1]);
T[1]=a1[1];
h[1]=a1[3];
x[1]=a1[6];

//izentropik türbin girişi
P[3]=P[2];
a1=b.property("px",P[3],0.0);
h[3]=a1[3];
s[3]=a1[5];
T[3]=a1[1];
//izentropik türbin çıkışı
P[4]=P[1];
s[4]=s[3];
a1=b.property("ps",P[4],s[4]);
h[4]=a1[3];
s[4]=a1[5];
T[4]=a1[1];
x[4]=a1[6];
// izentropik kompresör
Wp=m*(h[2]-h[1]);
Wt=m*(h[3]-h[4]);
W=Wp-Wt;
Qebuharator=m*(h[1]-h[4]);
Qcondenser=m*(h[2]-h[3]);
COP_ebuharator=Qebuharator/W;
COP_condenser_carnot=(T[2]+273.15)/(T[2]-T[1]);
COP_condenser=Qcondenser/W;
COP_evap_carnot=(T[1]+273.15)/(T[2]-T[1]);
}

public String toString()
{
cycle();
String ss="R134a Carnot soğutma çevrimi\n";
ss+=" kompresör işi = "+Wp+" kW\n";
ss+=" türbin işi = "+Wt+" kW\n";
ss+=" net iş çıktısı = "+W+" kW\n";
ss+=" yoğuşturucu ısı çıkışı = "+Qcondenser+" kW\n";
ss+=" buharlaştırıcı ısı çıkışı = "+Qebuharator+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı = "+ COP_ebuharator+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu = "+ COP_condenser+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı carnot = "+ COP_evap_carnot+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu carnot = "+ COP_condenser_carnot+" kW\n";
ss+=" h1 kompresör giriş = "+h[1] +" kJ/kg\n";
ss+=" T1 kompresör giriş = "+T[1] +" derece C\n";
ss+=" P1 kompresör giriş = "+P[1] +" kPa \n";
ss+=" s1 kompresör giriş = "+s[1] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x1 kompresör giriş = "+x[1] +" kgbuhar/kgtoplama\n";
ss+=" T2 kompresör çıkış = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P2 kompresör çıkış = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s2 kompresör çıkış = "+s[2] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x2 kompresör çıkış = "+x[2] +" kgbuhar/kgtoplama\n";
ss+=" h3 türbin giriş = "+h[3] +" kJ/kg\n";
ss+=" T3 türbin giriş = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P3 türbin giriş = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s3 türbin giriş = "+s[3] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x3 türbin giriş = "+x[3] +" kgbuhar/kgtoplama\n";
}

```

```

ss+=" h4 türbin çıkış = "+h[4] +" kJ/kg\n";
ss+=" T4 türbin çıkış = "+T[4] +" derece C\n";
ss+=" s4 türbin çıkış = "+s[4] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x4 türbin çıkış = "+x[4] +" kgbuhar/kgtoplam"+ "\n";
return ss;
}
public double[][] TS1()
{
double a[][]=Text.readDoubleT("R134a_Ps.txt");
return a;
}

public double[][] TS()
{
double a[][]=new double[2][421];
double tc=b.r.Tc;
System.out.println("tc="+tc);
double dt=(tc-10.0)/100.0;
int i=0;
double t;
for(t=-90.0;t<=tc;t+=dt)
{double a1[]=b.property("tx",t,0.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a1[5];
i++;
}
double a3[]=b.property("tx",tc,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a3[5];
i++;
for(t=tc;t>=-90;t-=dt)
{double a2[]=b.property("tx",t,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a2[5];
i++;
}
return a;
}

public void plot()
{
Plot pp=new Plot(TS());
double t1[]={T[1],T[2],T[3],T[4],T[1]};
double s1[]={s[1],s[2],s[3],s[4],s[1]};
pp.setPlabel("Ideal Carnot soğutma R134a çevrimi");
pp.setYlabel("T, derece C");
pp.setXlabel("s entropi kJ/kgK");
pp.addData(s1,t1);
pp.plot();
}}

```

Program 8.1.2 ideal soğutma Carnot çevrimi test programı

```

public class carnot1T
{
// R134 ideal carnot soğutma çevrimi
// refrigerant b=new refrigerant("R134a");
// double a[]=b.property("tp",30.0,1.01325);
//---- String s değerleri ve anlamları -----
// tv=sıcaklık-özümlü hacim
// tp=sıcaklık-basınç
// th=sıcaklık-enthalpy
// tu=sıcaklık-iç enerji
// ts=sıcaklık-entropi
// tx=sıcaklık-doygunluk derecesi
// pv=basınç-özümlü hacim e

```

```

// pt=basınç-sıcaklık
// ph=basınç-enthapi
// pu=basınç-iç enerji
// ps=basınç-entropy
// px=basınç-qualiti
// vp=özümlü hacim - basınç
// vt=özümlü hacim - sıcaklık
//---- çıktı değerleri -----
// r[0] P basınç kPa
// r[1] t sıcaklık degree C
// r[2] v özümlü hacim m^3/kg
// r[3] h enthapi KJ/kg
// r[4] u iç enerji KJ/kg
// r[5] s entropi KJ/kgK
// r[6] x doyunluk derecesi kg buhar/kg toplam
// r[7] ro yoğunluk kg/m^3

double T[];
double P[];
double h[];
double s[];
double x[];
double COP_condenser,COP_ebuharator,COP_evap_carnot,COP_condenser_carnot;
double m;//kg/s
double Wt,Wp,W;//work
double Qebuharator,Qcondenser;
refrigerant b;
double c1[][];
double c3[][];
public carnot1T(double mi,double P1, double P2)
{
m=mi;
b=new refrigerant("R134a");
T=new double[9];
P=new double[9];
h=new double[9];
s=new double[9];
x=new double[9];

P[1]=P1;//compressor inlet
P[2]=P2;//compressor outlet
c1=new double[2][20];
c3=new double[2][20];
}
public void cycle()
{
// izentropik kompresör çıkışı
double a1[]=b.property("px",P[2],1.0);
h[2]=a1[3];
s[2]=a1[5];
T[2]=a1[1];
// izentropik kompresör girişi
s[1]=s[2];
a1=b.property("ps",P[1],s[1]);
T[1]=a1[1];
h[1]=a1[3];
x[1]=a1[6];

//izentropik türbin girişi
P[3]=P[2];
a1=b.property("px",P[3],0.0);
h[3]=a1[3];
s[3]=a1[5];
T[3]=a1[1];
//izentropik türbin çıkışı
P[4]=P[1];

```



```

s[4]=s[3];
a1=b.property("ps",P[4],s[4]);
h[4]=a1[3];
s[4]=a1[5];
T[4]=a1[1];
x[4]=a1[6];

// izentropik kompresör
Wp=m*(h[2]-h[1]);
Wt=m*(h[3]-h[4]);
W=Wp-Wt;
Qebuharator=m*(h[1]-h[4]);
Qcondenser=m*(h[2]-h[3]);
COP_ebuharator=Qebuharator/W;
COP_condenser_carnot=(T[2]+273.15)/(T[2]-T[1]);
COP_condenser=Qcondenser/W;
COP_evap_carnot=(T[1]+273.15)/(T[2]-T[1]);
}

public String toString()
{
cycle();
String ss="R134a Carnot soğutma çevrimi\n";
ss+=" kompresör işi = "+Wp+" kW\n";
ss+=" türbin işi = "+Wt+" kW\n";
ss+=" net iş çıktısı= "+W+" kW\n";
ss+=" yoğuşturucu ısı çıkışı = "+Qcondenser+" kW\n";
ss+=" buharlaştırıcı ısı çıkışı = "+Qebuharator+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı = "+ COP_ebuharator+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu = "+ COP_condenser+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı carnot = "+ COP_evap_carnot+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu carnot = "+ COP_condenser_carnot+" kW\n";
ss+=" h1 kompresör giriş = "+h[1] +" kJ/kg\n";
ss+=" T1 kompresör giriş = "+T[1] +" derece C\n";
ss+=" P1 kompresör giriş = "+P[1] +" kPa \n";
ss+=" s1 kompresör giriş = "+s[1] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x1 kompresör giriş = "+x[1] +" kgbuhar/kgtoplam"+ "\n";
ss+=" T2 kompresör çıkış = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P2 kompresör çıkış = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s2 kompresör çıkış = "+s[2] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x2 kompresör çıkış = "+x[2] +" kgbuhar/kgtoplam"+ "\n";
ss+=" h3 türbin giriş = "+h[3] +" kJ/kg\n";
ss+=" T3 türbin giriş = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P3 türbin giriş = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s3 türbin giriş = "+s[3] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x3 türbin giriş = "+x[3] +" kgbuhar/kgtoplam"+ "\n";
ss+=" h4 türbin çıkış = "+h[4] +" kJ/kg\n";
ss+=" T4 türbin çıkış = "+T[4] +" derece C\n";
ss+=" s4 türbin çıkış = "+s[4] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x4 türbin çıkış = "+x[4] +" kgbuhar/kgtoplam"+ "\n";
return ss;
}

public double[][] TS1()
{
double a[][]=Text.readDoubleT("R134a_Ps.txt");
return a;
}

public double[][] TS()
{
double a[][]=new double[2][421];
double tc=b.r.Tc;
System.out.println("tc="+tc);
double dt=(tc-10.0)/100.0;
int i=0;

```

```

double t;
for(t=-90.0;t<=tc;t+=dt)
{ double a1[]=b.property("tx",t,0.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a1[5];
i++;
}
double a3[]=b.property("tx",tc,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a3[5];
i++;
for(t=tc;t>=-90;t-=dt)
{ double a2[]=b.property("tx",t,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a2[5];
i++;
}
return a;
}

public void plot()
{
Plot pp=new Plot(TS());
double t1[]={T[1],T[2],T[3],T[4],T[1]};
double s1[]={s[1],s[2],s[3],s[4],s[1]};
pp.setPlabel("Ideal Carnot soğutma R134a çevrimi");
pp.setYlabel("T, derece C");
pp.setXlabel("s entropi kJ/kgK");
pp.addData(s1,t1);
pp.plot();
}
}

```

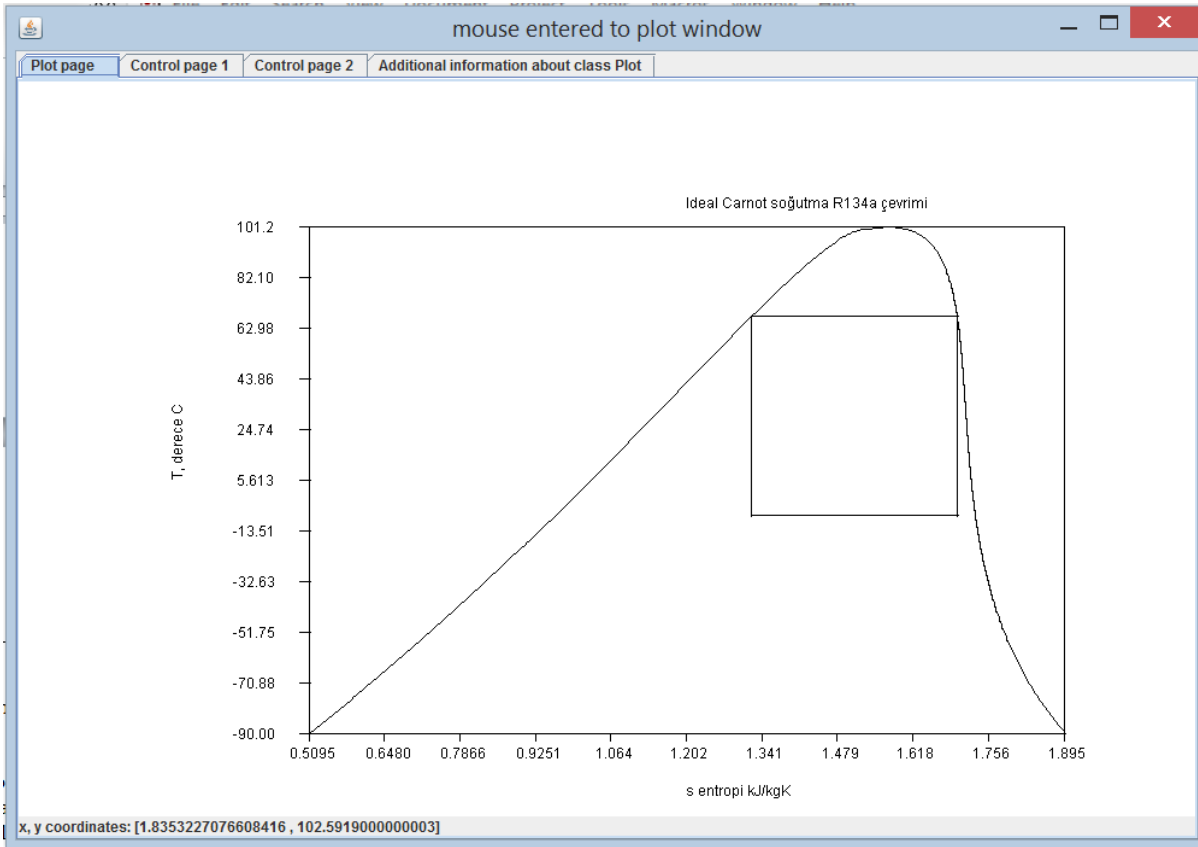
```

----- Capture Output -----
> "C:\java\bin\java.exe" carnottest
R134a Carnot soğutma çevrimi
kompresör işi = 2.9194665890306633 kW
buharlaştırıcı işi = 1.019143155011926 kW
net iş çıktısı= 1.9003234340187372 kW
yoğuşturucu ısı çıkışı = 8.611038292271756 kW
buharlaştırıcı ısı çıkışı = 6.710714858253018 kW
COP buharlaştırıcı = 3.5313540516949975 kW
COP yoğuşturucu = 4.531354051694998 kW
COP buharlaştırıcı carnot = 3.5351212616738557 kW
COP yoğuşturucu carnot = 4.535121261673855 kW
h1 kompresör giriş = 385.2301064454953 kJ/kg
T1 kompresör giriş = -7.63976989535311 derece C
P1 kompresör giriş = 220.0 kPa
s1 kompresör giriş = 1.6991352552692158 kJ/kgK
x1 kompresör giriş = 0.9566957691465375 kgbuhar/kgtoplam
T2 kompresör çıkış = 67.46662970207672 derece C
P2 kompresör çıkış = 2000.0 kPa
s2 kompresör çıkış = 1.6991352552692158 kJ/kgK
x2 kompresör çıkış = 0.0 kgbuhar/kgtoplam
h3 türbin giriş = 300.39617385297873 kJ/kg
T3 türbin giriş = 67.46662970207672 derece C
P3 türbin giriş = 2000.0 kPa
s3 türbin giriş = 1.3222852352261514 kJ/kgK
x3 türbin giriş = 0.0 kgbuhar/kgtoplam
h4 türbin çıkış = 285.2056559745564 kJ/kg
T4 türbin çıkış = -7.63976989535311 derece C
s4 türbin çıkış = 1.3222852352261514 kJ/kgK
x4 türbin çıkış = 0.46733390915649975 kgbuhar/kgtoplam

tc=101.06

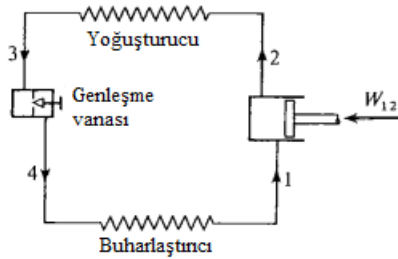
```

> Terminated with exit code 1.



8.2 STANDARD SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Carnot çevriminin ideal bir çevrim olduğundan söz etmiştik. Bu çevrim bir çok bakımdan gerçekleştirmesi oldukça zor bir çevrimdir. Türbin veya izotermal genişleme makinası oldukça pahalıdır, bu yüzden bunun yerine bir genişleme vanası kullanılabilir. BU elbette COP değerinin düşmesine sebep olacaktır, ancak prosesi de oldukça basit bir hale getirecektir.



Bu değişimlerden sonra temel hesaplama denklemlerimiz:

$$W_{izotropik\ kompresor} = m(h_2 - h_1) \quad s_2 = s_1 \quad (5.2.1)$$

$$Q_{yogusturucu} = m(h_2 - h_3) = mT_2(s_2 - s_3) = mT_2(s_1 - s_4) \quad (5.2.2)$$

$$\text{Throttle valve: } h_3 = h_4 \quad (5.2.3)$$

$$Q_{buharlastirici} = m(h_1 - h_4) = mT_1(s_1 - s_4) \quad (5.2.4)$$

$$W_{net} = W_{izotropik\ kompresor} = Q_{yogusturucu} - Q_{buharlastirici} \quad (5.2.5)$$

$$\text{Etkinlik katsayısı buharlaştırıcı } COP = \frac{Q_{buharlastirici}}{W_{kompresor}} \quad (5.2.6)$$

$$\text{Etkinlik katsayısı yoğuşturucu } COP = \frac{Q_{\text{yoğusturuu}}}{W_{\text{kompresor}}} \quad (5.2.7)$$

```

public class ref_cycleIT
{
// R134 ideal carnot soğutma çevrimi
// refrigerant b=new refrigerant("R134a");
// double a[]=b.property("tp",30.0,1.01325);
//---- String s değerleri ve anlamları -----
// tv=sıcaklık-özümlü hacim
// tp=sıcaklık-basınç
// th=sıcaklık-enthalpy
// tu=sıcaklık-iç enerji
// ts=sıcaklık-entropi
// tx=sıcaklık-doygunluk derecesi
// pv=basınç-özümlü hacim e
// pt=basınç-sıcaklık
// ph=basınç-enthalpy
// pu=basınç-iç enerji
// ps=basınç-entropi
// px=basınç-qualiti
// vp=özümlü hacim - basınç
// vt=özümlü hacim - sıcaklık
//---- çıktı değerleri -----
// r[0] P basınç kPa
// r[1] t sıcaklık derece C
// r[2] v özümlü hacim m^3/kg
// r[3] h enthalpy KJ/kg
// r[4] u iç enerji KJ/kg
// r[5] s entropi KJ/kgK
// r[6] x doyunluk derecesi kg buhar/kg toplam
// r[7] ro yoğunluk kg/m^3

double T[];
double P[];
double h[];
double s[];
double x[];
double COP_condenser,COP_ebuharator,COP_evap_carnot,COP_condenser_carnot;
double m;//kg/s
double Wp,W;//work
double Qebuharator,Qcondenser;
refrigerantEN b;
double c1[][];
double c3[][];
public ref_cycleIT(double mi,double P1, double P2)
{
m=mi;
b=new refrigerantEN("R134a");
T=new double[9];
P=new double[9];
h=new double[9];
s=new double[9];
x=new double[9];

P[1]=P1;//kompresör girişi
P[2]=P2;//kompresör çıkışı
c1=new double[2][20];
c3=new double[2][20];
}
public double[][] line(double P1,double P2,double hi,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
double ss1[]=new double[n];
double aa[];

```

```

double p;
for(int i=0;i<n;i++)
{p=P1+i*(P2-P1)/(n-1);
aa=b.property("ph",p,hi);
TT1[i]=aa[1];
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
return a;
}

public void cycle()
{
// izentropik kompresör çıkışı
double a1[]=b.property("px",P[2],1.0);
h[2]=a1[3];
s[2]=a1[5];
T[2]=a1[1];
// izentropik kompresör girişi
s[1]=s[2];
a1=b.property("ps",P[1],s[1]);
T[1]=a1[1];
h[1]=a1[3];
x[1]=a1[6];

// genişleme vanası girişi-yoğuşturucu çıkışı
P[3]=P[2];
a1=b.property("px",P[3],0.0);
h[3]=a1[3];
s[3]=a1[5];
T[3]=a1[1];
//genişleme vanası çıkışı-buharlaştırıcı girişi
P[4]=P[1];
h[4]=h[3];
a1=b.property("ph",P[4],h[4]);
s[4]=a1[5];
T[4]=a1[1];
x[4]=a1[6];

// izentropik kompresör
Wp=m*(h[2]-h[1]);
W=Wp;
Qebuharator=m*(h[1]-h[4]);
Qcondenser=m*(h[2]-h[3]);
COP_ebuharator=Qebuharator/W;
COP_condenser_carnot=(T[2]+273.15)/(T[2]-T[1]);
COP_condenser=Qcondenser/W;
COP_evap_carnot=(T[1]+273.15)/(T[2]-T[1]);
}

public String toString()
{
cycle();
String ss="R134a ideal soğutma çevrimi 1\n";
ss+=" kompresör işi = "+Wp+" kW\n";
ss+=" net iş çıktısı = "+W+" kW\n";
ss+=" yoğuşturucu ısı çıktısı = "+Qcondenser+" kW\n";
ss+=" buharlaştırıcı ısı girdisi = "+Qebuharator+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı = "+ COP_ebuharator+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu = "+ COP_condenser+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı carnot = "+ COP_evap_carnot+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu carnot = "+ COP_condenser_carnot+" kW\n";
ss+=" h1 kompresör girdisi = "+h[1] +" kJ/kg\n";
ss+=" T1 kompresör girdisi = "+T[1] +" derece C\n";
ss+=" P1 kompresör girdisi = "+P[1] +" kPa \n";
}

```

```

ss+=" s1 kompresör girdisi = "+s[1] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x1 kompresör girdisi = "+x[1] +" kgbuhar/kgtoplamlam"+"n";
ss+=" T2 kompresör çıktısı = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P2 kompresör çıktısı = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s2 kompresör çıktısı = "+s[2] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x2 kompresör çıktısı = "+x[2] +" kgbuhar/kgtoplamlam"+"n";
ss+=" h3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = "+h[3] +" kJ/kg\n";
ss+=" T3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = "+s[3] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = "+x[3] +" kgbuhar/kgtoplamlam"+"n";
ss+=" h4 genleşme vanası çıktısı-buharlaştırıcı girdisi = "+h[4] +" kJ/kg\n";
ss+=" T4 genleşme vanası çıktısı-buharlaştırıcı girdisi = "+T[4] +" derece C\n";
ss+=" s4 genleşme vanası çıktısı-buharlaştırıcı girdisi = "+s[4] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x4 genleşme vanası çıktısı-buharlaştırıcı girdisi = "+x[4] +" kgbuhar/kgtoplamlam"+"n";
return ss;
}

public double[][] TS()
{
double a[][]=new double[2][421];
double tc=b.r.Tc;
System.out.println("tc="+tc);
double dt=(tc-10.0)/100.0;
int i=0;
double t;
for(t=-90.0;t<=tc;t+=dt)
{ double a1[]=b.property("tx",t,0.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a1[5];
i++;
}
double a3[]=b.property("tx",tc,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a3[5];
i++;
for(t=tc;t>=-90;t-=dt)
{ double a2[]=b.property("tx",t,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a2[5];
i++;
}
return a;
}

public void plot()
{
Plot pp=new Plot(TS());
double a[][]=line(P[3],P[4],h[3],15);
double tt[]=a[0];
double ss[]=a[1];
System.out.println("n="+tt.length);
double t1[]=new double[19];
double s1[]=new double[19];
t1[0]=T[1];t1[1]=T[2];t1[2]=T[3];
s1[0]=s[1];s1[1]=s[2];s1[2]=s[3];
for(int i=0;i<tt.length;i++)
{ t1[i+3]=tt[i];s1[i+3]=ss[i];}
t1[18]=T[1];
s1[18]=s[1];
pp.setPlabel("Ideal soğutma çevrimi 1 soğutkan R134a ");
pp.setYlabel("T, derece C");
pp.setXlabel("s entropi kJ/kgK");
pp.addData(s1,t1);
pp.plot();
}

```

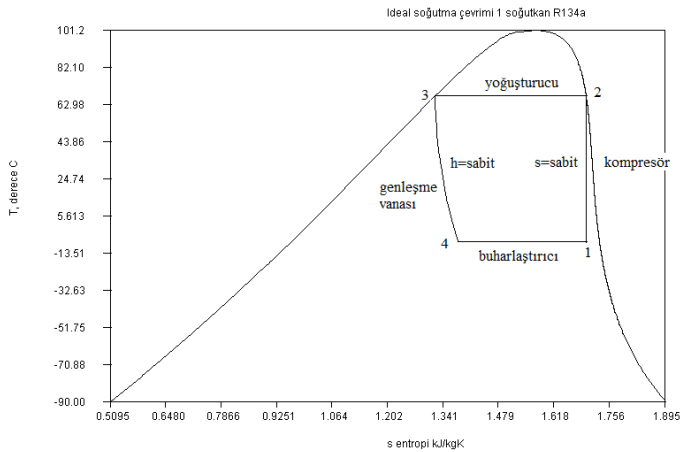
```
}
```

```
import javax.swing.*;

public class ref_cycle1Ttest
{
    public static void main(String arg[])
    {
        double m=50/745.25928; // kg/s çevrim R134a debisi
        double P2=2000.0; // bar türbin giriş basıncı
        double P1=220.0 ; // bar türbin çıkış basıncı
        ref_cycle1T r=new ref_cycle1T(m,P1,P2);
        System.out.println(r.toString());
        r.plot();
    }
}
```

----- Capture Output -----

```
> "C:\java\bin\java.exe" ref_cycle1Ttest
R134a ideal soğutma çevrimi 1
kompresör işi = 2.9194665890306633 kW
net iş çıktısı= 2.9194665890306633 kW
yoğuşturucu ısı çıktısı = 8.611038292271756 kW
buharlaştırıcı ısı girdisi = 5.691571703241092 kW
COP buharlaştırıcı = 1.9495245208923035 kW
COP yoğuşturucu = 2.9495245208923038 kW
COP buharlaştırıcı carnot = 3.5351212616738557 kW
COP yoğuşturucu carnot = 4.535121261673855 kW
h1 kompresör girdisi = 385.2301064454953 kJ/kg
T1 kompresör girdisi = -7.63976989535311 derece C
P1 kompresör girdisi = 220.0 kPa
s1 kompresör girdisi = 1.6991352552692158 kJ/kgK
x1 kompresör girdisi = 0.9566957691465375 kgbuhar/kgtoplam
T2 kompresör çıktısı = 67.46662970207672 derece C
P2 kompresör çıktısı = 2000.0 kPa
s2 kompresör çıktısı = 1.6991352552692158 kJ/kgK
x2 kompresör çıktısı = 0.0 kgbuhar/kgtoplam
h3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = 300.39617385297873 kJ/kg
T3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = 67.46662970207672 derece C
P3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = 2000.0 kPa
s3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = 1.3222852352261514 kJ/kgK
x3 yoğuşturucu çıktısı-genleşme vanası girdisi = 0.0 kgbuhar/kgtoplam
h4 genleşme vanası çıktısı-buharlaştırıcı girdisi = 300.39617385297873 kJ/kg
T4 genleşme vanası çıktısı-buharlaştırıcı girdisi = -7.63976989535311 derece C
s4 genleşme vanası çıktısı-buharlaştırıcı girdisi = 1.3788234773837613 kJ/kgK
x4 genleşme vanası çıktısı-buharlaştırıcı girdisi = 0.540763706713116 kgbuhar/kgtoplam
```



Bir önceki çevrimdeki kompresör giriş noktaları da çok uygun değildir. Kompresörün ömrü ve çevrimin daha rahat gerçekleştirilebilmesi açısından kompresör girişi doymuş buhar veya kızgın buhar olmalıdır. İkinci örneğimizde doymuş buharlı bir kompresör girdi noktası olan çevrimimizi irdeliyoruz.

```
public class ref_cycle2T
{
/// R134 ideal carnot soğutma çevrimi
/// refrigerant b=new refrigerant("R134a");
/// double a[]=b.property("tp",30.0,1.01325);
///---- String s değerleri ve anlamları -----
/// tv=sıcaklık-özümlü hacim
/// tp=sıcaklık-basınç
/// th=sıcaklık-enthalpy
/// tu=sıcaklık-iç enerji
/// ts=sıcaklık-entropi
/// tx=sıcaklık-doygunluk derecesi
/// pv=basınç-özümlü hacim e
/// pt=basınç-sıcaklık
/// ph=basınç-enthapi
/// pu=basınç-iç enerji
/// ps=basınç-entropi
/// px=basınç-qualiti
/// vp=özümlü hacim - basınç
/// vt=özümlü hacim - sıcaklık
///---- çıktı değerleri -----
/// r[0] P basınç kPa
/// r[1] t sıcaklık derece C
/// r[2] v özümlü hacim m^3/kg
/// r[3] h enthapi KJ/kg
/// r[4] u iç enerji KJ/kg
/// r[5] s entropi KJ/kgK
/// r[6] x doymunluk derecesi kg buhar/kg toplam
/// r[7] ro yoğunluk kg/m^3

double T[];
double P[];
double h[];
double s[];
double x[];
double COP_condenser,COP_ebuharator,COP_evap_carnot,COP_condenser_carnot;
double m;//kg/s
double Wp,W;//iş
double Qebuharator,Qcondenser;
refrigerantEN b;
double c1[][];
double c3[][];
public ref_cycle2T(double mi,double P1, double P2)
{
m=mi;
b=new refrigerantEN("R134a");
T=new double[9];
P=new double[9];
h=new double[9];
s=new double[9];
x=new double[9];

P[1]=P1;//kompresör giriş
P[2]=P2;//kompresör çıkış
c1=new double[2][20];
c3=new double[2][20];
}
public double[][] line(double P1,double P2,double hi,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
```



```

double ss1[]=new double[n];
double aa[];
double p;
for(int i=0;i<n;i++)
{p=P1+i*(P2-P1)/(n-1);
aa=b.property("ph",p,hi);
TT1[i]=aa[1];
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
return a;
}
public double[][] line1(double T1,double T2,double Pi,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
double ss1[]=new double[n];
double aa[];
for(int i=0;i<n;i++)
{TT1[i]=T1+i*(T2-T1)/(n-1);
aa=b.property("tp",TT1[i],Pi);
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
return a;
}

public void cycle()
{
// izentropik kompresör girişi
double a1[]=b.property("px",P[1],1.0);
T[1]=a1[1];
h[1]=a1[3];
s[1]=a1[5];
x[1]=a1[6];
// izentropik kompresör çıkışı-yoğuşturucu girişi
s[2]=s[1];
a1=b.property("ps",P[2],s[2]);
h[2]=a1[3];
T[2]=a1[1];
//yoğuşma noktası
P[5]=P[2];
a1=b.property("px",P[5],1.0);
h[5]=a1[3];
T[5]=a1[1];
s[5]=a1[5];
//genleşme vanası girişi - kondenser çıkışı
P[3]=P[2];
a1=b.property("px",P[3],0.0);
h[3]=a1[3];
s[3]=a1[5];
T[3]=a1[1];
//genleşme vanası çıkışı- buharlaştırıcı girişi
P[4]=P[1];
h[4]=h[3];
a1=b.property("ph",P[4],h[4]);
s[4]=a1[5];
T[4]=a1[1];
x[4]=a1[6];
// izentropik kompresör
Wp=m*(h[2]-h[1]);
W=Wp;
Qebuharator=m*(h[1]-h[4]);
Qcondenser=m*(h[2]-h[3]);
COP_ebuharator=Qebuharator/W;
COP_condenser_carnot=(T[2]+273.15)/(T[2]-T[1]);

```

```

COP_condenser=Qcondenser/W;
COP_evap_carnot=(T[1]+273.15)/(T[2]-T[1]);
}

public String toString()
{
cycle();
String ss="R134a ideal standart soğutma çevrimi 2\n";
ss+=" kompresör işi = "+Wp+" kW\n";
ss+=" nest iş çıkışı= "+W+" kW\n";
ss+=" yoğuşturucu ısı çıkışı = "+Qcondenser+" kW\n";
ss+=" buharlaştırıcı ısı girdisi = "+Qebuharator+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı = "+ COP_ebuharator+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu = "+ COP_condenser+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı carnot = "+ COP_evap_carnot+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu carnot = "+ COP_condenser_carnot+" kW\n";
ss+=" h1 kompresör input = "+h[1] +" kJ/kg\n";
ss+=" T1 kompresör input = "+T[1] +" derece C\n";
ss+=" P1 kompresör input = "+P[1] +" kPa \n";
ss+=" s1 kompresör input = "+s[1] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x1 kompresör input = "+x[1] +" kgbuhar/kgtoplam"+"n";
ss+=" T2 kompresör output = "+T[2] +" derece C\n";
ss+=" P2 kompresör output = "+P[2] +" kPa \n";
ss+=" s2 kompresör output = "+s[2] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x2 kompresör output = "+x[2] +" kgbuhar/kgtoplam"+"n";
ss+=" T5 yoğuşturucu doymuş sıvı = "+T[5] +" derece C\n";
ss+=" P5 yoğuşturucu doymuş sıvı = "+P[5] +" kPa \n";
ss+=" s5 yoğuşturucu doymuş sıvı = "+s[5] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x5 yoğuşturucu doymuş sıvı = "+x[5] +" kgbuhar/kgtoplam"+"n";

ss+=" h3 türbin girişi = "+h[3] +" kJ/kg\n";
ss+=" T3 türbin girişi = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P3 türbin girişi = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s3 türbin girişi = "+s[3] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x3 türbin girişi = "+x[3] +" kgbuhar/kgtoplam"+"n";
ss+=" h4 türbin çıkışı = "+h[4] +" kJ/kg\n";
ss+=" T4 türbin çıkışı = "+T[4] +" derece C\n";
ss+=" s4 türbin çıkışı = "+s[4] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x4 türbin çıkışı = "+x[4] +" kgbuhar/kgtoplam"+"n";
return ss;
}

public double[][] TS()
{
double a[][]=new double[2][421];
double tc=b.r.Tc;
System.out.println("tc="+tc);
double dt=(tc-10.0)/100.0;
int i=0;
double t;
for(t=-90.0;t<=tc;t+=dt)
{ double a1[]=b.property("tx",t,0.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a1[5];
i++;
}
double a3[]=b.property("tx",tc,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a3[5];
i++;
for(t=tc;t>=-90;t-=dt)
{ double a2[]=b.property("tx",t,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a2[5];
i++;
}
}

```

```

return a;
}

public void plot()
{
    Plot pp=new Plot(TS());
    double a[][]=line(P[3],P[4],h[3],15);
    double tt[]=a[0];
    double ss[]=a[1];
    System.out.println("n="+tt.length);
    double t1[]=new double[20];
    double s1[]=new double[20];
    t1[0]=T[1];t1[1]=T[2];t1[2]=T[5];t1[3]=T[3];
    s1[0]=s[1];s1[1]=s[2];s1[2]=s[5];s1[3]=s[3];
    for(int i=0;i<tt.length;i++)
    {t1[i+4]=tt[i];s1[i+4]=ss[i];}
    t1[19]=T[1];
    s1[19]=s[1];
    pp.setPlabel("Ideal soğutma çevrimi 1 soğutkan R134a ");
    pp.setYlabel("T, derece C");
    pp.setXlabel("s entropi kJ/kgK");
    pp.addData(s1,t1);
    pp.plot();
}
}

```

```

import javax.swing.*;

public class ref_cycle2testT
{
    public static void main(String arg[])
    {
        double m=50/745.25928; // kg/s çevrim R134a debisi
        double P2=1250.0; // bar türbin giriş basıncı
        double P1=200.0; // bar türbin çıkış basıncı
        ref_cycle2T r=new ref_cycle2T(m,P1,P2);
        System.out.println(r.toString());
        r.plot();
    }
}

```

```

----- Capture Output -----
> "C:\java\bin\java.exe" ref_cycle2testT
R134a ideal standart soğutma çevrimi 2
kompresör işi = 2.5667447396341565 kW
nest iş çıkışı= 2.5667447396341565 kW
yoğuşturucu ısı çıktısı = 10.902434167277017 kW
buharlaştırıcı ısı girdisi = 8.33568942764286 kW
COP buharlaştırıcı = 3.2475724207896746 kW
COP yoğuşturucu = 4.247572420789674 kW
COP buharlaştırıcı carnot = 4.040569717710718 kW
COP yoğuşturucu carnot = 5.040569717710718 kW
h1 kompresör input = 392.85464093227904 kJ/kg
T1 kompresör input = -10.07576059284282 derece C
P1 kompresör input = 200.0 kPa
s1 kompresör input = 1.7341511989113898 kJ/kgK
x1 kompresör input = 1.0 kgbuhar/kgtoplamlam
T2 kompresör output = 55.032443889818154 derece C
P2 kompresör output = 1250.0 kPa
s2 kompresör output = 1.7341511989113898 kJ/kgK
x2 kompresör output = 0.0 kgbuhar/kgtoplamlam
T5 yoğuşturucu doymuş sıvı = 47.87587075762405 derece C
P5 yoğuşturucu doymuş sıvı = 1250.0 kPa
s5 yoğuşturucu doymuş sıvı = 1.7093434574756143 kJ/kgK
x5 yoğuşturucu doymuş sıvı = 0.0 kgbuhar/kgtoplamlam
h3 türbin girişi = 268.60964290930445 kJ/kg

```



```

// r[4] u iç enerji KJ/kg
// r[5] s entropi KJ/kgK
// r[6] x doyunluk derecesi kg buhar/kg toplam
// r[7] ro yoğunluk kg/m^3

double T[];
double P[];
double h[];
double s[];
double x[];
double COP_condenser,COP_ebuharator,COP_evap_carnot,COP_condenser_carnot;
double m;//kg/s
double Wp,W;//iş
double Qebuharator,Qcondenser;
refrigerantEN b;
double c1[][];
double c3[][];
public ref_cycle2T(double mi,double P1, double P2)
{
m=mi;
b=new refrigerantEN("R134a");
T=new double[9];
P=new double[9];
h=new double[9];
s=new double[9];
x=new double[9];

P[1]=P1;//kompresör giriş
P[2]=P2;//kompresör çıkış
c1=new double[2][20];
c3=new double[2][20];
}
public double[][] line(double P1,double P2,double hi,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
double ss1[]=new double[n];
double aa[];
double p;
for(int i=0;i<n;i++)
{p=P1+i*(P2-P1)/(n-1);
aa=b.property("ph",p,hi);
TT1[i]=aa[1];
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
return a;
}
public double[][] line1(double T1,double T2,double Pi,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
double ss1[]=new double[n];
double aa[];
for(int i=0;i<n;i++)
{TT1[i]=T1+i*(T2-T1)/(n-1);
aa=b.property("tp",TT1[i],Pi);
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
return a;
}

public void cycle()
{
// izentropik kompresör girişi
double a1[]=b.property("px",P[1],1.0);

```

```

T[1]=a1[1];
h[1]=a1[3];
s[1]=a1[5];
x[1]=a1[6];
// // izentropik kompresör çıkışı-yoğuşturucu girişi
s[2]=s[1];
a1=b.property("ps",P[2],s[2]);
h[2]=a1[3];
T[2]=a1[1];
//yoğuşma noktası
P[5]=P[2];
a1=b.property("px",P[5],1.0);
h[5]=a1[3];
T[5]=a1[1];
s[5]=a1[5];
//genleşme vanası girişi - kondenser çıkışı
P[3]=P[2];
a1=b.property("px",P[3],0.0);
h[3]=a1[3];
s[3]=a1[5];
T[3]=a1[1];
//genleşme vanası çıkışı- buharlaştırıcı girişi
P[4]=P[1];
h[4]=h[3];
a1=b.property("ph",P[4],h[4]);
s[4]=a1[5];
T[4]=a1[1];
x[4]=a1[6];
// izentropik kompresör
Wp=m*(h[2]-h[1]);
W=Wp;
Qebuharator=m*(h[1]-h[4]);
Qcondenser=m*(h[2]-h[3]);
COP_ebuharator=Qebuharator/W;
COP_condenser_carnot=(T[2]+273.15)/(T[2]-T[1]);
COP_condenser=Qcondenser/W;
COP_evap_carnot=(T[1]+273.15)/(T[2]-T[1]);
}

public String toString()
{
cycle();
String ss="R134a standart soğutma çevrimi 2\n";
ss+=" kompresör işi = "+Wp+" kW\n";
ss+=" nest iş çıkışı= "+W+" kW\n";
ss+=" yoğuşturucu ısı çıkışı = "+Qcondenser+" kW\n";
ss+=" buharlaştırıcı ısı girdisi = "+Qebuharator+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı = "+ COP_ebuharator+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu = "+ COP_condenser+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı carnot = "+ COP_evap_carnot+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu carnot = "+ COP_condenser_carnot+" kW\n";
ss+=" h1 kompresör input = "+h[1] +" kJ/kg\n";
ss+=" T1 kompresör input = "+T[1] +" derece C\n";
ss+=" P1 kompresör input = "+P[1] +" kPa \n";
ss+=" s1 kompresör input = "+s[1] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x1 kompresör input = "+x[1] +" kgbuhar/kgtoplam"+"n";
ss+=" T2 kompresör output = "+T[2] +" derece C\n";
ss+=" P2 kompresör output = "+P[2] +" kPa \n";
ss+=" s2 kompresör output = "+s[2] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x2 kompresör output = "+x[2] +" kgbuhar/kgtoplam"+"n";
ss+=" T5 yoğuşturucu doymuş sıvı = "+T[5] +" derece C\n";
ss+=" P5 yoğuşturucu doymuş sıvı = "+P[5] +" kPa \n";
ss+=" s5 yoğuşturucu doymuş sıvı = "+s[5] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x5 yoğuşturucu doymuş sıvı = "+x[5] +" kgbuhar/kgtoplam"+"n";

ss+=" h3 türbin girişi = "+h[3] +" kJ/kg\n";

```

```

ss+=" T3 türbin girişi = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P3 türbin girişi = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s3 türbin girişi = "+s[3] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x3 türbin girişi = "+x[3] +" kgbuhar/kgtoplamlam"+"n";
ss+=" h4 türbin çıkışı = "+h[4] +" kJ/kg\n";
ss+=" T4 türbin çıkışı = "+T[4] +" derece C\n";
ss+=" s4 türbin çıkışı = "+s[4] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x4 türbin çıkışı = "+x[4] +" kgbuhar/kgtoplamlam"+"n";
return ss;
}

public double[][] TS()
{
double a[][]=new double[2][421];
double tc=b.r.Tc;
System.out.println("tc="+tc);
double dt=(tc-10.0)/100.0;
int i=0;
double t;
for(t=-90.0;t<=tc;t+=dt)
{ double a1[]=b.property("tx",t,0.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a1[5];
i++;
}
double a3[]=b.property("tx",tc,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a3[5];
i++;
for(t=tc;t>=-90;t-=dt)
{ double a2[]=b.property("tx",t,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a2[5];
i++;
}
return a;
}

public void plot()
{
Plot pp=new Plot(TS());
double a[][]=line(P[3],P[4],h[3],15);
double tt[]=a[0];
double ss[]=a[1];
System.out.println("n="+tt.length);
double t1[]=new double[20];
double s1[]=new double[20];
t1[0]=T[1];t1[1]=T[2];t1[2]=T[5];t1[3]=T[3];
s1[0]=s[1];s1[1]=s[2];s1[2]=s[5];s1[3]=s[3];
for(int i=0;i<tt.length;i++)
{t1[i+4]=tt[i];s1[i+4]=ss[i];}
t1[19]=T[1];
s1[19]=s[1];
pp.setPLabel(" soğutma çevrimi 3 soğutkan R134a ");
pp.setYLabel("T, derece C");
pp.setXLabel("s entropi kJ/kgK");
pp.addData(s1,t1);
pp.plot();
}
}
double T[];
double P[];
double h[];
double s[];
double x[];
boolean supercritical=false;

```

```

String refname; //refrigerant name
double Tc,Pc;
double COP_yoğusturucu,COP_buharlaştırıcı,COP_evap_carnot,COP_yoğusturucu_carnot;
double m;//kg/s soğutucu akışkanın debisi
double Wp;//kompresör işi
double Wpi;//izentropik kompresör işi
double dPevap1;// buharlaştırıcı doyma bölgesi basınç düşümü
double dPevap2;// buharlaştırıcı kızgın buhar bölgesi basınç düşümü
double dPcond1;// yoğusturucu kızgın buhar bölgesi basınç düşümü
double dPcond2;// yoğusturucu doyma bölgesi basınç düşümü
double dPcond3;// yoğusturucu sıvı bölgesi basınç düşümü
double dh; // genleşme vanası entalpi değişimi (ısı kaybı)
double dT1,dT6;
double eta_isent; // kompresör izentropik verimi
double Qbuharlaştırıcı,Qyoğusturucu; //yoğusturucu ve buharlaştırıcı ısı transferi
refrigerantEN b; //
double c1[][];
double c3[][];
public ref_cycle3T(String refnamei,double mi,double dT1i,double P1,double eta_isent1i, double P2,double dT6i,double dPevap1i,double
dPevap2i,double dPcond1i,double dPcond2i,double dPcond3i,double dhi)
{
m=mi;
refname=refnamei;
dPevap1=dPevap1i;
dPevap2=dPevap2i;
dPcond1=dPcond1i;
dPcond2=dPcond2i;
dPcond3=dPcond3i;
dh=dhi;
dT1=dT1i;
dT6=dT6i;
eta_isent=eta_isent1i;
b=new refrigerantEN(refname);
T=new double[9];
P=new double[9];
h=new double[9];
s=new double[9];
x=new double[9];
Tc=b.r.Tc;//kritik sıcaklık derece C C
Pc=b.r.Pc;//kritik basınç derece C
P[1]=P1;//kompresör girişi
P[2]=P2;//kompresör çıkışı
P[0]=P1-dPevap1; //buharlaştırıcı doyma noktası(x=1) basıncı
P[4]=P[0]-dPevap2;//buharlaştırıcı giriş basıncı
P[5]=P2-dPcond1;//yoğusturucu doymuş buhar noktası (x=1)
P[6]=P[5]-dPcond2;//yoğusturucu doymuş sıvı noktası (x=0)
P[3]=P[6]-dPcond3;//yoğusturucu çıkışı (sıvı)

c1=new double[2][20];
c3=new double[2][20];
}

public void cycle()
{
// buharlaştırıcı doymuş buhar 0
double a1[]=b.property("px",P[0],1.0);
T[0]=a1[1];
h[0]=a1[3];
s[0]=a1[5];
x[0]=a1[6];
System.out.println("nokta = "+0+" T="+T[0]+"P="+P[0]+"h="+h[0]+"s="+s[0]+"x="+x[0]);
// kompresör girişi buharlaştırıcı çıkışı 1
T[1]=T[0]+dT1;
a1=b.property("tp",T[1],P[1]);
h[1]=a1[3];
s[1]=a1[5];
}

```



```

x[1]=a1[6];
System.out.println("nokta = "+1+" T="+T[1]+"P="+P[1]+"h="+h[1]+"s="+s[1]+"x="+x[1]);
// izentropik kompresör çıkışı 7
s[7]=s[1];
P[7]=P[2];
a1=b.property("ps",P[7],s[7]);
h[7]=a1[3];
T[7]=a1[1];
System.out.println("nokta = "+7+" T="+T[7]+"P="+P[7]+"h="+h[7]+"s="+s[7]+"x="+x[7]);

//kompresör exit nokta 2
h[2]=h[1]+(h[7]-h[1])/eta_isent;
a1=b.property("ph",P[2],h[2]);
T[2]=a1[1];
h[2]=a1[3];
s[2]=a1[5];
x[2]=a1[6];
// check if cycle is supercritical
if(P[3]>Pc)
{System.out.println("yoğuşturucu süperkritik");
supercritical=true;
}
else supercritical=false;
//genleşme vanası girişi
if(!supercritical)
{
//doymuş nokta
a1=b.property("px",P[5],1.0);
h[5]=a1[3];
T[5]=a1[1];
s[5]=a1[5];
a1=b.property("px",P[6],0.0);
h[6]=a1[3];
T[6]=a1[1];
s[6]=a1[5];
T[3]=T[6]-dT6;
a1=b.property("tp",T[3],P[3]);
}
else
{
T[3]=Tc-dT6;
a1=b.property("tp",T[3],P[3]);
}
h[3]=a1[3];
T[3]=a1[1];
s[3]=a1[5];
// nokta 4 buharlaştırıcı girişi, genleşme vanası çıkışı
h[4]=h[3]+dh;
a1=b.property("ph",P[4],h[4]);
T[4]=a1[1];
s[4]=a1[5];
// izentropik kompresör
Wpi=m*(h[7]-h[1]);
//kompresör
Wp=m*(h[2]-h[1]);
Qbuharlaştırıcı=m*(h[1]-h[4]);
Qyoğuşturucu=m*(h[2]-h[3]);
COP_buharlaştırıcı=Qbuharlaştırıcı/Wp;
COP_yoğuşturucu_carnot=(T[2]+273.15)/(T[2]-T[1]);
COP_yoğuşturucu=Qyoğuşturucu/Wp;
COP_evap_carnot=(T[1]+273.15)/(T[2]-T[1]);
}

public String toString()
{
cycle();
}

```

```

String ss="R134a soğutkan çevrimi 3\n";
ss+=" kompresör işi = "+Wp+" kW\n";
ss+=" isentropic kompresör işi = "+Wpi+" kW\n";
ss+=" yoğuşturucu heat çıkışı = "+Qyoğuşturucu+" kW\n";
ss+=" buharlaştırıcı heat girişi = "+Qbuharlaştırıcı+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı = "+ COP_buharlaştırıcı+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu = "+ COP_yoğuşturucu+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı carnot = "+ COP_evap_carnot+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu carnot = "+ COP_yoğuşturucu_carnot+" kW\n";
ss+=" h1 kompresör girişi = "+h[1] +" kJ/kg\n";
ss+=" T1 kompresör girişi = "+T[1] +" derece C\n";
ss+=" P1 kompresör girişi = "+P[1] +" kPa \n";
ss+=" s1 kompresör girişi = "+s[1] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x1 kompresör girişi = "+x[1] +" kgvapor/kgtotal"+"n";
ss+=" h2 kompresör girişi = "+h[2] +" kJ/kg\n";
ss+=" T2 kompresör çıkışı = "+T[2] +" derece C\n";
ss+=" P2 kompresör çıkışı = "+P[2] +" kPa \n";
ss+=" s2 kompresör çıkışı = "+s[2] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x2 kompresör çıkışı = "+x[2] +" kgvapor/kgtotal"+"n";
if(!supercritical)
{
ss+=" h5 kompresör girişi = "+h[5] +" kJ/kg\n";
ss+=" T5 yoğuşturucu doymuş = "+T[5] +" derece C\n";
ss+=" P5 yoğuşturucu doymuş = "+P[5] +" kPa \n";
ss+=" s5 yoğuşturucu doymuş = "+s[5] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x5 yoğuşturucu doymuş = "+x[5] +" kgvapor/kgtotal"+"n";
ss+=" h6 kompresör girişi = "+h[6] +" kJ/kg\n";
ss+=" T6 yoğuşturucu doymuş = "+T[6] +" derece C\n";
ss+=" P6 yoğuşturucu doymuş = "+P[6] +" kPa \n";
ss+=" s6 yoğuşturucu doymuş = "+s[6] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x6 yoğuşturucu doymuş = "+x[6] +" kgvapor/kgtotal"+"n";
}
ss+=" h3 turbine girişi = "+h[3] +" kJ/kg\n";
ss+=" T3 turbine girişi = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P3 turbine girişi = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s3 turbine girişi = "+s[3] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x3 turbine girişi = "+x[3] +" kgvapor/kgtotal"+"n";
ss+=" h4 turbine çıkışı = "+h[4] +" kJ/kg\n";
ss+=" T4 turbine çıkışı = "+T[4] +" derece C\n";
ss+=" s4 turbine çıkışı = "+s[4] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x4 turbine çıkışı = "+x[4] +" kgvapor/kgtotal"+"n";
return ss;
}

public double[][] TS(double ti)
{
double a[][]=new double[2][10000];
double tc=b.r.Tc;
double dt=(tc-1.0)/100.0;
int i=0;
double t;
for(t=ti;t<=tc;t+=dt)
{ double a1[]=b.property("tx",t,0.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a1[5];
i++;
}
double a3[]=b.property("tx",tc,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a3[5];
i++;
for(t=tc;t>=ti;t-=dt)
{ double a2[]=b.property("tx",t,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a2[5];
i++;
}
}

```

```

}
int n=i;
double b[][]=new double[2][n];
for(i=0;i<n;i++) {b[0][i]=a[0][i];b[1][i]=a[1][i];}
return b;
}
public double[][] line(double P1,double P2,double hi,double ho,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
double ss1[]=new double[n];
double aa[];
double p,h;
for(int i=0;i<n;i++)
{p=P1+i*(P2-P1)/(n-1);
h=hi+i*(ho-hi)/(n-1);
aa=b.property("ph",p,h);
TT1[i]=aa[1];
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
return a;
}
public double[][] line1(double T1,double T2,double Pi,double Po,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
double ss1[]=new double[n];
double aa[];
double P;
for(int i=0;i<n;i++)
{TT1[i]=T1+i*(T2-T1)/(n-1);
P=Pi+i*(Po-Pi)/(n-1);
aa=b.property("tp",TT1[i],P);
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
return a;
}

public void plot(double ti)
{
Plot pp=new Plot(TS(ti));
double a[][]=line(P[3],P[4],h[3],h[4],15);
double tt[]=a[0];
double ss[]=a[1];
pp.addData(ss,tt);
double b[][]=new double[2][15];
double c[][];
if(!supercritical)
{ c=line1(T[2],T[5],P[2],P[5],13);
for(int i=0;i<c[0].length;i++)
{b[0][i]=c[0][i];b[1][i]=c[1][i];}
b[0][13]=T[6];b[1][13]=s[6];
b[0][14]=T[3];b[1][14]=s[3];
}
else
{c=line1(T[2],T[3],P[2],P[3],15);b=c;}
tt=b[0];
ss=b[1];
pp.addData(ss,tt);
double t1[]=new double[4];
double s1[]=new double[4];
t1[0]=T[4];t1[1]=T[0];t1[2]=T[1];t1[3]=T[2];
s1[0]=s[4];s1[1]=s[0];s1[2]=s[1];s1[3]=s[2];
pp.addData(s1,t1);
double t2[]=new double[2];
double s2[]=new double[2];

```

```

t2[0]=T[1];t2[1]=T[7];
s2[0]=s[1];s2[1]=s[7];
pp.addData(s2,t2,1);
pp.setPLabel("Ideal refrigeration cycle 1 refrigeration R134a ");
pp.setYlabel("T, degree C");
pp.setXlabel("s entropy kJ/kgK");
pp.plot();
}
}

```

```

import javax.swing.*;

public class ref_cycle3testT
{
public static void main(String arg[])
{
double m=50/745.25928; // kg/s çevrim R134a debisi
double P2=1250.0; // kPa türbin giriş basıncı
double P1=200.0 ; // kPa türbin çıkış basıncı
double dTi=10.0; //degree C
double eta_isentli=0.9;
double dTi=5.0; //degree C
double dPevap1=5.0; //kPa
double dPevap2=5.0; //kPa
double dPcond1=5.0; //kPa
double dPcond2=5.0; //kPa
double dPcond3=5.0; //kPa
double dhi=2.0; //kJ/kgK
ref_cycle3T r=new ref_cycle3T("R134a",m,dTi,P1,eta_isentli,P2,dTi,dPevap1,dPevap2,dPcond1,dPcond2,dPcond3,dhi);
System.out.println(r.toString());
r.plot(-30.0);
}
}

```

```

----- Capture Output -----
> "C:\java\bin\java.exe" ref_cycle3testT
nokta = 0 T=-10.713921678933641P=195.0h=392.47237342248235s=1.7345884600435544x=1.0
nokta = 1 T=-0.7139216789336409P=200.0h=400.58952866027346s=1.7631762691950033x=2.0
nokta = 7 T=63.53716148947099P=1250.0h=440.7613114876169s=1.7631762691950033x=0.0
R134a soğutkan çevrimi 3
kompresör işi = 2.9946164677482345 kW
isentropic kompresör işi = 2.695154820973411 kW
yoğuşturucu heat çıkışı = 12.412532218649785 kW
buharlaştırıcı heat girişi = 9.283734261742502 kW
COP buharlaştırıcı = 3.100141324182089 kW
COP yoğuşturucu = 4.144948894902471 kW
COP buharlaştırıcı carnot = 3.990344898354031 kW
COP yoğuşturucu carnot = 4.990344898354031 kW
h1 kompresör girişi = 400.58952866027346 kJ/kg
T1 kompresör girişi = -0.7139216789336409 derece C
P1 kompresör girişi = 200.0 kPa
s1 kompresör girişi = 1.7631762691950033 kJ/kgK
x1 kompresör girişi = 2.0 kgvapor/kgtotal
h2 kompresör girişi = 445.2248429128773 kJ/kg
T2 kompresör çıkışı = 67.55989556263937 derece C
P2 kompresör çıkışı = 1250.0 kPa
s2 kompresör çıkışı = 1.7763586400487221 kJ/kgK
x2 kompresör çıkışı = 1.1435914281628234 kgvapor/kgtotal
h5 kompresör girişi = 422.98465471180526 kJ/kg
T5 yoğuşturucu doymuş = 47.71824296880384 derece C
P5 yoğuşturucu doymuş = 1245.0 kPa
s5 yoğuşturucu doymuş = 1.709402795937088 kJ/kgK
x5 yoğuşturucu doymuş = 0.0 kgvapor/kgtotal
h6 kompresör girişi = 268.13803320986443 kJ/kg
T6 yoğuşturucu doymuş = 47.56008650804041 derece C

```


$$W_1 = m(1-x)(h_2 - h_1) \quad (5.2.11)$$

$$W_2 = m(h_6 - h_5) \quad (5.2.12)$$

$$W = W_1 + W_2 \quad (5.2.13)$$

Buharlaştırıcı ısı transferi:

$$Q_1 = m(1-x)(h_1 - h_4) \quad (5.2.14)$$

Yoğuşturucu ısı transferi:

$$Q_2 = m(h_6 - h_7) \quad (5.2.15)$$

```
public class ref_cycle4T
{
/// R134 ideal carnot soğutma çevrimi
// soğutkan b=new soğutkan("R134a");
// double a[]=b.property("tp",30.0,1.01325);
//---- String s değerleri ve anlamları -----
// tv=sıcaklık-özümlü hacim
// tp=sıcaklık-basınç
// th=sıcaklık-enthalpy
// tu=sıcaklık-iç enerji
// ts=sıcaklık-entropi
// tx=sıcaklık-doygunluk derecesi
// pv=basınç-özümlü hacim e
// pt=basınç-sıcaklık
// ph=basınç-enthapi
// pu=basınç-iç enerji
// ps=basınç-entropi
// px=basınç-qualiti
// vp=özümlü hacim - basınç
// vt=özümlü hacim - sıcaklık
//---- çıktı değerleri -----
// r[0] P basınç kPa
// r[1] t sıcaklık derece C
// r[2] v özümlü hacim m^3/kg
// r[3] h enthapi KJ/kg
// r[4] u iç enerji KJ/kg
// r[5] s entropi KJ/kgK
// r[6] x doyunluk derecesi kg buhar/kg toplam
// r[7] ro yoğunluk kg/m^3

double T[];
double P[];
double h[];
double s[];
double x[];
boolean supercritical=false;
String refismi; //soğutkan ismi
double Tc,Pc;
double COP_yoğuşturucu,COP_buharlaştırıcı,COP_evap_carnot,COP_yoğuşturucu_carnot;
double m;//kg/s soğutkan debisi
double Wp1,Wp2;//kompresör işi
double Wp1i,Wp2i;//izentropik kompresör işi
double Wp;//net kompresör işi
double dPevap1;// buharlaştırıcı basınç düşümü doymuş region
double dPevap2;// buharlaştırıcı basınç düşümü kızgın buhar region
double dPcomp1;// buharlaştırıcı basınç düşümü doymuş region
double dPcond1;// yoğuşturucu basınç düşümü kızgın buhar region
double dPcond2;// yoğuşturucu basınç düşümü doymuş region
double dPcond3;// yoğuşturucu basınç düşümü sıvı region
double etaisent2,etaisent6; //izentropik efficiencies of turbines
double dh1,dh2; // genişleme vanası enthalpy change (heat loss)
double dT1,dT7;
double eta_isent; // izentropik verim kompresör
double Qbuharlaştırıcı,Qyoğuşturucu; //yoğuşturucu ve buharlaştırıcı heat transfer
```

```

refrigerantEN b;
double c1[2];
double c3[2];
public ref_cycle4T(String refismii,double mi,double dT1i,double P1, double P2,double etaisent2i,double P6,double etaisent6i,double dT7i,
double dPevap1i,double dPevap2i,double dPcomp1i,double dPcond1i,double dPcond2i,double dPcond3i,double dh1i,double dh2i)
{
m=mi;
refismi=refismii; // soğutkan ismi
dPevap1=dPevap1i; // buharlaştırıcı basınç düşümü doymuş region
dPevap2=dPevap2i; // buharlaştırıcı basınç düşümü kızgın buhar region ve kompresor 1 girişi valve
dPcomp1=dPcomp1i; // kompresor 1 çıkış valve
dPcond1=dPcond1i; // yoğusturucu basınç düşümü kızgın buhar region kompresor2 çıkış valve
dPcond2=dPcond2i; // yoğusturucu basınç düşümü doymuş region
dPcond3=dPcond3i; // yoğusturucu basınç düşümü sıvı region
dh1=dh1i; dh2=dh2i; // genleşme vanasındaki entalpi düşümü(ısı transferi)
dT1=dT1i;
dT7=dT7i;
etaisent2=etaisent2i;
etaisent6=etaisent6i;
b=new refrigerantEN(refismi);
T=new double[14];
P=new double[14];
h=new double[14];
s=new double[14];
x=new double[14];
Tc=b.r.Tc;//critical temperature degree C
Pc=b.r.Pc;//critical pressure kPa
P[1]=P1;//kompresor girişi
P[2]=P2;//kompresor çıkışı, buharlaştırıcı kızgın buhar çıkışı
P[0]=P1-dPevap1; //buharlaştırıcı doymuş çıkış(x=1) pressure
P[4]=P[0]-dPevap2;//buharlaştırıcı doymuş girişi pressure
P[5]=P[2]-dPcomp1;// karıştırma çıkış basıncı
P[9]=P[5];//flash tank doymuş buhar çıkış
P[8]=P[5];//flash tank girişi
P[3]=P[5];//flash tank doymuş sıvı çıkış
P[6]=P6;//yoğusturucu girişi
P[12]=P[6];// 12=6i izentropik kompresor çıkış noktası
P[10]=P[6]-dPcond1; // yoğusturucu çıkış sıvı state)
P[13]=P[10]-dPcond2;// yoğusturucu doymuş sıvı noktası
P[7]=P[13]-dPcond3; // yoğusturucu çıkış (sıvı)
c1=new double[2][20];
c3=new double[2][20];
}

public void cycle()
{
// kompresor doymuş sıvı noktası 0
double a1[]=b.property("px",P[0],1.0);
T[0]=a1[1];
h[0]=a1[3];
s[0]=a1[5];
x[0]=a1[6];
// kompresor girişi, buharlaştırıcı çıkış noktası 1
T[1]=T[0]+dT1;
a1=b.property("tp",T[1],P[1]);
h[1]=a1[3];
s[1]=a1[5];
x[1]=a1[6];
// izentropik kompresor çıkış noktası 11 (2i)
s[11]=s[1];
P[11]=P[2];
a1=b.property("ps",P[11],s[11]);
h[11]=a1[3];
T[11]=a1[1];
h[2]=h[1]+(h[11]-h[1])/etaisent2;
// kompresor 1 çıkış noktası 2

```

```
a1=b.property("ph",P[2],h[2]);
s[2]=a1[5];
T[2]=a1[1];
// noktası 10 yoğuşturucu doymuş buhar noktası
x[10]=1.0;
a1=b.property("px",P[10],x[10]);
T[10]=a1[1];
h[10]=a1[3];
s[10]=a1[5];
// noktası 13 yoğuşturucu doymuş sıvı noktası
x[13]=0.0;
a1=b.property("px",P[13],x[13]);
T[13]=a1[1];
h[13]=a1[3];
s[13]=a1[5];
T[7]=T[13]-dT7;
// noktası 7 yoğuşturucu çıkış
if(T[7]==T[13] && P[7]==P[13])
{h[7]=h[13];T[7]=T[13];s[7]=s[13];x[7]=x[13];
}
else
{
a1=b.property("tp",T[7],P[7]);
h[7]=a1[3];
s[7]=a1[5];
x[7]=a1[6];
}
//noktası 3 ayrışma odası doymuş sıvı
x[3]=0.0;
a1=b.property("px",P[3],x[3]);
T[3]=a1[1];
h[3]=a1[3];
s[3]=a1[5];
x[3]=a1[6];
//noktası 4 ayrışma odası doymuş sıvı
h[4]=h[3]-dh2;
a1=b.property("ph",P[4],h[4]);
T[4]=a1[1];
h[4]=a1[3];
s[4]=a1[5];
x[4]=a1[6];
//noktası 9 ayrışma odası doymuş buhar
x[9]=1.0;
a1=b.property("px",P[9],x[9]);
T[9]=a1[1];
h[9]=a1[3];
s[9]=a1[5];
// nokta 8 ayrışma odası
h[8]=h[7]+dh2;
a1=b.property("ph",P[8],h[8]);
T[8]=a1[1];
s[8]=a1[5];
x[8]=a1[6];
// nokta 5 kompresor 2 girişi noktası
h[5]=x[8]*h[9]+(1.0-x[8])*h[2];
a1=b.property("ph",P[5],h[5]);
T[5]=a1[1];
s[5]=a1[5];
//nokta 12 izentropik kompresor2 output
s[12]=s[5];
P[12]=P[6];
a1=b.property("ps",P[12],s[12]);
h[12]=a1[3];
T[12]=a1[1];
h[6]=h[5]+(h[12]-h[5])/etaisent6;
a1=b.property("ph",P[6],h[6]);
```



```

T[6]=a1[1];
s[6]=a1[5];
x[6]=a1[6];
// isentropik kompresor 1
Wp1i=m*(1.0-x[8])*(h[11]-h[1]);
//kompresor 1
Wp1=m*(1.0-x[8])*(h[2]-h[1]);
Wp=Wp1+Wp2;
// isentropik kompresor 2
Wp2i=m*(h[12]-h[5]);
//kompresor 2
Wp2=m*(h[6]-h[5]);
Qbuharlaştırıcı=m*(1.0-x[8])*(h[1]-h[4]);
Qyoğuşturucu=m*(h[6]-h[7]);
COP_buharlaştırıcı=Qbuharlaştırıcı/Wp;
COP_yoğuşturucu_carnot=(T[6]+273.15)/(T[6]-T[0]);
COP_yoğuşturucu=Qyoğuşturucu/Wp;
COP_evap_carnot=(T[0]+273.15)/(T[6]-T[0]);
}

public String toString()
{
cycle();
String ss="two stage flash noktası refrigeration cycle\n";
ss+="buharlaşma oranı : "+x[8]+" \n";
ss+=" kompresor1 işi = "+Wp1+" kW\n";
ss+=" kompresor2 işi = "+Wp2+" kW\n";
ss+=" total kompresor işi = "+Wp+" kW\n";
ss+=" izentropik kompresor 1 işi = "+Wp1i+" kW\n";
ss+=" izentropik kompresor 2 işi = "+Wp2i+" kW\n";
ss+=" total izentropik kompresor işi = "+(Wp1i+Wp2i)+" kW\n";
ss+=" yoğuşturucu işi = "+Qyoğuşturucu+" kW\n";
ss+=" buharlaştırıcı ısı girdisi = "+Qbuharlaştırıcı+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı = "+ COP_buharlaştırıcı+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu = "+ COP_yoğuşturucu+" kW\n";
ss+=" COP buharlaştırıcı carnot = "+ COP_evap_carnot+" kW\n";
ss+=" COP yoğuşturucu carnot = "+ COP_yoğuşturucu_carnot+" kW\n";

ss+=" h1 kompresor 1 girişi = "+h[1] +" kJ/kg\n";
ss+=" T1 kompresor 1 girişi = "+T[1] +" derece C\n";
ss+=" P1 kompresor 1 girişi = "+P[1] +" kPa \n";
ss+=" s1 kompresor 1 girişi = "+s[1] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x1 kompresor 1 girişi = "+x[1] +" kgvapor/kgtotal"+ "\n";

ss+=" h2 kompresor 1 çıkış = "+h[2] +" kJ/kg\n";
ss+=" T2 kompresor 1 çıkış = "+T[2] +" derece C\n";
ss+=" P2 kompresor 1 çıkış = "+P[2] +" kPa \n";
ss+=" s2 kompresor 1 çıkış = "+s[2] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x2 kompresor 1 çıkış = "+x[2] +" kgvapor/kgtotal"+ "\n";

ss+=" h5 kompresor 2 girişi = "+h[5] +" kJ/kg\n";
ss+=" T5 kompresor 2 girişi = "+T[5] +" derece C\n";
ss+=" P5 kompresor 2 girişi = "+P[5] +" kPa \n";
ss+=" s5 kompresor 2 girişi = "+s[5] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x5 kompresor 2 girişi = "+x[5] +" kgvapor/kgtotal"+ "\n";

ss+=" h6 kompresor 2 çıkış = "+h[6] +" kJ/kg\n";
ss+=" T6 kompresor 2 çıkış = "+T[6] +" derece C\n";
ss+=" P6 kompresor 2 çıkış = "+P[6] +" kPa \n";
ss+=" s6 kompresor 2 çıkış = "+s[6] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x6 kompresor 2 çıkış = "+x[6] +" kgvapor/kgtotal"+ "\n";

ss+=" h8 ayırışma odası input = "+h[3] +" kJ/kg\n";
ss+=" T8 ayırışma odası input = "+T[3] +" derece C\n";
ss+=" P8 ayırışma odası input = "+P[3] +" kPa \n";
ss+=" s8 ayırışma odası input = "+s[3] +" kJ/kgK\n";

```

```

ss+=" x8 ayrışma odası input = "+x[3] +" kgvapor/kgtotal"+"n";

ss+=" h4 genişme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = "+h[4] +" kJ/kg\n";
ss+=" T4 genişme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = "+T[4] +" derece C\n";
ss+=" P4 genişme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = "+P[4] +" kPa \n";
ss+=" s4 genişme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = "+s[4] +" kJ/kgK\n";
ss+=" x4 genişme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = "+x[4] +" kgvapor/kgtotal"+"n";
return ss;
}

public double[][] TS(double ti)
{
double a[][]=new double[2][10000];
double tc=b.r.Tc;
double dt=(tc-1.0)/100.0;
int i=0;
double t;
for(t=ti;t<=tc;t+=dt)
{ double a1[]=b.property("tx",t,0.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a1[5];
i++;
}
double a3[]=b.property("tx",tc,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a3[5];
i++;
for(t=tc;t>=ti;t-=dt)
{ double a2[]=b.property("tx",t,1.0);
a[1][i]=t;
a[0][i]=a2[5];
i++;
}
int n=i;
double b[][]=new double[2][n];
for(i=0;i<n;i++) {b[0][i]=a[0][i];b[1][i]=a[1][i];}
return b;
}

public double[][] line(double P1,double P2,double hi,double ho,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
double ss1[]=new double[n];
double aa[];
double p,h;
for(int i=0;i<n;i++)
{ p=P1+i*(P2-P1)/(n-1);
h=hi+i*(ho-hi)/(n-1);
aa=b.property("ph",p,h);
TT1[i]=aa[1];
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
return a;
}

public double[][] line1(double T1,double T2,double Pi,double Po,int n)
{
double TT1[]=new double[n];
double ss1[]=new double[n];
double aa[];
double P;
double x=1.0;
aa=b.property("tx",T1,x);
TT1[0]=T1;
ss1[0]=aa[5];
for(int i=1;i<n;i++)
{ TT1[i]=T1+i*(T2-T1)/(n-1);

```

```

P=Pi+i*(Po-Pi)/(n-1);
aa=b.property("tp",TT1[i],P);
ss1[i]=aa[5];
}
double a[][]={TT1,ss1};
Text.printT(a);
return a;
}

public void plot(double ti)
{
Plot pp=new Plot(TS(ti));
//enthalpy line
double a34[][]=line(P[3],P[4],h[3],h[4],15);
double a78[][]=line(P[7],P[8],h[7],h[7],15);
double tt[]=a34[0];
double ss[]=a34[1];
pp.addData(ss,tt);

tt=a78[0];
ss=a78[1];
pp.addData(ss,tt);

double a10[][]=line1(T[0],T[1],P[0],P[1],15);
tt=a10[0];
ss=a10[1];
pp.addData(ss,tt);

double a92[][]=line1(T[9],T[2],P[9],P[2],16);
tt=a92[0];
ss=a92[1];
pp.addData(ss,tt);
double a10_6[][]=line1(T[10],T[6],P[10],P[6],16);
tt=a10_6[0];
ss=a10_6[1];
pp.addData(ss,tt);
double tt1[]={T[10],T[13],T[7]};
double ss1[]={s[10],s[13],s[7]};
pp.addData(ss1,tt1);
double tt2[]={T[4],T[0]};
double ss2[]={s[4],s[0]};
pp.addData(ss2,tt2);
double tt3[]={T[9],T[3]};
double ss3[]={s[9],s[3]};
pp.addData(ss3,tt3);
double tt4[]={T[1],T[2]};
double ss4[]={s[1],s[2]};
pp.addData(ss4,tt4);
double tt5[]={T[5],T[6]};
double ss5[]={s[5],s[6]};
pp.addData(ss5,tt5);
pp.addData(ss4,tt4);
double tt6[]={T[1],T[11]};
double ss6[]={s[1],s[11]};
pp.addData(ss6,tt6,1);
double tt7[]={T[5],T[12]};
double ss7[]={s[5],s[12]};
pp.addData(ss7,tt7,1);
pp.setPlabel("ayrışma odalı 2 kademeli soğutma çevrimi soğutkan :"+refismi);
pp.setYlabel("T, derece C");
pp.setXlabel("s entropi kJ/kgK");
pp.plot();
}
}

```

```

import javax.swing.*;
public class ref_cycle4testT
{
public static double Pres(String refrigerant,double T)
{refrigerantEN r=new refrigerantEN(refrigerant);
double a[]=r.property("tx",T,0.0);
double P1=a[0];
return P1;
}
public static void main(String arg[])
{
double m=1.0; // kg/s çevrim R134a debisi
String refrigerant="R134a";
refrigerantEN r=new refrigerantEN(refrigerant);
double P1=Pres(refrigerant,-5.0);
double P2=Pres(refrigerant,15.0);
double P6=Pres(refrigerant,45.0);
double dT1i=10.0; //degree C
double etaisent2i=0.8;
double etaisent6i=0.8;
double dT7i=3.0; //degree C
double dPevap1i=5.0;
double dPevap2i=5.0;
double dPcomp1i=5.0;
double dPcond1i=5.0;
double dPcond2i=5.0;
double dPcond3i=5.0;
double dh1i=1.0;
double dh2i=1.0;
ref_cycle4T re=new ref_cycle4T("R134a",m,dT1i,P1,P2,etaisent2i,P6,etaisent6i,dT7i,
dPevap1i,dPevap2i,dPcomp1i,dPcond1i,dPcond2i,dPcond3i,dh1i,dh2i);
re.cycle();
System.out.println(re.toString());
re.plot(-10.0);
}
}

```

```

----- Capture Output -----
> "C:\java\bin\java.exe" ref_cycle4testT
two stage flash noktası refrigeration cycle
buharlaşıma oranı : 0.21085196615233992
kompresor1 işi = 14.826316597366656 kW
kompresor2 işi = 24.06248085100617 kW
total kompresor işi = 38.88879744837283 kW
izentropik kompresor 1 işi = 11.861053277893324 kW
izentropik kompresor 2 işi = 19.249984680804914 kW
total izentropik kompresor işi = 31.11103795869824 kW
yoğuşturucu işi = 184.61059903816306 kW
buharlaştırıcı ısı girdisi = 145.51094962363788 kW
COP buharlaştırıcı = 3.7417189311860892 kW
COP yoğuşturucu = 4.74714085163586 kW
COP buharlaştırıcı carnot = 3.818621104617835 kW
COP yoğuşturucu carnot = 4.818621104617835 kW
h1 kompresor 1 girişi = 403.8899286096781 kJ/kg
T1 kompresor 1 girişi = 4.452288435826651 derece C
P1 kompresor 1 girişi = 243.39 kPa
s1 kompresor 1 girişi = 1.7601850896021525 kJ/kgK
x1 kompresor 1 girişi = 2.0 kgvapor/kgtotal
h2 kompresor 1 çıkış = 422.67767940096854 kJ/kg
T2 kompresor 1 çıkış = 31.356987836072225 derece C
P2 kompresor 1 çıkış = 488.7799999999999 kPa
s2 kompresor 1 çıkış = 1.7726060681496862 kJ/kgK
x2 kompresor 1 çıkış = 0.0 kgvapor/kgtotal
h5 kompresor 2 girişi = 419.435265464414 kJ/kg
T5 kompresor 2 girişi = 27.93017810803139 derece C

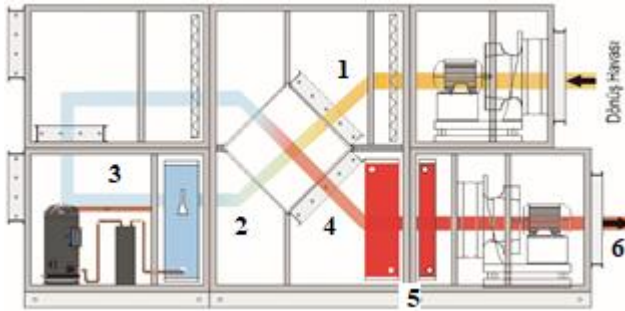
```

P5 kompresor 2 girişi = 488.7799999999999 kPa
s5 kompresor 2 girişi = 1.7618975967688222 kJ/kgK
x5 kompresor 2 girişi = 0.0 kgvapor/kgtotal
h6 kompresor 2 çıkışı = 443.49774631542016 kJ/kg
T6 kompresor 2 çıkışı = 64.53053948624293 derece C
P6 kompresor 2 çıkışı = 1161.01 kPa
s6 kompresor 2 çıkışı = 1.7762464236009525 kJ/kgK
x6 kompresor 2 çıkışı = 1.1369546373837682 kgvapor/kgtotal
h8 ayırışma odası input = 220.5 kJ/kg
T8 ayırışma odası input = 14.99999999999995 derece C
P8 ayırışma odası input = 488.7799999999999 kPa
s8 ayırışma odası input = 1.0726 kJ/kgK
x8 ayırışma odası input = 0.0 kgvapor/kgtotal
h4 genleşme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = 219.5 kJ/kg
T4 genleşme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = -6.104109861511878 derece C
P4 genleşme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = 233.39 kPa
s4 genleşme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = 1.0741357660531674 kJ/kgK
x4 genleşme vanası çıkış-buharlaştırıcı girişi = 0.135879209555772 kgvapor/kgtotal

6.0 İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNİN SOĞUTMA ÇEVİRİMİ İLE KOMBİNE OLARAK GÖZ ÖNÜNE ALINMASI

Gerçek klima cihazlarında soğutma prosesi iklimlendirme prosesinin entegre bir parçası olarak değerlendirilebilir. Soğutma sisteminde mevcut olan buharlaştırıcı(evaporatör) ve yoğunlaştırıcı(kondenser) temel olarak birer ısı değiştirici olduğundan bu ısı değiştiriciler çevrim havası ve/veya suyunu aktif olarak ısıtıp soğutarak, daha da ötesinde hem ısıtma hem de soğutma kısmını aktif olarak kullanarak entegre bir sistem yaratabiliriz. Soğutma sistemini iklimlendirme prosesine entegre eden bir iklimlendirme makinası üzerinden bazı değişik iklimlendirme proseslerine göz atalım. İklimlendirme sistemimizde fanlar, bir soğutma sistemi, bir sıcak su ile çalışan ısıtma ısı değiştiricisi, bir ısı geri kazanım ısı değiştiricisi yer almaktadır. Doğal olarak soğutma sisteminin parçası olan bir yoğunlaştırıcı ve bir buharlaştırıcı da sistemin aktif parçası olarak kullanılmaktadır.

6.1 NEMLİ İÇ HAVA

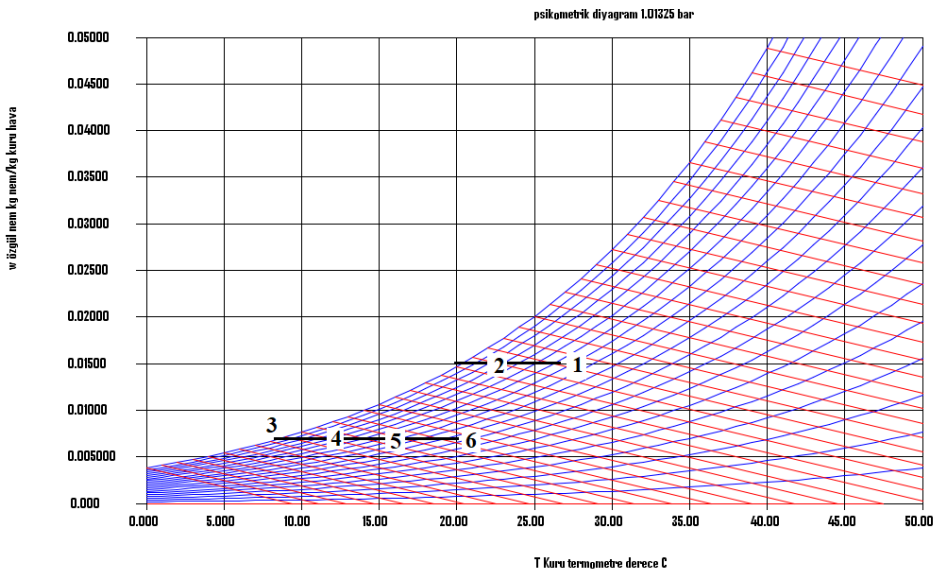
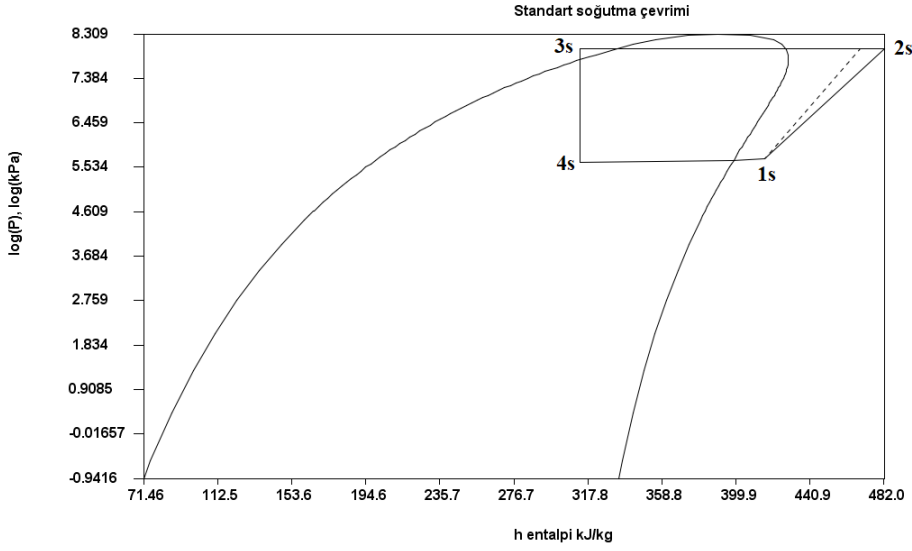
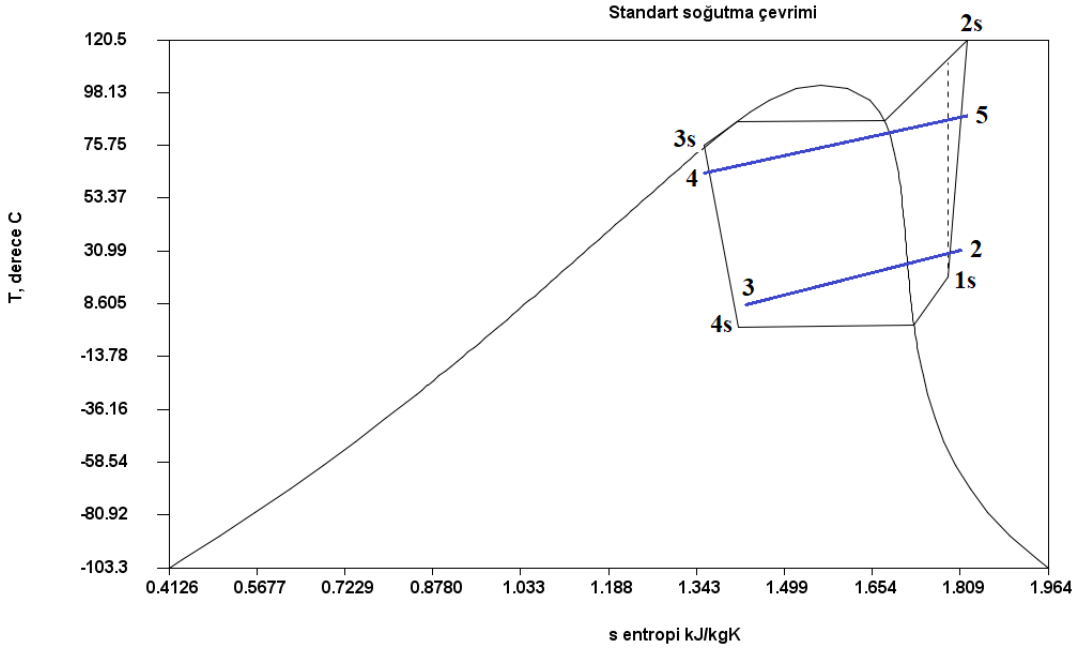


Şekil 6.1.1 Nemli iç havanın neminin alınıp tekrar ısıtılarak geri verilmesi

Taze hava ihtiyacının olmadığı durumlarda, farklı sıcaklık ve nem şartlarına göre aşağıdaki senaryolar gerçekleşir.

Nemli İç Hava

Ortam havası nemli olduğu için soğutma devresi kompresörünün devrede olması gereklidir. Şekil 6.1.1de gösterildiği gibi dönüş havası evaporatör üzerinden geçerken soğuma gerçekleşir ve üzerindeki nemi bırakır. Soğumuş havanın tekrar ısıtılması işlemi yoğunlaştırıcı üzerinden sağlanacaktır. Dönüş havası üzerindeki toplam ısınma kompresör kapasitesine bağlı olarak gerçekleşecektir. Frekans kontrollü kompresör sistemleri kullanılarak soğutma/ısıtma yükleri değiştirilebilir. Eğer bu kapasite yeterli kalmaz ise Şekil 6.1.1'de görüldüğü gibi sulu ısıtma da devreye girebilir.



Proses denklemleri:

Isı geri kazanımı (ideal durum)

$$Q_{\text{ısı geri kazanım}} = m_{yh}(h_1 - h_2) = m_{yh}(h_4 - h_3)$$

Yoğuşturucu (kondenser)

$$Q_{\text{yoğuşturucu}} = m_r(h_{2s} - h_{3s}) = m_{yh}(h_5 - h_4)$$

Buharlaştırıcı (evaporatör)

$$Q_{\text{buharlaştırıcı}} = m_r(h_{1s} - h_{4s}) = m_{yh}(h_2 - h_3)$$

Isı değiştirici (ısıtıcı)

$$Q_{\text{ısı değiştirici}} = m_{yh}(h_2 - h_3)$$

Burada nemli havanın entalpilerinin toplam entalpi olduğunu yinelileyim.

```
import javax.swing.*;
public class nemli_ic_hava
{
public static void main(String arg[])
{ double mr=1.0; // kg/s çevrim R134a debisi
double P2=1300.0; // kPa turbin giriş basıncı
double P1=400.0 ; // kPa turbin çıkış basıncı
double dT1i=20.0; // degree C
double eta_isent1i=0.8;
double dT6i=10.0; // degree C
double dPevap1i=10.0; // kPa
double dPevap2i=10.0; // kPa
double dPcond1i=10.0; // kPa
double dPcond2i=10.0; // kPa
double dPcond3i=10.0; // kPa
double dhi=0.0; // kJ/kgK
ref_cycle3c r=new ref_cycle3c("R134a",mr,dT1i,P1,eta_isent1i,P2,dT6i,dPevap1i,dPevap2i,dPcond1i,dPcond2i,dPcond3i,dhi);
//r.cycle();
System.out.println(""+r);
String ss=" refrigeration cycle per kg/s of refrigerant";
ss+=" compressor work = "+r.Wp+" kW\n";
ss+=" condenser heat output = "+r.Qcondenser+" kW\n";
ss+=" evaporator heat input = "+r.Qevaporator+" kW\n";
ss+=" COP evaporator = "+r.COP_evaporator+" kW\n";
// wet air process
wetair wa=new wetair();
double ma=1.0;// kg/s
double p=1.01325;// bar

double t1=32.0;// derece C
double rh1=0.7;
double a[]=wa.property("tdb_rh",t1,rh1,p);
double h1=a[8];
double w1=a[5];
double twb1=a[14];

double t2=28.0;// derece C
double w2=w1;
a=wa.property("tdb_w",t2,w2,p);
double h2=a[8];
double rh2=a[5];
double twb2=a[14];

double w2a=w1;
double rh2a=1.0;
a=wa.property("w_rh",w2a,rh2a,p);
double t2a=a[1]// derece C
double twb2a=a[14];
double h2a=a[8];

double t7=22.0;// derece C
```

```

double rh7=0.45;
a=wa.property("tdb_rh",t7,rh7,p);
double h7=a[8];
double w7=a[5];
double twb7=a[14];

double w3=w7;
double rh3=1.0;
a=wa.property("w_rh",w3,rh3,p);
double t3=a[1];
double h3=a[8];
double twb3=a[14];

double Q12=ma*(h1-h2);
double Q23=ma*(h2-h3);
double Q34=Q12;

double w4=w3;
double h4=h3+Q34;
a=wa.property("w_h",w4,h4,p);
double t4=a[1];
double rh4=a[6];
double twb4=a[14];

double mratio=Q23/r.Qevaporator;
double Q45=r.Qcondenser*mratio;
double Q35=Q34+Q45;
double Qcooling=ma*(h2-h3);
double Qheating=ma*(h7-h3);
double dm=ma*(w2-w3);
ss+="m="+ma+" kg/s\n";
ss+="T1="+t1+" derece C h1="+h1+" kJ/kg "+'\u00D8'+1+"="+rh1*100+" % w1="+w1+" twb1="+twb1+" derece C\n";
ss+="T2="+t2+" derece C h2="+h2+" kJ/kg "+'\u00D8'+2+"="+rh2*100+" % w2="+w2+" twb2="+twb2+" derece C\n";
ss+="T2a="+t2a+" derece C h2a="+h2a+" kJ/kg "+'\u00D8'+2a+"="+rh2a*100+" % w2a="+w2a+" twb2="+twb2a+" derece C\n";
ss+="T3="+t3+" derece C h1="+h3+" kJ/kg "+'\u00D8'+3+"="+rh3*100+" % w3="+w3+" twb3="+twb3+" derece C\n";
ss+="T4="+t4+" derece C h4="+h4+" kJ/kg "+'\u00D8'+4+"="+rh4*100+" % w4="+w4+" twb3="+twb4+" derece C\n";
ss+="istenen çıkış noktası T7="+t7+" derece C h7="+h7+" kJ/kg "+'\u00D8'+7+"="+rh7*100+" % w7="+w7+" twb7="+twb7+" derece C\n";
ss+="Q12 ısı geri kazanım = "+Q12+" kW\n";
ss+="Q23 = "+Q23+" kW\n";
ss+="Q34 ısı geri kazanım = "+Q34+" kW\n";
ss+="Q45 = "+Q45+" kW\n";
ss+="Q35 mevcut olan ısı= "+Q35+" kW\n";
ss+="Qsoğutma = "+Qcooling+" kW\n";
ss+="Qısıtma ihtiyacı= "+Qheating+" kW\n";
ss+="yoğuşan su debisi dm = "+dm+" kg/s";
System.out.println(ss);
}}

```

```

----- Capture Output -----
> "E:\co\java\bin\javaw.exe" nemli_ic_hava
Wp=33.884915989739056
Qevaporator=166.9068039866325
Qcondenser=200.79171997637155
R134a ideal refrigeration cycle 2
compressor work = 33.884915989739056 kW
condenser heat output = 200.79171997637155 kW
evaporator heat input = 166.9068039866325 kW
COP evaporator = 4.925696260754337 kW
COP condenser = 5.925696260754337 kW
COP evaporator carnot = 6.095479649914876 kW
COP condenser carnot = 7.095479649914875 kW
h1 compressor input = 421.54556822972273 kJ/kg
T1 compressor input = 28.181270204708913 derece C
P1 compressor input = 400.0 kPa
s1 compressor input = 1.783732015025876 kJ/kgK

```


x1 compressor input = 2.0 kgvapor/kgtotal
h2 compressor input = 455.4304842194618 kJ/kg
T2 compressor output = 77.61647260242621 derece C
P2 compressor output = 1300.0 kPa
s2 compressor output = 1.8032245698402976 kJ/kgK
x2 compressor output = 1.2111415619500265 kgvapor/kgtotal
h5 compressor input = 423.12512772830735 kJ/kg
T5 condenser saturation = 49.15068597896759 derece C
P5 condenser saturation = 1290.0 kPa
s5 condenser saturation = 1.7075775078936113 kJ/kgK
x5 condenser saturation = 0.0 kgvapor/kgtotal
h6 compressor input = 269.8285888516348 kJ/kg
T6 condenser saturation = 48.8429472135294 derece C
P6 condenser saturation = 1280.0 kPa
s6 condenser saturation = 1.2320013360200879 kJ/kgK
x6 condenser saturation = 0.0 kgvapor/kgtotal
h3 turbine input = 254.63876424309024 kJ/kg
T3 turbine input = 38.8429472135294 derece C
P3 turbine input = 1270.0 kPa
s3 turbine input = 1.1841076566237554 kJ/kgK
x3 turbine input = 0.0 kgvapor/kgtotal
h4 turbine output = 254.63876424309024 kJ/kg
T4 turbine output = 7.417001187131379 derece C
s4 turbine output = 1.1949576186597075 kJ/kgK
x4 turbine output = 0.0 kgvapor/kgtotal

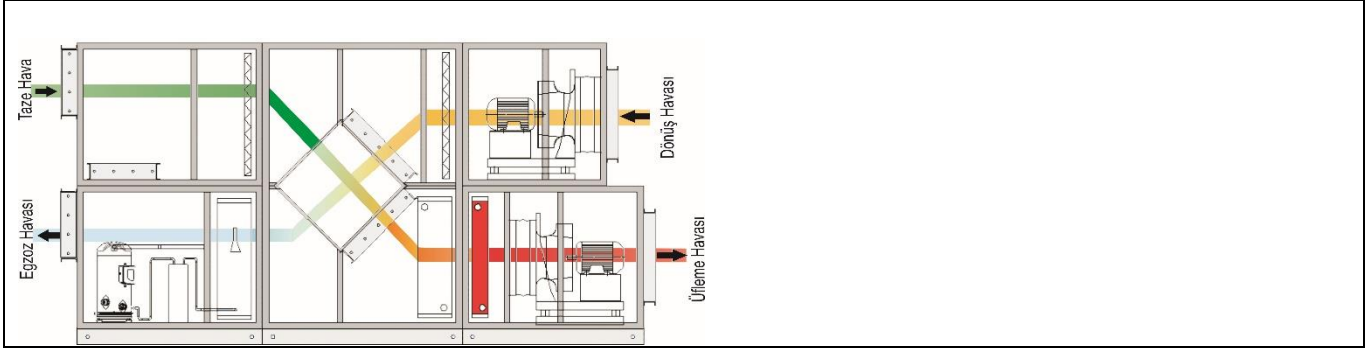
refrigeration cycle per kg/s of refrigerant compressor work = 33.884915989739056 kW
condenser heat output = 200.79171997637155 kW
evaporator heat input = 166.9068039866325 kW
COP evaporator = 4.925696260754337 kW
m=1.0 kg/s
T1=32.0 derece C h1=86.2550265274906 kJ/kg Ø1 =70.0 % w1 = 0.021141039626909136 twb1 = 27.324434247215187 derece C
T2=28.0 derece C h2=82.07442696648471 kJ/kg Ø2 =2.1141039626909137 % w2 = 0.021141039626909136 twb2 = 26.36992931747956 derece C
T2a=25.838604404391482 derece C h2a=79.81710149926121 kJ/kg Ø2a =100.0 % w2a = 0.021141039626909136 twb2 = 25.838604404391425 derece C
T3=9.537215805487394 derece C h1=28.189043306768507 kJ/kg Ø3 =100.0 % w3 = 0.00739129479044602 twb3 = 9.537215805168032 derece C
T4=13.645028857096218 derece C h4=32.3696428677744 kJ/kg Ø4 =76.1954097534043 % w4 = 0.00739129479044602 twb3 = 11.329112914959019 derece C
istenen çıkış noktası T7=22.0 derece C h7=40.8705313460589 kJ/kg Ø7 =45.0 % w7 = 0.00739129479044602 twb7 = 14.668719169072634 derece C
Q12 ısı geri kazanım = 4.1805995610058915 kW
Q23 = 53.8853836597162 kW
Q34 ısı geri kazanım = 4.1805995610058915 kW
Q45 = 64.82503174338915 kW
Q35 mevcut olan ısı= 69.00563130439504 kW
Qsoğutma = 53.8853836597162 kW
Qısıtma ihtiyacı= 12.68148803929039 kW
yoğuşan su debisi dm = 0.013749744836463115 kg/s

> Terminated with exit code 0.

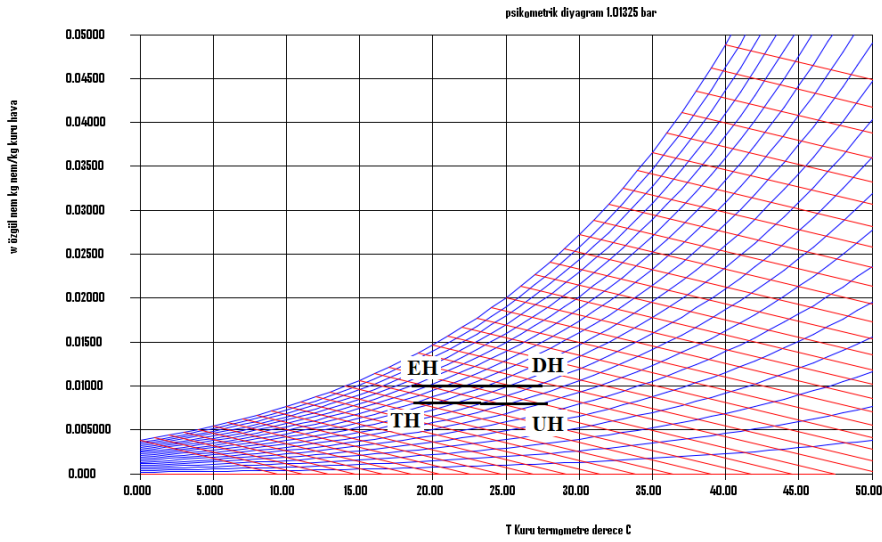
6.2 %100 Taze Havalı Çalışma

Ciddi bir taze hava ihtiyacının olduğu durumlarda aşağıdaki senaryolar gerçekleşir. Cihaz %100 taze hava ile çalışırken nem alma işlemine gerek olmadığından kompresörler devrede değildir.

Taze havanın özgül nem değerinin set değerinden düşük ve kuru termometrenin set değeri civarlarında olduğu durumlarda cihaz Şekilde gösterildiği şekilde çalışır. Dönüş havası, üzerindeki ısıyı plakalı ısı geri kazanım cihazı sayesinde taze havaya aktardıktan sonra egzoz edilir. Taze hava sıcaklığının düşük olduğu durumlarda ise sulu ısıtma da çalışabilir.



Şekil 6.2-1 Taze hava ile çalışma



Şekil 6.2-2 Taze hava ile çalışma psikometrik diyagram

```
import javax.swing.*;
public class taze_100_hava
{
public static void main(String arg[])
{
// wet air process
wetair wa=new wetair();
double mTH=1.0;// kg/s
```

```

double MEH=1.0;
double p=1.01325;// bar

double tTH=30.0;// derece C
double wTH=0.005;
double tUH=19.0;// derece C
double wUH=0.005;
double tDH=32;
double wDH=0.01;
double a[]=wa.property("tdb_w",tTH,wTH,p);
double hTH=a[8];
double rhTH=a[6];
double twbTH=a[14];
a=wa.property("tdb_w",tUH,wUH,p);
double hUH=a[8];
double rhUH=a[6];
double twbUH=a[14];
double QTH=mTH*(hTH-hUH);
a=wa.property("tdb_w",tDH,wDH,p);
double hDH=a[8];
double rhDH=a[6];
double hEH=hDH-QTH/mTH;
double twbDH=a[14];
double wEH=wDH;
a=wa.property("w_h",wEH,hEH,p);
double rhEH=a[6];
double tEH=a[1];
double twbEH=a[14];
String ss="";
ss+="TTH="+tTH+" derece C hTH="+hTH+" kJ/kg "+'\u00D8'+tTH+"="+rhTH*100+" % TH = "+wTH+" twbTH = "+twbTH+" derece C\n";
ss+="TDH="+tDH+" derece C hDH="+hDH+" kJ/kg "+'\u00D8'+tDH+"="+rhDH*100+" % w2 = "+wDH+" twbUH = "+twbDH+" derece C\n";
ss+="TUH="+tUH+" derece C hUH="+hUH+" kJ/kg "+'\u00D8'+tUH+"="+rhUH*100+" % wUH = "+wUH+" twbUH = "+twbUH+" derece C\n";
ss+="TEH="+tEH+" derece C hEH="+hEH+" kJ/kg "+'\u00D8'+tEH+"="+rhEH*100+" % wEH = "+wEH+" twbEH = "+twbEH+" derece C\n";
System.out.println(ss);
}}

```

```

----- Capture Output -----
> "E:\co\java\bin\javaw.exe" taze_100_hava

TTH=30.0 derece C hTH=42.90342933210184 kJ/kg ØTH =19.03165939577938 % TH = 0.005 twbTH = 15.468358675819061 derece C

TDH=32.0 derece C hDH=57.735667224652225 kJ/kg ØDH =33.694669120539345 % w2 = 0.01 twbUH = 20.230757634604625 derece C

TUH=19.0 derece C hUH=31.752496104889858 kJ/kg ØUH =36.7735159380142 % wUH = 0.005 twbUH = 11.118469790894707 derece C

TEH=21.101770093064236 derece C hEH=46.584733997440246 kJ/kg ØEH =64.05883084131742 % wEH = 0.01 twbEH = 16.646470954862384
derece C

> Terminated with exit code 0.

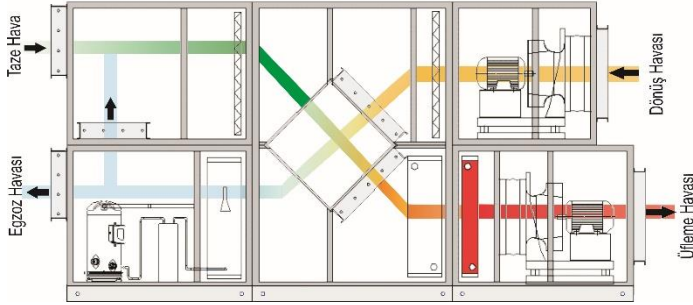
```

6.3 Karışım Havalı Çalışma

Mahalde belli bir oranda taze hava ihtiyacının olduğu durumlarda söz konusudur.

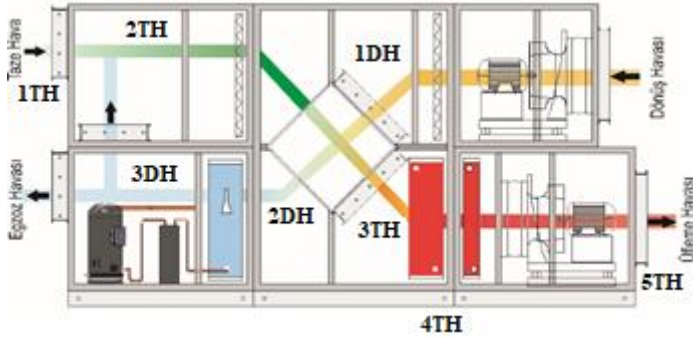
Taze havanın özgül nem değerinin set değerinden düşük ve kuru termometrenin set değeri civarlarında olduğu durumlarda cihaz aşağıdaki şekillerde çalışır. Nem alma için kompresörlerin devrede olmasına gerek yoktur. Şekilde gösterildiği gibi dönüş havası, üzerindeki ısıyı plakalı ısı geri kazanım cihazı

şayesinde taze havaya aktardıktan sonra dönüş havasının bir kısmı egzoz edilir. Kalan kısmı ise taze hava ile karıştırılarak tekrar mahale gönderilir. Nem ve sıcaklık bilgilerine göre işlemci karışım damperinin açıklık oranına karar verir. İşlemci bu bilgiler doğrultusunda, taze hava sıcaklığının çok düşük olduğu durumlarda sulu ısıtmayı da Şekil – 4b’deki gibi devreye sokabilir.

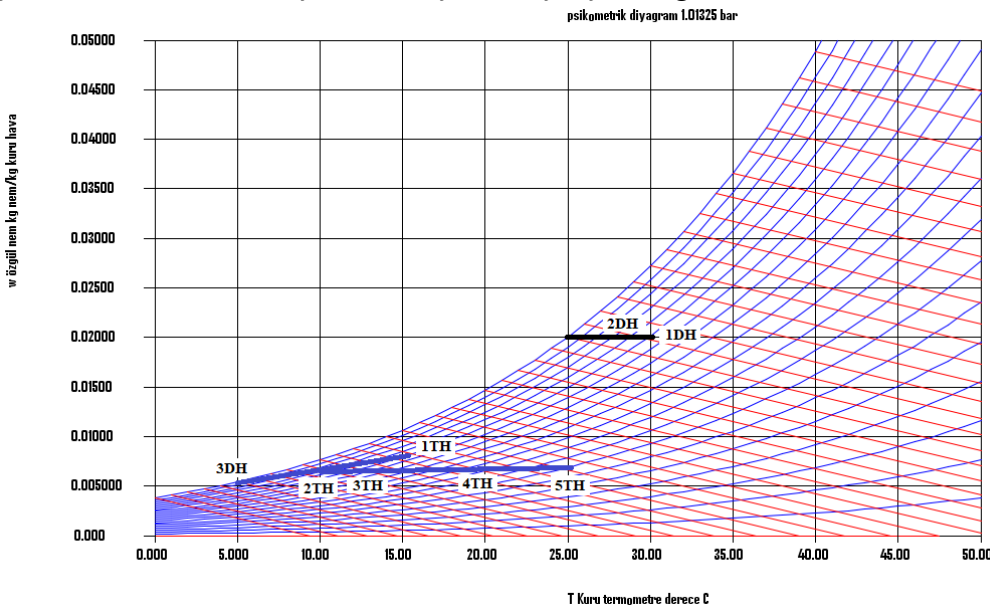


Şekil 6.3-1 Taze hava+iç hava karışımı ile çalışma

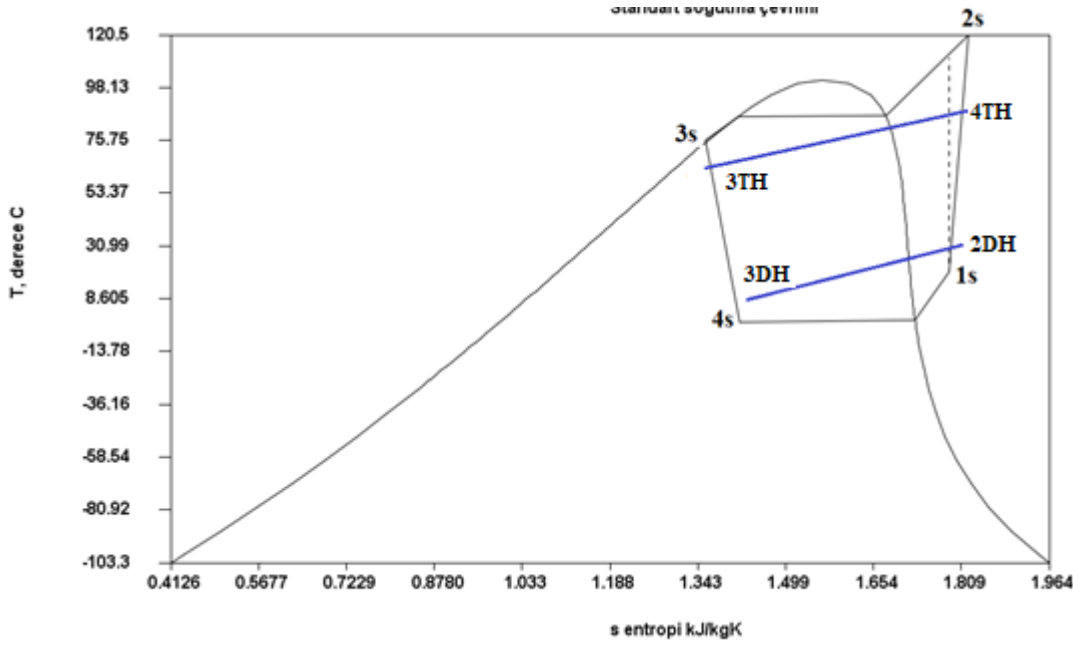
Taze havanın özgül nem değerinin set değerinden yüksek ve kuru termometre sıcaklığının set değeri altında olduğu durumlarda cihaz aşağıdaki şekillerde çalışır. Havanın özgül nem değeri yüksek olduğu için, mekanik soğutma nem alma işlemi için devrededir. Şekil - 4c’de verildiği gibi dönüş havası, üzerindeki ısıyı plakalı ısı geri kazanım cihazı sayesinde taze havaya aktardıktan sonra dönüş havasının bir kısmı egzoz edilir. Kalan kısmı ise taze hava ile karıştırılarak tekrar mahale gönderilir. Nem ve sıcaklık bilgilerine göre işlemci karışım damperinin açıklık oranına karar verir. İşlemci bu bilgiler doğrultusunda, taze hava sıcaklığının çok düşük olduğu durumlarda Şekildeki gibi sulu ısıtmayı da devreye sokabilir.



Şekil 6.3-2 taze hava+ iç hava karışımı ile çalışma soğutma sistemi devrede



Şekil 6.3-3 taze hava+ iç hava karışımı ile çalışma soğutma sistemi devrede psikometrik diyagram üzerinde gösterim



Karışım havalı çalışma denklemleri:

Taze hava oranı: $x = \frac{m_{TH}}{m_{DH}}$ burada m_{DH} : dönüş havası akış oranı m_{TH} . Taze hava akış oranıdır.

Üfleme havası: $m_{UH} = m_{TH} * x + m_{DH} * (1 - x)$

Isı geri kazanım: $m_{DH}(h_{1DH} - h_{2DH}) = m_{UH}(h_{3TH} - h_{2TH})$

Buharlaştırıcı (evaporatör): $m_r(h_{1S} - h_{4S}) = m_{UH}(h_{2DH} - h_{3DH})$

Yoğuşturucu(kondenser): $m_r(h_{2S} - h_{3S}) = m_{UH}(h_{4TH} - h_{3TH})$

Isı değiştirici: $Q = m_{UH}(h_{5TH} - h_{4TH})$

Karışım: $m_{DH}h_{3DH} + m_{TH}h_{1TH} = m_{UH}h_{2TH}$

$m_{DH}w_{3DH} + m_{TH}w_{1TH} = m_{UH}w_{2TH}$

```
import javax.swing.*;
public class karisim_havasi
{
public static void main(String arg[])
{ double mr=1.0; // kg/s çevrim R134a debisi
double P2=1300.0; // kPa turbin giriş basıncı
double P1=400.0 ; // kPa turbin çıkış basıncı
double dT1i=20.0; // degree C
double eta_isent1i=0.8;
double dT6i=10.0; // degree C
double dPevap1i=10.0; // kPa
double dPevap2i=10.0; // kPa
double dPcond1i=10.0; // kPa
double dPcond2i=10.0; // kPa
double dPcond3i=10.0; // kPa
double dhi=0.0; // kJ/kgK
ref_cycle3c r=new ref_cycle3c("R134a",mr,dT1i,P1,eta_isent1i,P2,dT6i,dPevap1i,dPevap2i,dPcond1i,dPcond2i,dPcond3i,dhi);
System.out.println(""+r);
String ss=" refrigeration cycle per kg/s of refrigerant";
```

```

ss+=" compressor work = "+r.Wp+" kW\n";
ss+=" condenser heat output = "+r.Qcondenser+" kW\n";
ss+=" evaporator heat input = "+r.Qevaporator+" kW\n";
ss+=" COP evaporator = "+r.COP_evaporator+" kW\n";
// wet air process
wetair wa=new wetair();
double ma=1.0;// kg/s
double p=1.01325;// bar

//karışım yüzdesi
//double x=0.2;
//double mDH=1.0;
//double mUH=1.0;
//double mTH=x*mDH;
//Taze hava
double t1TH=15.0;
double w1TH=0.008;
double a[]=wa.property("tdb_w",t1TH,w1TH,p);
double rh1TH=a[6]// derece C
double twb1TH=a[14];
double h1TH=a[8];
//Dönüş havası giriş
double t1DH=25.0;
double w1DH=0.015;
a=wa.property("tdb_w",t1DH,w1DH,p);
double rh1DH=a[6]// derece C
double twb1DH=a[14];
double h1DH=a[8];
//ısı geri kazanım çıkış
double t2DH=21.0;
double w2DH=0.015;
a=wa.property("tdb_w",t2DH,w2DH,p);
double rh2DH=a[6]// derece C
double twb2DH=a[14];
double h2DH=a[8];
// oda giriş
double t6TH=23.0;
double rh6TH=0.45;
a=wa.property("tdb_rh",t6TH,rh6TH,p);
double w6TH=a[5]// derece C
double twb6TH=a[14];
double h6TH=a[8];

//buharlaştırıcı çıkış
double t3DH=5.0;
double rh3DH=1.0;
a=wa.property("tdb_rh",t3DH,rh3DH,p);
double w3DH=a[5]// derece C
double twb3DH=a[14];
double h3DH=a[8];
//karışım noktası
double w2TH=w6TH;

double rh2TH=a[8];
double t2THH=a[1];
double twb2TH=a[14];
double x=(w2TH-w3DH)/(w1TH-w3DH);
double h2TH=x*h1TH+(1-x)*h3DH;
ss+="x="+x+"h2TH="+h2TH+"\n";
double Q1DH_2DH=h1DH-h2DH;
double h3TH=h2TH+Q1DH_2DH;
ss+="h3TH="+h3TH+"\n";
double Q2DH_3DH=h2DH-h3DH;
double y=Q2DH_3DH/r.Qevaporator;
double Q3TH_4TH=y*r.Qcondenser;
double h4TH=h3TH+Q3TH_4TH;

```

```

ss+="h4TH="+h4TH+"\n";
String s="";
ss+="T1TH="+t1TH+" derece C h1TH="+h1TH+" kJ/kg "+\u00D8'+ "1TH =" +rh1TH*100+" % w1TH = "+w1TH+" twb1TH = "+twb1TH+" derece
C\n";
ss+="T6TH="+t6TH+" derece C h6TH="+h6TH+" kJ/kg "+\u00D8'+ "6TH =" +rh6TH*600+" % w6TH = "+w6TH+" twb6TH = "+twb6TH+" derece
C\n";
ss+="T1DH="+t1DH+" derece C h1DH="+h1DH+" kJ/kg "+\u00D8'+ "1DH =" +rh1DH*100+" % w1DH = "+w1DH+" twb1DH = "+twb1DH+" derece
C\n";
ss+="T2DH="+t2DH+" derece C h2DH="+h2DH+" kJ/kg "+\u00D8'+ "2DH =" +rh2DH*200+" % w2DH = "+w2DH+" twb2DH = "+twb2DH+" derece
C\n";
ss+="T3DH="+t3DH+" derece C h3DH="+h3DH+" kJ/kg "+\u00D8'+ "6TH =" +rh3DH*300+" % w3DH = "+w3DH+" twb3DH = "+twb3DH+" derece
C\n";
System.out.println(ss);
}}

```

```

----- Capture Output -----
> "E:\co\java\bin\javaw.exe" karisim_havasi
Wp=33.884915989739056
Qevaporator=166.9068039866325
Qcondenser=200.79171997637155
R134a ideal refrigeration cycle 2
compressor work = 33.884915989739056 kW
condenser heat output = 200.79171997637155 kW
evaporator heat input = 166.9068039866325 kW
COP evaporator = 4.925696260754337
COP condenser = 5.925696260754337
COP evaporator carnot = 6.095479649914876 kW
COP condenser carnot = 7.095479649914875 kW
h1 compressor input = 421.54556822972273 kJ/kg
T1 compressor input = 28.181270204708913 derece C
P1 compressor input = 400.0 kPa
s1 compressor input = 1.783732015025876 kJ/kgK
x1 compressor input = 2.0 kgvapor/kgtotal
h2 compressor input = 455.4304842194618 kJ/kg
T2 compressor output = 77.61647260242621 derece C
P2 compressor output = 1300.0 kPa
s2 compressor output = 1.8032245698402976 kJ/kgK
x2 compressor output = 1.2111415619500265 kgvapor/kgtotal
h5 compressor input = 423.12512772830735 kJ/kg
T5 condenser saturation = 49.15068597896759 derece C
P5 condenser saturation = 1290.0 kPa
s5 condenser saturation = 1.7075775078936113 kJ/kgK
x5 condenser saturation = 0.0 kgvapor/kgtotal
h6 compressor input = 269.8285888516348 kJ/kg
T6 condenser saturation = 48.8429472135294 derece C
P6 condenser saturation = 1280.0 kPa
s6 condenser saturation = 1.2320013360200879 kJ/kgK
x6 condenser saturation = 0.0 kgvapor/kgtotal
h3 turbine input = 254.63876424309024 kJ/kg
T3 turbine input = 38.8429472135294 derece C
P3 turbine input = 1270.0 kPa
s3 turbine input = 1.1841076566237554 kJ/kgK
x3 turbine input = 0.0 kgvapor/kgtotal
h4 turbine output = 254.63876424309024 kJ/kg
T4 turbine output = 7.417001187131379 derece C
s4 turbine output = 1.1949576186597075 kJ/kgK
x4 turbine output = 0.0 kgvapor/kgtotal

refrigeration cycle per kg/s of refrigerant compressor work = 33.884915989739056 kW
condenser heat output = 200.79171997637155 kW
evaporator heat input = 166.9068039866325 kW
COP evaporator = 4.925696260754337
x=0.9462864354668794
h2TH=34.38875552676061 karışım entalpisi

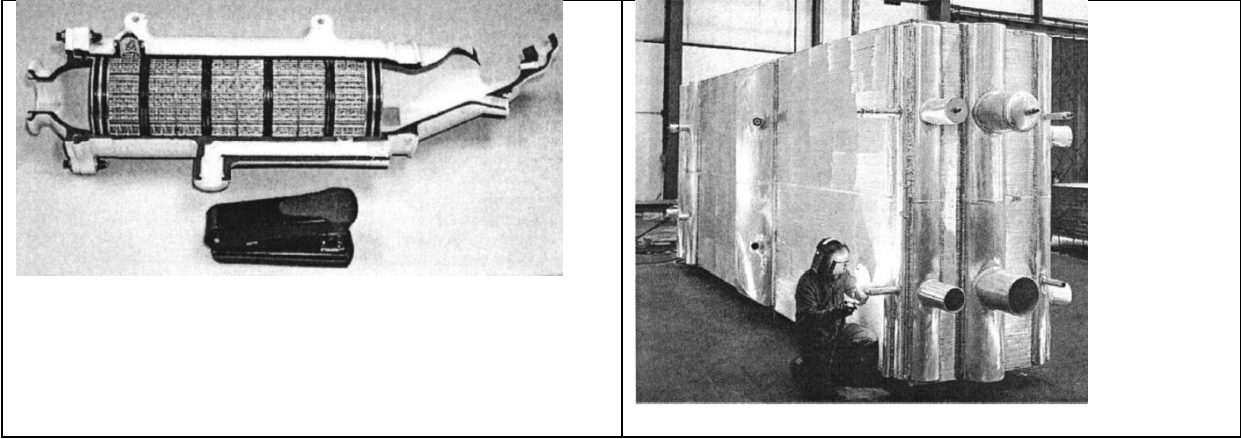
```




2. Isı Geçiş Yüzeyinin Isı Geçiş Hacmine Oranına Göre Sınıflandırma (Kompaktlık Oranı) (β : Yüzey Alanı Yoğunluğu)

$$\beta = \frac{\text{Isı Geçiş Yüzeyi}(m^2)}{\text{Isı Değiştirme hacmi}(m^3)}$$

$\beta > 700(m^2/m^3)$ kompakt



$\beta = 700(m^2/m^3)$ veya $\beta < 700(m^2/m^3)$ kompakt olmayan ısı değiştirici olarak adlandırılırlar.

3. Farklı akışkan – faz sayısına göre sınıflandırma

- 2 Akışkan (Faz)
- 3 Akışkan (Faz)
- n Akışkan (Faz)

Genelde iki akışkanlı ısı değiştiriciler kullanılırlar. Üç akışkanlı ısı değiştiricilere örnek olarak havanın ayrıştırılması, suyun buharlaştırılması ve hidrojenin saflaştırılması verilebilir.

4. Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflandırma

- İki Tarafda da Tek Fazlı Akış (Radyatör, Konvektör)
- Bir Tarafda Tek Fazlı Diğer Tarafda Çift Fazlı Akış (Buharlaştırıcılar-Yoğuşturucular)
- Her İki Tarafda da Çift Fazlı Akış
- Taşınım ve Işınlama Beraber Isı Geçişi

Isı değiştiricinin bir tarafında akışkan olarak yüksek sıcaklıkta gaz kullanılıyorsa radyasyon ve taşınım ile ısı transferi gerçekleşir. (yanma gazları-buhar kazanı)

5. Konstrüksiyon Özelliklerine Göre Sınıflandırma

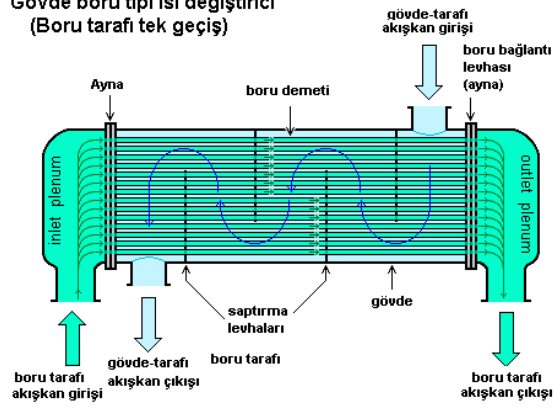
1. Borulu Isı Değiştiriciler

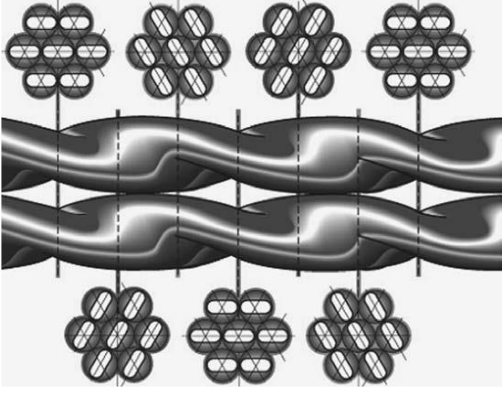
- Düz Borulu Isı Değiştiriciler
- Spiral Borulu Isı Değiştiriciler



- Gövde ve Boru tipi Isı Değiştiriciler

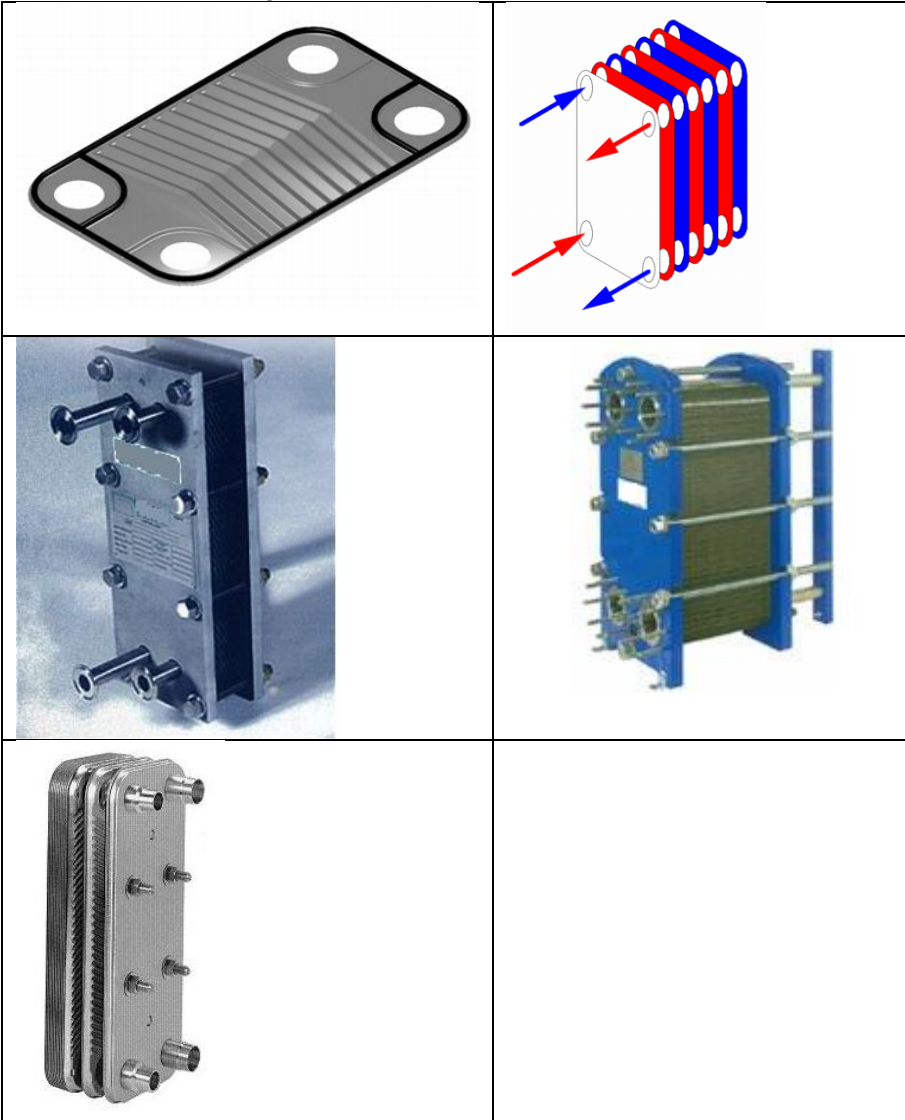
Gövde boru tipi ısı değiştirici
(Boru tarafı tek geçiş)

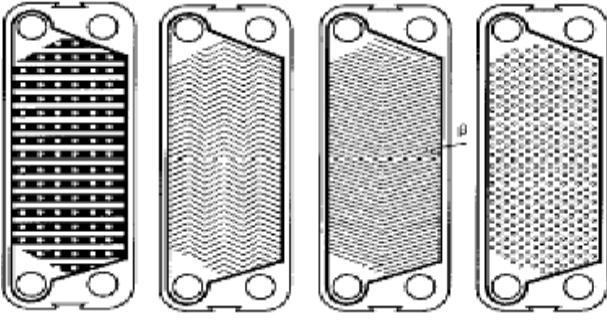




2. Levhalı Isı Değiştiriciler

- Contalı Levhalı Isı Değiştiriciler

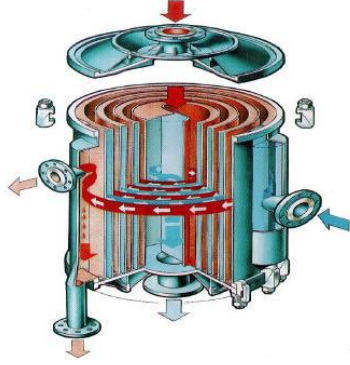




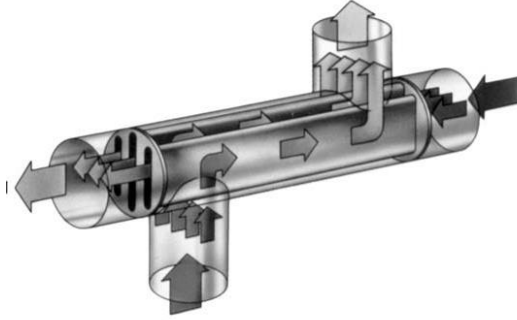
- Gvde-Levhalı ısı değiştiriciler



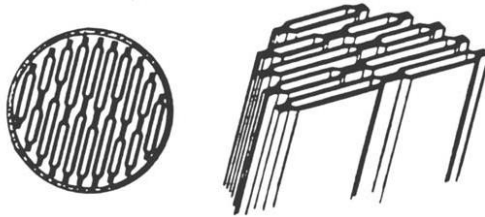
- Spiral Levhalı Isı Değiştiriciler



- Lamelli Levhalı Isı Değiştiriciler

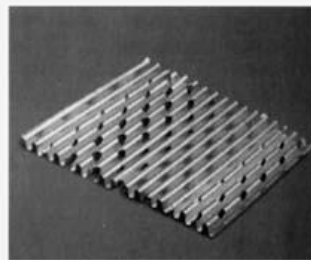
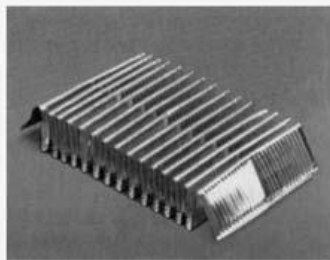
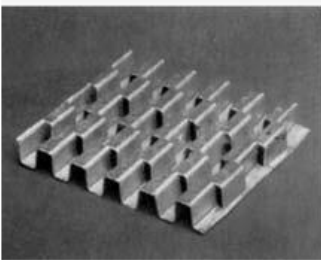
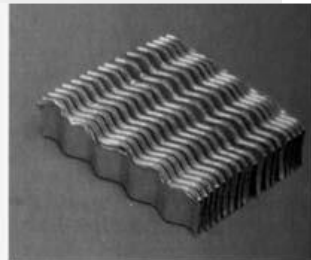
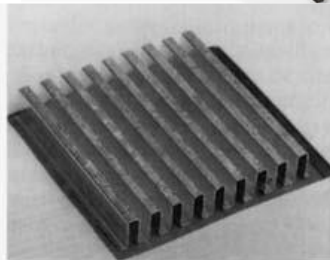
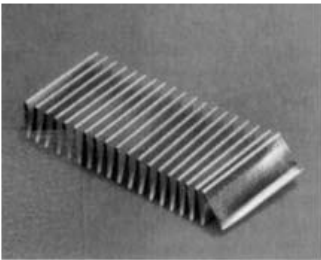
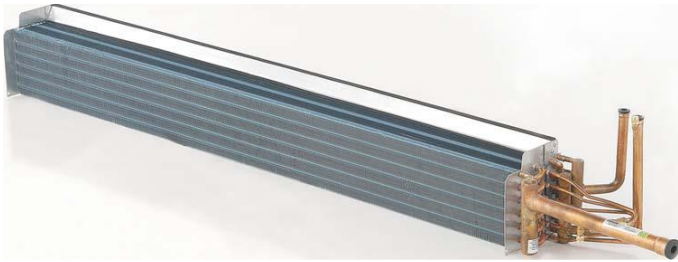


(a)

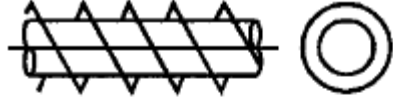


3. Kanatlı Yzeyli Isı Değiştiriciler

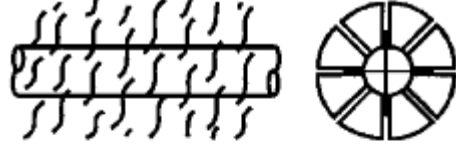
- Levhalı Kanatlı Isı Değiştiriciler



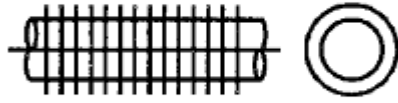
- Borulu Kanatlı Isı Değiştiriciler



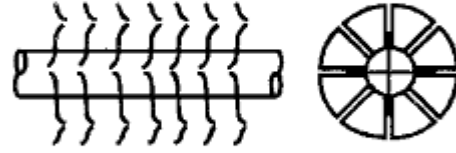
Sarlı dz levha



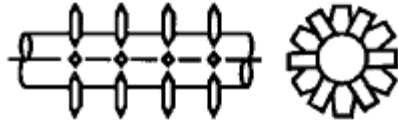
Kesilmiş sarlı



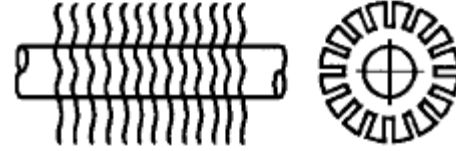
Dairesel



Kesilmiş dairesel



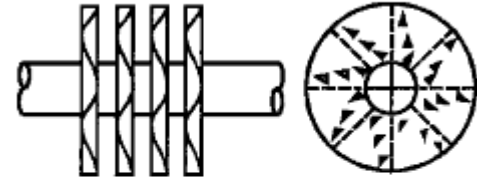
Parçalı



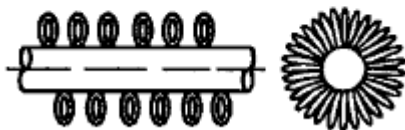
Dalgalı kesik



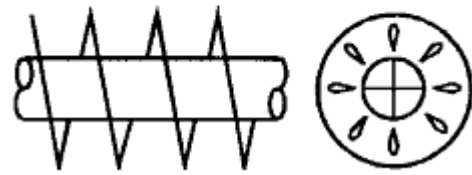
Sarlı



dalgalandırılmış

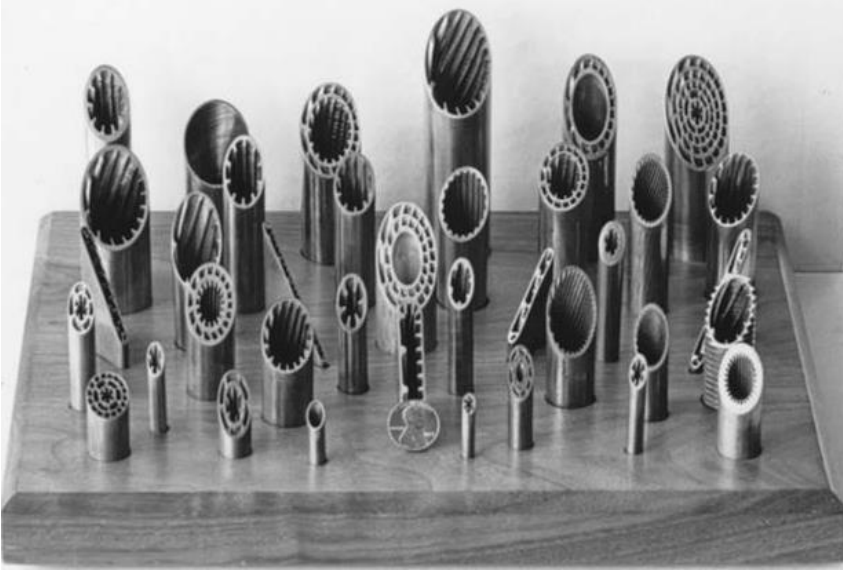


tel



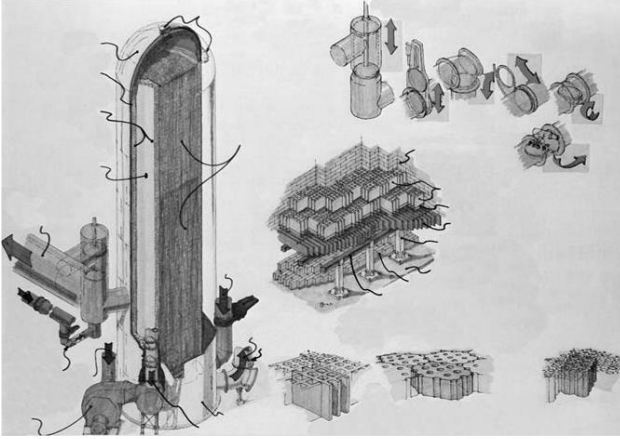
delinmiş sarlı



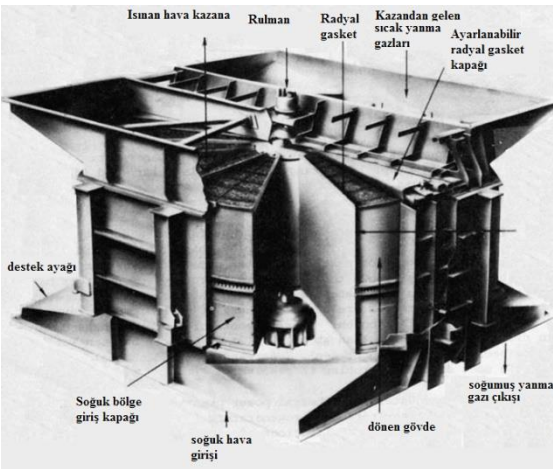


4. Rejeneratif Isı Değiştiriciler

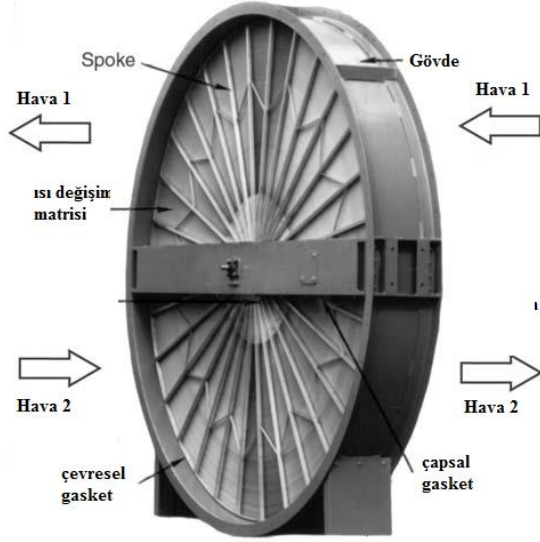
- Sabit Dolgu Maddeli Rejeneratörler



- Döner Dolgu Maddeli Rejeneratörler



Ljungstrom tipi rejeneratif hava ısıtıcıhava

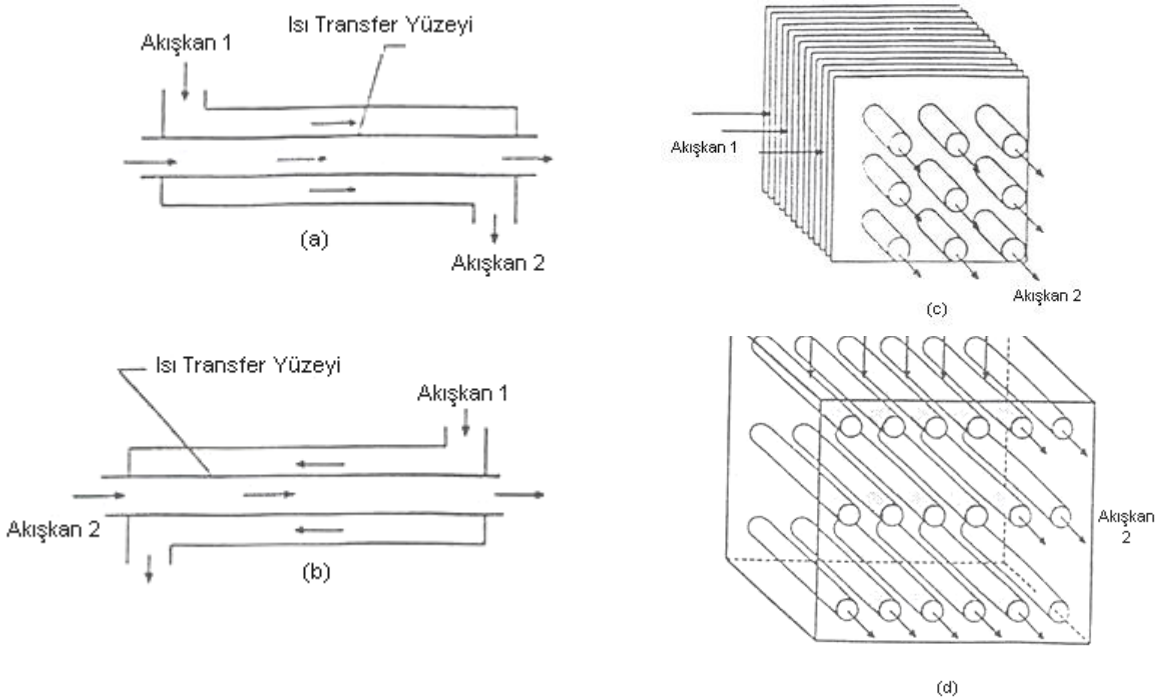


5. Konstrüksiyon Özelliklerine Göre Sınıflandırma

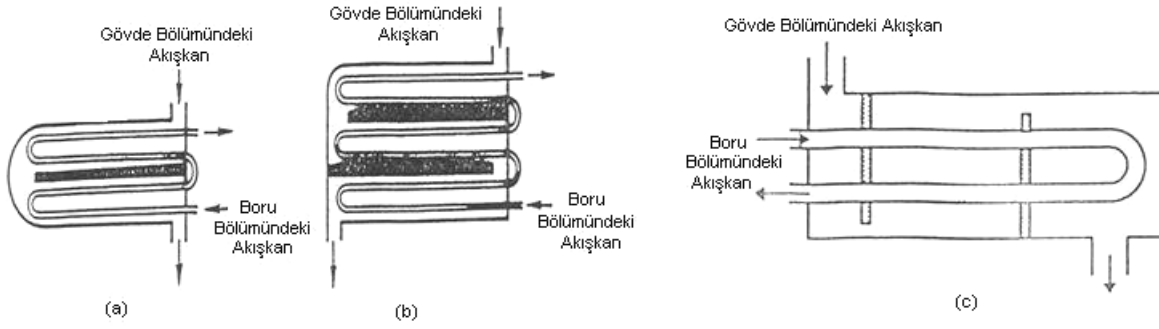
- Tek Geçişli Isı Değiştirciler (en yaygın)
 - Paralel Akımlı Isı Değiştirciler
 - Ters Akımlı Isı Değiştirciler
 - Çapraz Akımlı Isı Değiştirciler
- Çok Geçişli Isı Değiştirciler
 - Çapraz Ters ve Çapraz Paralel Isı Değiştirciler
 - Çok Geçişli Gövde Borulu Isı Değiştirciler
 - n Adet Paralel Levha Geçişli Isı Değiştirciler

Isı değiştircilerin tasarımında en çok karşımıza çıkan problem boyutlandırma ve verimliliklerdir. İncelememizde iki akışkanlı ve direk transfer işlemi içeren ısı değiştircilerini ele alacağız. Verim probleminde elimizde mevcut bir ısı değiştirici için belirli bir kütleli debi, giriş-çıkış sıcaklıkları ve izin verilen basınç kayıpları için akışkan çıkış sıcaklıkları ve transfer edilen enerji miktarı hesaplanır. Hesaplanan bu değerler kullanılarak da sistemin uygun olup olmadığına karar verilir.

Tasarımda karşımıza çıkacak diğer bir sorun da boyutlandırmadır. Bu problemde amacımıza uygun bir ısı değiştirici tipi seçilerek ve bu ısı değiştircide sıcak ve soğuk akışkanların giriş çıkış sıcaklıkları, kütleli debiler ve ΔP belirlenerek bu koşullardaki ısı transferini sağlayacak ısı değiştircinin boyutları hesaplanır. Daha önceki sınıflandırmamızı da dikkate alarak ısı değiştircileri akış düzenlemelerine göre farklı şekilde isimlendirmiştik.



ısı değiştiriciler paralel akışlı, karşıt akışlı ve çapraz akışlı olarak isimlendirilebilirler. Alttaki şekilde çok geçişli akış düzenlemeleri görülmektedir.



Karşıt Akışlı ok Geçişli Düzen

Akış modellerine göre bu şekilde sınıflandırdığımız ısı değiştiricilerde boyutlandırma ve verim hesaplamaları ısı analiz kapsamında değerlendirilir. Ancak ısı değiştiricilerin tam bir tasarımında ise bu temel ısı eşitliklerine ek olarak kurulacak sistemin yapısal ve ekonomik açıdan da incelenmesi gereklidir.

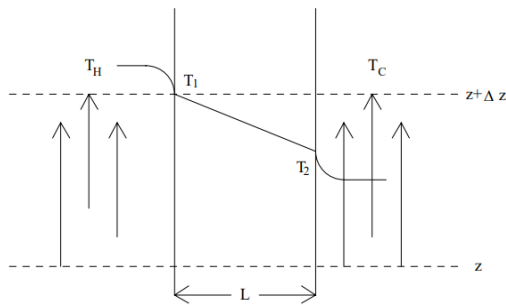
7.2 TOPLAM ISI TRANSFERİ KATSAYISI

Isı değiştiriciler genel olarak tek bir malzemeden yapılırlar, fakat bazen yüzeyler korozyondan koruma amacıyla ikinci bir maddeyle de kaplanabilirler. Isı değiştirici belli bir zaman çalıştığında yüzeyinde çeşitli maddeler birikebilir (kireç, yağ..). Bu durum toplam ısı transferinde ek bir direnç olarak karşımıza çıkar, hatta bazı durumlarda bu dominant direnç mekanizması olabilir. Bu yüzden ısı değiştirici dizaynı yaparken kirlenme faktörleri ile ilgili bilgimiz olmalı ve bunu hesaplamımıza katmalıyız. Aşağıdaki tabloda çeşitli kirlenme faktörleri listelenmiştir.

Yağlar	Rf min m ² K/W	Rf max m ² K/W
Fuel oil #2	0.00035222	
Fuel oil #6	0.000880551	
Debriyaj yağı	0.00017611	
Motor yağı	0.00017611	
Gazlar ve Buharlar	0	
Gaz asitler	0.00035222	0.000528331
Amonyak buharı	0.00017611	
Klorofloro karbon buharları	0.00017611	0.000264165
Klorin buharı	0.00035222	
CO2 buharı	0.00017611	
Basınçlı hava	0.00017611	
hidrojen	8.80551E-05	
Hidrojen su buharı karışımı	0.00035222	
Hafifhidrokarbon buharları	0.00017611	
Doğal gaz	0.00017611	0.00035222
Doğal gaz eksoz gazı	0.000880551	
azot	8.80551E-05	
Polimer buharları	0.000528331	0.005283306
İçinde yağ içeren soğutkan buharı	0.00035222	
Solvent buharı	0.00017611	
su buharı	8.80551E-05	
İçinde yağ içeren su buharı	0.000264165	0.00035222
	Rf min m ² K/W	Rf max m ² K/W
Sıvılar		
Amonyak	0.00017611	
İçinde yağ içeren amonyak	0.000528331	
CO2sıvı	0.00017611	
Klorofloro karbon sıvı	0.00017611	0.00035222
Klorin sıvı	0.00035222	

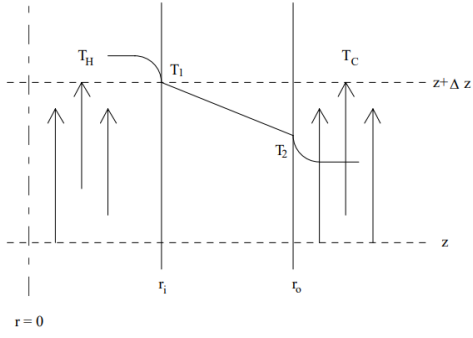
DEG & TEG sıvıları	0.00035222	
Benzin	0.00035222	
Ağır fuel oil	0.000880551	0.001232771
Ağır yağ	0.000528331	0.000880551
Hidrolik yağı	0.00017611	
Gaz yağı	0.00035222	0.000528331
Hafif gaz yağı	0.00035222	0.000528331
Hafif hidrokarbon sıvısı	0.00017611	
MEA & DEA sıvıları	0.00035222	
Naphta ve didilasyon sıvıları	0.00035222	0.000528331
Organic ısı transferi yapğları	0.00035222	
Soğutkan sıvılar	0.00017611	
	Rf	Rf
	m²K/W	m²K/W
Su at 50 C veya daha az	hız <1 m/s	hız > 1 m/s
Kazan suyu	0.00035222	0.00035222
Kirli su	0.00035222	0.00035222
Santral yoğuşma suyu	8.80551E-05	8.80551E-05
Soğutma kulesi suyu (temiz)	0.00017611	0.00017611
Soğutma kulesi suyu (kirli)	0.000528331	0.000528331
Şehir veya kuyu suyu	0.00017611	0.00017611
Nehir suyu (minimum)	0.00035222	0.00017611
Nehir suyu (ortalama)	0.000528331	0.00035222
Nehir suyu (çamurlu)	0.000528331	0.00035222
Deniz suyu	8.80551E-05	8.80551E-05
Kazan besleme suyu	0.00017611	8.80551E-05
50 C den fazla sıcaklıkta su	velocity <1 m/s	velocity > 1 m/s
Kazan suyu	0.00035222	0.00035222
Kirli su	0.000528331	0.00035222
Santral yoğuşma suyu	8.80551E-05	8.80551E-05
Soğutma kulesi suyu (temiz)	0.00035222	0.00035222
Soğutma kulesi suyu (kirli)	0.000880551	0.000704441
Şehir veya kuyu suyu	0.00035222	0.00035222
Nehir suyu (minimum)	0.000528331	0.00035222
Nehir suyu (ortalama)	0.000704441	0.000528331
Nehir suyu (çamurlu)	0.000704441	0.000528331
Deniz suyu	0.00017611	0.00017611
Kazan besleme suyu	0.00017611	0.00017611

Kirlenme faktörü olmayan bir duvar için coefficient :



$$Q_x = \frac{T_H - T_C}{\left(\frac{1}{h_H A}\right) + \left(\frac{L}{kA}\right) + \left(\frac{\Delta x_B}{k_B A}\right) + \left(\frac{\Delta x_C}{k_C A}\right) + \left(\frac{1}{h_C A}\right)} = UA(T_H - T_C)$$

Burada U toplam ısı transfer katsayısı adını alır. Isı değiştiricilerde değişme yzeyi olarak boruların kullanılması oldukça yaygındır. Bu durumda yukarıdaki denklemin silindir koordinatlar için olan eşdeğeri kullanılır.



$$U_i A_i = U_o A_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_H A_i}\right) + \left(\frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L}\right) + \left(\frac{1}{h_C A_o}\right)}$$

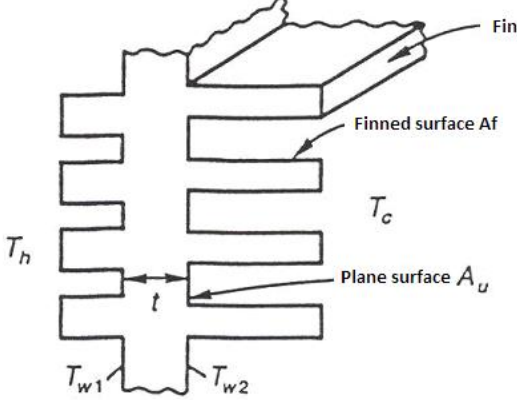
Kirlenme faktörleri de hesaba katıldığında

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = \left(\frac{1}{h_H A_i}\right) + \left(\frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L}\right) + \left(\frac{1}{h_C A_o}\right) + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{R_{fo}}{A_o}$$

Buradaki R_{fi} iç kirlenme faktörü ve R_{fo} dış kirlenme faktörüdür.

$$Q = U_i A_i (T_H - T_C) = U_o A_o (T_H - T_C)$$

Şimdi birde kanat oluşumlarının yüzeyin bir parçası olduğunda ne olduğuna göz atalım.



Eğer kanat verimi η_f , düz yüzey A_u ve kanatlı yüzey A_f ise

$$Q = (\eta_f A_f h_f + A_u h_u) \Delta T \quad \text{Burda } \Delta T = T_H - T_{w1} \text{ or } \Delta T = T_{w2} - T_C \text{ yüzeyin hangi tarafının kanatlı olduğuna bağlı olarak}$$

$$Q = hA \left[1 - \frac{A_f}{A} (1 - \eta_f)\right] \Delta T \text{ veya toplam kanat verimi: } \eta = \left[1 - \frac{A_f}{A} (1 - \eta_f)\right]$$

Şimdi toplam ısı transferi denklemine kanat verimini de ekleyeceğiz.

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = \left(\frac{1}{h_H \eta_i A_i}\right) + \left(\frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L}\right) + \left(\frac{1}{h_C \eta_o A_o}\right) + \frac{R_{fi}}{\eta_i A_i} + \frac{R_{fo}}{\eta_o A_o}$$

PROBLEM: ortalama sıcaklığı $T_i=80$ C ve ortalama hızı $V_m=0.2$ m/s olan motor yağı ince cidarlı bir yatay borunun içinden akmaktadır. Boru iç ve dış çapları $D_i=1.9 \times 10^{-2}$ m ve OD of $D_o=2.29 \times 10^{-2}$ m'dir. Boru dışından sıcaklığı $T_\infty =15$ C ve hızı $V_\infty=5$ m/s olan atmosferik hava akmaktadır. 1 m boru boyu için toplam ısı transferi katsayısını ve ısı transferini hesaplayınız.

Program: `HT_pipe_air_oil.java`

----- Capture Output -----

```
> "D:\co\java\bin\java.exe" HT_pipe_air_oil  
nu=3.7500000000000003E-5k=0.138Pr=0.5793478260869567  
Re oil=101.33333333333333  
hi=26.583157894736843  
h2=48.95423817331114  
Nu2=40.13529381119457  
Um=1.8713401141654942  
Q=120.04646832371641  
to=79.99446421864053  
  
> Terminated with exit code 0.
```

PROBLEM: Ortalama sıcaklığı $T_i=80$ C ve ortalama hızı $V_m=0.2$ m/s olan motor yağı ince cidarlı bir yatay borunun içinden akmaktadır. Boru iç ve dış çapları $D_i=1.9 \times 10^{-2}$ m ve OD of $D_0=2.29 \times 10^{-2}$ m'dir. Boru üzerinde dairesel kanatlar bulunmaktadır. Kanat dış çapı $D=6 \times 10^{-2}$ m ve kanat kalınlığı $t=10^{-3}$ m'dir. Kanatlar arasındaki mesafe 5×10^{-3} m'dir. Boru dışından sıcaklığı $T_\infty =15$ C ve hızı $V_\infty=5$ m/s olan atmosferik hava akmaktadır. 1 m boru boyu için toplam ısı transferi katsayısını ve ısı transferini hesaplayınız.

Program: **HT_pipe_air_oil1.java**

----- Capture Output -----

```
> "D:\co\java\bin\java.exe" HT_pipe_air_oil1  
Rb=0.3816666666666667  
oil nu=3.7500000000000003E-5k=0.138Pr=0.5793478260869567  
Re oil=2533.3333333333333  
Nui=4.916796349629749  
hi=35.711468223626596  
M1=1.3840522476312245  
M0=0.5282466078459174  
eta_fin=0.82832744771129  
h2=48.95423817331114  
Nu2=40.13529381119457  
A_fin=0.004831125474727116A_no_fin=3.5971235883603135E-4  
eta=0.8402239354674457  
Um=2.0085457665028703  
Q=128.84821092115908  
to=79.99976233352493  
  
> Terminated with exit code 0.
```

PROBLEM: Su ortalama sıcaklık $T_i=80$ C ve ortalama hız $V_m=3$ m/s ile bakır bir borudan akmaktadır. Boru iç ve dış çapları of $D_i=1.9 \times 10^{-2}$ ve OD of $D_0=2.29 \times 10^{-2}$ m'dir. Boru üzerinde dairesel kanatlar bulunmaktadır. Kanat dış çapı $D=6 \times 10^{-2}$ m ve kanat kalınlığı $t=10^{-3}$ m'dir. Kanatlar arasındaki mesafe 5×10^{-3} m'dir. Boru dışından sıcaklığı $T_\infty =15$ C ve hızı $V_\infty=5$ m/s olan atmosferik hava akmaktadır. 1 m boru boyu için toplam ısı transferi katsayısını ve ısı transferini hesaplayınız.

Program: **HT_pipe_water.java**

```

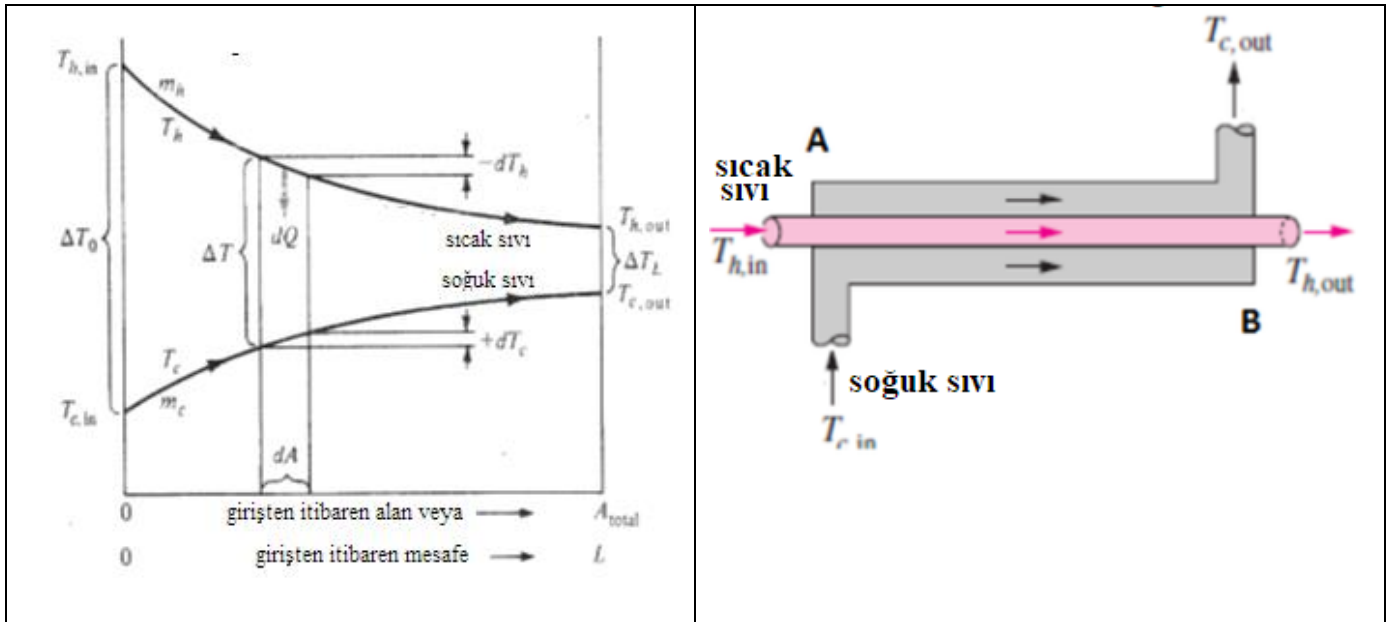
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" HT_pipe_water
Rb=0.3816666666666667
Re water=99574.98625178046
Nui=434.8059684791874
hi=14604.286438448667
M1=1.3840522476312245
M0=0.5282466078459174
eta_fin=0.82832744771129
h2=48.95423817331114
Nu2=40.13529381119457
A_fin=0.004831125474727116A_no_fin=3.5971235883603135E-4
eta=0.8402239354674457
Um=33.45094107268375
Q=2145.8778698126616
to=79.99710060269558

> Terminated with exit code 0.

```

7.3 LOGARİTMİK ORTALAMA SICAKLIK FARKI YÖNTEMİ

Isı değıştircilerin içindeki sıcaklık profiline bakınca bunun sabit olmadığını görüyoruz. Bu durumda ısı transferini hesaplamak için iki sabit sıcaklık noktası mevcut değildir. Değişik yöntemlerle bu zorluğu aşmamız mümkündür. Bu yöntemlerin en yaygın olarak kullanılanı Logaritmil ortalama sıcaklık farkı yöntemidir. Temel olarak $C_p(T) = C_p = \text{sabit}$ yaklaşımından yola çıkan bir analitik integral yöntemidir. Denklemlerin nasıl oluştuğunu anlamak için paralel akışlı iç içe iki boru ısı değıştircisini göz önüne alalım. Bu ısı değıştircinin ortasında küçük diferansiyel bir kısmı inceleyelim. Bu kısmın alanı dA ve ısı transferi dQ olsun. Sıcak ve soğuk sıvıların kütsel debileri de m_c , m_h olsun ve toplam ısı transferi katsayısına da U diyelim. Diferansiyel küçük bir alan aldığımız için ısı transferi hesabı için her iki tarafın sıcaklıklarını sabit olarak kabul edebiliriz ve bu durumda sıcaklık farkı $\Delta T = T_h - T_c$ şeklinde oluşur.



Bu durumda sıcak sıvıdan soğuk sıvıya ısı transferi

$dQ = U dA \Delta T$ Aynı zamanda termodinamiği birinci kanununa göre (enerjinin korunumu yasası) dQ için aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz.

$$dQ = -m_h C_{ph} dT_h \text{ (sıcak sıvı)} \text{ and } dQ = m_c C_{pc} dT_c \text{ (soğuk sıvı)}$$

Denklemlerdeki C_{pc} ve C_{ph} soğuk ve sıcak sıvılar için sabit olarak kabul ettiğimiz sabit basınçta özgül ısılardır. dT_c doğuk ve sıcak sıvıların sıcaklık değişimidir. Aynı zamanda $\Delta T = T_h - T_c$ denklemini göz önüne alıp türevini alırsak $d(\Delta T) = dT_h - dT_c$. Olur. Bunu üstteki denklemlerle birleştirdiğimizde

$$d(\Delta T) = -\frac{dQ}{m_h c_{ph}} - \frac{dQ}{m_c c_{pc}} = -dQ \left[\frac{1}{m_h c_{ph}} + \frac{1}{m_c c_{pc}} \right] \text{ veya } B = \left[\frac{1}{m_h c_{ph}} + \frac{1}{m_c c_{pc}} \right] \text{ tanımını yapacak olursak}$$

$$d(\Delta T) = -B dQ \text{ Bu arada } dQ = U dA \Delta T \text{ olduğunu da hatırlayalım.}$$

$$d(\Delta T) = -B U dA \Delta T \text{ denklemi de\u0131\u0131tirerek } \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -B U dA \text{ elde edilir. Bu denklemi integre edersek}$$

$$\int_{\Delta T_0}^{\Delta T_L} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -B \int_0^{A_t} U dA$$

$$\text{Ortalama ısı transferi katsayısı } U_m = \frac{1}{A_t} \int_0^{A_t} U dA \text{ ve } \int_{\Delta T_0}^{\Delta T_L} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -B U_m A_t$$

$$\ln \left(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_L} \right) = B U_m A_t$$

Aynı zamanda $d(\Delta T) = -B dQ$ diferansiyel ilişkisinin de integralini alabiliriz.

$$\int_{\Delta T_0}^{\Delta T_L} d(\Delta T) = -B \int_0^Q dQ \text{ so}$$

$$\Delta T_0 - \Delta T_L = B Q \text{ bu denklemden B yi elimine edersek B we get}$$

$$Q = U_m A_t \frac{\Delta T_0 - \Delta T_L}{\ln \left(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_L} \right)} = U_m A_t \Delta T_{ln} \text{ denklemi oluşur } \Delta T_{ln} \text{ logaritmik ortalama sıcaklık farkı ismini alır. Bu denklemi}$$

kullanırken C_p =sabit kavramından türetildiği unutulmamalıdır. Sıcaklık profilini (giriş ve çıkış sıcaklık farklarının) çok yüksek olduğu durumlarda bu kabulün oluşturacağı hata miktarı oldukça önemli olabilir. Ek bir önemli nokta da ısı de\u0131iştirici boyunca sıcaklık farkları eşit ise,

$\Delta T_0 = \Delta T_L$ olduğunda, logaritmik ortalama sıcaklık farkı denklemi geçerliliğini yitirecektir. Onun yerine sabit olan sıcaklık farkı kullanılır.

$$Q = U_m A_t \Delta T_0 = U_m A_t \Delta T_L$$

PROBLEM : İç içe iki borulu bir ısı de\u0131iştiricide $m=0.8$ kg/s debideki su $T_i=30$ C den $T_f=80$ C ye ısıtılmaktadır. Sıcak sıvı olarak 120 C de giren ve 85 derecede çıkan sıcak yağ kullanılmaktadır. Toplam ısı transferi katsayısı $U=125$ W/(m²K) olduğuna göre ısı transferini hesaplayınız. Basınç her iki tarafta da 2 bar'dır

$$Q = m[h(T_0) - h(T_i)] \text{ buhar tablosu kullanarak program: } \mathbf{steamTableIF97.java}$$

water and steam IAPWS Industrial formulation 1997

ref no	Property	Value	Units
0	P, pressure	200.0	kPa
1	T, temperature	303.15	deg K
2	v, specific volume	0.0010043226783249158	m ³ /kg
3	h, enthalpy	125.92371781004759	KJ/kg
4	u, internal energy	125.72285327438262	KJ/kg
5	s, entropy	0.4367333918378573	KJ/kgK
6	x, quality	-1.0	kg vap/kg mix
7	Cp, specific heat at constant ...	4.179752552491479	KJ/kgK
8	Cv, specific heat at constant ...	4.117164390601918	KJ/kgK
9	\alpha isobaric thermal expansion ...	3.029625501780504E-4	1/K
10	\kappa isothermal compressibility	4.464949388513845E-7	1/Pa
11	\eta Dynamic viscosity	7.9721968712262E-4	Pa.s
12	k Thermal conductivity	0.615055222436942	W/mK
13	\sigma Surface tension	0.07119415109567316	N/m
14	Prandtl number	5.417694055087645	
15	\rho density	995.6959267990189	kg/m ³
16	speed of sound	1511.1394602627677	m/s

Properties of water and steam

International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS) Industrial formulation 1997

Dr. M. Turhan Çoban, Ege University, School of Engineering, Mechanical Eng. Dept., Izmir, Turkey

email : turhan_coban@yahoo.com web : www.turhancoban.com

Reference: International Steam Tables, Wolfgang Wagner, Hans-Joachim Kretzschmar ISBN 978-3-540-21419-9, Springer 2008

273.15 K <= T <= 1073.15 K && 0 < P <= 100 MPa

1073.15 K <= T <= 2273.15 K && 0 < p <= 50 MPa

select known property pair :

tp	tp
Temperature	80 degree C
Pressure	200 kPa

ref no	Property	Value	Units
0	P, pressure	200.0	kPa
1	T, temperature	353.15	deg K
2	v, specific volume	0.0010289685369951104	m³/kg
3	h, enthalpy	335.07012856607645	KJ/kg
4	u, internal energy	334.8643348586774	KJ/kg
5	s, entropy	1.0752906663117836	KJ/kgK
6	x, quality	-1.0	kg vap/kg mix
7	Cp, specific heat at constant ...	4.195298991380056	KJ/kgK
8	Cv, specific heat at constant ...	3.870141065784111	KJ/kgK
9	α isobaric thermal expansion ...	6.415453729987036E-4	1/K
10	κ isothermal compressibility	4.5996174819744045E-7	1/Pa
11	η Dynamic viscosity	3.5408459955547645E-4	Pa.s
12	k Thermal conductivity	0.6670418360574104	W/mK
13	σ Surface tension	0.06267285496652644	N/m
14	Prandtl number	2.2269829013400133	
15	ρ density	971.8470138263829	kg/m³
16	speed of sound	1557.249682324861	m/s

$$Q = 0.8[335.07012856607645 - 125.92371781004759] = 167317.1 \text{ W}$$

Diğer bir yöntem:

$$C_{pavg} = \frac{C_p(T_0) + C_p(T_i)}{2} = \frac{4.179752552491479 + 4.195298991380056}{2} = 4.187526$$

$$Q = mC_{pavg}[T_0 - T_i] = 0.8 * 4.187526 * (80 - 30) = 167501 \text{ W}$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{50-40}{\ln \frac{55}{40}} = 47.1076 \quad A = \frac{Q}{U\Delta T_{ln}} = \frac{167317.1}{125 * 47.1076} = 28.4144 \text{ m}^2$$

7.4 ε-TRANSFER BİRİM SAYISI(NUMBER OF TRANSFER UNITS-NTU) METODU

Eğer ısı değiştiricinin giriş veya çıkış sıcaklıkları bilinmiyorsa LMTD metodunda sayısal metodlarla (veya deneme yanılma yöntemiyle) çözüme gidilmesi gerekir. NTU metodu bu gerksinmeyi ortadan kaldırır.

$C_h = m_h C_{ph}$ ve $C_c = m_c C_{pc}$ ve $C = \frac{C_{min}}{C_{max}}$ tanımlarını yapalım. Burada C_{min} ve C_{max} C_h ve C_c nin küçük ve büyük değerli olanıdır. Isı değiştirici etkinliği

$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}}$ olarak tanımlanır. Burada Q_{max} termodinamik olarak mümkün olan maksimum ısı transferidir.

Termodinamiğin birinci kanunundan (Enerjinin korunumu) ısı transferi

$$Q = m_h C_{ph}(T_{h1} - T_{h2}) = m_c C_{pc}(T_{c2} - T_{c1})$$

$$Q = C_h(T_{h1} - T_{h2}) = C_c(T_{c2} - T_{c1})$$

Eğer $C_h > C_c$ $C_{max} = C_h$ $C_{min} = C_c$ böylece $(T_{h1} - T_{h2}) < (T_{c2} - T_{c1})$

Eğer $C_h < C_c$ $C_{max} = C_c$ $C_{min} = C_h$ böylece $(T_{h1} - T_{h2}) > (T_{c2} - T_{c1})$

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h1} - T_{c1})$$

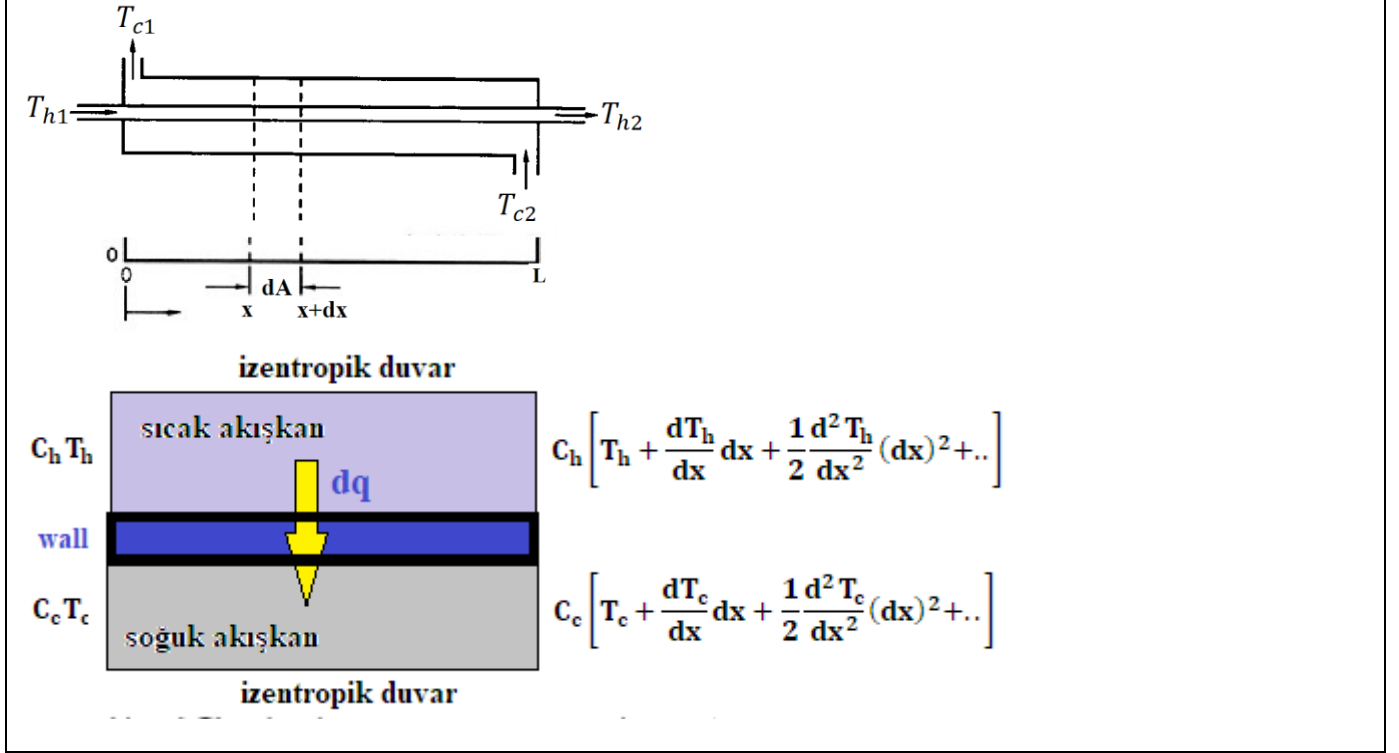
$$\varepsilon = \frac{C_h(T_{h1} - T_{h2})}{C_{min}(T_{h1} - T_{c1})} \quad (\text{burada } C_{min} = C_c \text{ veya } \varepsilon = \frac{C_c(T_{c2} - T_{c1})}{C_{min}(T_{h1} - T_{c1})} \text{ burada } C_{min} = C_h)$$

Bu denklemler tüm ısı değıştiriciler için geçerlidir. Bu yüzden de ısı transferi için genel bir tanımlama verilebilir

$Q = \varepsilon C_{min}(T_{h1} - T_{c1})$ Transfer birim sayısı(Number of transfer units) aşağıdaki denklemle tanımlanır:

$$NTU = \frac{AU}{C_{min}} = \frac{1}{C_{min}} \int_A U dA \text{ yazımda kolaylık olması için deyalı denklem yazımlarında NTU yerine N kullanacağız}$$

(N=NTU)



Şimdi basit bir ters akışlı ısı değıştirici için enerji dengesi denklemlerini oluşturalım.

$$dq = dq_{h-} - dq_{ho} \quad dq = dq_{ci} - dq_{co}$$

$$dq_{hi} = C_h T_{hi} \text{ Taylor denklemini uygularsak}$$

$$dq_{ho} = C_h \left[T_h + \frac{dT_h}{dx} dx + \frac{1}{2} \frac{d^2 T_h}{dx^2} (dx)^2 + \dots \right] \text{ yüksek türevleri ihmal edersek}$$

$$dq_{ho} = C_h \left[T_h + \frac{dT_h}{dx} dx \right]$$

$$dq_{ci} = C_c T_{ci}$$

Benzer olarak Taylor denklemini uygulayarak

$$dq_{co} = C_c \left[T_c + \frac{dT_c}{dx} dx + \frac{1}{2} \frac{d^2 T_c}{dx^2} (dx)^2 + \dots \right] \text{ ve yüksek türevleri ihmal edersek}$$

$$dq_{co} = C_c \left[T_c + \frac{dT_c}{dx} dx \right] \text{ so}$$

$$dq = -C_h dT_h = -C_c dT_c$$

$$d(T_h - T_c) = - \left(\frac{1}{C_h} - \frac{1}{C_c} \right) dq = - \left(1 - \frac{C_h}{C_c} \right) \frac{dq}{C_h}$$

ve ısı transferinden

$$dq = U(T_h, T_c, A_h, A_c, m_h, m_c) dA (T_h - T_c) \text{ ve}$$

$U = U(T_h, T_c, A_h, A_c, m_h, m_c) = U_{average} = \text{sabit}$ varsayımını yaparak ve $dA = A \frac{dx}{L}$ Burada L ısı değıştirici boyudur.

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = \left(\frac{1}{h_i \eta_i A_i} \right) + \left(\frac{\ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{2\pi k L} \right) + \left(\frac{1}{h_c \eta_o A_o} \right) + \frac{R_{fi}}{\eta_i A_i} + \frac{R_{fo}}{\eta_o A_o}$$

$$dq = UA \frac{dx}{L} (T_h - T_c)$$

so $\frac{d(T_h - T_c)}{(T_h - T_c)} = - \left(1 - \frac{C_h}{C_c}\right) \frac{UA dx}{C_h L}$ denklemini integre edersek

$$\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = \exp \left[- \frac{UA}{C_h} \left(1 - \frac{C_h}{C_c}\right) \right] \text{ cebirsel de\u0131işimle}$$

$$\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = \frac{1 - \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c2}}}{1 - \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c2}}} \text{ and } \varepsilon_h = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c2}} \quad \varepsilon_c = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c2}}$$

$$\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = \frac{1 - \varepsilon_h}{1 - \varepsilon_c} = \frac{1 - \varepsilon_h}{1 - \frac{C_h}{C_c} \varepsilon_h} \text{ so}$$

$$\varepsilon_h = \frac{1 - \exp \left[- \left(\frac{UA}{C_h} \right) \left(1 - \frac{C_h}{C_c} \right) \right]}{1 - \left(\frac{C_h}{C_c} \right) \exp \left[- \left(\frac{UA}{C_h} \right) \left(1 - \frac{C_h}{C_c} \right) \right]}$$

$$\varepsilon_c = \left(\frac{C_h}{C_c} \right) \varepsilon_h = \frac{1 - \exp \left[- \left(\frac{UA}{C_c} \right) \left(1 - \frac{C_c}{C_h} \right) \right]}{\left(\frac{C_c}{C_h} \right) - \exp \left[- \left(\frac{UA}{C_c} \right) \left(1 - \frac{C_c}{C_h} \right) \right]}$$

$$\varepsilon_c = \frac{1 - \exp \left[- \left(\frac{UA}{C_c} \right) \left(1 - \frac{C_c}{C_h} \right) \right]}{1 - \left(\frac{C_c}{C_h} \right) \exp \left[- \left(\frac{UA}{C_c} \right) \left(1 - \frac{C_c}{C_h} \right) \right]} \text{ e\u011fer } C_{min} = C_c \quad C = \frac{C_c}{C_h} \text{ or } C_{min} = C_h \quad C = \frac{C_h}{C_c} \quad NTU = N = \left(\frac{UA}{C_{min}} \right)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-N(1-C)]}{1 - C \exp[-N(1-C)]}$$

Bazı $\varepsilon - NTU$ ilişkileri ($N=NTU$, $C=C_{min}/C_{max}$)

Paralel akışlı ısı değiştirici:	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-N(1+C)]}{1+C}$
Paralel akışlı ısı değiştirici: $C=1$	$\varepsilon = \frac{1}{2} [1 - \exp[-N]]$
Ters akışlı ısı değiştirici: $C<1$	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-N(1-C)]}{1 - C \exp[-N(1-C)]}$
Ters akışlı ısı değiştirici: $C=1$	$\varepsilon = \frac{N}{1+N}$
Gövde & Boru tipi I.D: (bir gövde geçiş (2,4,.. boru geçiş))	$\varepsilon_1 = 2 \left\{ 1 + C + (1 + C^2)^{1/2} \frac{1 + \exp[-N_1(1+C^2)^{1/2}]}{1 - \exp[-N_1(1+C^2)^{1/2}]} \right\}^{-1}$
Gövde & Boru tipi I.D: (n gövde geçiş (2,4,.. boru geçiş))	$\varepsilon = \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - 1 \right] \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - C \right]^{-1}$
Dik akış tek geçiş I.D. (Yaklaşım formülü?)	$\varepsilon = 1 - \exp \left[\frac{1}{C} N^{0.22} \{ \exp(-CN^{0.78}) - 1 \} \right]$

Her iki akışkan karışmıyor	
Dik akış tek geçiş I.D. Her iki akışkan karışmıyor	$\varepsilon = 1 - \exp[-N] - \exp[-(1+C)N] \sum_{j=1}^n C^j P_n(N)$ $P_n(y) = \frac{1}{(n+1)!} \sum_{j=1}^n \frac{(n+1-j)}{j!} y^{n+j}$
Dik akış tek geçiş I.D. C _{max} (karışıyor) , C _{min} (karışmıyor)	$\varepsilon = \left(\frac{1}{C}\right) (1 - \exp\{-C[1 - \exp(-N)]\})$
Dik akış tek geçiş I.D. C _{max} (karışmıyor) , C _{min} (karışıyor)	$\varepsilon = (1 - \exp\{-[1 - \exp(-CN)]/C\})$
Dik akış tek geçiş I.D. İki akışkan da karışıyor	$\varepsilon = \left[\frac{1}{[1 - \exp[-N]]} + \frac{C}{[1 - \exp(-CN)]} - \frac{1}{N} \right]^{-1}$

Paralel akışlı ısı değiştirici:	$N = \frac{\ln[1-\varepsilon(1+C)]}{(1+C)}$
Ters akışlı ısı değiştirici: C<1	$N = \frac{1}{(C-1)} \ln \left[\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon C-1} \right]$
Ters akışlı ısı değiştirici: C=1	$N = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$
Gövde & Boru tipi I.D: (bir gövde geçiş (2,4,.. boru geçiş))	$E = \frac{2/\varepsilon_1 - (1+C)}{(1+C^2)^{1/2}} \quad N_1 = -(1+C^2)^{-1/2} \ln \left(\frac{E-1}{E+1} \right)$
Gövde & Boru tipi I.D: (n gövde geçiş (2,4,.. boru geçiş))	$\varepsilon_1 = \frac{F-1}{F+C} \quad F = \left(\frac{\varepsilon C-1}{\varepsilon-1} \right)^{1/n} \quad N=nN_1$
Dik akış tek geçiş I.D. Her iki akışkan karışmıyor	
Dik akış tek geçiş I.D.	$N = -\ln \left[1 + \left(\frac{1}{C} \right) \ln(1 - \varepsilon C) \right]$

$C_{\max}(\text{karışıyor})$ $C_{\min}(\text{karışmıyor})$,	
Dik akış tek geçiş I.D.		$N = - \left(\frac{1}{C} \right) \ln [C \ln(1 - \varepsilon) + 1]$
$C_{\max}(\text{karışmıyor})$ $C_{\min}(\text{karışıyor})$,	

PROBLEM: Ters akışlı bir ısı değıştiricisinin yüzey alanı $A=12.5 \text{ m}^2$ 'dir. Isı değıştiricisi yağ [$C_{ph}=2000 \text{ J/kgK}$] soğutmaktadır. Soğuk akışkan sudur [$C_{pc}=4170 \text{ J/kgK}$]. Yağ $T_{h,in}=100 \text{ C}$ sıcaklığında ve $m_h=2 \text{ kg/s}$ debisinde girmektedir. Su giriş sıcaklığı $T_{c,in}=20 \text{ C}$ ve giri debisi 0.48 kg/s dir. Toplam ısı transfer katsayısı $U_m=400 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ dir. Suyun çıkış sıcaklığını ve toplam ısı transferini hesaplayınız.

A		12.5	m^2
U		400	$\text{W/m}^2\text{K}$
T _{cin}		20	C
T _{hin}		100	C
C _{pc}		4170	J/(kgK)
C _{ph}		2000	J/(kgK)
Ch	$m_h * C_{ph}$	4000	C _{max}
Cc	$m_c * C_{pc}$	2001.6	C _{min}
$C=C_{\min}/C_{\max}$		0.5004	
N	AU/C_{\min}	2.498002	
ε		0.832516	
T _{c,out}		86.60129	
Q	$C_{\min}\Delta T$	133309.2	W

PROBLEM: Dik akışlı bir ısı değıştiricisinin yüzey alanı $A=12.5 \text{ m}^2$ 'dir. Isı değıştiricisi yağ [$C_{ph}=2000 \text{ J/kgK}$] soğutmaktadır. Soğuk akışkan sudur [$C_{pc}=4170 \text{ J/kgK}$]. Yağ $T_{h,in}=100 \text{ C}$ sıcaklığında ve $m_h=2 \text{ kg/s}$ debisinde girmektedir. Su giriş sıcaklığı $T_{c,in}=20 \text{ C}$ ve giri debisi 0.48 kg/s dir. Toplam ısı transfer katsayısı $U_m=400 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ dir. Suyun çıkış sıcaklığını ve toplam ısı transferini hesaplayınız.

A		12.5	m^2
U		400	$\text{W/m}^2\text{K}$
T _{cin}		20	C
T _{hin}		100	C
C _{pc}		4170	J/(kgK)
C _{ph}		2000	J/(kgK)
Ch	$m_h * C_{ph}$	4000	C _{max}
Cc	$m_c * C_{pc}$	2001.6	C _{min}
$C=C_{\min}/C_{\max}$		0.5004	
N	AU/C_{\min}	2.498002	

Program. eps_NTU.java

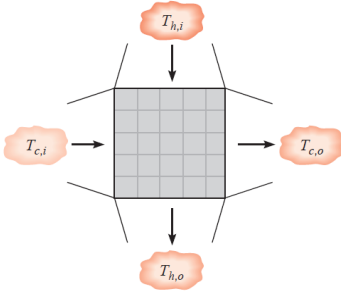
```

----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" eps_NTU
eps1=0.8130722886886853eps2=0.7908347275793921

> Terminated with exit code 0.

```

PROBLEM



Sıcak eksoz gazları kanatlı borulu dik akışlı bir ısı değiştiriciye 300 C da girmekte ve 100 C de çıkmaktadır. Boru tarafında basınçlı 1 kg/s su 25 C den 125 C ye ısıtılmaktadır. Gaz tarafı yüzeyi üzerinden toplam ısı transferi katsayısı $U_h=100 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak verildiğine göre gerekli A_h

Yüzey alanine hesaplayınız.

Not: bu durumda NTU denklemi verilmemiş olduğundan kök bulma yöntemi ile bulunacaktır.

Program: eps_NTU

```

----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" eps_NTU
Tc average = 80.0
Cpc = 4195.079645877253 J/kgK
q=377557.16812895273 Watt
C=0.45Cc=4195.079645877253Ch=1887.7858406447638Cmin=1887.7858406447638
qmax=500263.2477708624 Watt
eps=0.7547169811320754
NTU=1.9328542635589838
A=36.48814910776512 m^2
eps1=0.7547169856306125

> Terminated with exit code 0.

```

Bir önceki alt bölümde Logaritmik ortalama sıcaklık farkı verilmişti:

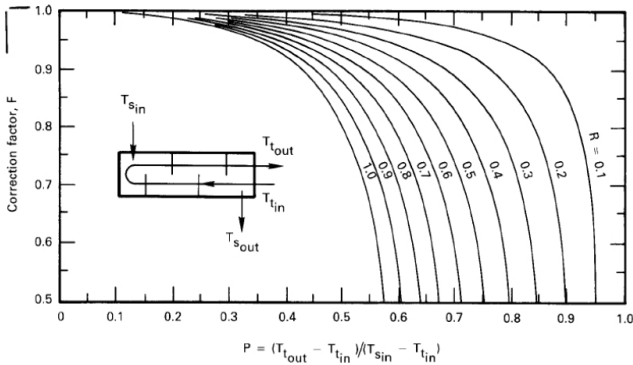
$$Q = U_m A_t \frac{\Delta T_0 - \Delta T_L}{\ln\left(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_L}\right)} = U_m A_t \Delta T_{ln}$$

Çeşitli ısı değiştiricileri için ϵ -NTU metodu bir düzeltme faktörü hesaplayabilmek için kullanılabilir.

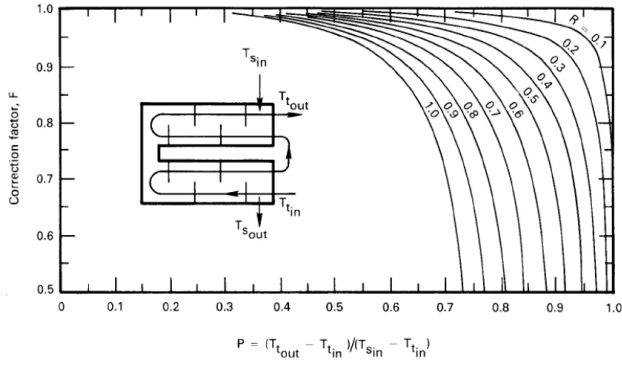
$$Q = F U_m A_t \frac{\Delta T_0 - \Delta T_L}{\ln\left(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_L}\right)} = F U_m A_t \Delta T_{ln}$$

$$F = \frac{NTU_{counter\ flow}}{NTU}$$

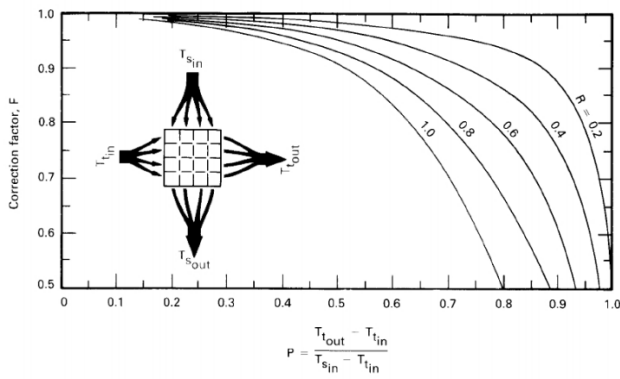
Bazı düzeltme faktörleri grafik formunda altta verilmiştir:



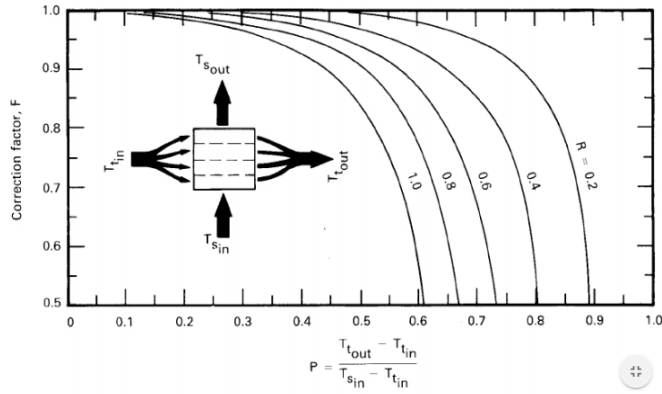
Bir gövde iki boru geçişli gövde ve boru tipi I.D.



İki gövde iki boru geçişli gövde ve boru tipi I.D.



Dik akışlı iki sıvı da karışmıyor I.D.



Dik akışlı bir sıvı karışıyor I.D.

PROBLEM: Dik akışlı bir ısı değiştirici $m_h=1$ kg/s debisindeki suyu $T_{1h}=75$ C den $T_{2h}=50$ C ye soğutmaktadır. Diğer taraftaki soğutma suyu giriş sıcaklığı $T_{1c}=20$ C ve debisi $m_c=1$ kg/s dir. Dış taraf üzerinden toplam ortalama ısı transferi katsayısı $U_o=500$ W/m²K olarak bulunmuştur. Isı transferi alanını LMTD metodu ve düzeltme katsayısı kullanarak bulunuz. Su basınçları $P_h=300$ kPa ve $P_c=300$ kPa olarak verilmiştir.

Program: **HT_LMTD_F_cross.java**

```

----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" HT_LMTD_F_cross
Th average = 62.5
Cph = 4183.459304365295 J/kgK
Cpc = 4178.868474471499 J/kgK
C=0.9989026235084909Cc=4178.868474471499Ch=4183.459304365295Cmin=4178.868474471499
Qmax=229837.76609593246 Watt
eps=0.4550448100225566
NTU=0.86796401463449
NTU_counter=0.8346309227567256

```

```
F=0.9615962282816513
dTln=28.83467992826911
A=7.254214915463464 m^2
```

```
> Terminated with exit code 0.
```

PROBLEM: Bir gövde ve iki boru geçişli bir Gövde & boru tipi ısı değiştirici $m_h=10$ kg/s debisindeki suyu $T_{1h}=75$ C den $T_{2h}=50$ C ye soğutmaktadır. Diğer taraftaki soğutma suyu giriş sıcaklığı $T_{1c}=20$ C ve debisi $m_c=10$ kg/s dir. Dış taraf üzerinden toplam ortalama ısı transferi katsayısı $U_o=500$ W/m²K olarak bulunmuştur. Isı transferi alanını LMTD metodu ve düzeltme katsayısı kullanarak bulunuz. Su basınçları $P_h=300$ kPa ve $P_c=300$ kPa olarak verilmiştir.

Program: **HT_LMTD_F_shell_and_tube.java**

```
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" HT_LMTD_F_shell_and_tube
Th average = 62.5
Cph = 4183.459304365295 J/kgK
Cpc = 4178.868474471499 J/kgK
C=0.9989026235084909Cc=4178.868474471499Ch=4183.459304365295Cmin=4178.868474471499
Qmax=229837.76609593246 Watt
eps=0.4550448100225566
NTU=0.9585637148222919
NTU_counter=0.8346309227567256
F=0.870709906760301
dTln=26.109338549165557
A=8.011423377286203 m^2
> Terminated with exit code 0.
```

7.5 SONLU FARK YAKLAŞIMLARI

Sonlu fark yaklaşımında ısı değiştirici analizinde diferansiyel fark denklemlerinden yararlanılır. İntegrasyon yerine adım adım ekleyerek ısı değiştirici profilinin çözümüne gidilir. Probleme örneklerle yaklaşarak göz atalım. İlk olarak paralel akışlı iç içe iki boru ısı değiştiriciyi göz önüne alalım. Sonlu fark adımı için ID alanının ΔA_i olduğunu ve sıcaklıkların T_{hi} ve T_{ci} olduğunu varsayalım. Bu adım için toplam ısı transferi katsayısı $U_i = U_i(T_{hi}, T_{ci}, m_h, m_c, D_h, D_c, \epsilon_h, \epsilon_c)$ denkleminde hesaplanabilir. Bu denklemin tüm sırası değiştirici için ortalama değer olmayıp yerel değer olduğunun altını çizmekte yarar görüyoruz. Denklemdaki m_h ve m_c kütleli debiler, D_h ve D_c boru çapları veya hidrolik çaplar, ϵ_h, ϵ_c yüzey pürüzlülüğüdür. ΔA_i yüzeyi için ısı transferi

$$\Delta Q_i = -(m_h C_{ph})_i [T_{hi+1} - T_{hi}] = (m_c C_{pc})_i [T_{ci+1} - T_{ci}]$$

$$\Delta Q_i = U_i(T_{hi}, T_{ci}, m_h, m_c, A_h, A) \Delta A_i [T_{hi} - T_{ci}]$$

Paralel akışlı ısı değiştirici için başlangıç sıcaklıklarını biliyorsak (T_{h0} and T_{c0}) $i=0$ dan başlayarak bir sonraki adımın sıcaklık değerlerine (T_{hi+1} ve T_{ci+1}) ulaşabiliriz.

$$T_{hi+1} = T_{hi} - \frac{\Delta Q_i}{(m_h C_{ph})_i} \quad \text{and} \quad T_{ci+1} = T_{ci} + \frac{\Delta Q_i}{(m_c C_{pc})_i}$$

Baın. Düşümü de ısı değiştiriciler için oldukça önemli bir parametre olduğundan her adımda basınç düşümünü de hesaplayarak işleme devam edebiliriz.

$$\Delta P_{hi} = f_{hi} \rho_{hi} \frac{\Delta x_i U_{hi}^2}{D} \frac{1}{2} \quad \Delta P_{ci} = f_{ci} \rho_{ci} \frac{\Delta x_i U_{ci}^2}{D} \frac{1}{2}$$

Bu hesaplama yöntemiyle adım adım ısı değiştirici profilini aynı zamanda da toplam ısı transferini ve basınç düşümünü bulabiliriz.

$$Q = \sum_{i=0}^N \Delta Q_i$$

$$P_h = \sum_{i=0}^N \Delta P_{hi} \quad P_c = \sum_{i=0}^N \Delta P_{ci}$$

Ters akışlı ısı değiştiricide eğer yine sadece giriş sıcaklıkları biliniyorsa sayısal metotlarda atış problemi denen teknik kullanılarak çözüme gidilmesi gerekir. Önce çıkış değeri için bir tahmin verilir ve buna karşı gelen giriş değeri hesaplanır bu işlem yinelenerek hangi çıkış sıcaklığı için verilen giriş sıcaklığının oluştuğu hesaplanır ve bu sıcaklık içi son bir kere tekrar çözüm yapılır.

Program: **doublepipeheatexchanger.java, doublepipeheatexchangertest.java**

----- Capture Output -----

> "D:\co\java\bin\java.exe" doublepipeheatexchangertest

Heat exchanger

akış = ters

pipe inlet fluid = su

pipe outlet fluid = su

pipe fouling factors : 1.0E-6

pipe inlet diameter : 0.0111

pipe outlet diameter : 0.0127

pressure drop : 40743.27460718637

average heat transfer coefficient : 1194.6339380548

Heat transfer : 16207.09052621235

Heat exchanger area : 0.40097717834093327

cold fluid inlet-outlet temperature :

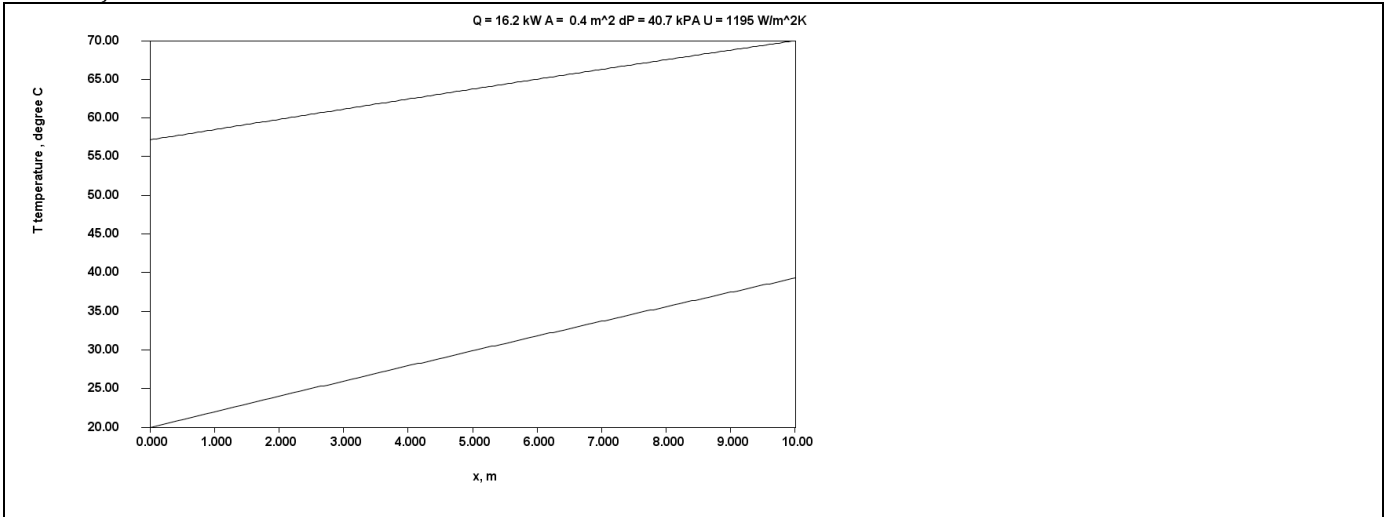
20.0 39.29049595360039

hot fluid inlet-outlet temperature :

57.157157146505554 70.00001981618857

> Terminated with exit code 0.

Ters akış:



Parallel flow

----- Capture Output -----

> "D:\co\java\bin\java.exe" doublepipeheatexchangertest

Heat exchanger

akış = paralel

pipe inlet fluid = su

pipe outlet fluid = su

pipe fouling factors : 1.0E-6

pipe inlet diameter : 0.0111

pipe outlet diameter : 0.0127

pressure drop : 40572.32416105852

average heat transfer coefficient : 1190.4524654482157

Heat transfer : 15423.98145533703

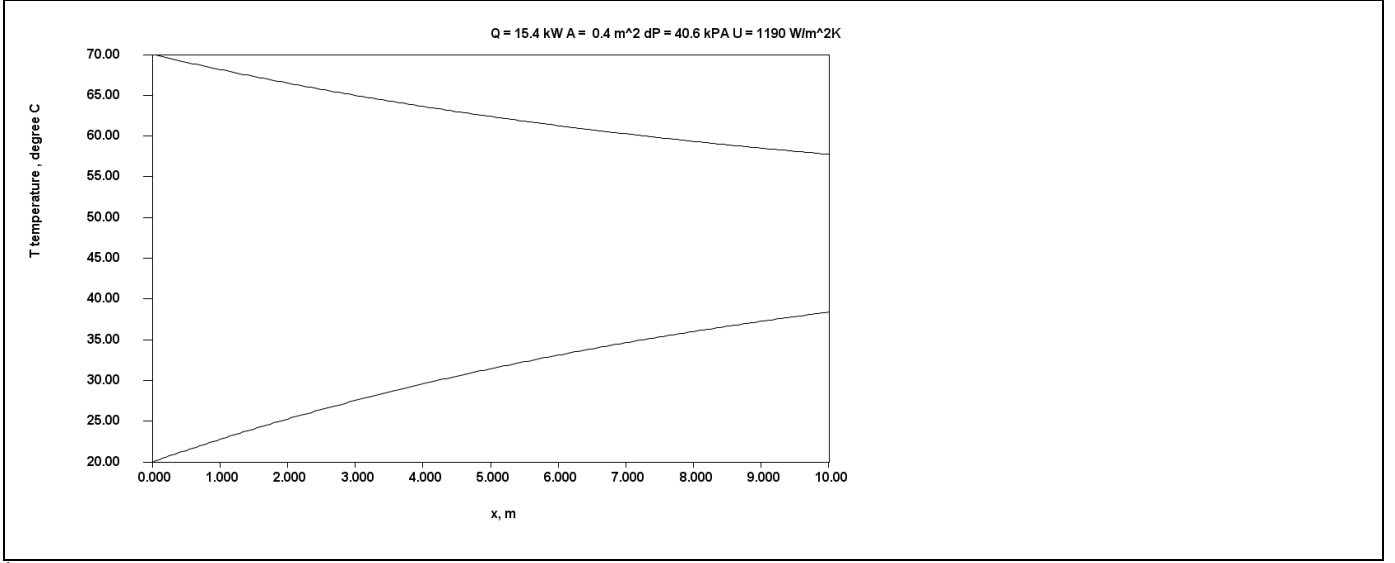
Heat exchanger area : 0.40097717834093327

cold fluid inlet-outlet temperature :

20.0 38.3913649191702

hot fluid inlet-outlet temperature :

70.0 57.75609013888047



İki fazlı bir ısı değıştircinin sonlu farklar yöntemi ile hesabı yapılırken ana değışken olarak sıcaklık yerine entalpi alınır. Böylece faz değıştirme bölgesini rahatlıkla hesaplayabiliriz. Elbette bu bölgede hesap yaparken elimizde faz değıştiren akışkanın hal denklemi programlarını girdi olarak mevcut bulunması gereklidir.

$$\Delta Q_i = -(m_h)_i [h_{hi+1} - h_{hi}] = (m_c c_{pc})_i [T_{ci+1} - T_{ci}]$$

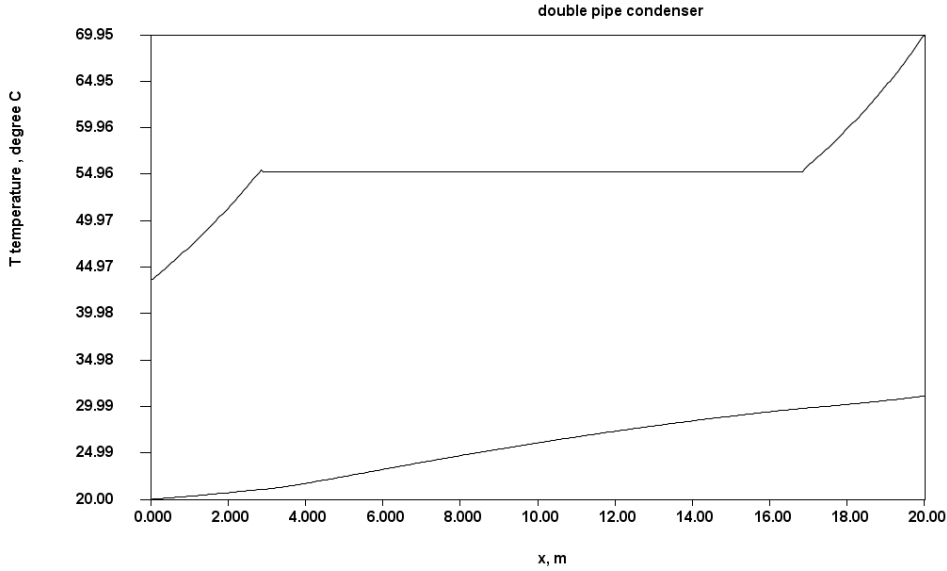
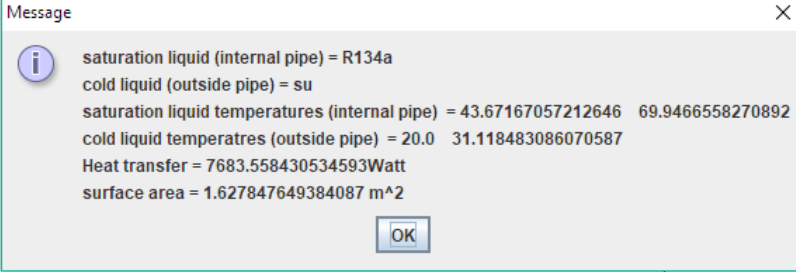
$$\Delta Q_i = U_i (T_{hi}, T_{ci}, m_h, m_c, D_h, D_c, \epsilon_h, \epsilon_c) \Delta A_i [T_{hi} - T_{ci}]$$

$$h_{hi+1} = h_{hi} - \frac{\Delta Q_i}{m_h} \text{ ve } T_{ci+1} = T_{ci} - \frac{\Delta Q_i}{(m_c c_{pc})_i} h_{hi+1} \text{ değerinden ve basınçtan sıcaklık ve diğer termodinamik}$$

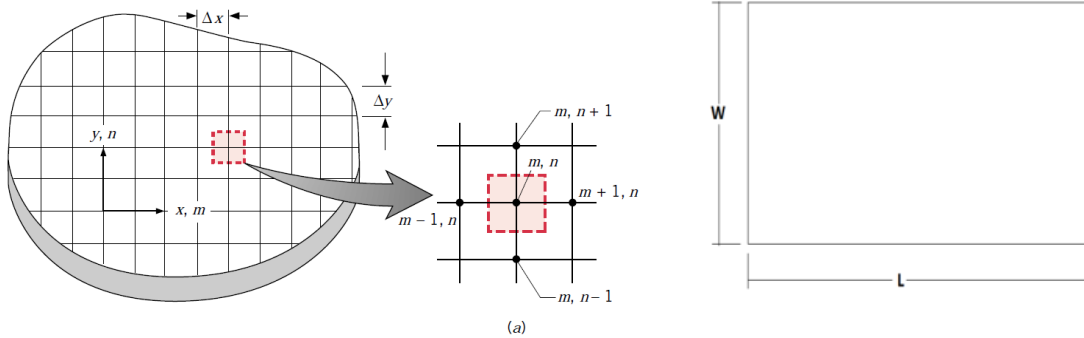
özellikler hesaplanabilir.

Program: doublepipecondenser.java

```
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" doublepipecondenser
i=0tout=49.33333333333333tin=83.7625122497982
i=1tout=48.66666666666667tin=81.13717141300293
i=2tout=48.0tin=79.77844621840916
i=3tout=47.33333333333333tin=78.64875546855869
i=4tout=46.66666666666667tin=76.77207535750125
i=5tout=46.0tin=75.00567494331504
i=6tout=45.33333333333333tin=73.6733194237354
i=7tout=44.66666666666667tin=72.71120003438882
i=8tout=44.0tin=70.48355439330206
i=9tout=43.33333333333333tin=69.58201239349478
i=10tout=42.66666666666667tin=68.18803099955473
i=11tout=42.0tin=66.80060461199444
i=12tout=41.33333333333333tin=65.73364561235323
i=13tout=40.66666666666667tin=64.28606408927867
i=14tout=40.0tin=62.98735151866717
i=15tout=39.33333333333333tin=61.833038394321015
i=16tout=38.66666666666667tin=60.660785045863776
i=17tout=38.0tin=59.19679514902403
i=18tout=37.33333333333333tin=58.3363361340472
i=19tout=36.66666666666667tin=56.96242061158853
i=20tout=36.0tin=55.84439441539124
i=21tout=35.33333333333333tin=55.232788492883934
i=22tout=34.66666666666667tin=55.232788492883934
i=23tout=34.0tin=55.232788492883934
i=24tout=33.33333333333333tin=55.232788492883934
```

Şimdi iki boyutlu bir sonlu farklar problemine göz atalım. Bir binadan atılan atık ısının geri kazanılması için hava-hava ısı değiştiricileri kullanılır. Bu değiştiricilerde düz levhaların bir tarafından sıcak hava geçerken bir sonraki levhadan dik konumda soğuk hava geçer. Sıcaklık profili 2 boyutludur. Grid parametresi olarak m, n (x ve y doğrultuları için) kullanacağız. Levhalarımızın $W \times L$ boyutunda olduğunu varsaydık.



Temel ısı transferi denklemi (ısı akışı z doğrultusundadır)

$$\Delta Q_{m,n} = U_{m,n} \Delta A_{m,n} [T_{hm,n} - T_{cm,n}]$$

$$x = m * \Delta x \quad y = n * \Delta y$$

Sınır şartları

$$T_{hm,n} = T_{y0} = \text{sabit}$$

$$T_{cm,n} = T_{x0} = \text{sabit}$$

Burada sabit yerine değişken bir profil alınabilir.

$$\text{Levha kalınlığı} = \Delta z$$

Levhalar arasındaki simetriden dolayı levhanın her iki tarafında $\frac{\Delta z}{2}$ mesafesi hesap için göz önüne alınacaktır. Levha katmanları arasındaki proses eşdeğer olduğundan z boyutu sınır tabakasının isentropik olduğunu kabul edebiliriz.

$$\Delta m_{hm,n} = \frac{1}{2} \frac{m_h}{L} \quad \Delta m_{cm,n} = \frac{1}{2} \frac{m_c}{W} \quad \text{eğer } W=L \text{ kabulü yapılırsa bu durumda } \Delta m_{cm,n} = \frac{1}{2} \frac{m_c}{L} \text{ ve } \Delta x = \Delta y \text{ olur.}$$

$$\Delta m_{hm,n} = \rho_h (T_{hm,n}) \frac{\Delta z}{2} \Delta x V_{hm,n} \quad \Delta m_{cm,n} = \rho_c (T_{cm,n}) \frac{\Delta z}{2} \Delta x V_{cm,n}$$

$$\Delta Q_{m,n} = \Delta m_{hm,n} C_{p,h,m,n} (T_{h(m+1),n} - T_{hm,n}) \quad \Delta Q_{m,n} = \Delta m_{cm,n} C_{p,c,m,n} (T_{hm,(n+1)} - T_{hm,n})$$

Bir köşedeki sıcaklık profili bilindiğinden buradan başlayarak tüm levhanın sıcaklık profili ve ısı transferine ulaşılır.

PROBLEM: Bir ısı geri kazanım ısıdeğiştiricide aşağıdaki özellikler tanımlanmıştır

: $m_h = 0.636 \text{ kg/s}$ $m_c = 0.54 \text{ kg/s}$ $W=0.5 \text{ m}$ $L=0.5 \text{ m}$ channel heigh $dZ=2.25 \text{ mm}$, levha sayısı $N=140$ ve giriş sıcaklıkları 80 C ve 30 C . Sıcaklık profilini hesaplayınız.

Program: recuperator1.java recuperator1test.java

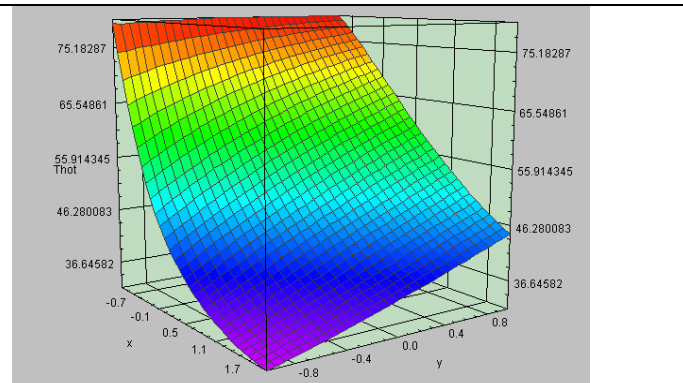
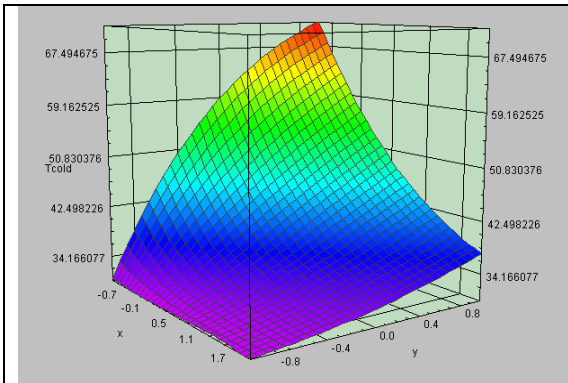
```
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" recuperator1test
n_x=41n_y=21L=0.8W=0.4
Thotout=37.86538192287644
Tcoldout=50.925562100756515
Q=-4313.188435010662
Thot inlet=30.0Thot exit=37.86538192287644
Tcold inlet=80.0Tcold exit=50.925562100756515
```

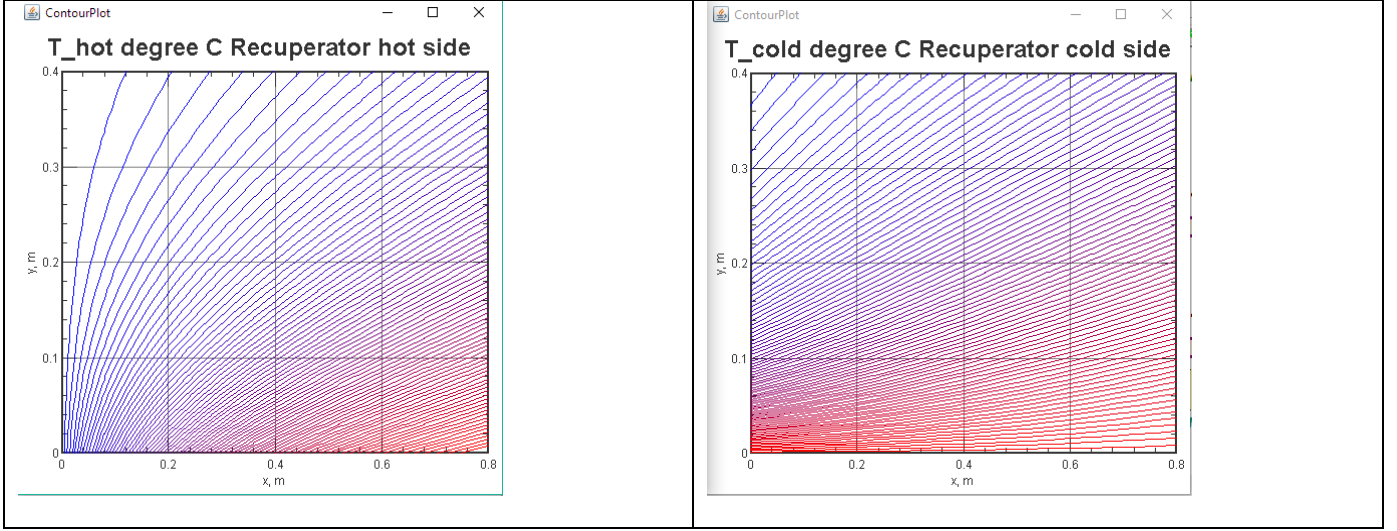
data output(veri çıktısı) :																				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
75.871	76.190	76.488	76.767	77.025	77.266	77.489	77.695	77.885	78.061	78.223	78.372	78.510	78.636	78.752	78.858	78.956	79.046	79.128	79.203	79.272
72.099	72.683	73.230	73.742	74.220	74.666	75.080	75.465	75.823	76.154	76.461	76.745	77.007	77.249	77.472	77.678	77.868	78.042	78.203	78.351	78.487
68.651	69.452	70.205	70.912	71.575	72.195	72.773	73.313	73.816	74.284	74.720	75.124	75.499	75.846	76.168	76.467	76.743	76.998	77.234	77.452	77.653
65.497	66.474	67.396	68.265	69.081	69.848	70.566	71.239	71.868	72.456	73.005	73.516	73.993	74.436	74.849	75.232	75.589	75.919	76.227	76.511	76.776
62.610	63.729	64.787	65.788	66.732	67.621	68.457	69.243	69.981	70.673	71.321	71.927	72.495	73.025	73.520	73.982	74.412	74.814	75.188	75.536	75.861
59.966	61.196	62.364	63.471	64.518	65.509	66.444	67.325	68.156	68.937	69.672	70.362	71.010	71.618	72.187	72.721	73.220	73.687	74.124	74.532	74.914
57.544	58.859	60.112	61.303	62.434	63.507	64.523	65.484	66.393	67.252	68.061	68.825	69.544	70.221	70.857	71.456	72.018	72.545	73.040	73.505	73.940
55.323	56.702	58.019	59.275	60.471	61.610	62.692	63.719	64.694	65.617	66.491	67.318	68.099	68.837	69.534	70.191	70.810	71.393	71.942	72.459	72.944
53.287	54.710	56.073	57.377	58.624	59.814	60.948	62.029	63.057	64.035	64.963	65.844	66.680	67.471	68.221	68.931	69.601	70.235	70.834	71.399	71.932
51.419	52.869	54.264	55.602	56.885	58.113	59.288	60.411	61.483	62.505	63.479	64.406	65.288	66.127	66.923	67.679	68.396	69.076	69.720	70.329	70.906
49.704	51.169	52.581	53.941	55.249	56.504	57.709	58.864	59.970	61.028	62.039	63.005	63.927	64.805	65.643	66.440	67.198	67.919	68.604	69.254	69.871
48.130	49.598	51.017	52.387	53.709	54.983	56.208	57.387	58.518	59.604	60.646	61.643	62.597	63.510	64.382	65.215	66.010	66.767	67.489	68.176	68.830
46.685	48.145	49.561	50.933	52.261	53.544	54.782	55.976	57.126	58.233	59.297	60.320	61.301	62.242	63.144	64.008	64.834	65.624	66.379	67.100	67.787
45.357	46.802	48.207	49.573	50.899	52.183	53.427	54.630	55.792	56.913	57.995	59.037	60.040	61.004	61.931	62.821	63.674	64.492	65.276	66.027	66.745
44.136	45.559	46.948	48.301	49.618	50.898	52.141	53.346	54.515	55.645	56.738	57.794	58.813	59.796	60.743	61.655	62.532	63.374	64.184	64.961	65.706
43.015	44.410	45.775	47.110	48.413	49.684	50.920	52.124	53.292	54.427	55.527	56.592	57.623	58.620	59.583	60.512	61.408	62.272	63.103	63.903	64.672
41.983	43.346	44.685	45.997	47.281	48.537	49.763	50.959	52.124	53.258	54.360	55.430	56.469	57.476	58.451	59.394	60.306	61.187	62.037	62.857	63.647
41.035	42.362	43.669	44.955	46.216	47.454	48.665	49.850	51.007	52.137	53.237	54.309	55.351	56.364	57.348	58.301	59.226	60.120	60.986	61.823	62.631
40.163	41.452	42.725	43.980	45.216	46.431	47.625	48.795	49.941	51.062	52.158	53.227	54.270	55.286	56.274	57.235	58.169	59.074	59.952	60.803	61.627
39.361	40.609	41.845	43.068	44.276	45.466	46.639	47.791	48.923	50.034	51.121	52.185	53.225	54.241	55.231	56.196	57.136	58.049	58.937	59.800	60.636
38.622	39.828	41.026	42.215	43.392	44.556	45.705	46.838	47.953	49.049	50.125	51.181	52.216	53.228	54.218	55.185	56.128	57.047	57.942	58.813	59.660
37.943	39.105	40.264	41.417	42.562	43.697	44.821	45.931	47.027	48.107	49.170	50.216	51.242	52.249	53.236	54.201	55.145	56.067	56.967	57.844	58.699
37.317	38.436	39.555	40.671	41.782	42.887	43.983	45.070	46.145	47.207	48.255	49.287	50.304	51.303	52.284	53.246	54.188	55.111	56.014	56.895	57.755
36.742	37.816	38.894	39.972	41.049	42.123	43.191	44.252	45.304	46.347	47.377	48.395	49.399	50.388	51.362	52.319	53.258	54.179	55.082	55.965	56.829
36.214	37.242	38.279	39.319	40.361	41.403	42.441	43.476	44.504	45.525	46.537	47.539	48.529	49.506	50.470	51.420	52.354	53.271	54.172	55.056	55.922
35.724	36.711	37.706	38.709	39.715	40.724	41.732	42.739	43.743	44.741	45.733	46.717	47.691	48.656	49.608	50.549	51.476	52.388	53.286	54.168	55.034
35.275	36.218	37.173	38.137	39.108	40.084	41.062	42.040	43.018	43.993	44.963	45.928	46.886	47.836	48.776	49.706	50.624	51.530	52.422	53.301	54.165
34.861	35.762	36.677	37.603	38.538	39.481	40.428	41.377	42.329	43.279	44.228	45.173	46.113	47.046	47.973	48.890	49.798	50.696	51.582	52.456	53.316
34.480	35.339	36.215	37.104	38.004	38.912	39.828	40.749	41.673	42.599	43.524	44.449	45.370	46.287	47.198	48.102	48.999	49.887	50.765	51.632	52.488
34.128	34.948	35.785	36.636	37.501	38.377	39.262	40.153	41.050	41.951	42.853	43.755	44.657	45.556	46.451	47.341	48.225	49.102	49.971	50.831	51.681
33.805	34.585	35.384	36.200	37.030	37.873	38.727	39.589	40.458	41.333	42.211	43.092	43.973	44.853	45.731	46.606	47.477	48.342	49.200	50.051	50.894
33.507	34.249	35.011	35.791	36.588	37.398	38.221	39.054	39.896	40.745	41.599	42.457	43.317	44.178	45.039	45.898	46.754	47.606	48.453	49.294	50.128
33.232	33.937	34.663	35.409	36.173	36.951	37.744	38.548	39.362	40.185	41.015	41.850	42.688	43.530	44.372	45.214	46.055	46.893	47.728	48.558	49.383
32.979	33.649	34.340	35.052	35.783	36.530	37.293	38.068	38.855	39.652	40.457	41.269	42.086	42.907	43.731	44.556	45.381	46.205	47.026	47.845	48.659
32.746	33.381	34.039	34.718	35.418	36.134	36.867	37.615	38.374	39.145	39.926	40.715	41.510	42.310	43.115	43.922	44.730	45.539	46.347	47.153	47.956
32.532	33.133	33.759	34.406	35.075	35.762	36.466	37.185	37.918	38.663	39.420	40.185	40.958	41.738	42.523	43.311	44.103	44.896	45.689	46.482	47.273
32.334	32.903	33.498	34.115	34.753	35.411	36.087	36.779	37.485	38.205	38.937	39.679	40.430	41.189	41.954	42.724	43.498	44.275	45.053	45.832	46.611
32.151	32.690	33.255	33.842	34.451	35.081	35.729	36.394	37.075	37.770	38.477	39.196	39.925	40.663	41.408	42.159	42.916	43.676	44.439	45.204	45.969
31.983	32.493	33.028	33.587	34.169	34.770	35.391	36.030	36.686	37.356	38.040	38.736	39.443	40.159	40.884	41.617	42.355	43.098	43.845	44.595	45.347
31.828	32.310	32.818	33.349	33.903	34.478	35.073	35.686	36.317	36.963	37.623	38.296	38.981	39.677	40.382	41.095	41.815	42.542	43.273	44.007	44.745

data output(veri çıkışı):

— □ ×

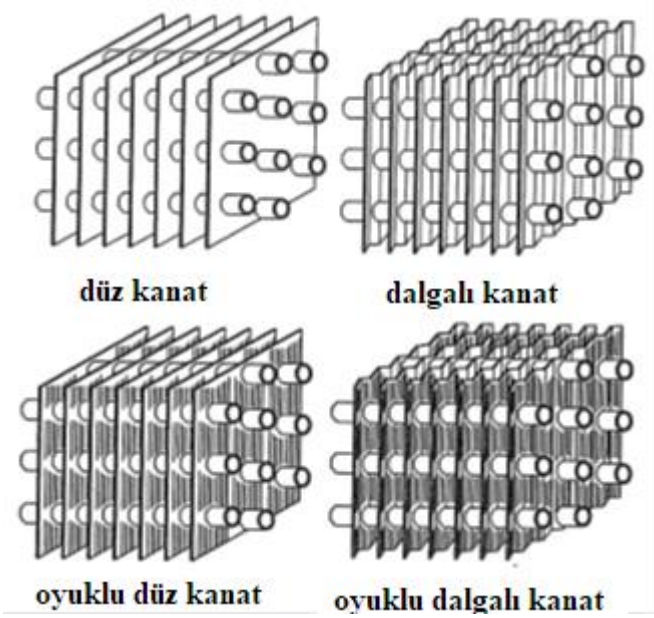
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
30.0	34.1415	37.9625	41.4837	44.7254	47.7071	50.4474	52.9640	55.2736	57.3920	59.3340	61.1133	62.7429	64.2348	65.6001	66.8491	67.9915	69.0360	69.9908	70.8634	71.6607
30.0	33.7824	37.2993	40.5662	43.5984	46.4104	49.0164	51.4298	53.6634	55.7296	57.6397	59.4048	61.0350	62.5402	63.9292	65.2106	66.3924	67.4819	68.4861	69.4114	70.2637
30.0	33.4568	36.6956	39.7276	42.5638	45.2148	47.6910	50.0023	52.1584	54.1685	56.0414	57.7854	59.4088	60.9190	62.3233	63.6285	64.8412	65.9674	67.0129	67.9832	68.8834
30.0	33.1613	36.1455	38.9602	41.6131	44.1115	46.4626	48.6736	50.7513	52.7025	54.5337	56.2512	57.8611	59.3693	60.7813	62.1027	63.3386	64.4939	65.5734	66.5817	67.5229
30.0	32.8927	35.6437	38.2575	40.7390	43.0928	45.3237	47.4364	49.4356	51.3259	53.1120	54.7982	56.3891	57.8891	59.3023	60.6329	61.8851	63.0626	64.1694	65.2090	66.1851
30.0	32.6485	35.1855	37.6134	39.9345	42.1516	44.2672	46.2841	48.2051	50.0332	51.7713	53.4225	54.9897	56.4761	57.8847	59.2186	60.4808	61.6743	62.8021	63.8671	64.8721
30.0	32.4262	34.7669	37.0225	39.1938	41.2815	43.2866	45.2103	47.0540	48.8191	50.5073	52.1203	53.6600	55.1283	56.5273	57.8590	59.1258	60.3296	61.4728	62.5575	63.5861
30.0	32.2236	34.3839	36.4801	38.5112	40.4766	42.3761	44.2096	45.9771	47.6789	49.3157	50.8881	52.3969	53.8432	55.2282	56.5532	57.8195	59.0286	60.1821	61.2815	62.3285
30.0	32.0388	34.0335	35.9818	37.8818	39.7318	41.5304	43.2765	44.9693	46.6080	48.1924	49.7223	51.1976	52.6187	53.9860	55.3000	56.5615	57.7713	58.9304	60.0399	61.1008
30.0	31.8702	33.7125	35.5237	37.3011	39.0421	40.7445	42.4064	44.0261	45.6022	47.1337	48.6196	50.0593	51.4524	52.7988	54.0983	55.3511	56.5576	57.7181	58.8334	59.9040
30.0	31.7162	33.4182	35.1024	36.7651	38.4032	40.0139	41.5946	43.1431	44.6574	46.1358	47.5767	48.9792	50.3421	51.6648	52.9467	54.1875	55.3870	56.5453	57.6624	58.7388
30.0	31.5744	33.1844	34.7145	36.2700	37.8111	39.3345	40.8372	42.3165	43.7699	45.1953	46.5907	47.9546	49.2854	50.5822	51.8438	53.0696	54.2590	55.4117	56.5273	57.6059
30.0	31.4467	32.9007	34.3574	35.8125	37.2621	38.7025	40.1303	41.5425	42.9362	44.3090	45.6585	46.9829	48.2803	49.5492	50.7883	51.9965	53.1730	54.3170	55.4280	56.5056
30.0	31.3289	32.6738	34.0284	35.3896	36.7529	38.1144	39.4704	40.8176	42.1530	43.4737	44.7774	46.0616	47.3244	48.5639	49.7786	50.9615	52.1282	53.2610	54.3645	55.4382
30.0	31.2211	32.4644	33.7250	34.9985	36.2805	37.5670	38.8542	40.1386	41.4171	42.6867	43.9446	45.1883	46.4157	47.6246	48.8133	49.9802	51.1238	52.2429	53.3365	54.4038
30.0	31.1223	32.2724	33.4453	34.6367	35.8420	37.0573	38.2787	39.5026	40.7258	41.9450	43.1576	44.3607	45.5521	46.7294	47.8908	49.0345	50.1588	51.2623	52.3438	53.4022
30.0	31.0317	32.0958	33.1873	34.3017	35.4349	36.5826	37.7411	38.9068	40.0762	41.2462	42.4139	43.5765	44.7316	45.8767	47.0098	48.1289	49.2323	50.3184	51.3858	52.4332
30.0	30.9487	31.9333	32.9491	33.9916	35.0568	36.1405	37.2389	38.3485	39.4659	40.5878	41.7113	42.8337	43.9522	45.0646	46.1685	47.2620	48.3432	49.4104	50.4620	51.4967
30.0	30.8726	31.7838	32.7292	33.7055	34.7052	35.7285	36.7696	37.8254	38.8924	39.9674	41.0476	42.1300	43.2121	44.2914	45.3657	46.4327	47.4905	48.5375	49.5718	50.5921
30.0	30.8027	31.6461	32.5261	33.4384	34.3792	35.3446	36.3311	37.3351	38.3535	39.3829	40.4206	41.4637	42.5095	43.5556	44.5997	45.6396	46.6732	47.6988	48.7146	49.7191
30.0	30.7385	31.5193	32.3384	33.1918	34.0758	34.9868	35.9212	36.8757	37.8471	38.8323	39.8284	40.8328	41.8426	42.8555	43.8692	44.8814	45.8902	46.8935	47.8967	48.8770
30.0	30.6796	31.4025	32.1650	32.9633	33.7938	34.6532	35.5380	36.4450	37.3712	38.3135	39.2692	40.2354	41.2097	42.1896	43.1728	44.1570	45.1403	46.1126	47.0965	48.0654
30.0	30.6255	31.2949	32.0047	32.7514	33.5316	34.3422	35.1798	36.0414	36.9240	37.8248	38.7410	39.6700	40.6093	41.5564	42.5090	43.4651	44.4224	45.3792	46.3335	47.2836
30.0	30.5758	31.1957	31.8565	32.5549	33.2878	34.0521	34.8488	35.6630	36.5037	37.3644	38.2423	39.1349	40.0397	40.9543	41.8766	42.8044	43.7356	44.6683	45.6006	46.5309
30.0	30.5301	31.1042	31.7194	32.3726	33.0610	33.7816	34.5316	35.3082	36.1088	36.9307	37.7714	38.6285	39.4995	40.3821	41.2742	42.1738	43.0786	43.9869	44.8969	45.8067
30.0	30.4880	31.0198	31.5926	32.2036	32.8500	33.5293	34.2387	34.9757	35.7377	36.5222	37.3269	38.1493	38.9872	39.8383	40.7006	41.5720	42.4505	43.3342	44.2213	45.1102
30.0	30.4494	30.9420	31.4753	32.0467	32.6537	33.2939	33.9648	34.6639	35.3889	36.1374	36.9072	37.6959	38.5015	39.3217	40.1545	40.9979	41.8501	42.7091	43.5732	44.4406
30.0	30.4139	30.8702	31.3667	31.9011	32.4710	33.0743	33.7085	34.3716	35.0611	35.7750	36.5110	37.2671	38.0411	38.8309	39.6347	40.4505	41.2764	42.1107	42.9516	43.7973
30.0	30.3812	30.8040	31.2662	31.7659	32.3010	32.8694	33.4695	34.0975	34.7531	35.4337	36.1371	36.8614	37.6047	38.3649	39.1401	39.9286	40.7285	41.5381	42.3566	43.1795
30.0	30.3511	30.7428	31.1732	31.6405	32.1428	32.6782	33.2447	33.8405	34.4637	35.1122	35.7842	36.4778	37.1911	37.9223	38.6696	39.4312	40.2053	40.9903	41.7845	42.5864
30.0	30.3234	30.6863	31.0871	31.5240	31.9955	32.4997	33.0350	33.5996	34.1917	34.8094	35.4512	36.1150	36.7993	37.5022	38.2221	38.9571	39.7058	40.4664	41.2375	42.0173
30.0	30.2980	30.6342	31.0073	31.4159	31.8583	32.3332	32.8388	33.3737	33.9360	34.5243	35.1369	35.7720	36.4281	37.1034	37.7965	38.5056	39.2292	39.9657	40.7135	41.4713
30.0	30.2745	30.5861	30.9335	31.3155	31.7307	32.1778	32.6553	33.1618	33.6958	34.2558	34.8403	35.4477	36.0764	36.7250	37.3918	38.0755	38.7744	39.4870	40.2120	40.9478
30.0	30.2529	30.5416	30.8651	31.2222	31.6118	32.0327	32.4836	32.9632	33.4701	34.0030	34.5605	35.1411	35.7434	36.3659	37.0072	37.6659	38.3406	39.0297	39.7320	40.4461
30.0	30.2331	30.5006	30.8017	31.1356	31.5011	31.8973	32.3229	32.7769	33.2580	33.7650	34.2965	34.8513	35.4280	36.0252	36.6417	37.2761	37.9269	38.5930	39.2728	39.9652
30.0	30.2148	30.4627	30.7431	31.0551	31.3980	31.7709	32.1726	32.6023	33.0588	33.5409	34.0475	34.5774	35.1293	35.7021	36.2944	36.9050	37.5325	38.1759	38.8336	39.5046
30.0	30.1979	30.4277	30.6887	30.9804	31.3020	31.6529	32.0320	32.4386	32.8715	33.3299	33.8126	34.3185	34.8466	35.3956	35.9644	36.5518	37.1566	37.7777	38.4137	39.0635
30.0	30.1824	30.3953	30.6383	30.9110	31.2126	31.5427	31.9004	32.2850	32.6956	33.1313	33.5910	34.0740	34.5790	35.1050	35.6510	36.2159	36.7984	37.3976	38.0123	38.6413
30.0	30.1681	30.3654	30.5916	30.8465	31.1294	31.4399	31.7773	32.1411	32.5303	32.9443	33.3821	33.8428	34.3256	34.8295	35.3534	35.8963	36.4572	37.0350	37.6287	38.2371
30.0	30.1549	30.3378	30.5484	30.7865	31.0518	31.3439	31.6622	32.0061	32.3750	32.7683	33.1850	33.6245	34.0859	34.5683	35.0707	35.5923	36.1321	36.6890	37.2622	37.8505
30.0	30.1428	30.3122	30.5083	30.7309	30.9796	31.2543	31.5544	31.8795	32.2291	32.6026	32.9992	33.4183	33.8590	34.3207	34.8024	35.3033	35.8225	36.3591	36.9121	37.4806





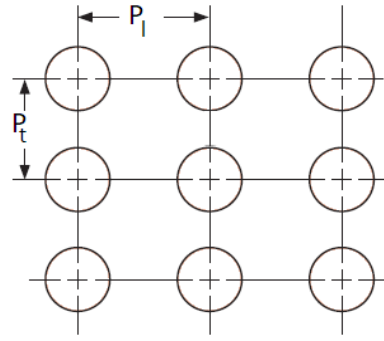
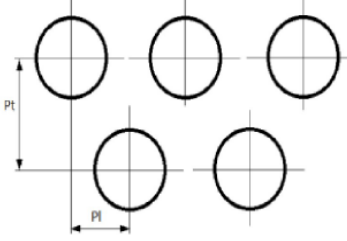
7.6 KANATLI ISI DEĞİŞTİRİCİLER İÇİN ISI TAŞINIM DENKLEMLERİ

Kanat ısı transferini incelemiştik, ancak gerçek ısı değiştiricilerde kullanılan kanat profilleri çok özel olabilir ve standart denklemler ile tam olarak hesaplanamayabilir. Bu bölümde gerçek ısı değiştirici sistemlere ve bunların ısı değişim denklemlerine biraz detaylı göz atmaya çalışacağız. Kanatlı ısı değiştiricilerde kanatlar genellikle şişirme yöntemi dediğimiz yöntemle boruya bağlanırlar. Kanat yüzeyinde kanat levhası basılırken oluşturulmuş bilezik ismini verdiğimiz genişletilmiş bir yüzey alanı bulunur. Boru içinden geçirildikten sonra yüksek iç basınç uygulanarak boru plastik deformasyonla genişletilir ve kanat bileziğiyle boru arasında mekanik temas sağlanır. Daha iyi ısıl veri için kanatla boru sert lehim teknolojileriyle birleştirilebilir ve ısıl direnç minimuma indirilir. Standart mekanik bağlantılı kanat profilleri için aşağıdaki deneysel denklemler verilebilir. [70],[71]



$$\eta_0 = \frac{\tanh(mr\phi)}{mr\phi} \quad m = \sqrt{\frac{2h_o}{k_f\delta_f}}$$

$$\phi = \left[\frac{Re_q}{r} - 1 \right] \left[\frac{X_L}{X_M} - 0.35 \ln \left(\frac{Re_q}{r} \right) \right]$$



Sıralı dizilim

Üçgen dizilim

Üçgen dizilim için:

$$\frac{R_{eq}}{r} = 1.27 \frac{X_M}{r} \left[\frac{X_L}{X_M} - 0.3 \right]^{1/2}$$

denklemdaki r boru yarıçapıdır.

$$X_L = \sqrt{\left(\frac{P_t}{2}\right)^2 + P_l^2} \quad X_M = \left(\frac{P_t}{2}\right) P_t \text{ ve } P_l \text{ borular arasındaki dik ve yatay mesafedir}$$

Sıralı dizilim için:

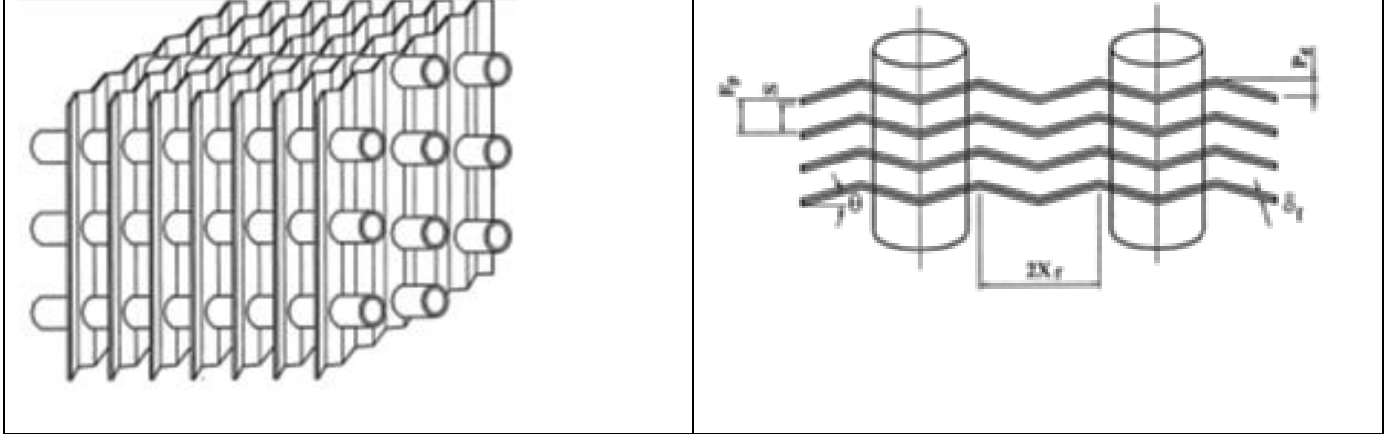
$$\frac{R_{eq}}{r} = 1.28 \frac{X_M}{r} \left[\frac{X_L}{X_M} - 0.2 \right]^{1/2}$$

$$X_L = \left(\frac{P_t}{2}\right)$$

Düz kanatlar için: $St = \frac{h}{GC_p}$ Stanton sayısı $Re_D = \frac{\rho V D_c}{\mu}$ bu denklemde D_c kanat yüzüğü dış çapı $D_H = 2R_{eq}$

$$j = St Pr^{2/3} = \frac{h}{GC_p} Pr^{2/3} \text{ Colburn denklemi}$$

Genel kanat denklemleri



P_d dalga yüksekliği

F_p kanat eğimi

S kanatlar arası mesafe

X_f kanat Dalga boyu

δ_f kanat kalınlığı

θ dalga açısı

D_c bilezik dış çapı

Düz kanatlar

Tek sıra (N=1)

$$j = StPr^{2/3} = \frac{h}{Gc_p} Pr^{2/3} = 0.173 Re_D^{-0.346} \left(\frac{P_t}{P_l}\right)^{P1} \left(\frac{D_c}{F_p}\right)^{1.161} \left(\frac{D_h}{F_p}\right)^{1.035} \left(\frac{F_p}{P_t}\right)^{P2}$$

$$P1 = -0.22 \ln(Re_D) + 1.88$$

$$P2 = 0.106 \ln(Re_D)$$

İki veya daha fazla sıra (N ≥ 2)

$$j = StPr^{2/3} = \frac{h}{Gc_p} Pr^{2/3} = 0.1078 Re_D^{P3} N^{P4} \left(\frac{F_p}{D_h}\right)^{P5} \left(\frac{P_t}{F_p}\right)^{1.026}$$

$$P3 = 0.16 \ln\left(N \left(\frac{F_p}{D_c}\right)^{0.42}\right) - 0.349$$

$$P3 = \frac{-0.094 \left(\frac{P_l}{D_h}\right)^{1.38}}{\ln(Re_D)} - 1.405$$

$$P4 = 1.263 \ln\left(\frac{Re_D}{N}\right) - 5.97$$

$$D_h = \frac{4A_c L}{A_0} \text{ hidrolik çap}$$

Fanning friction factor:

$$f = 0.0146 Re_D^{P6} \left(\frac{P_t}{P_l}\right)^{1.959} \left(\frac{F_p}{D_c}\right)^{P7} N^{0.021}$$

$$P4 = -0.0535 + \frac{0.01166}{\ln\left(\frac{P_t}{P_l}\right)} + 0.123 \left(\frac{F_p}{D_c}\right)$$

$$P7 = 2.319 - \frac{19.59}{\ln(Re_D)}$$

Dalgalı kanatlar

$$j = StPr^{2/3} = \frac{h}{Gc_p} Pr^{2/3} = -0.17017 - Re_D^{W1} \left(\frac{P_l}{\delta_f}\right)^{-0.456} N^{-0.27} \left(\frac{F_p}{D_c}\right)^{-1.343} \left(\frac{P_d}{X_f}\right)^{0.317}$$

$$W1 = -0.1707 - 1.374 \left(\frac{P_l}{\delta_f}\right)^{-0.493} \left(\frac{F_p}{D_c}\right)^{-0.886} N^{-0.143} \left(\frac{P_d}{X_f}\right)^{-0.0296}$$

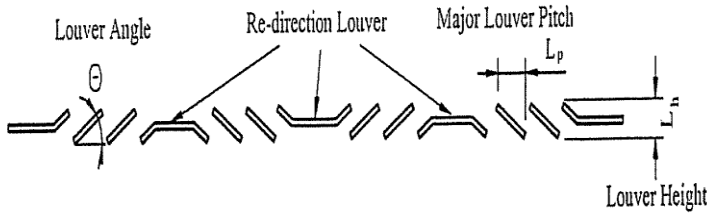
$$f = 0.05273 Re_D^{f1} \left(\frac{P_d}{X_f}\right)^{f2} \left(\frac{F_p}{P_t}\right)^{f3} \left(\ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right)\right)^{-2.726} \left(\frac{D_h}{D_c}\right)^{0.1325} N^{0.02305}$$

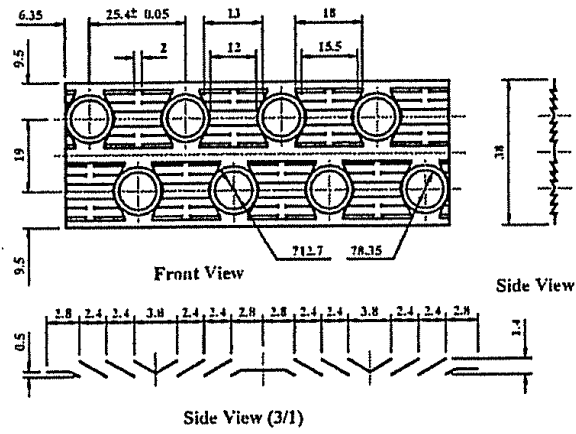
$$f1 = 0.1714 - 0.07372 \left(\frac{F_p}{P_l}\right)^{0.25} \ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right) \left(\frac{P_d}{X_f}\right)^{-0.2}$$

$$f2 = 0.426 \left(\frac{F_p}{P_t}\right)^{0.3} \ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right)$$

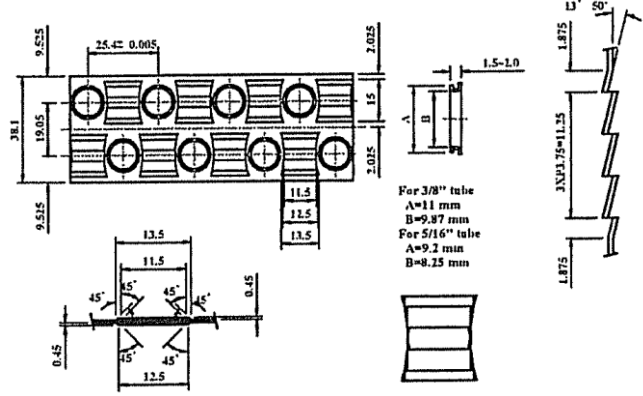
$$f3 = \frac{-10.2192}{\ln(Re_D)}$$

Delikli kanatlar

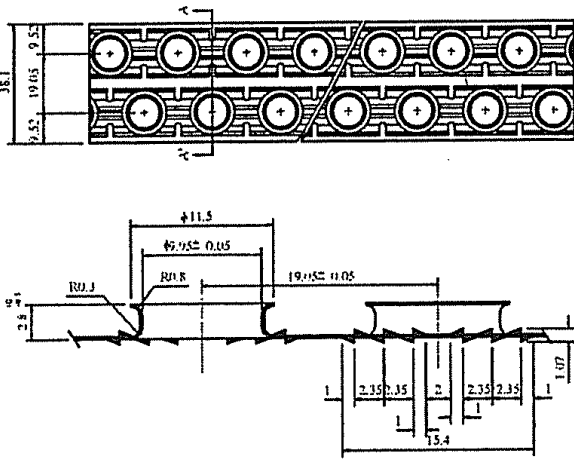




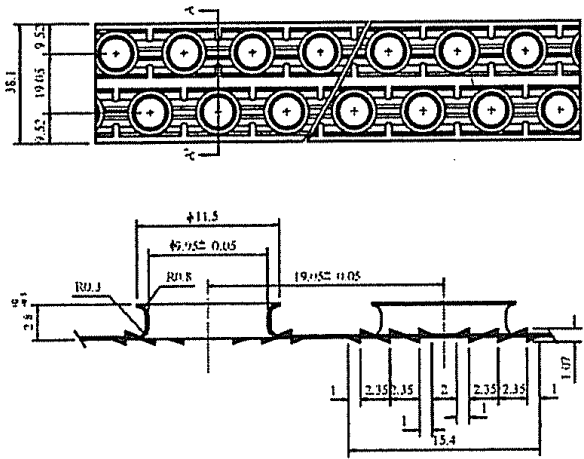
tip I Louver (delikli kanat)



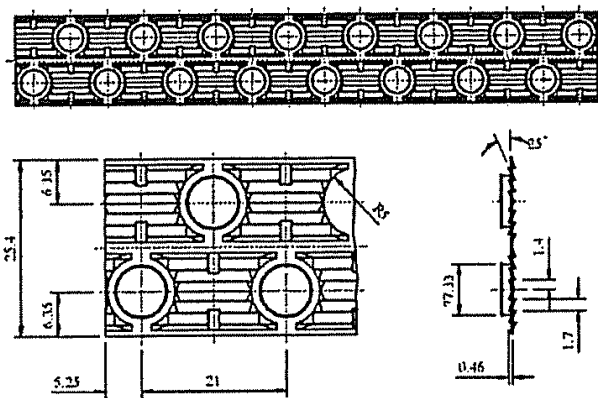
tip II Louver (delikli kanat)



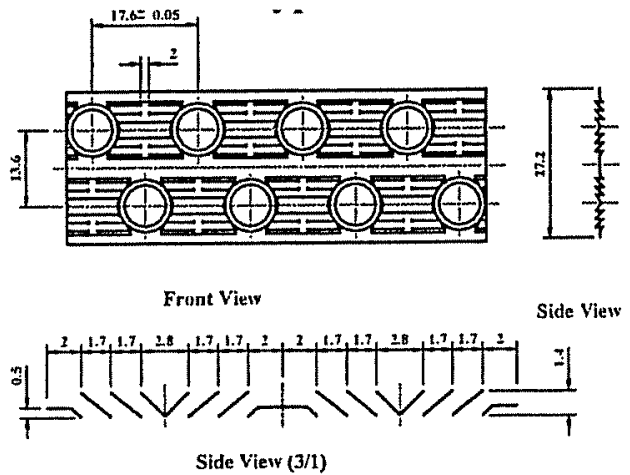
tip III Louver (delikli kanat)



tip IV Louver (delikli kanat)



tip V Louver (delikli kanat)



Tip VI Louver (delikli kanat)

tip I,III,IV ve VI $Re_D < 1000$

$$j = StPr^{2/3} = \frac{h}{Gc_p} Pr^{2/3} = 0.501 Re_D^{0.094} \left(\frac{P_l}{P_t}\right)^{1.44} \left(\frac{F_p}{D_c}\right)^{0.322} N^{-0.809} \left(\frac{L_p}{F_p}\right)^{-0.177} \left(\frac{L_h}{L_p}\right)^{-0.254}$$

denklem $N \geq 4$ $\frac{F_p}{D_c} \geq 0.14$ or $N = 2,3$ $\frac{F_p}{D_c} < 0.14$ için geçerlidir.

Tip II, ve and $N=1$ $Re_D > 1000$

$$j = StPr^{2/3} = \frac{h}{Gc_p} Pr^{2/3} = 0.962 Re_D^{L1} \left(\frac{P_l}{P_t}\right)^{-1.51} \left(\frac{F_p}{D_c}\right)^{-0.107} N^{-1.06} \left(\frac{L_h}{L_p}\right)^{-0.433}$$

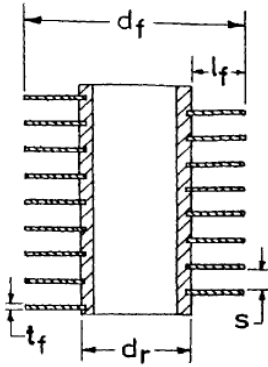
$$L1 = \left[-0.501 \left(\frac{P_l}{P_t}\right)^{-0.424} N^{-0.253} \left(\frac{L_h}{L_p}\right)^{-0.127} \right]$$

Sürtünme katsayısı (fanning)

$$f = 0.72 Re_D^{Z1} \left(\frac{F_p}{D_c}\right)^{Z2} N^{0.322} \left(\frac{L_h}{L_p}\right)^{0.352} \left(\frac{L_p}{F_p}\right)^{1.69}$$

$$Z1 = -0.392 \left(\frac{P_l}{P_t}\right)^{-0.726} N^{0.0782} \left(\frac{L_h}{L_p}\right)^{0.352} \left(\frac{L_p}{F_p}\right)^{0.63}$$

$$Z2 = -3.3 + 3.72 \left(\frac{P_l}{P_t}\right)^{-1} - 1.29 \left(\frac{P_l}{P_t}\right)^{-2}$$



Şimdi kanatlı boruların ısı transferine bakalım

Sık kanat düşük kanat yüksekliği (Briggs & Young Correlation[95],[97]) :

$$Nu = 0.1507 Re_d^{0.667} Pr^{1/3} \left(\frac{s}{l_f}\right)^{0.164} \left(\frac{s}{t_f}\right)^{0.075} \quad 1000 \leq Re \leq 20000 \text{ for Staggered configuration}$$

Yüksek kanat

$$Nu = 0.1378 Re_d^{0.718} Pr^{1/3} \left(\frac{s}{l_f}\right)^{0.296}$$

Tüm kanat yükseklikleri için:

$$Nu = 0.134 Re_d^{0.681} Pr^{1/3} \left(\frac{s}{l_f}\right)^{0.2} \left(\frac{s}{t_f}\right)^{0.1134}$$

$$j = StPr^{2/3} = \frac{h}{Gc_p} Pr^{2/3} = 0.134 Re_d^{-0.3191} \left(\frac{s}{d_f}\right)^{0.2} \left(\frac{s}{t_f}\right)^{0.1134}$$

Sık küçük kanat yüksekliği (Rabas, Eckel and Sabatino denklemi) :

$$j = StPr^{2/3} = \frac{h}{Gc_p} Pr^{2/3} = 0.292 Re_d^{-m} \left(\frac{s}{d_f}\right)^{0.257} \left(\frac{t_f}{s}\right)^{0.666} \left(\frac{d_f}{d_r}\right)^{0.473} \left(\frac{d_f}{t_f}\right)^{0.7717} \alpha_h \alpha_n$$

$$m = 0.415 - 0.0346 \ln \left(\frac{d_f}{s}\right)$$

$$\alpha_h = \left(\frac{T_b + 273.15}{T_w + 273.15}\right)^{0.25}$$

$$\alpha_n = \left(\frac{Pr(T_b)}{Pr(T_w)}\right)^{0.25}$$

Sürtünme katsayısı (fanning)

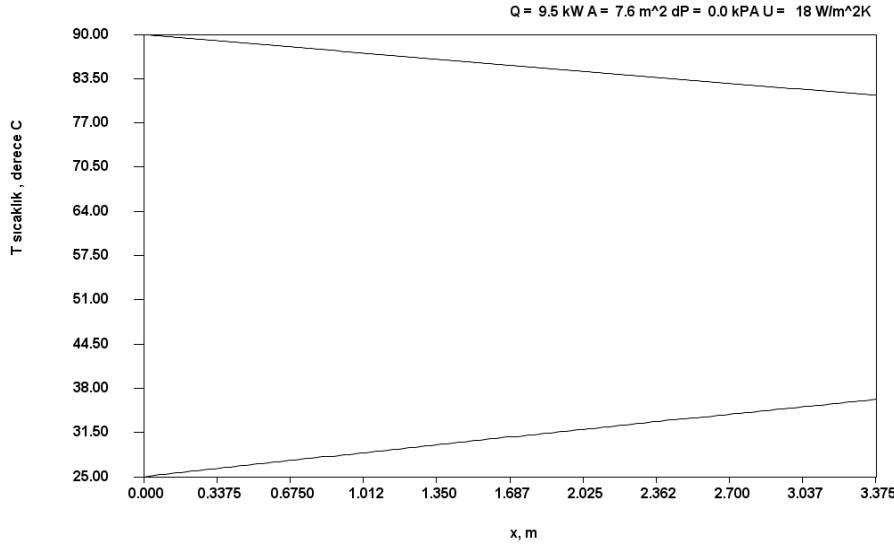
$$f = 3.805 Re_d^{-0.234} Pr^{1/3} \left(\frac{s}{d_f}\right)^{0.2251} \left(\frac{l_f}{s}\right)^{0.759} \left(\frac{d_r}{P_t}\right)^{0.709} \left(\frac{P_l}{P_t}\right)^{0.379}$$

$l_f < 6.35$ mm, $1000 < Re < 25000$ $4.76 < d < 33.75$ mm, $246 < N_f < 1181$ fin/m, $15.08 < P_t < 111$ mm, $P_1 \leq P_t$
 $10.32 < P_t < 96.11$ mm, $d_f/s < 40$ ve $N_f > 6$ for Staggered configuration

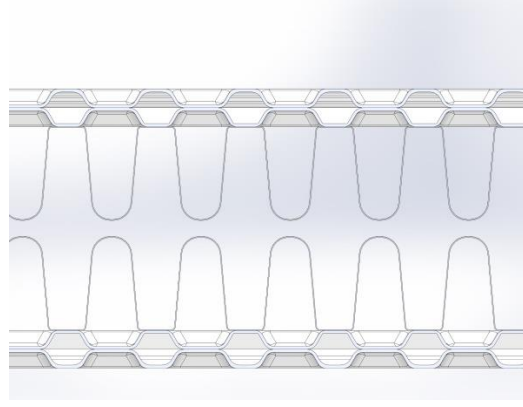
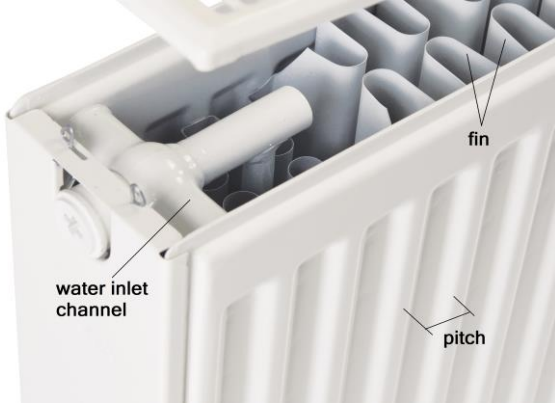
A sample program: circular fin heat exchanger circular_fin_HE_FD.java circular_fin_HE_FDtest.java

```
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" circular_fin_HE_FDtest
Heat transfer round fin
internal fluid = su
external fluid = air

m_internal = 0.1
kg/sm_external = 0.5317654376668579
kg/sinside pipe surface roughness : 1.0E-4
internal diameter : 0.009
external diameter : 0.01
Pressure drop : 0.0
average heat transfer coefficient : 18.400592953827353
average heat capacity = 2.009772585324642kJ/kg K
Heat transfer : 9540.765388934233
heat transfer area : 7.552991925019351
cold fluid inlet-exit temperatures :
90.0 85.46983956870368
hot fluid inlet-exit temperatures :
25.0 30.81973790314732
LMTD =59.675538523677126derece K
Q_LMTD =8293.678296268454W
```

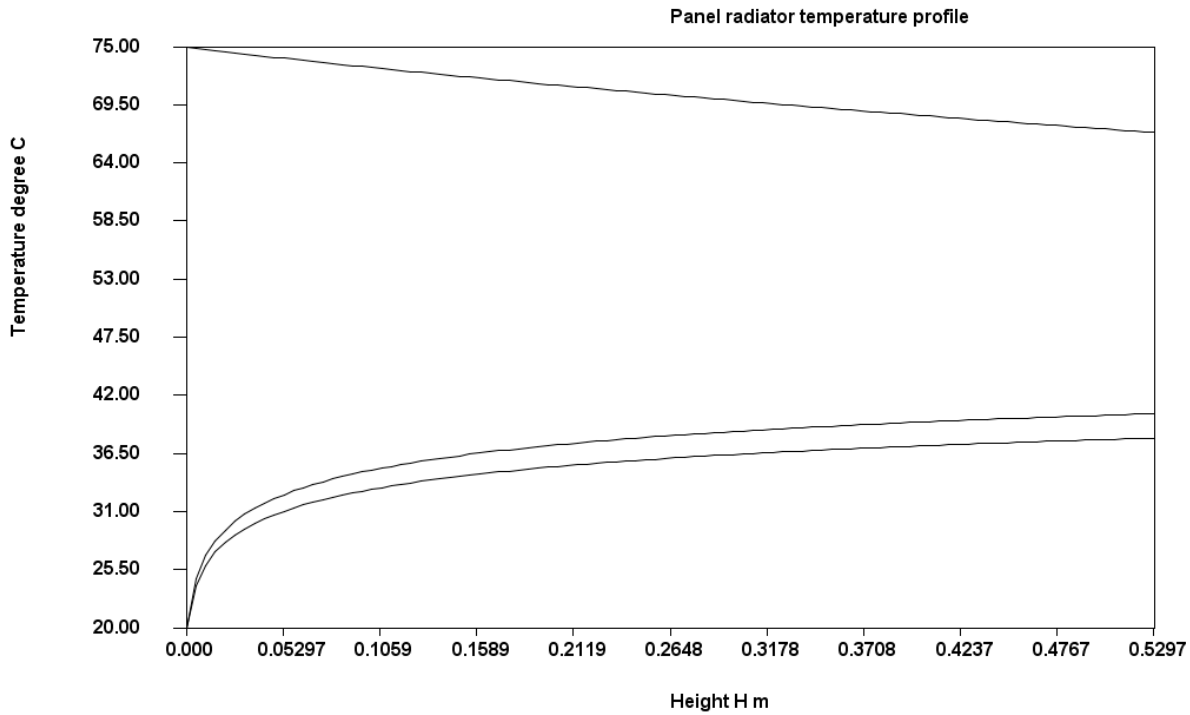


Doğal taşınımli bir kanatlı ısı değiştirici örneği : panel radyatör



Panel radyatörler ısıtma sektöründe çok kullanılan mekan ısıtma ısı değıştiricilerdir. İç yüzeyde paneller arasında oluşan kanallardan sıcak su akarken dış yüzeyde kanatlar mevcuttur jkanatlar ve direk yüzey üzerinden doğal taşınım ile oda havası ısıtılır.

Program: `girdi_elbaP.java HT_radiator_elba2.java`



7.6 CHEVRON TİPİ LEVHA ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Şevron Levha tipi condenser ısı transferi denklemleri içinde ısı transferi ve basınç düşümü denklemlerine göz atalım.

Sürtünme faktörü s :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{\cos\beta}{\sqrt{0.045\tan\beta+0.09\sin\beta+f_0/\cos\beta}} + \frac{1-\cos\beta}{\sqrt{3.8f_1}}$$

f_0 , bu denklemden

$$f_0 = \frac{20}{Re} \text{ for } Re \leq 2000$$

$$f_0 = (1.56 \ln(Re) - 3.0)^{-2} \text{ for } Re > 2000$$

f_1 , bu denklemden

$$f_1 = \frac{149}{Re} + 9.965 \text{ for } Re \leq 2000$$

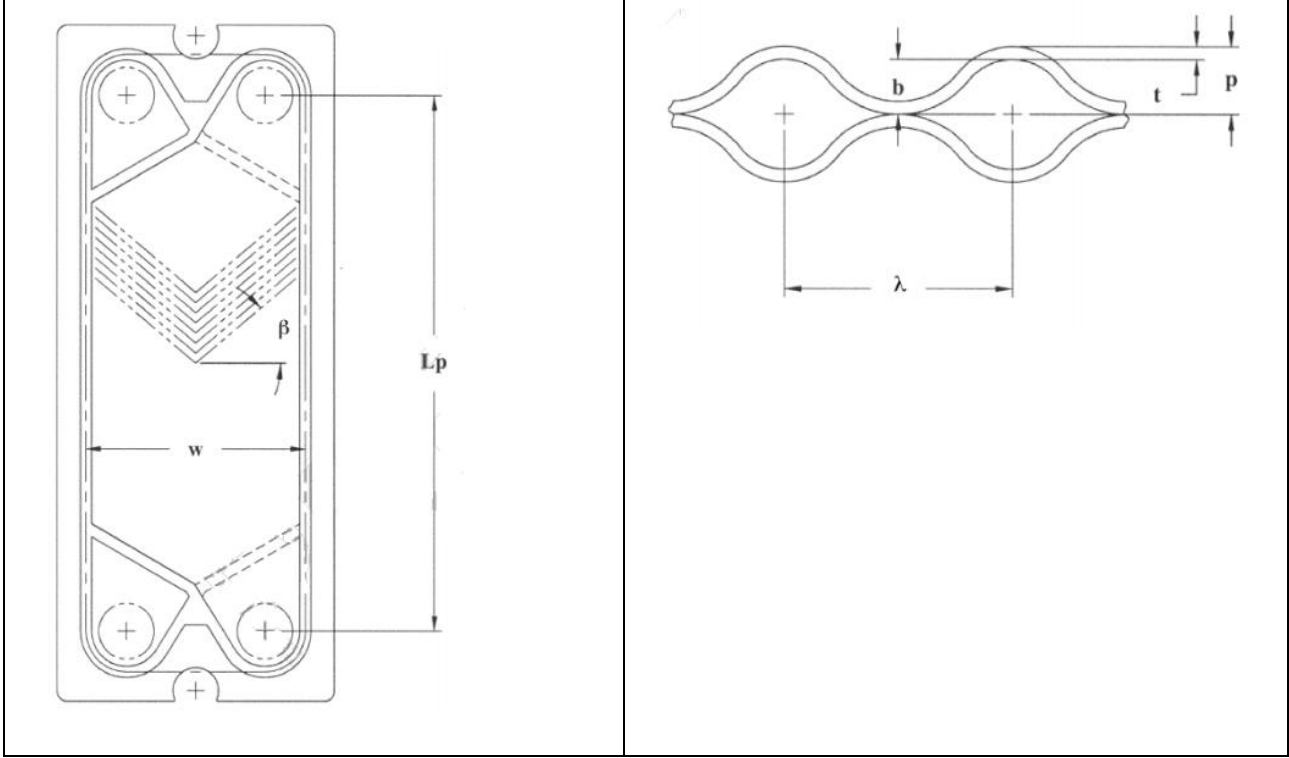
$$f_1 = \frac{9.75}{Re^{0.289}} \text{ for } Re > 2000$$

Hidrolik çap: $d_h = \frac{2b}{\Phi}$ burada Φ alan genişleme faktörüdür

$$\Phi(X) = \frac{1}{6} \left(1 + \sqrt{1 + X^2} + 4\sqrt{1 + X^2/2} \right) \quad X = \frac{2\pi b}{\lambda}$$

b merkezden mesafedir. λ şevron dalgasının boyudur. Hız denklemi:

$$U = \frac{m}{\rho b w}$$
 burada b levha yüksekliği ve w levha genişliğidir



$$Re = \frac{\rho U d_h}{\mu}$$

Nu sayısı:

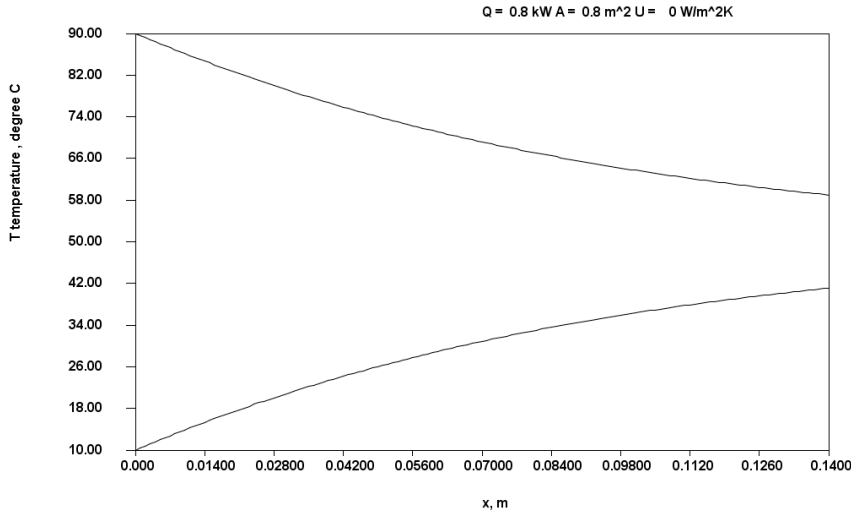
$$Nu = 0.205 Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_m}{\mu_w} \right)^{1/6} (f Re^2 \sin 2\beta)^{0.374} \quad (\text{sıvılar için})$$

$$Nu = 0.205 Pr^{1/3} (f Re^2 \sin 2\beta)^{0.374} \quad (\text{gazlar için})$$

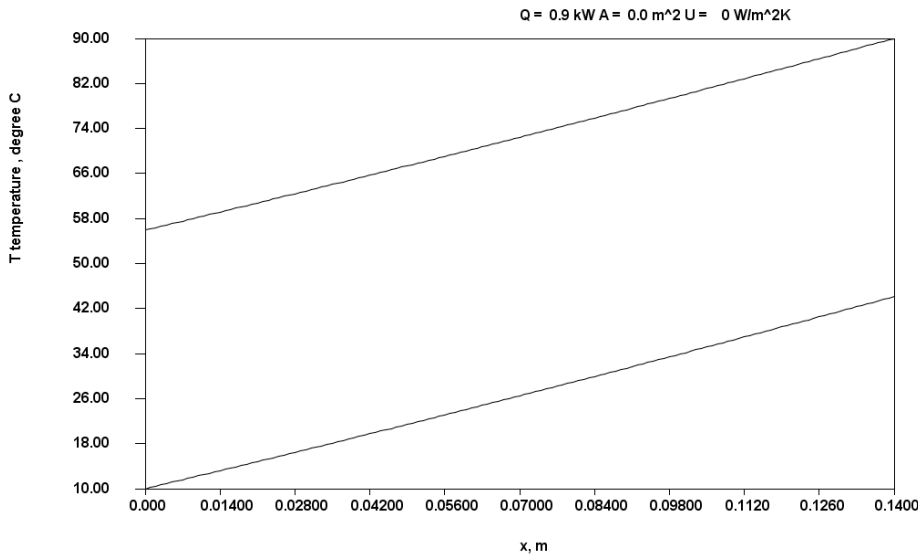
Program: **chevron_plate_heat_exchanger.java** **chevron_plate_heat_exchanger_test.java**

```
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" chevron_plate_heat_exchanger_test
Chevron plate heat exchanger
cold fluid = water
hot fluid = water
m cold = 0.1916666666666665kg/s
m hot = 0.1916666666666665kg/s
b channel chevron height : 0.005 m
lambda chevron wave length: 0.008 m
Lp plate length: 0.14 m
Bp plate width: 0.07 m
t plate thickness: 0.003 m
pressure drop cold fluid: 5.3187934970577855 kPa
pressure drop hot fluid: 3.272772495332654 kPa
heat transfer : 833.764856105945 W
LMTD logaritmik mean temperature difference : 41.46083695554668 K
cold fluid inlet-exit temp. :
10.0 41.09641705190255
hot fluid inlet-exit temp. :
```

90.0 58.978381611543945



```
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" chevron_plate_heat_exchanger_test
Chevron plate heat exchanger
cold fluid = water
hot fluid = water
m cold = 0.1916666666666665kg/s
m hot = 0.1916666666666665kg/s
b channel chevron height : 0.005 m
lambda chevron wave length: 0.008 m
Lp plate length: 0.14 m
Bp plate width: 0.07 m
t plate thickness: 0.003 m
pressure drop cold fluid: 5.563468421506597 kPa
pressure drop hot fluid: 3.2381046919934056 kPa
heat transfer : 919.3408504385529 W
LMTD logaritmik mean temperature difference : 45.89967762091959 K
cold fluid inlet-exit temp. :
10.0 44.13851908482931
hot fluid inlet-exit temp. :
55.938037509195716 89.99985817799062
```



Muley ve Manglik[80] aşağıdaki denklemleri vermiştir:
 $F_1 = [0.2668 - 0.006967\beta + 7.244 \times 10^{-5}\beta^2]$

$$F_2 = [20.78 - 50.94\Phi + 41.16\Phi^2 - 10.51\Phi^3]$$

$$F_3 = [0.728 + 0.0543\sin[(\pi\beta/45) + 3.7]] \text{ where } \beta \text{ should be taken in degrees}$$

$$Nu = F_1 F_2 Re^{F_3} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$F_4 = [2.917 - 0.1277\beta + 2.016 \times 10^{-3} \beta^2]$$

$$F_5 = [5.474 - 19.02\Phi + 18.93\Phi^2 - 5.341\Phi^3]$$

$$F_6 = [0.2 + 0.0577\sin[(\pi\beta/45) + 2.1]]$$

$$f = F_4 F_5 Re^{-F_6}$$

Bu denklemde β derece olarak alınacaktır. Denklem 30 - 60 dereceler arasında geçerlidir

$Re > 1000$

Dong ve arkadaşları [73] **R410A ve R22** kondensörleri için aşağıdaki denklemleri tanımlamıştır

$$Nu = A_1 Re^{A_3} Pr^{1/3}$$

$$A_1 = 11.22 \left(\frac{\lambda}{2d_h} \right)^{-2.83} \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right)^{-4.5}$$

$$A_2 = 0.35 \left(\frac{\lambda}{2d_h} \right)^{0.23} \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right)^{1.48}$$

$$f = A_3 Re^{A_4}$$

$$A_3 = 3521.1 \left(\frac{\lambda}{2d_h} \right)^{4.17} \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right)^{-7.75}$$

$$A_4 = -1.024 \left(\frac{\lambda}{2d_h} \right)^{0.0925} \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right)^{-1.3}$$

$$G_{eq} = m \left[1 - x + x \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{0.5} \right]$$

$$Re = \frac{G_{eq} d_h}{\mu_f} \text{ denklem } 300 \leq Re \leq 4000 \text{ bölgesinde geçerlidir.}$$

Muthuraman[74] sıvılar için alttaki korelasyonu vermiştir.

$$h_w = 0.295 Re_d^{0.64} Pr^{0.32} \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right)^{0.09}$$

Akturk ve arkadaşları [72] sıvılar için alttaki korelasyonu vermiştir.

$$Nu = 0.32592 Re^{0.1625} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad 450 \leq Re \leq 5250 \quad \beta = 30 \text{ degree}$$

Sürtünme faktörü:

$$f = 4291 Re^{-1.278} + 0.3343$$

Akturk ve arkadaşları makalelerinde başka araştırmacıların denklemlerine de yer vermiştir.

Kumar[77] denklemi:

$$Nu = 0.348 Re^{0.663} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.17} \quad 410 \leq Re \quad \beta = 30 \text{ derece}$$

Focke[75] denklemi:

$$Nu = 1.112 Re^{0.6} Pr^{0.5} \quad 600 \leq Re \leq 16000 \quad \beta = 30 \text{ derece}$$

$$Nu = 0.57 Re^{0.7} Pr^{0.5} \quad 150 \leq Re \leq 600 \quad \beta = 30 \text{ derece}$$

Okada[76] denklemin:

$$Nu = 0.1528 Re^{0.66} Pr^{0.4} \quad 400 \leq Re \leq 15000 \quad \beta = 30 \text{ derece}$$

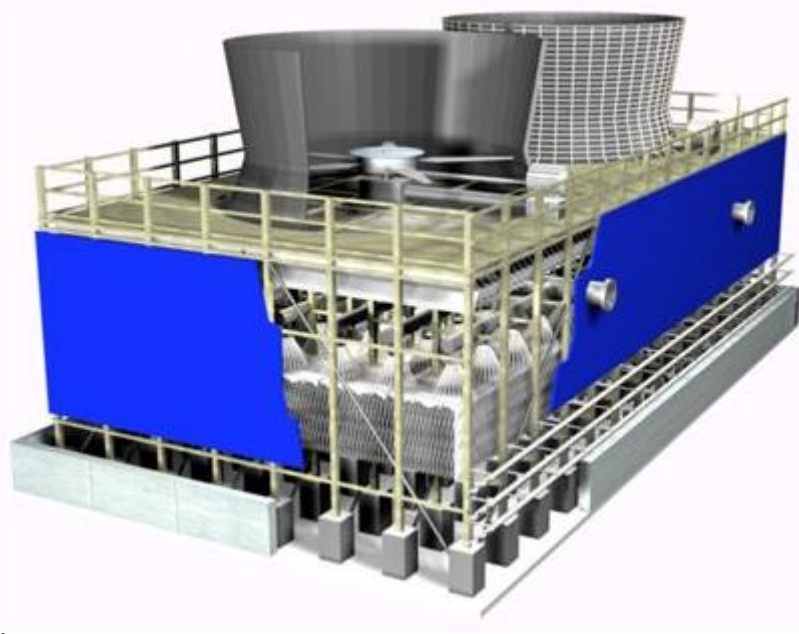
8. SU SOĞUTMA KULELERİ VE EVAPORATİF YOĞUŞTURUCULAR

8.1 SU SOĞUTMA KULESİ NEDİR

Soğutma kuleleri sistemlerin soğutulması için suyun buharlaşması sırasında ısı alma temel prensibini kullanan temel soğutma sistemleridir. Su soğutma kulelerinde bir tarafta dış hava su soğutma kulesine girer. Diğer taraftan sistemden gelen sıcak su kuleye gönderilir. Bu su dolgu ismini verdiğimiz yapıların üzerinden akıtılarak parçalanır ve giren

havayla iyi bir temas yüzeyi sağlar. Bu yüzey boyunca suyun bir kısmı buharlaşır ve buharlaşırken ısı çeker. Buharlaşan su havaya karışarak havanın su içeriğini artırır. Böylece akan yaş havanın toplam entalpisi hem giren hava ile giren su arasındaki sıcaklık farklarından dolayı artarken geriye kalan sıvı suyun entalpisi azalır. Burada suyun buharlaşması ile enerji çektiğimiz için teorik olarak doymuş yaş hava sıcaklığına kadar suyun sıcaklığını düşürebilmek mümkündür. Pratik olarak yaş hava sıcaklığına 3-5 dereceye kadar su sıcaklıkları elde edebiliriz. Kısaca soğutma kulelerini atmosfer sıcaklığının altındaki sıcaklıklara su soğutabilen su soğutma ekipmanları olarak tanımlıyabiliriz.

Su soğutma kulelerinin yaygın kullanım alanları arasında klima sistemleri, üretim tesisleri ve enerji santralleri vardır. Günümüzde su soğutma kulelerinin olmadığı bir üretim tesisi görmenin zor olduğunu söyleyebiliriz. Sera etkisinden dolayı çevre sıcaklıklarının daha da artması dış havayı bir soğutma ortamı olarak kullanma sınırlarını da zorlamaya başlamıştır. Bu yüzden günümüzde kuru soğutma kulesi dediğimiz kanatlı atmosferik hava soğutucularının yerine yaş soğutma kulelerinin kullanım yüzdesinin artmasını bekleyebiliriz. Şekil 1 de inşai tip bir soğutma kulesinin genel görünümü verilmiştir.

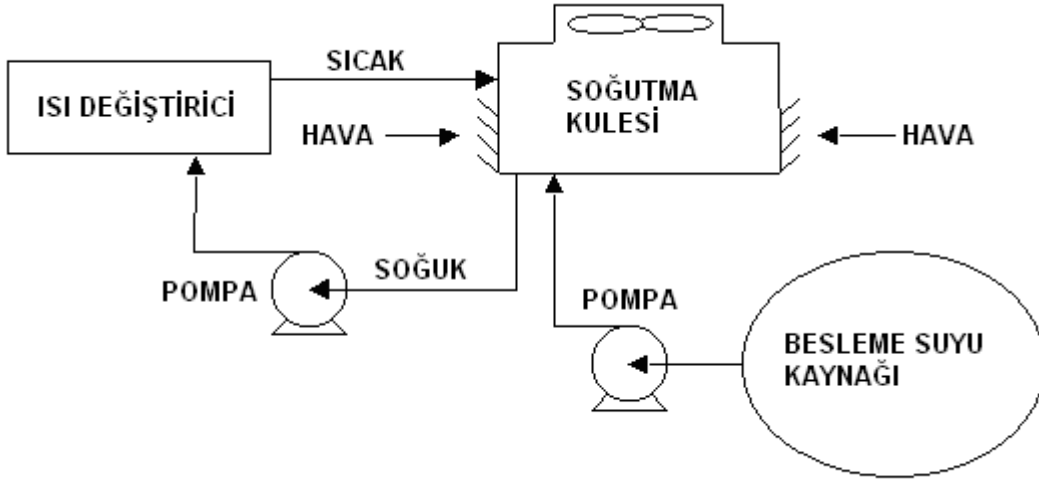


İnşai tip bir soğutma kulesinin görünümü

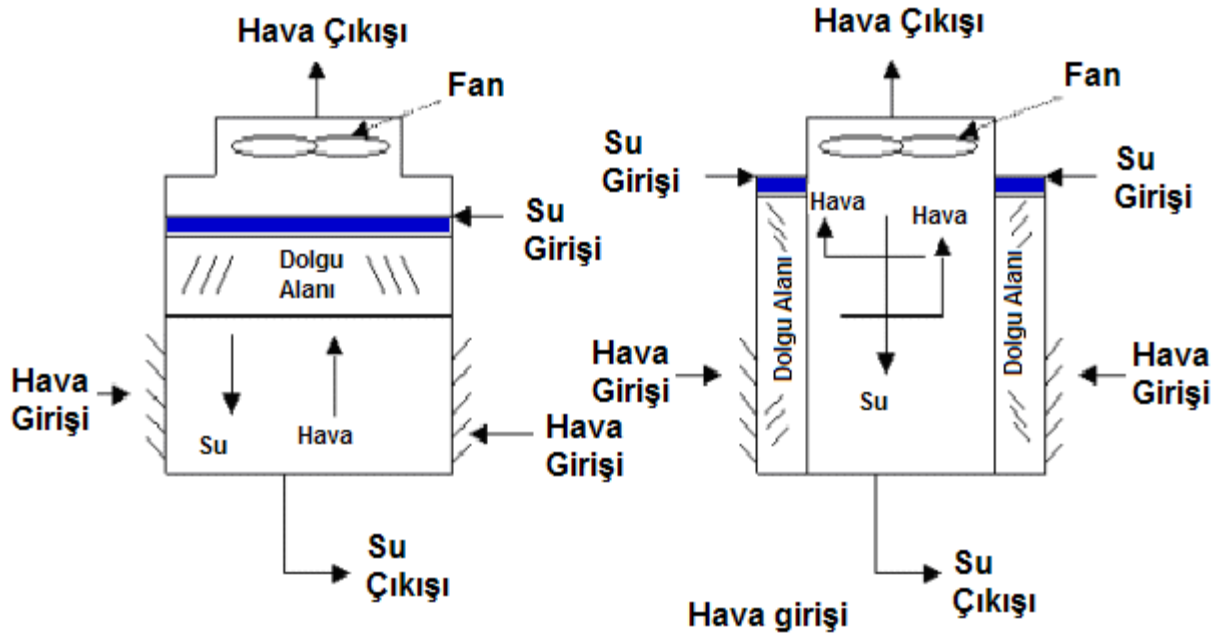
Soğutma kulelerinde suyun bir kısmı buharlaştığında buharlaşan suyun yerine sisteme besleme suyu eklenir. Şekil 2 de açık sistem bir soğutma kulesinin genel akış diagramı görülmektedir.

8.2 SU SOĞUTMA KULESİ ÇEŞİTLERİ

Su soğutma kulelerini hava ve suyun birbirlerine göre akış geometrileri göre karşı akışlı ve çapraz akışlı kuleler diye eki sınıfa ayırabiliriz. Şekilde karşı akışlı ve çapraz akışlı kulelerin akış geometrileri görülmektedir.



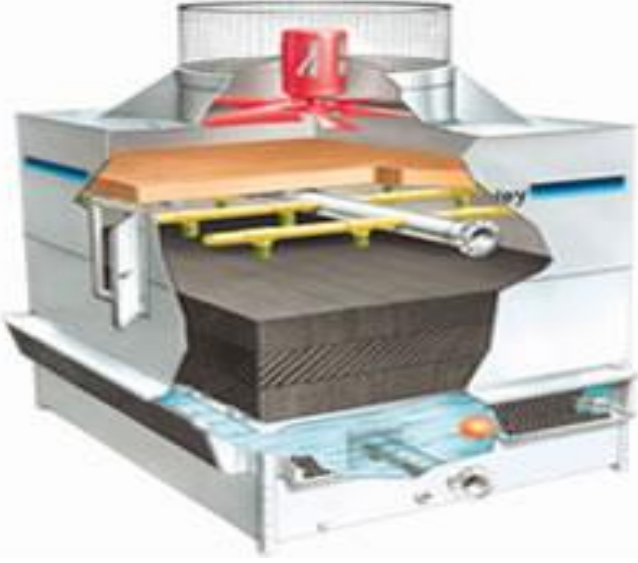
Şekil 4.2-1 Açık Bir soğutma kulesinin sistemde kullanım şeması



Şekil Karşı ve Çapraz Akışlı kule dizaynı

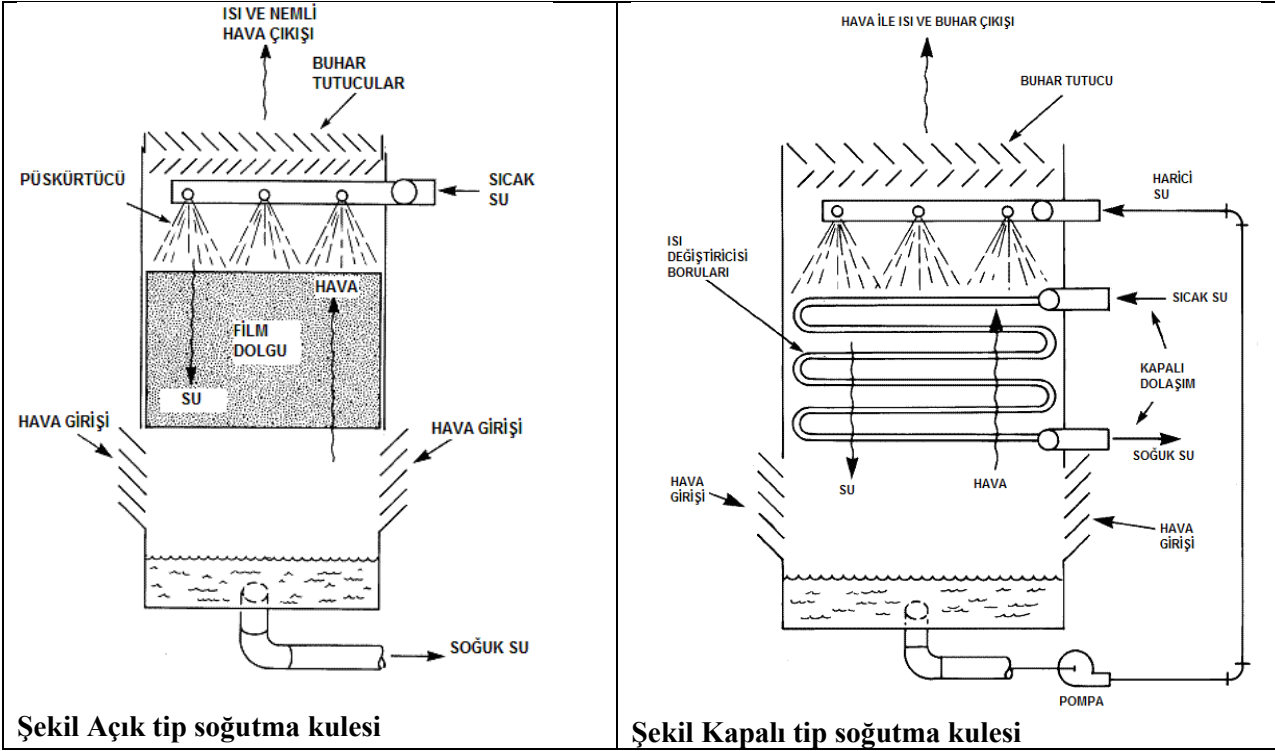
Kulelerin diğer bir sınıflandırması da inşaat tip kuleler ve paket veya fabrika üretim tipi kuleler olarak yapılabilir. İnşaat tip kuleler genellikle santraller ve yüksek kapasitede ısı çekimi yapan yerlerde kullanılır. Fabrika üretim tipi veya paket tipi kuleler 2-5 MW kapasitelere kadar üretilebilirler. Bu kapasitelerin üzerine çıktığında genellikle bunların yerini inşaat tip kuleler alır. Şekil 4 de fabrika üretim (Paket) tipi bir soğutma kulesi görülmektedir. Diğer bir önemli sınıflandırma da Sistem ısı değiştiricinin yeriyle ilgilidir. Isı değiştiriciler soğutma kulesinin içinde entegre bir yapı olarak bulunabilirler. Bu durumda kapalı devre (üretim sistemine giden suyun açık suyla karışmadığı) bir sistem söz konusudur. Açık devre ısı değiştiricilerinde (üretim sistemine gönderilen soğutulmuş suyun bir kısmı buharlaştırılarak soğutulan açık su olduğu) önemli bir dezavantaj mevcuttur. Suyun bir kısmı sürekli buharlaştığı ve bu buharlaşan suyun yerine sürekli olarak besleme suyu eklendiğinden suyun içerdiği mineral ve iyon madde miktarı sürekli artar. Bu maddelerin bir kısmı sistem borularının içini kaplayabilir, sistemimizde korozyon veya birikme olabilir. Bunun sonucunda üretim sistemindeki ısı değiştiricilerinin performansı düşecektir. Eğer açık sistem soğutma kuleleri kullanılıyorsa kullanılan su periodik olarak tamamen değiştirilmeli ve periodik sistem bakımları ihmal edilmeden gerçekleştirilmelidir. Kapalı tip kulelerde de periodik kule bakımı gerekir. Ancak bu bakım kule içinde kalmakta, üretim sistemini ve fabrikayı kapsamamaktadır. Dolayısıyla daha ucuz bir bakım işlevidir. Ancak kapalı

sistem kuleler aslında bir kule ısı değiştirici entegrasyonu olduklarında daha pahalı ekipmanlardır. Soğutma kulesi ısı değiştiricisi bir soğutma sisteminin kondenseri olarak da görev görebilir. Bu durumda boru içinden direk olarak soğutucu akışkan geçecektir. Bu tür yoğuşturuculara evaporatif tip yoğuşturucu adı verilir.



Şekil Fabrika retim (Paket) tipi bir soğutma kulesi

Şekilde açık ve kapalı tip su soğutma kulelerinin şematik görüntüleri verilmektedir. Suyun buharlaştırılması prensibine dayanan yaş soğutma kuleleri, kuru soğutma kulesi diye de adlandırdığımız kanatlı hava değiştiricilerle entegre olarak da kullanılabilir. Bu kullanımın en önemli nedeni İklim değişimleriyle gitgide değer kazanan suyun büyük miktarlarda kullanımının önlenmesidir. Eğer prosesten gelen suyun sıcaklıkları evre sıcaklıklarının çok üzerindeyse yaş soğutma kuleleri çok miktarda suyu buharlaştıracaktır. Buharlaşan su önemli miktarlarda olduğunda bu ek bir kayıp ve maliyet olarak karşımıza çıkar. Kuru soğutma kuleleri ise yüksek sıcaklıklardaki sıvıları atmosferik sıcaklıklara 5-10 C yaklaştırmak için ideal ısı değişim araçlarıdır. Ancak atmosfer sıcaklıklarına yakın sıcaklıklar ve atmosfer altı sıcaklıklar söz konusu olduğunda yetersiz kalmaktadırlar. Bunun bir çözümü iki kademeli soğutma prosesi olabilir. Birinci kademede kuru soğutma kulesinde soğutulan su ikinci kademe olarak yaş kulede soğutulur. Böylece aşırı su kayıplarının önüne geçilmiş olur. Şekilde böyle bir kuru-yaş hibrit soğutma kulesi sistemi görülmektedir. Eğer kullanılan kanatlı ısı değiştirici üzerinden hava suyu almış ve soğutulmuş olursa üretim sisteminden gelen soğutulacak su sadece kanatlı ısı değiştiricinin içinden geçirilerek de atmosfer sıcaklığının altına düşürülebilir. Ancak bu durumda havayı soğutmak için kullanılan su üretim sisteminden gelen sudan bağımsız olmalıdır. Böyle bir sistem Şekilde görülmektedir.



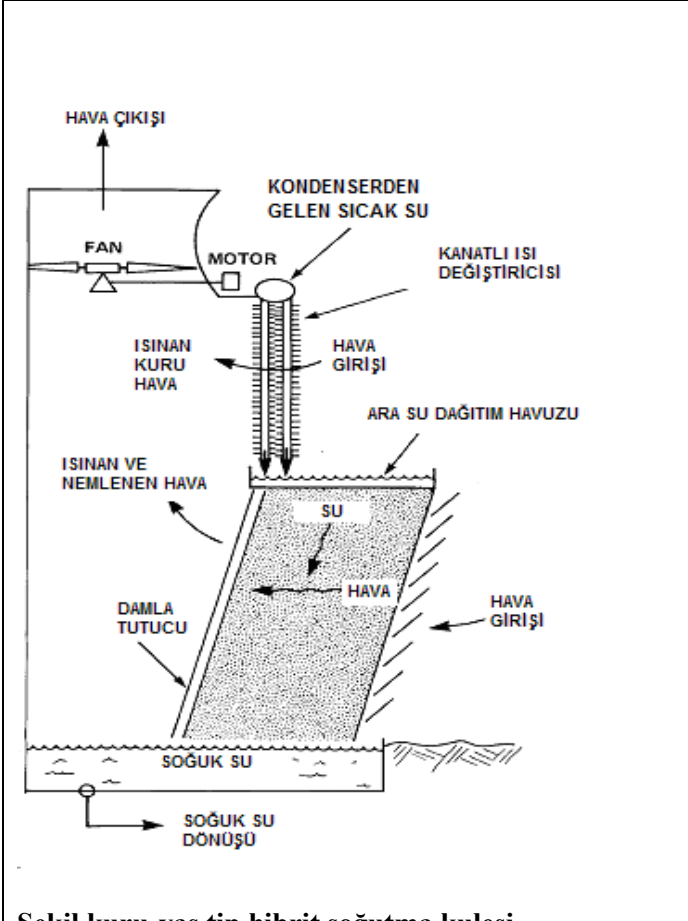
Soğutma kuleleriyle ilgili son sınıflamamız kullandıkları dolgu maddelerine göre yapılabilir. Dolgular Kuleye gelen su akımını daha küçük akımlara bölerek havayla su zerreciklerinin temasını maksimize eden kule elemanlarıdır. Bir sonraki bölümümüzde kule elemanlarını daha detaylı inceleyeceğiz. Ancak burada iki temel dolgu tipini belirtmekle yetinelim sıçratmalı ve film tipi dolgu elemanları iki temel dolgu tipini oluşturur.

8.3 SU SOĞUTMA KULESİ TEMEL EKİPMANLARI

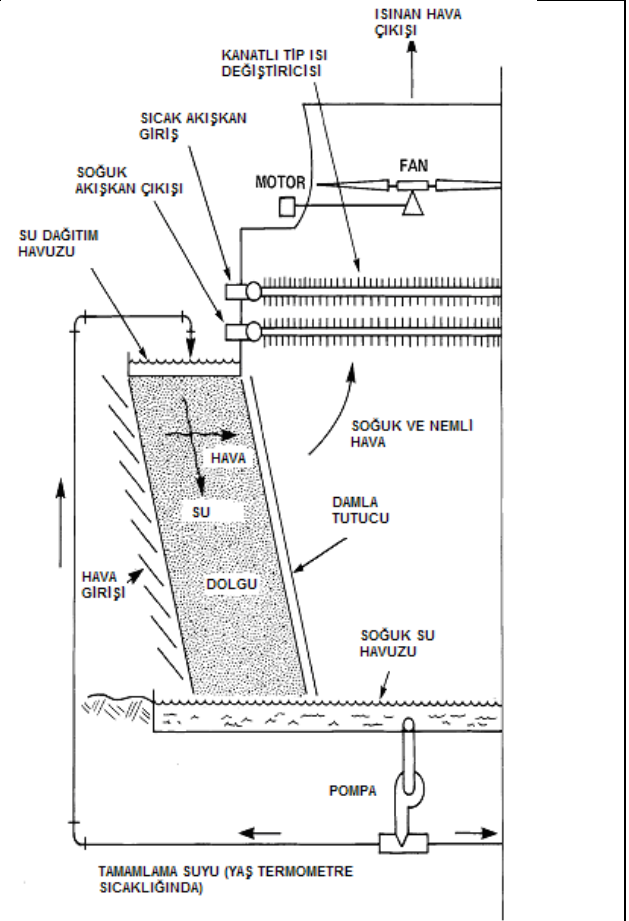
İnşai Tip Su Soğutma Kulesi Malzeme ve Elemanları

İnşai tip su soğutma kuleleri, su debisi saatte 200 m³ ü aşan tesislerde kullanılırlar. Mesela enerji santralleri, petrokimya tesisleri, rafineriler ve demir çelik fabrikaları inşai tip su soğutma kulesi kullanır. Bu kuleler, ana taşıyıcı kirişler ve kolonlar üzerine kurulurlar. Kulelerin diğer parçaları sahaya getirilerek montajları yapılır.

Kulenin taşıyıcı ana konstrüksiyon malzemesinin belirlenmesinde ekonomik ömür, yatırım maliyeti ve yapım süresi rol oynar. Yaygın olarak emprenyeli ahşap kullanıldığı gibi, betonarme veya cam takviyeli polyster (CTP) de ana taşıyıcı konstrüksiyon malzemeleri olarak kullanılabilir. Kulenin diğer elemanlarını oluşturan damla tutucu, su dağıtım sistemi, dolgu elemanları gibi soğutma suyu ile direk temasta olan parçalar ise paslanmaya karşı dayanıklı PVC, PP (Polipropilen), CTP ve paslanmaz metalden oluşur. Su soğutma kulesinin yerleştirileceği betonarme alt yapı, aynı zamanda soğutulmuş su havuzu olarak kullanılır.



Şekil kuru-yaş tip hibrit soğutma kulesi



Şekil Doymuş yaş havanın kanatlı tip ısı değiştiriciden geçtiği kapalı yaş su soğutma kulesi

- A- Hava Girişi
- B- Dolgu
- C- Havuz
- D- Drift Eliminator
- F- Su Dağıtım Sistemi
- G- Hava Girişi
- H- Korkuluk
- I- Fan bacası
- J- Fan ve Mekanik Ekipman
- K- Motor
- L- Fan Güvertesi
- M- Ara Bölme

İnşai tip su soğutma kulelerini sınırsız sayıda bitişik hücreden oluşturmak mümkündür. Hücre sayısını belirlerken, işletmenin randımanı, bakımının kolaylığı ve arıza durumlarında devre dışı kalmasının maliyeti göz önünde tutulur. Bu tip kulelerde proje, müşterinin işletme şartları ve ihtiyaç duyduğu soğutma kapasitesine göre, üretici şirket ile yapacağı fikir alış-verişi sonucu şekillenir.

Paket Tip Su Soğutma Kulesi Malzeme ve Elemanları

Soğutma endüstrisinde genel olarak paket tip su soğutma kuleleri kullanıldığından biz eleman detayı olarak bu tür kulelerde yoğunlaşacağız. Paket tipi su soğutma kulelerinin başlıca ekipmanları şunlardır :

6. Fan grubu

7. Damla tutucular
8. Su dağıtım sistemi
9. Nozullar
10. Dolgu
11. Hava giriş panjurları
12. Taşıyıcı yapı

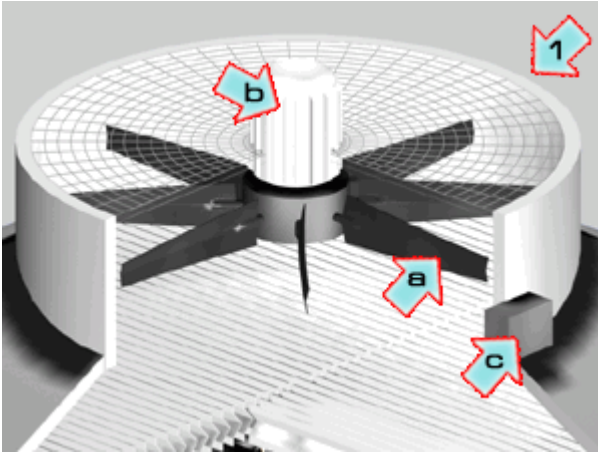
Bu ekipmanları biraz detaylı inceleyelim

Fan Grubu

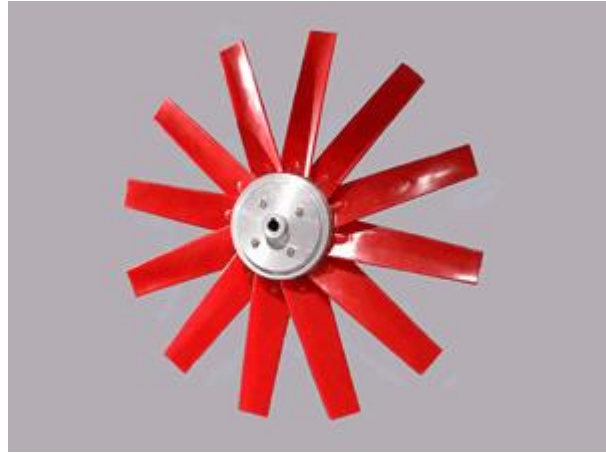
Fan grubu, kulenin çatı bölümünde fan bacası içerisinde bulunmaktadır. İşlevi, buharlaşmanın gerçekleşmesi için dışarıdaki havanın emilerek soğutma dolguları üzerinden geçirilip fan bacasından atmosfere atılmasını sağlamaktır. Fan grubu, elektrik motoru veya redüktör miline doğrudan bağlanabilir (direk akuple) ve böylece enerji tasarrufu sağlanır. Bu sistemde şaft, kayış, kasnak gibi aktarma organlarına ihtiyaç duyulmadığından bakım giderleri az olur ve problem olasılığını azaltır.

a –Fan kanatları: Fan kanatları camelyaf takviyeli polipropilen veya camelyaf takviyeli polyester (CTP) malzemeden üretilirler ve alüminyum alaşımdan enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş fan tablasına monte edilirler. Bunlar, özel oluşturulmuş yuvalar ve 304 kalite paslanmaz çelik bağlantı elemanları kullanılarak fan grubu haline getirilirler.

Fan çapı büyük olan paket kulelerde CTP veya alüminyum kanat kullanılır. CTP fan kanatları, çok iyi derecede sıcak daldırma galvaniz kaplanmış fan tablaları üzerine, PP kanat muylu yatakları ve 304 kalite paslanmaz çelik bağlantı elemanları ile oluşturulur. Kanatların alüminyum olması tercih edilirse bu konuda uzman fan üreticilerinden bunlar set olarak tedarik edilmektedir. Üç tip kanat seçeneğinde de kullanılan kanatların açılarının ayarlanabilir olması hava akımını kontrol etme imkânı sağlamaktadır. Kanat açıları proje değerlerine göre uygun açılarda ayarlanır. Fan kanatlarının mutlaka statik ve dinamik balansları alınmalıdır.



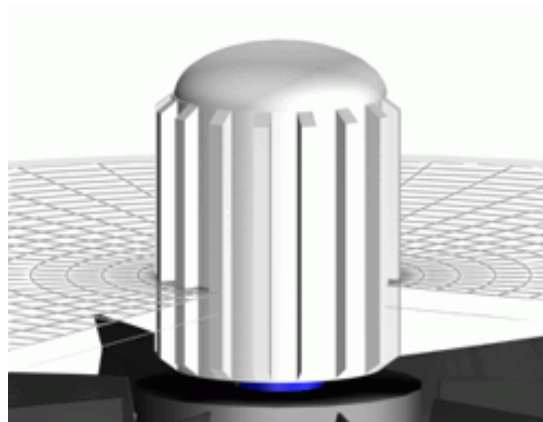
Şekil Fan grubu ve elemanları



Şekil Yerli fan



Şekil İthal Multi-Wings fan



Şekil Fan motoru ve redüktör

b –Fan motoru ve redüktör grubu: Kulenin en üst kotunda fan bacası içerisinde özel olarak dizayn edilmiş çanak içerisinde bulunmaktadır. Fan uç hızına uygun devire sahip elektrik motorları direk olarak kullanılır. Büyük çaplı fan gruplarında ise hız sınırlamasından dolayı motor, redüktör ile birlikte çalıştırılır. Dizayn değerlerine uygun elektrik motoru kullanılır. Redüktör seçiminde ise yerli ve ithal seçenekleri vardır.

Elektrik motorları ve redüktörler düşey V1 konumda çalışır. Bunlar, ısıya karşı F sınıfı izole olup toz, yağ ve neme karşı IP 55 -56 koruma sınıfında seçilmektedir.

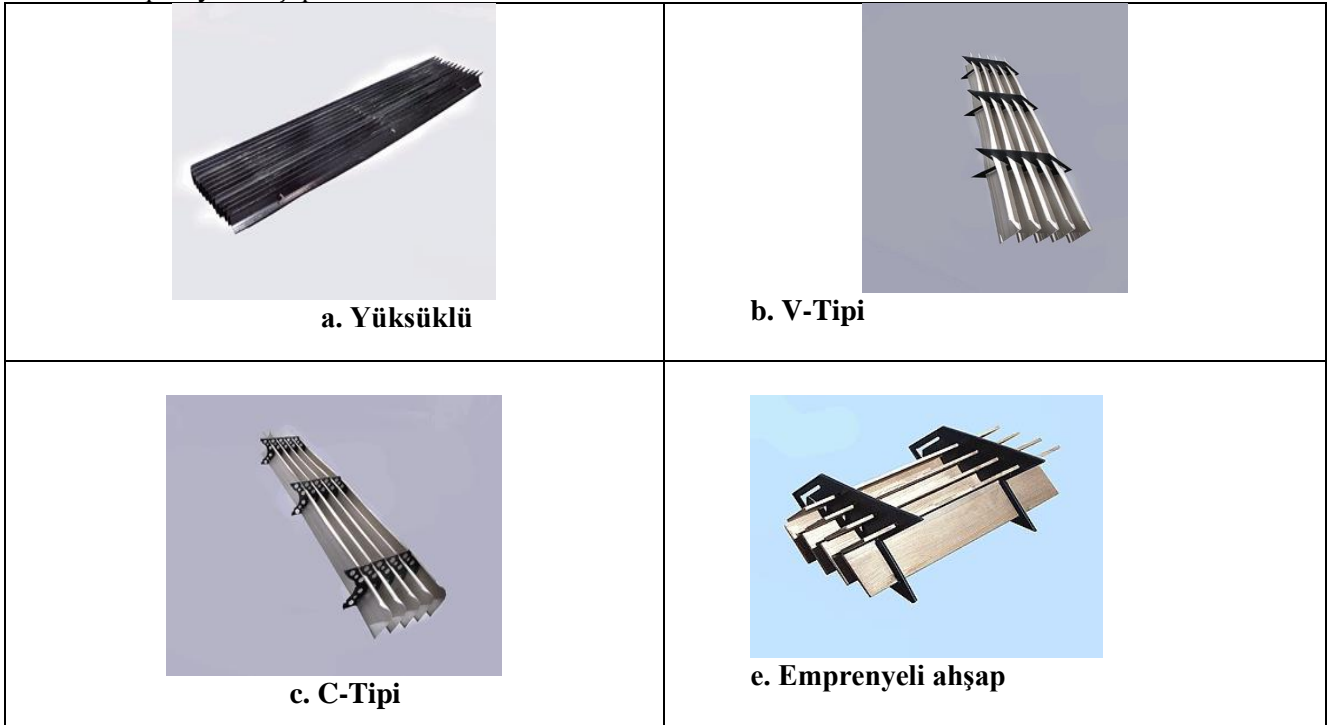
Redüktörlerin gövde malzemesi kır dökme demirden imal edilmektedir. Düz helisel dişlileri sementasyon çeliğinden imal edilmiş, gürültüsüz çalışacak şekilde taşlanmış olmalıdır. Milleri imalat çeliğinden imal edilerek, taşlama işlemine tabi tutulmuştur. Rulmanları çalışma şartlarındaki yük durumuna bağlı olarak kuvvetlendirilmiş rulmanlardır.

Damla Tutucu

Damla tutucu, kule içerisinde fan grubunun bulunduğu platform ile su dağıtım sistemi arasında yer alır. Görevi, nozullarda zerreciklere ayrılan su taneciklerinin cebri emilen hava ile sürüklenip fan bacasından kaçmasını engelleyerek su kaybını önlemektir. Kule oturma alanının tamamını kaplayacak şekilde monte edilirler.

Damla tutucu çeşitleri;

- a. Yüksüklü damla tutucular
- b. V-Tipi damla tutucular
- c. C-Tipi (sinüzoidal) damla tutucular
- d. C-Tipi yüksek (sinüzoidal) damla tutucular
- e. Emprenyeli ahşap özel damla tutucular



Şekil 4.3-7 Damla tutucu çeşitleri

Su Dağıtım sistemi

Su dağıtım sistemi, kule içerisinde damla tutucular ile kule dolguları arasında bulunur. PVC'den mamul ana ve tali borulardan oluşur. Suyu kule oturma alanına üniform olarak dağıtacak şekilde tasarlanmıştır. Fıskiyeler, temizlik ve bakım için kolay sökülüp takılabilir şekilde imal edilebilir.

Su sıcaklığının yüksek olduğu yerlerde su dağıtım sistemi CTP, Paslanmaz Boru veya Polipropilen malzemeden üretilir. İşletmeden kaynaklanan suyun kirli olduğu durumlarda, kolay temizlenebildiğinden açık kanal sistemi önerilir.

Su dağıtım sistemi çeşitleri;

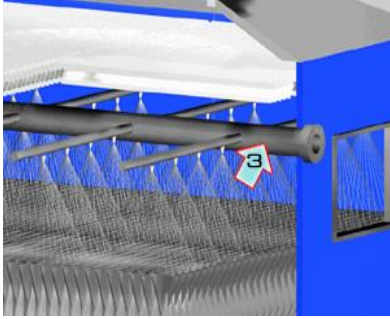
- a. PVC boru tipi
- b. CTP boru tipi
- c. CTP açık kanal

Lüleler(Nozullar)

Dağıtım sistemindeki suyun dolgu üzerine püskürtülmesi için kullanılırlar. Debi ve basınç ayarlamalarının kolayca yapılabilmesi için nozul içine yerleştirilen ve değişebilen çapta huniler kullanılmaktadır.

Lüle çeşitleri;

- Elekli nozul
- Kademeli nozul
- Papatya nozul



Şekil Su dağıtım sistemi

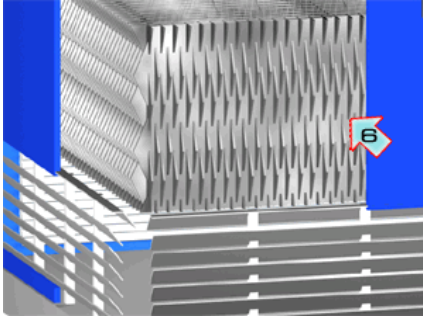


Şekil PVC boru tipi



Şekil Lüle çeşitleri

Dolgu Su soğutma kulesi dolgusu, hava giriş panjurlarının üzerinde ve su dağıtım sisteminin altında bulunur. İşletme suyunun kirlilik derecesine göre PP'den mamul splash grid (sıçratmalı grid) ve splash bigudi (sıçratmalı bigudi) veya PVC'den mamul petek tip dolgu kullanılır. Dolgunun üzerine üniform olarak su yağmurlaması yapılır. Böylece su damlacıkları sürekli sıçratılarak veya dolgu üzerinde süzülerek kolayca buharlaşır. Dolgu, yüksek verim alınabilmesi için optimum ıslak yüzeyin sağlanacağı şekilde tasarlanıp monte edilir.



Şekil Dolgu

Aşağıdaki tablo işletme suyunun kalitesine göre kullanılan dolgularla ilgili bilgi vermektedir.

Tablo Suyun kalitesine göre dolgu seçimi

Sirkülasyon Suyu Kalitesi	Aşıda Katı Madde Miktarı		Dolgu Türü	Dolgu Islak Yüzeyi
	Kısa Süreli Çalışma < 10 saat	Sürekli Çalışma 24 saat		
İşletme suyunun çok temiz ve temiz olduğu yerlerde	100-200ppm	70-120ppm	PVC Petek	~150-240
İşletme suyunun orta kirlilikte olduğu yerlerde	500ppm	300ppm	PP Bigudi	~90-150
İşletme suyunun kirli ve çok kirli olduğu yerlerde	Limitsiz	Limitsiz	PP Splash	<90

Dolgu çeşitleri;

- a. Splash grid dolgu
- b. Splash bigudi dolgu
- c. PVC petek dolgu

a –Splash grid dolgu: PP'den mamul splash gridler, üniform olarak yağmurlama yapılan dolgu katları arasında, sürekli sıçratılarak parçalanmasını sağlayacak şekilde dizayn ve monte edilirler. Sıçratılan su taneciklerinde buharlaşma yüzeyi oluşturulması sağlanır. Yüksek sıcaklıklarda dahi deforme olmaz. (sürekli çalışmada yaklaşık 80°C ve kısa süreli çalışmalarda yaklaşık 90°C sıcaklıklarda çalışabilir.) Askıdaki katı madde miktarı (ppm) çok yüksek sirkülasyon sularının olduğu yerlerde (limitsiz kirliliklerde) rahatlıkla kullanılabilir. Zaman içinde tıkanma ve birikmeler olmayacağından, kulede kirlilik yükü oluşturarak tahribata sebebiyet vermez. Kule içerisinde Ctp konstrüksiyona PP malzemeden özel olarak imal edilmiş kolaylıkla sökülür-takılır özellikte saportlar ve paslanmaz tellerden oluşan taşıyıcı askılar vasıtası ile asılırlar. Başlangıçta oluşturulan (ilk sıra) dolgu platformu saportlara asıldıktan sonra, 2. sıra dolguları 1. sıra dolgularına göre şaşırtmalı olacak şekilde asılır. Tüm dolgular bir birine komşu katlar arasında şaşırtmalı olarak saportlara asılır. Böylece suyun nozuldan, soğutulmuş su havuzuna seyahatinde geçen zaman içerisinde devamlı olarak parçalanması sağlanmış olacaktır.

b –Splash bigudi dolgu: Yeni bir dolgu türüdür. PP bigudi dolgu, yüksek sıcaklıklarda (kısa süreli çalışmada yaklaşık 80°C) ve kirlı sularda tercih edilmektedir. Yeniden kullanılmak üzere temizlenebilmesi kolaylığından faydalanılmaktadır. Yeniden kullanılması özelliği ile işletme maliyeti ucuzdur.



Şekil 5.3.12 Splash grid dolgu



Şekil 5.3.13 Splash bigudi dolgu

c –PVC petek dolgu: PVC petek dolgu ise, işletme suyunun daha temiz olduğu yerlerde (toz ve kirliliklerden arındırılmış), suyu kontrol edilen ve besleme suyunun sürekli yumuşatıldığı proseslerde tercih edilmektedir.

55°C'ye kadar giriş suyu olan kulelerde, ıslak yüzeyinin daha fazla olmasından dolayı iyi performansından faydalanılmaktadır. Kirlı kireçli sularda kullanıldığı takdirde temizlenme imkanı yoktur. Dolgu levha ara mesafeleri 12, 19 ve 27 mm olmak üzere 3 farklı tipte imal edilmektedir.



Şekil 5.3.14 PVC petek dolgu

Hava Giriş Panjurları

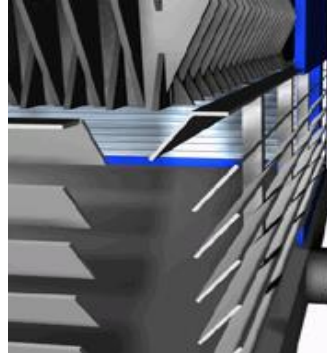
Hava giriş panjurları, kulenin dışında gövde üzerinde, soğutulmuş su havuzu ile dolgu kotu arasında yer alırlar. Kuleye giren havanın üniform olarak dolguya geçişini sağlarlar. Havuzda biriken suyun sıçramalar ile kaybını önlerler. Güneş ışınlarını belli ölçüde engelleyerek yosun oluşumunu azaltırlar ve kulenin bu bölümündeki boşluğu kapatırlar. Güzel görünüm için kulenin dört tarafında hava giriş panjurları bulunur. Panjurlar PVC'den imal edilirler. Kolay takılır ve sökülürler. Panjurlar minimum hava direnci sağlayacak şekilde monte edilirler.



Şekil 5.3-15 Hava giriş panjurları

Hava giriş panjur çeşitleri;

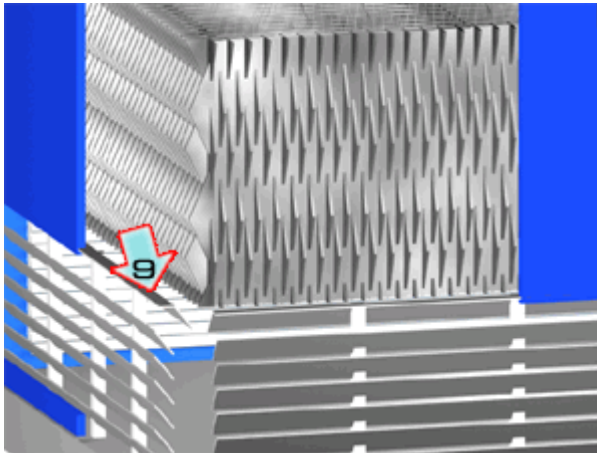
- CTP Panjur
- PVC panjur



Şekil 5.3-16 CTP ve PVC panjur

Su Yönlendiriciler

Su yönlendiriciler, kulenin içinde hava giriş panjurlarının üzerinde ve kule dolgularının altında yer almaktadır. CTP malzemeden imal edilip kule gövdesine 45° eğimli olarak monte edilirler. Fanın çalışmadığı zamanlarda kulenin yan duvarlarından süzülen suyun sıçrayarak havuz dışına çıkmasını engeller ve havuzun merkezine doğru yönlendirilmesini sağlarlar.



Şekil 5.3-17 Su yönlendiriciler

8.4 SU SOĞUTMA KULESİ BOYUTLANDIRILMASI

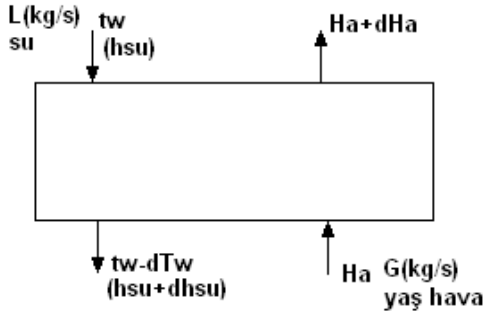
TERS AKIŞLI SU SUĞUTMA KULESİ

Soğutma kuleleri sistemlerin soğutulması için suyun buharlaşması sırasında ısı alma temel prensibini kullanan temel soğutma sistemleridir. Su soğutma kulelerinde bir tarafta dış hava su soğutma kulesine girer. Diğer taraftan sistemden gelen sıcak su kuleye gönderilir. Bu su dolgu ismini verdiğimiz yapıların üzerinden akıtılarak parçalanır ve giren havayla iyi bir temas yüzeyi sağlanır. Bu yüzey boyunca suyun bir kısmı buharlaşır ve buharlaşırken ısı çeker. Buharlaşan su havaya karışarak havanın su içeriğini artırır. Böylece akan yaş havanın toplam entalpisi hem giren hava ile giren su arasındaki sıcaklık farklarından dolayı artarken geriye kalan sıvı suyun entalpisi azalır. Burada suyun buharlaşması ile enerji çaktığımız için teorik olarak doymuş yaş hava sıcaklığına kadar suyun sıcaklığını düşürebilmek mümkündür. Pratik olarak yaş hava sıcaklığına 3-5 dereceye kadar su sıcaklıkları elde edebiliriz. Kısaca soğutma kulelerini atmosfer sıcaklığının altındaki sıcaklıklara su soğutabilen su soğutma ekipmanları olarak tanımlıyabiliriz.

Su soğutma kulelerinin yaygın kullanım alanları arasında klima sistemleri, üretim tesisleri ve enerji santralleri vardır. Günümüzde su soğutma kulelerinin olmadığı bir üretim tesisi görmenin zor olduğunu söyleyebiliriz. Sera etkisinden dolayı çevre sıcaklıklarının daha da artması dış havayı bir soğutma ortamı olarak kullanma sınırlarını da zorlamaya başlamıştır. Bu yüzden günümüzde kuru soğutma kulesi dediğimiz kanatlı atmosferik hava soğutucularının yerine yaş soğutma kulelerinin kullanım yüzdesinin artmasını bekleyebiliriz. Şekil 1 de inşai tip bir soğutma kulesinin genel görünümü verilmiştir.

TERS AKIŞLI SU SUĞUTMA KULESİ ISIL ANALİZİ

Bu bölümde su akış yönünün ve hava akış yönünün birbirine ters olduğu (karşı akışlı) su soğutma kulesinde kule temel boyutlandırılma ve ısı analizlerinin yapılması verilecektir. Burada önce dolgu miktarı ve buna bağlı olarak soğutma kulesi boyutu irdelenecektir. Şekil 6 da karşı akışlı bir hava kulesinde akan suyun ve havanın dolgu üzerindeki diferansiyel kontrol hacmi görülmektedir.



Şekil 5.4.2-1. hava kulesinin diferansiyel kontrol hacmi

Şekildeki t_w su sıcaklığı, h_{su} suyun entalpisi, H_a yaş hava giriş entalpidir. L su kütleli debisi, G kuru hava kütleli debisidir. Bu durumda diferansiyel kontrol hacmi enerji denklemi:

$$LC_{pw}dt_w = L dh_{su} = G dH_a \quad (5.4.2-1)$$

Su damlacığının enerji transferinde 2 temel mekanizma söz konusudur. Birincisi sıcaklık farkından dolayı ısı taşınımı diğeri ise kütle transferinden dolayı (damlacık yüzeyinden suyun belli bir kısmı buharlaşmaktadır) oluşan mühendislik hesaplarında gizli ısı olarak adlandırılan enerji transferi. (1) denklemini ısı ve kütle transferi yönünden yazacak olursak :

$$LC_{pw}dt_w = L dh_{su} = h_{taşınım} a dV(t_w - t_a) + K_a dV (W_w - W_a)h_{fg} \quad \text{Buradaki}$$

$$h_{taşınım} = \text{taşınım ısı transferi katsayısı (W/m}^2\text{K)}$$

$$K = su - \text{hava temas yüzeyindeki kütle transferi katsayısı}$$

$$a = \text{dolgu maddesinin birim hacmi başına su ile havanın temas yüzeyi (m}^2\text{)}$$

$$C_{pw} = \text{suyun özgül ısısı (KJ/kg K)}$$

$$h_{su} = \text{suyun entalpisi (KJ/kg)}$$

$$h_{fg} = h_{buhar} - h_{su} = \text{suyun buharlaşma entalpisi}$$

$$W_w = \text{su sıcaklığındaki doymuş havanın mutlak nemi (kg su buharı/kg kuru hava)}$$

$$W_a = \text{su sıcaklığındaki doymuş havanın mutlak nemi (kg su buharı/kg kuru hava)}$$

Su hava temas yüzeyinde Lewis benzeşim bağıntısı genellikle geçerlidir. Bu bağıntı

$$K = h_{taşınım}/C_{phava}$$

bu bağıntıdaki C_{phava}

havanın sabit basınçta su - hava temas yüzeyindeki özgül ısıdır. K su-hava yüzeyindeki kütle transferi katsayısı

(kg/(s.m²), h_{taşınım}, taşınım ısı transferi katsayısı (W/m²K), C_{phava} yaş havanın özgül ısısıdır. a birim hacimdeki su-hava temas yüzey alanıdır (m²/m³)

Denklemleri bir araya getirirsek :

$$LC_{pw}dt_w = L dh_{su} = K a dV(C_{phava} t_w - C_{phava} t_a + W_w h_{fg} - W_a h_{fg})$$

Denklemini elde ederiz. Yaş havanın entalpisi

$$H_w = C_{phava} t_w + W_w h_{fg}$$

$$H_a = C_{phava} t_w + W_a h_{fg}$$

Olduğu göz önüne alınırsa denklemimiz

$$LC_{pw}dt_w = L dh_{su} = K a dV(H_w + H_a)$$

Formunu alır. Buradan

$$\int_0^V \frac{Ka dV}{L} = \int_{tsuc}^{tsug} \frac{C_{pw} dt_w}{H_w - H_a} = \int_{tsuc}^{tsug} \frac{dh_{su}}{H_w - H_a}$$

$$\frac{KaV}{L} = \int_{tsuc}^{tsug} \frac{C_{pw} dt_w}{H_w - H_a} = \int_{tsuc}^{tsug} \frac{dh_{su}}{H_w - H_a}$$

denklemini elde edilir. Bu denklem **Merkel denklemi** adı ile anılır. Buradaki $\frac{KaV}{L}$ terimi kule karakteristiği olarak

alır. Kule dizaynında kule karakteristiği ısı değiştirici dizaynındaki NTU gibi önemli bir parametredir. Anlam

olarak da NTU'ya benzer. Diğer bir terimle çok büyük $\frac{KaV}{L}$ değerine sahip olan bir kule gereğinden büyüktür

(yani çok pahalıdır), çok küçük bir $\frac{KaV}{L}$ değerinde ise gereğinden küçüktür diyebiliriz. Denklem (9) analitik

olarak çözüme pek uygun bir denklem değildir. Sayısal olarak çözülmesi çok daha kolaydır. Sayısal çözümde genel uygulama sıcaklığın küçük adımlar halinde değiştirilerek her adım için olan terimlerin toplanmasıdır.

$$\frac{KaV}{L} = \sum_{i=0}^n \frac{C_{pw} \Delta t_w}{H_w - H_a} = \sum_{i=0}^n \frac{\Delta h_{su}}{H_w - H_a}$$

$$\Delta t_w = \frac{t_{sug} - t_{suc}}{n} \quad (5.4.2-11) \quad \text{veya} \quad \Delta h_{su} = \frac{h_{sug} - h_{suc}}{n} \quad (5.4.2-12)$$

denklemleriyle verilir. Denklemdeki H_a yaş hava giriş entalpisinin ilk değerini hava giriş yaş hava sıcaklığı ve kuru hava sıcaklığından (veya kuru hava sıcaklığı ve bağıl nemden) saptadıktan sonra her adımdaki değişimi denklem (1) de verdiğimiz enerji dengesini kullanarak hesaplayabiliriz.

$$H_a^{i+1} = H_a^i + \frac{L}{G} \Delta h_{su} = H_a^i + \frac{L}{G} C_{pw} \Delta t_w$$

Bu denklemin çözümünü yapmak için java programlama dilinde bir program geliştirilmiştir(sogutmakulesi.java).

Bu programı kullanarak bir örnek problemi irdeleyelim. Sıcak su kuleye 45.0 C de girmekte ve 30 C de çıkmaktadır. Kuru hava sıcaklığı 34 C ve yaş hava sıcaklığı 24 C ise ve su hava debi oranı (L/G)=1.3 ise kule

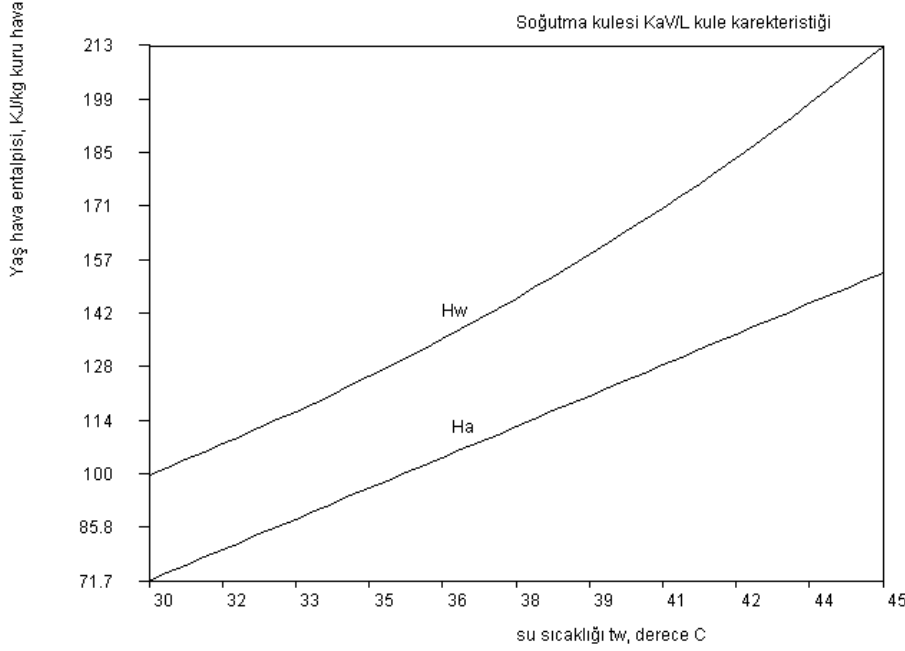
karakteristik denklemini hesaplayalım : program çıktısı olarak $\frac{KaV}{L} = 1.8195099755983606$ bulundu. Bu değeri

elde etmek için 40 adımı sayısal integrasyon kullanıldı. Her adımdaki değerler Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 5.4.2-1 örnek problemdeki hesaplanan entalpi değerleri

T derece C	Hw (kJ/kg)	Ha(kJ/kg)	dhsu	dtw
30	99.63004	71.69137	1.567001	0.375
30.375	101.6045	73.72847	1.566918	0.375
30.75	103.6127	75.76546	1.566839	0.375
31.125	105.6552	77.80235	1.566763	0.375
31.5	107.7328	79.83915	1.56669	0.375
31.875	109.8461	81.87584	1.566621	0.375
32.25	111.9959	83.91245	1.566555	0.375
32.625	114.1829	85.94897	1.566491	0.375

33	116.4078	87.98541	1.566432	0.375
33.375	118.6715	90.02177	1.566375	0.375
33.75	120.9747	92.05806	1.566321	0.375
34.125	123.3182	94.09428	1.56627	0.375
34.5	125.7028	96.13043	1.566223	0.375
34.875	128.1294	98.16652	1.566178	0.375
35.25	130.5989	100.2025	1.566136	0.375
35.625	133.112	102.2385	1.566097	0.375
36	135.6698	104.2745	1.566061	0.375
36.375	138.2731	106.3103	1.566028	0.375
36.75	140.9229	108.3462	1.565998	0.375
37.125	143.6201	110.382	1.56597	0.375
37.5	146.3657	112.4177	1.565945	0.375
37.875	149.1608	114.4535	1.565923	0.375
38.25	152.0063	116.4892	1.565903	0.375
38.625	154.9033	118.5248	1.565886	0.375
39	157.8529	120.5605	1.565871	0.375
39.375	160.8561	122.5961	1.565859	0.375
39.75	163.9142	124.6317	1.565849	0.375
40.125	167.0283	126.6673	1.565841	0.375
40.5	170.1995	128.7029	1.565836	0.375
40.875	173.4291	130.7385	1.565833	0.375
41.25	176.7184	132.7741	1.565833	0.375
41.625	180.0685	134.8097	1.565835	0.375
42	183.4809	136.8453	1.565839	0.375
42.375	186.9568	138.8809	1.565845	0.375
42.75	190.4976	140.9165	1.565853	0.375
43.125	194.1048	142.9521	1.565863	0.375
43.5	197.7798	144.9877	1.565875	0.375
43.875	201.5241	147.0233	1.56589	0.375
44.25	205.3391	149.059	1.565906	0.375
44.625	209.2266	151.0947	1.565924	0.375
45	213.1879	153.1304	1.565944	0.375



Şekil 5.4.2-7 karşı akışlı hava kulesinde entalpi değişimi grafiği

Bu değerleri grafik formunda Şekil 7 de gösterilmiştir. Şekil 7 görsel olarak bize H_w nun değişiminin lineer olmadığını göstermektedir.

ÇAPRAZ AKIŞLI SOĞUTMA KULELERİ ISIL ANALİZİ

Şekil 4.2.3.1 de çapraz akışlı bir kule kesiti görülmektedir. Su tepeden girmekte ve alttan çıkmaktadır. Hava, sol taraftan girmekte ve sağ taraftan çıkmaktadır. Hava bir fan tarafından sürülmekte ve su akış yönüne çapraz olarak hareket etmektedir. Dolgu derinliğini 1 birim olarak alırsak

$$-(dx)(1)(L)(C_{pw})(dT_w) = (dy)(1)(G)(dH_a)$$

denklemi düzenlediğimizde

$$-LC_{pw} \left(\frac{dT_w}{dy} \right) = G \left(\frac{dH_a}{dx} \right)$$

formunu alır. Bu denklemdeki

T_w = su sıcaklığı, derece C

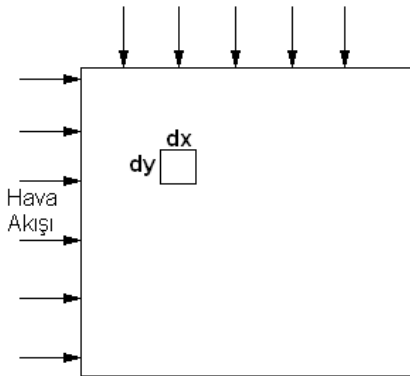
H_a = yaş havanın entalpisi kJ/kg kuru hava

L = birim alandan geçen su debisi kg/(s m²)

G = birim alandan geçen kuru hava debisi kg/(s m²)

C_{pw} = suyun özgül ısısı (KJ/kg K)

Su akışı



Şekil 8.4.3-1 Çapraz akışlı kule kesiti

Denklem 5.4.3-2 suyun kaybettiği ısıyı havanın kazanmasını gösteren bir kısmi diferansiyel denklemdir.

Diferansiyel hacmi tekrar inceler ve suyun ısı kaybını su hava sınır tabakasındaki ısı transferine eşitlersek ve Lewis yaklaşımının doğru olduğunu Kabul edersek (Lewis eşitliği denklem 3 de verilmiştir)

$$-(dx)(1)(L)(C_{pw})(dT_w) = (Ka)(dy)(dx)(1)(G)(H_w - H_a) \quad -LC_{pw} \left(\frac{dT_w}{dy} \right) = Ka(H_w - H_a)$$

Burada H_w su sıcaklığındaki doymuş (bağıl nem $\phi=1$) nemli havanın entalpisidir. (5.4.3-3) ve (5.4.3-4) bağıntıları birleştirilirse

$$G \left(\frac{dH_a}{dx} \right) = Ka(H_w - H_a)$$

denklemleri oluşturulabilir. 15a ve 16 denklemleri temel olarak su-hava yüzeyindeki ısı transferini gösteren denklemlerdir. Isı transferi mekanizmasını oluşturan temel parametre entalpi farkıdır. Diferansiyel denklem kısmi diferansiyel denklem olduğundan çözüm için iki sınır şartı gerekmektedir.

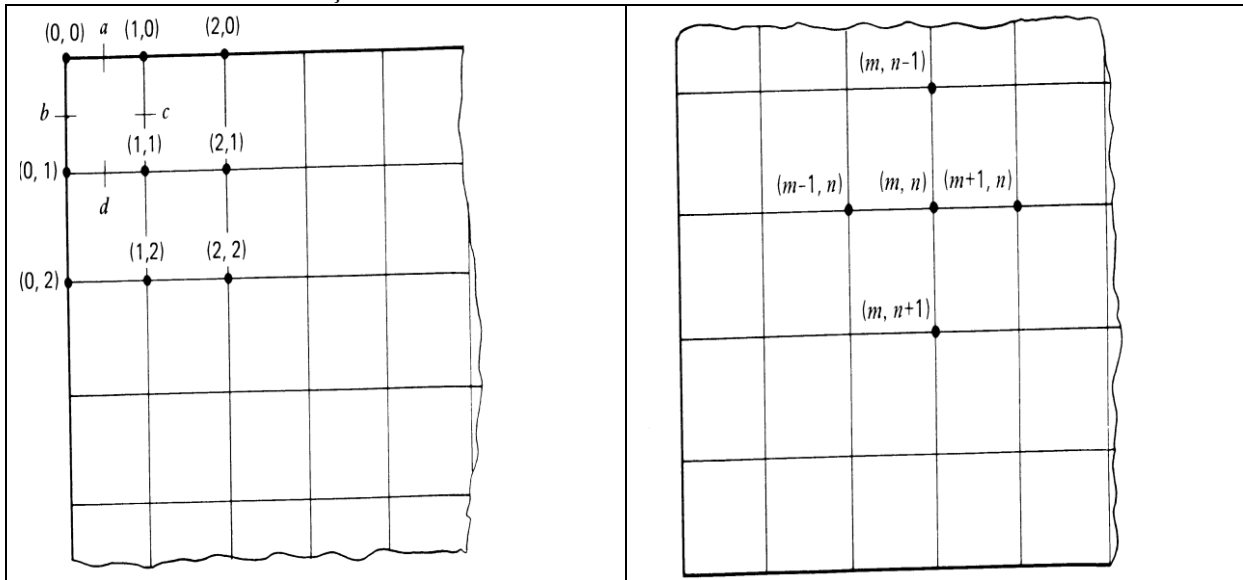
$$H_a(0,y)=C_1$$

$$T_w(x,0)=C_2$$

Bu denklemlerin oluşturulmasında karşı akışta verilen Merkel denklemiyle aynı ön kabuller kullanılmıştır.

Matematik model oldukça lineer olmıyan bir model oluşturduğundan doğrudan bir çözümü mevcut değildir. Çözüm için sonlu farklar metodlarından yararlanmamız gerekir. Sonlu farklar metodunda sistemi x ve y doğrultusunda eşit büyüklükte küçük parçalara bölüp diferansiyel

denklemleri fark denklemlerine dönüştürürüz.



Şekil 8.4.3-2 Çapraz akışlı kule kesitinde sonlu farklar elemanları

Şekil 8.4.3-2 da sonlu eleman sisteminde kullanacağımız koordinat sistemi görülmektedir. $m \times n$ doğrultusundaki, n y doğrultusundaki artışların indeksidir. Biz her noktadaki su sıcaklığını ve yaş havanın entalpisini bilmek istiyoruz. Önce su girişinin olduğu tepe bölgesindeki şartlar hesaplanır. Bunun için 5.4.3-5 denklemi sonlu elemanlar sistemine uygulanırsa:

$$G[H_a(1,0) - H_a(0,0)] = Ka\Delta x(H_w - H_a)_a$$

$(H_w - H_a)_a$ a noktasındaki (bakınız şekil 5.4.3-2) entalpi farkıdır. Bir yaklaşım olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$(H_w - H_a)_a = \frac{[H_w(0,0) - H_a(0,0)]}{2} + \frac{[H_w(1,0) - H_a(1,0)]}{2}$$

Bu durumda

$$H_a(1,0) = \frac{H_a(0,0) + \frac{M_x}{2} [2H_w(0,0) - H_a(0,0)]}{1 + \frac{M_x}{2}}$$

$$\text{Buradaki } M_x = \frac{Ka\Delta x}{G}$$

Genel durumda yukarıdaki denklem

$$H_a(m,0) = \frac{H_a(m-1,0) + \frac{M_x}{2} [2H_w(m-1,0) - H_a(m-1,0)]}{1 + \frac{M_x}{2}} \quad \text{formunu alır.}$$

Denklemler 5.4.3-10 su girişindeki yaş hava entalpilerini hesaplamak için kullanılabilir. Hava girişindeki su sıcaklıklarını hesaplamak için de denklem 5.4.3-4 sonlu fark denkleminde dönüştürülür.

$$-LC_{pw}[T_w(0,1) - T_w(0,0)] = Ka\Delta y(H_w - H_a)_b$$

$$(H_w - H_a)_b = \frac{H_w(0,0) - H_a(0,0)}{2} + \frac{H_w(0,1) - H_a(0,1)}{2}$$

Ve buradan

$$T_w(0,1) = T_w(0,0) - \frac{M_y}{2C_p} [H_w(0,0) + H_w(0,1) - 2 * H_a(0,0)]$$

$$\text{Buradaki } M_y = \frac{Ka\Delta y}{L}$$

Daha genel formda denklem :

$$T_w(0,n) = T_w(0,n-1) - \frac{M_y}{2C_p} [H_w(0,n-1) + H_w(0,n) - 2 * H_a(0,n-1)]$$

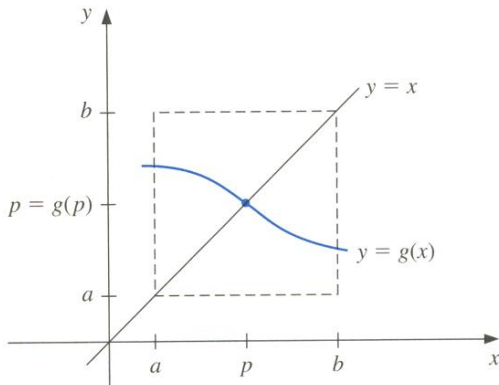
Formunu alır. Denklemde birbirine bağımlı iki değişken mevcuttur : $T_w(0,n)$ ve $H_w(0,n)$ Bu yüzden bu denklem normal bir denklem değildir ve problem bir kök bulma problemidir. Sınır şartları bulunduğunda sınır iç noktalarının hesaplanması için sonlu farklar denklemlerimizin genel formlarını kullanabiliriz.

$$T_w(m,n) = T_w(m,n-1) - \frac{M_y}{2C_p} [H_w(m,n-1) - H_a(m,n-1) + H_w(m,n) - H_a(m,n)]$$

$$H_a(m,n) = \frac{H_a(m-1,n) + \frac{M_x}{2} [H_w(m,n) + H_w(m-1,n) - H_a(m-1,n)]}{1 + \frac{M_x}{2}}$$

Denklemler 5.4.3-16 ve 5.4.3-17 de aslında birlikte çözülmesi gereken tek bir denklem oluşturmaktadır. Bu denklemlerin birlikte çözümü kök bulma işlemi gerektirmektedir. Burada kök bulma metodu olarak Aitken interpolasyon düzeltmeli direk yerine koyma metodu kullanılacaktır. Bu metotta $f(x)$ fonksiyonundan bir x değeri çekilerek $f(x)=0$ fonksiyonu, $x=g(x)$ fonksiyonuna dönüştürülür. Buna sabit nokta iterasyonu veya direk yerine koyma iterasyonu ismi verilir.

Aitken interpolasyon prosesinden yararlanarak direk yerine koyma metodu iyileştirilebilir. Metod ilk olarak Steffensen tarafından önerilmiştir. İlk önce Aitken interpolasyonunu tanımlıyalım: Temel olarak k çok büyük bir değer olduğunda



Şekil 8.4.3-3 direk yerine koyma metodunun grafik gösterimi

$$\frac{x_{k+2} - a}{x_{k+1} - a} \approx \frac{x_{k+1} - a}{x_k - a} \quad k \gg 1$$

bu bağıntıdan dördüncü bir noktanın değerini bulmak istersek

$$x_e = \frac{x_k x_{k+2} - x_{k+1}^2}{x_k - 2x_{k+1} + x_{k+2}}$$

3 önceki nokta bilindiğinde 4üncü noktayı tahmin edebiliriz.

$$\Delta x_k = x_{k+1} - x_k$$

$$\Delta^2 x_k = x_{k+2} - 2x_{k+1} + x_k$$

$$x_e = x_k - \frac{(\Delta x_k)^2}{\Delta^2 x_k}$$

Denklem 5.4.3-21 Aitken interpolasyon denklemi adımı alır. Şimdi direk yerine koyma metoduna geri dönersek : $p_0^{(0)}$ ilk tahmin değeri verildiğinde, $p_1^{(0)}=g(p_0^{(0)})$ ve , $p_2^{(0)}=g(p_1^{(0)})$ normal direk yerine koyma adımı olarak hesaplanır, sonra bir Aitken interpolasyon stebi kullanılır.

$$p_0^{(1)} = p_0^{(0)} - (p_1^{(0)} - p_0^{(0)})^2 / (p_2^{(0)} - 2 p_1^{(0)} + p_0^{(0)})$$

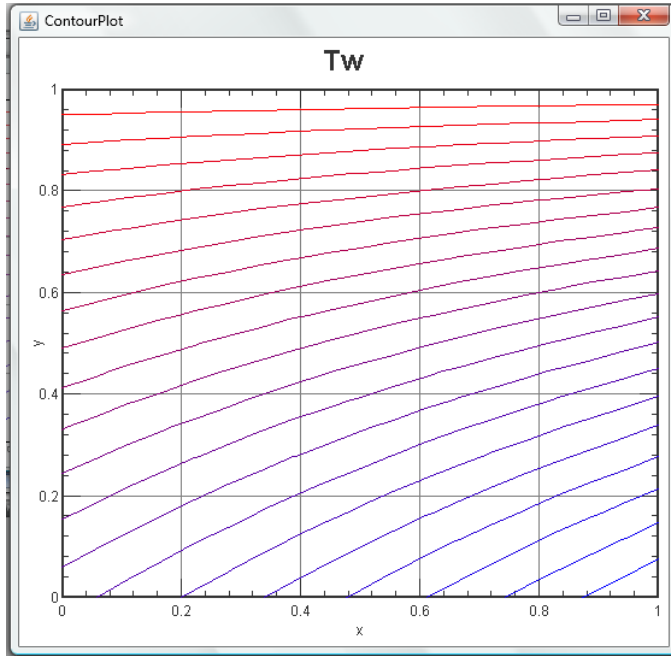
bundan sonra yine

$$p_1^{(1)}=g(p_0^{(1)}) \text{ ve } , p_2^{(1)}=g(p_1^{(1)})$$

stepleriyle devam edilir. Çözüm parametrelerini sadeleştirmek amacıyla genellikle sonlu farklar çözümlerinde $\Delta x = \Delta y$ alınır. Bu durumda

$$M_x = M_y \frac{L}{G}$$

olur.



8.4 Çapraz akış örnek problemindeki su sıcaklığı kontur grafiği (su giriş $T_w=48.8$, su çıkış ortalama $T_{\text{çıkış}}=38.8$)

Bu denklemin çözümünü yapmak için java programlama dilinde bir program geliştirilmiştir (sogutmakulesi1.java). Bu programı kullanarak bir örnek problemi irdeleyelim. Sıcak su kuleye 48.8 C de girmekte ve 38.8 C de

çıkacaktır. Kuru hava sıcaklığı 34 C ve yağ hava sıcaklığı 24 C ise ve su hava debi oranı (L/G)=1.0 ise kule karakteristik denklemini hesaplayalım : program çıktısı olarak

$$\frac{KaY}{L} = 0.475 \text{ bulundu.}$$

SU SOĞUTMA KULESİ KÜTLE TRANSFER KATSAYISININ VE DOLGU BASINÇ DÜŞÜMÜNÜN TAYİNİ

Soğutma endüstrisinde kullanılan soğutma kulelerinde dolgu malzemesi olarak genellikle plastik malzemeler kullanılır. Her üreticinin plastik dolgu malzemelerinin kütle transfer karakteristikleri değişiktir. Biz burada soğutma endüstrisinde çok kullanılan plastik levha tipi dolgu malzemesi için olan kütle transferi ve basınç denklemini tanımlayacağız. Bu tür bir dolgunun şekli Şekil 12 de verilmektedir.

Tablo 5.5-1 Film tipi dolguların performans sabitleri

Film Tipi	Dolgu boyutu Yükseklik(m) X En(m)	Ka denkleminin sabitleri		
		C	m	n
Çapraz akış	1.524 X 0.6096	0.61	0.23	0.77
XF12560/15	1.524 X 0.9144	0.6	0.2	0.8
	2.286 X 0.6096	0.61	0.2	0.8
	2.286 X 0.9144	0.54	0.22	0.78
	2.286 X 1.2192	0.51	0.23	0.77
Çapraz akış	2.286 X 0.9144	0.19	0.54	0.46
XF19060	2.286 X 1.2192	0.23	0.23	0.51
	Yükseklik			
Karşı Akış	0.3048	1.08	0.25	0.75
CF12060	0.6096	0.93	0.14	0.86
	0.9144	0.8	0.12	0.88
	1.2192	0.71	0.13	0.87
Karşı Akış	0.6096	0.5	0.16	0.84
CF19060	0.9144	0.5	0.09	0.91
	1.2192	0.49	0.04	0.96
	1.524	0.45	0.08	0.92

Bu tür dolgular için Kütle transfer katsayısı

$$Ka=0.004449577 * C * (L)^m * (G)^n$$

denkleminle tanımlanabilir. Burada Ka kg/(s m³) dür G ve L kg/(s m²) birimlerinde verilmiştir. Denklemindeki katsayılar her bir dolgu tipi için değişiktir. Munters Corporation tarafından üretilen bazı film dolgular için katsayıların değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Bu denklemin Bölüm 2 de verilen kule karakteristiği denkleminle birlikte kullandığımızda bize gerekli olan dolgu miktarını, dolayısıyla kule boyutlarını verecektir. Değişik dolguların dolgu karakteristiklerinin çıkarılması için deneysel çalışmalar gereklidir.

9.0 AKIŞ SİSTEMLERİNİN SEÇİMİ VE MODELLENMESİ

(POMPALAR FANLAR, KOMPRESÖRLER, TÜRBİNLER, KAPLAR, VANALAR VE BORULAR)

9.1 BORULARDA BASINÇ DÜŞÜMÜ

Boru akışlarındaki basınç düşümü ve akış için temel olarak Bernoulli denkleminde yararlanılır. Bu denklem:

$$\rho \frac{V_1^2}{2} + P_1 + \rho g z_1 = \rho \frac{V_2^2}{2} + P_2 + \rho g z_2 + \Delta P$$

Şeklinde. Buradaki V hız m/s, P basınç Pa, z kod ve ΔP basınç düşümüdür.

Aynı denklem

$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \Delta h$ formunda da verilebilir. Buradaki Δh yükseklik düşümüdür.

Basınç düşümü terimini boru akışı için açık olarak yazarsak:

$$\Delta P = \rho g \Delta h = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \rho \frac{V^2}{2}$$

Buradaki f Darcy - Weisbach sürtünme katsayısı, L boru boyu, D boru çapıdır. K_L yerel basınç kayıplarıdır.

Sürtünme katsayısı f akış rejiminin fonksiyonudur. $Re = \frac{\rho U D}{\mu}$ Burada Re Reynolds sayısı, μ dinamik viskozite, D

boru iç çapı ve ρ yoğunluktur. Laminer akış ($Re_{kritik}=2300$) Hagen-Poiseuille denklemi kullanabilir.

$$f = \frac{64}{Re}$$

Tübülanlı bölge için Colebrook-White(1937) [4] denklemi mevcuttur.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

Bu denklemdeki ε yüzey pürüzlülüğü adını alır. Bazı malzemelerin yüzey pürüzlülük katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

isim	Durum	ε
Aluminyum, çekme	yeni	0.0013 - 0.0015 mm
Aluminyum, çekme	eski	to 0.03 mm
Asbestos-cement	yeni, pürüzsüz	0.03 - 0.1 mm
Pirinç, çekme	yeni	0.0013 - 0.0014 mm
Pirinç, çekme	eski	to 0.03 mm
Dökme demir	average city sewerage	1.2 mm
Dökme demir	incrusted	to 3.0 mm
Dökme demir	yeni, bituminized	0.10 - 0.13 mm
Dökme demir	yeni, with skin	0.2 - 0.6 mm
Dökme demir	operating several years, cleaned	1.5 mm
Dökme demir	slightly paslı	1.0 - 1.5 mm
Seramik	yeni, seramik tile	9.0 mm
Seramik, Drainage-pipe	yeni, calcined	0.7 mm
Beton	yeni, medium pürüzlü	1.0 - 2.0 mm
Beton	yeni, pürüzlü	2.0 - 3.0 mm
Beton	yeni, pürüzsüz	0.3 - 0.8 mm
Beton	operating several years	0.2 - 0.3 mm
Beton	yeni, pürüzsüz plastered	0.1 - 0.15 mm
Beton	yeni, without plaster	0.2 - 0.8 mm
Beton, çelik-	yeni, pürüzsüz	0.1 - 0.15 mm
Bakır, çekme	yeni	0.0013 - 0.0015 mm
Bakır, çekme	eski	to 0.03 mm
Cam, çekme	yeni	0.0013 - 0.0015 mm
Cam, çekme	eski	to 0.03 mm
Plastic, çekme	yeni	0.0013 - 0.0015 mm
Plastic, çekme	eski	to 0.03 mm
Lastik	yeni, smoot	0.0016 mm
Çelik	after long operation cleaned	0.15 - 0.20 mm
Çelik	homogeneous corrosion pits	0.15 mm
Çelik	intensely incrusted	2.0 - 4.0 mm

Çelik	slightly pashlı and incrusted	0.15 - 0.40 mm
Çelik, boyuna kaynaklı	yeni, bituminized	0.01 - 0.05 mm
Çelik, boyuna kaynaklı	yeni, galvanized	0.008 mm
Çelik, boyuna kaynaklı	yeni, rolling skin	0.04 - 0.1 mm
Çelik, kaynaklı	yeni, comm.size galvanized	0.10 - 0.16 mm
Çelik, kaynaklı	yeni, neatly galvanized	0.07 - 0.10 mm
Çelik, kaynaklı	yeni, pickled	0.03 - 0.04 mm
Çelik, kaynaklı	yeni, rolling skin	0.02 - 0.06 mm
Çelik, kaynaklı	yeni, unpickled	0.03 - 0.06 mm
taş		0.25 mm
Ağaç	after long operating	0.1 mm
Ağaç	yeni	0.2 - 1.0 mm

Denkleimde de görüleceği gibi bu denklemin çözülmesi için bir kök bulma metodundan yararlanılması gerekir. Örnekte Newton-Raphson kök bulma metodu kullanılmıştır.

$$X = \frac{1}{\sqrt{f}}$$

$$f(X) = X + 2 \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} + \frac{2.51}{Re} X \right]$$

$$\frac{df(X)}{dX} = 1 + 2 \frac{\frac{2.51}{Re}}{\left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} + \frac{2.51}{Re} X \right]}$$

Newton Raphson formülü:

$$X_{k+1} = X_k - \frac{f(X_k)}{\frac{df(X_k)}{dX}} \quad k=0, \dots, n$$

Bu formüller kök bulabilmek için ilk tahmin değeri de gereklidir.

PROBLEM: T=26.85 C sıcaklığında ve P=300 kPa basıncındaki su D=25x10⁻³ m iç çapında ticari çelik borudan yapılmış borunun basınç düşümünü hesaplayınız.

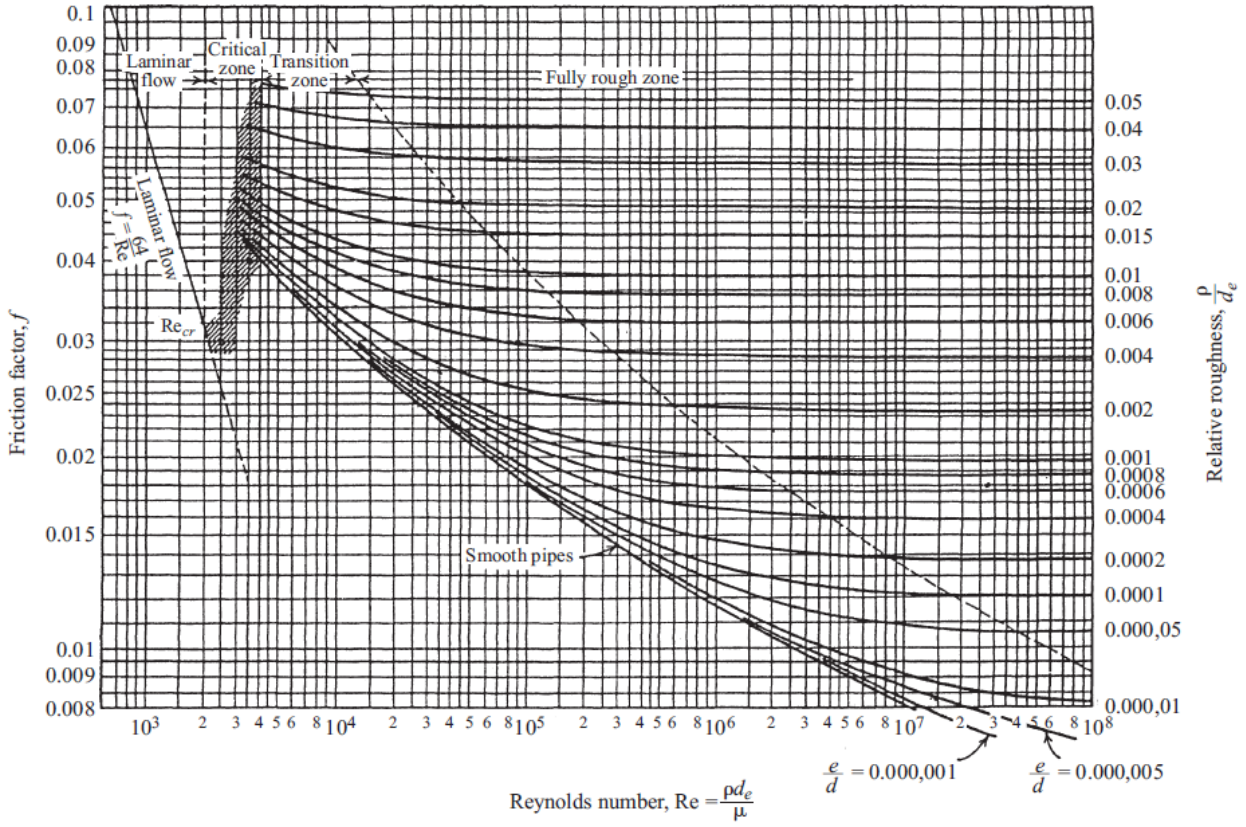
Program kodu: water.java, newtonA.java

```

----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" newtonA
T=300.0 degree K
ro=996.6470643119458 kg/m^3
P=300.0 kPa
U=3.0 m/s
D=0.025 m
e=1.6E-4 m
f = 0.03368023003583202
dP = 6042.114430301341
> Terminated with exit code 0.

```

Aşağıdaki grafikte sürtünme katsayısı grafik olarak verilmiştir.



Aynı zamanda diğer yaklaşım formülleri de mevcuttur. Bunların bazılarını aşağıda verelim

Haaland denklemi (1983) [4]

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log_{10} \left[\left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right]$$

Moody denklemi(1944) [9]

$$f = 5.5 \times 10^{-3} \left[1 + \left(2 \times 10^4 (\epsilon/D) + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right]$$

Wood denklemi (1966) [18] Valid region: $Re > 10000$, $10^{-5} < (\epsilon/D) < 0.04$

$$a = 0.53 (\epsilon/D) + 0.094 (\epsilon/D)^{0.225}$$

$$b = 88 (\epsilon/D)^{0.44}$$

$$C = 1.62 (\epsilon/D)^{0.134}$$

$$f = a + b Re^{-C}$$

Churchill denklemi (1977) [3] Valid region: valid for all regions

$$A = -2 \log_{10} \left[\left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right) + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} \right]^{16}$$

$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A + B)^{-1.5} \right]^{1/12}$$

Chen denklemi (1979) [2] Valid region: all values

$$A = \log_{10} \left[\left(\frac{\epsilon/D}{2.8257} \right)^{1.1098} + \left(\frac{5.8506}{Re^{0.8981}} \right) \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\left(\frac{\epsilon/D}{3.765} \right) + \frac{5.0452A}{Re} \right]$$

Swamee-Jain denklemi (1976) [14] Valid region: $5000 > Re > 10^7$, $0.00004 < (\epsilon/D) < 0.05$

$$A = \log_{10} \left[\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right]$$

$$f = \frac{0.25}{A^2}$$

Zigrang - Sylvester denklemi (1982) [20] Valid region: all values

$$A = \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} + \frac{13}{Re} \right]$$

$$B = \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} + \frac{5.02A}{Re} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\left(\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} \right) - \frac{5.02B}{Re} \right]$$

Serghides denklemi (1984) [22] Valid region: all values

$$A = -2 \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} + \frac{12}{Re} \right]$$

$$B = -2 \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} + \frac{2.51A}{Re} \right]$$

$$C = -2 \log_{10} \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.7} + \frac{2.51B}{Re} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = A - \frac{(B-A)^2}{C-2B+A}$$

Goudar- Sonnad denklemi (2008)[21] Valid region: all values

$$a = \frac{2}{\ln(10)}$$

$$b = \frac{(\varepsilon/D)}{3.7}$$

$$d = \frac{\ln(10)}{5.02} Re$$

$$s = bd + \ln \left(\frac{d}{q} \right);$$

$$q = s^{\left(\frac{s}{s+1} \right)}$$

$$g = bd + \ln \left(\frac{d}{q} \right)$$

$$z = \frac{q}{g}$$

$$\delta_{LA} = \frac{g}{g+1} z$$

$$\delta_{CFA} = \delta_{LA} \left(1 + \frac{z/2}{(g+1)^2 + \left(\frac{z}{3} \right) (2g-1)} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = a \left[\ln \left(\frac{d}{q} \right) + \delta_{CFA} \right]$$

Romeo Denklemi (2002) [11] Valid region: all values

$$A = \log_{10} \left[\left(\frac{(\varepsilon/D)}{7.7918} \right)^{0.9924} + \left(\frac{5.3326}{208.815+Re} \right)^{0.9345} \right]$$

$$B = \log_{10} \left[\left(\frac{(\varepsilon/D)}{3.3827} \right) - \frac{4.567A}{Re} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\left(\frac{(\varepsilon/D)}{3.7065} \right) - \frac{5.0272B}{Re} \right]$$

Bu formüller içinde Goudar-Sonnad ve Serghides denklemleri Colebroke-White denklemi ile hemen hemen aynı sonucu verdiği için onun yerini alabilirler ve proste kök bulma zorunluğunu ortadan kaldırır.

PROBLEM: T=26.85 C sıcaklığında ve P=300 kPa basıncındaki su D=25x10⁻³ m iç çapında ticari çelik borudan yapılmış borunun basınç düşümünü hesaplayınız. Bunun için tüm sürtünme kayıp denklemlerini deneyiniz.

Program ismi: **colebrook2.java**

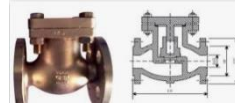
```
----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\java.exe" colebrook2
T=300.0 degree K
ro=996.6470643119458 kg/m^3
P=300.0 kPa
U=3.0 m/s
D=0.025 m
e=1.6E-4 m
Friction factors:
f Haaland = 0.03366809407987718
f Moody = 0.034019312456163006
f Wood = 0.03430754588971051
```

f Churchill = 0.033941360161729314
f Chen = 0.03369873685763093
f Swamee = 0.03395380279310423
f Zigrand = 0.03368022234776756
f Romeo = 0.03366856614181092
f Serghides = 0.03368023003463402
f Goudar = 0.03368023003463402
dP = 6042.114430086424

> Terminated with exit code 0.

Bir boru içi akış sistemindeki sürtünme kayıpları önemli olduğu kadar yerel basınç kayıpları da önemlidir. Değişik sistem elemanları için yerel kayıp katsayıları, K_L is given as tables below.

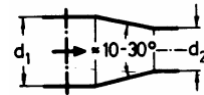
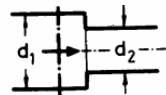
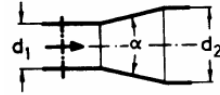
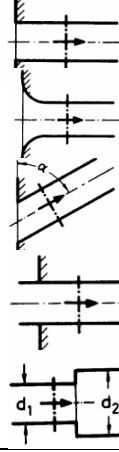
Kullanılan semboller		
PN	yaklaşık bar olarak dayanım basıncı	
DN	boru iç çapı mm	
VANALAR		KL
Tablalı (Globe) vana düz	DN 25-200 dövme	2.5
Tablalı (Globe) vana düz	DN 25-200 dövme	6.5
Tablalı (Globe) vana Y şekilli	DN 25 mm	1.7
Tablalı (Globe) vana Y şekilli	DN 32 mm	1.4
Tablalı (Globe) vana Y şekilli	DN 40 mm	1.2
Tablalı (Globe) vana Y şekilli	DN 50 mm	1
Tablalı (Globe) vana Y şekilli	DN 65 mm	0.9
Tablalı (Globe) vana Y şekilli	DN 80 mm	0.8
Tablalı (Globe) vana Y şekilli	DN 100 mm	0.7
Tablalı (Globe) vana Y şekilli	DN 125-200 mm	0.6
Açılı vanalar (tam açık)	DN 25-200 mm	2
çekvalf kalkan tip açılı	DN 25-200 mm	2
çekvalf kalkan tip düz	DN 25-200 mm	3.5
taban sübabi, süzgeçli	DN 50-80 mmv=1 m/s	4.1
taban sübabi, süzgeçli	DN 50-80 mmv=2 m/s	3
taban sübabi, süzgeçli	DN 100-350 mm v=2 m/s	3
taban sübabi, süzgeçli	DN 100-350 mm v=1 m/s	2.25
Kelebek vana DN400	PN 10	0.48
Kelebek vana DN400	PN 16	1.2
Kelebek vana DN600	PN4	0.16
Kelebek vana DN600	PN10	0.33
Kelebek vana DN600	PN16	0.85
Kelebek vana DN600	PN17	1.85
Kelebek vana DN800	PN2.5	0.08
Kelebek vana DN800	PN4	0.12
Kelebek vana DN800	PN6	0.16
Kelebek vana DN800	PN10	0.5
Kelebek vana DN800	PN16	0.73
Kelebek vana DN1000	PN2.5	0.06
Kelebek vana DN1000	PN4	0.11
Kelebek vana DN1000	PN6	0.3
Kelebek vana DN1000	PN10	0.45
Kelebek vana DN1000	PN16	0.63
Kelebek vana DN1200	PN2.5	0.08
Kelebek vana DN1200	PN4	0.2
Kelebek vana DN1200	PN6	0.25
Kelebek vana DN1200	PN10	0.41
Kelebek vana DN1500	PN2.5	0.13
Kelebek vana DN1500	PN4	0.17
Kelebek vana DN1500	PN6	0.22
Kelebek vana DN1500	PN10	0.37
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN200 U=1m/s	2.95



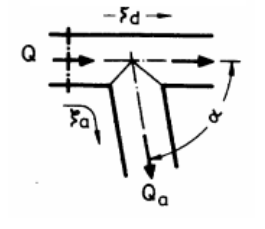
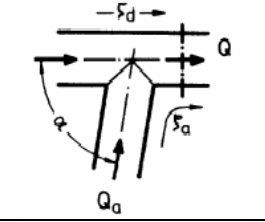
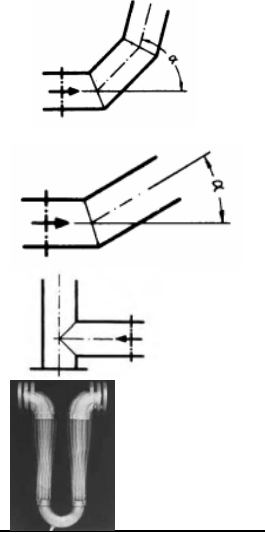
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN200 U=2m/s	1.3
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN200 U=3m/s	0.76
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN300 U=1m/s	2.9
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN300 U=2m/s	1.2
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN300 U=3m/s	0.71
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN500 U=1m/s	2.85
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN500 U=2m/s	1.15
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN500 U=3m/s	0.66
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN600 U=1m/s	2.7
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN600 U=2m/s	1.05
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN600 U=3m/s	0.61
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN700 U=1m/s	2.55
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN700 U=2m/s	0.95
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN700 U=3m/s	0.54
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN800 U=1m/s	2.4
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN800 U=2m/s	0.85
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN800 U=3m/s	0.46
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN1000 U=1m/s	2.3
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN1000 U=2m/s	0.8
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN1000 U=3m/s	0.41
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN1000 U=1m/s	2.25
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN1000 U=2m/s	0.75
kaldıraç ve ağırlıksız döner çekvalf	DN1000 U=3m/s	0.36
kaldıraç ve ağırlıklı döner çekvalf	U=1 m/s	8
kaldıraç ve ağırlıklı döner çekvalf	U=1.5 m/s	3
kaldıraç ve ağırlıklı döner çekvalf	U=2 m/s	1.3
kaldıraç ve ağırlıklı döner çekvalf	U>=2.5 m/s	0.7
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN50 U=2 m/s	5
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN50 U=3 m/s	1.8
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN50 U=4 m/s	0.9
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN100 U=2 m/s	6
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN100 U=3 m/s	4
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN100 U=4 m/s	3
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN150 U=2 m/s	8
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN150 U=3 m/s	4.5
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN150 U=4 m/s	3
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN200 U=2 m/s	7.5
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN200 U=3 m/s	4
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN200 U=4 m/s	2.5
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN250 U=2 m/s	6.5
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN250 U=3 m/s	4
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN250 U=4 m/s	2.5
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN300 U=2 m/s	6
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN300 U=3 m/s	1.8
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN300 U=4 m/s	1.2
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN400 U=2 m/s	7
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN400 U=3 m/s	3.4
Ters akış önleyiciler (HYDRO-	DN400 U=4 m/s	2.2
sürgülü vana düz tip tam açık	DN100	0.18
sürgülü vana düz tip tam açık	DN200	0.16
sürgülü vana düz tip tam açık	DN300	0.14
sürgülü vana düz tip tam açık	DN400	0.13
sürgülü vana düz tip tam açık	DN500	0.11
sürgülü vana düz tip tam açık	DN600	0.1
sürgülü vana düz tip tam açık	DN700	0.09
sürgülü vana yuvarlak tip tam açık	DN100	0.22
sürgülü vana yuvarlak tip tam açık	DN200	0.18
sürgülü vana yuvarlak tip tam açık	DN300	0.16



sürgülü vana yuvarlak tip tam açık	DN400	0.15
sürgülü vana yuvarlak tip tam açık	DN500	0.13
sürgülü vana yuvarlak tip tam açık	DN600	0.12
sürgülü vana yuvarlak tip tam açık	DN700	0.11
iğne vana		0.5-0.8
BAĞLANTILAR		
Keskin giriş	Çok keskin	0.5
Keskin giriş	az yuvarlatılmış köşe	0.25
Keskin giriş	çok yuvarlatılmış köşe	0.1
Yuvarlatılmış giriş	rahat	0.06-
Yuvarlatılmış giriş	normal	0.05
Açılı keskin giriş	$\alpha = 45$ derece	0.8
Açılı keskin giriş	$\alpha = 60$ derece	0.7
Açılı keskin giriş	$\alpha = 75$ derece	0.6
içe girmiş keskin giriş	çok keskin	3
içe girmiş keskin giriş	hafifçe yuvarlatılmış	0.6
çıkış		1
artan çap keskin	$d1/d2=0.5$	0.56
artan çap keskin	$d1/d2=0.6$	0.46
artan çap keskin	$d1/d2=0.7$	0.24
artan çap keskin	$d1/d2=0.8$	0.8
artan çap keskin	$d1/d2=0.9$	0.9
artan çap açılı	$d1/d2=0.5 \alpha = 8$ derece	0.12
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 8$ derece	0.09
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 8$ derece	0.07
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 8$ derece	0.04
artan çap açılı	$d1/d2=0.9 \alpha = 8$ derece	0.02
artan çap açılı	$d1/d2=0.5 \alpha = 16$ derece	0.19
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 16$ derece	0.14
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 16$ derece	0.09
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 16$ derece	0.05
artan çap açılı	$d1/d2=0.9 \alpha = 16$ derece	0.02
artan çap açılı	$d1/d2=0.5 \alpha = 25$ derece	0.33
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 25$ derece	0.25
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 25$ derece	0.16
artan çap açılı	$d1/d2=0.6 \alpha = 25$ derece	0.08
artan çap açılı	$d1/d2=0.9 \alpha = 25$ derece	0.03
azalan çap keskin	$d1/d2=1.2$	0.1
azalan çap keskin	$d1/d2=1.4$	0.22
azalan çap keskin	$d1/d2=1.6$	0.29
azalan çap keskin	$d1/d2=1.8$	0.33
azalan çap keskin	$d1/d2=2$	0.35
azalan çap açılı	$d1/d2=1.2 \alpha = 10-30$ derece	0.02
azalan çap açılı	$d1/d2=1.4 \alpha = 10-30$ derece	0.05
azalan çap açılı	$d1/d2=1.6 \alpha = 10-30$ derece	0.1
azalan çap açılı	$d1/d2=1.8 \alpha = 10-30$ derece	0.17
azalan çap açılı	$d1/d2=2 \alpha = 10-30$ derece	0.26
dönen boru düzgün yüzey	$R=d \alpha = 45$ derece	0.14
dönen boru düzgün yüzey	$R=2d \square = 45$ derece	0.09
dönen boru düzgün yüzey	$R \geq 5d \square = 45$ derece	0.08
dönen boru pürüzlü yüzey	$R=d \square = 45$ derece	0.34
dönen boru pürüzlü yüzey	$R=2d \square = 45$ derece	0.19
dönen boru pürüzlü yüzey	$R \geq 5d \square = 45$ derece	0.16
dönen boru düzgün yüzey	$R=d a = 60$ derece	0.19
dönen boru düzgün yüzey	$R=2d a = 60$ derece	0.12
dönen boru düzgün yüzey	$R \geq 5d a = 60$ derece	0.1
dönen boru pürüzlü yüzey	$R=d a = 60$ derece	0.46
dönen boru pürüzlü yüzey	$R=2d a = 60$ derece	0.26



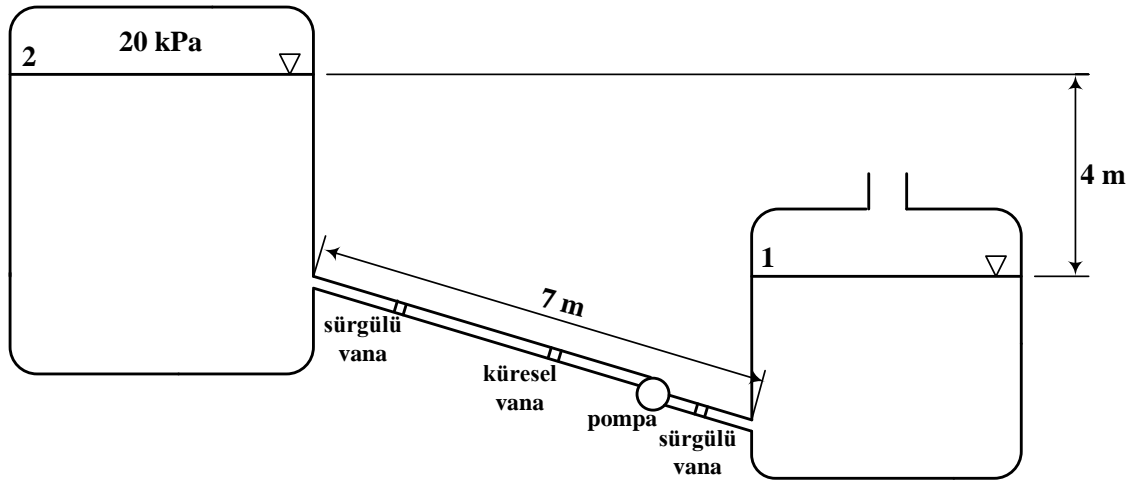
dönen boru pürüzlü yüzey	$R \geq 5d$ a =90 derece	0.2
dönen boru düzgün yüzey	$R=d$ a =90 derece	0.21
dönen boru düzgün yüzey	$R=2d$ a =90 derece	0.14
dönen boru düzgün yüzey	$R \geq 5d$ a =90 derece	0.1
dönen boru pürüzlü yüzey	$R=d$ a =90 derece	0.51
dönen boru pürüzlü yüzey	$R=2d$ a =90 derece	0.3
dönen boru pürüzlü yüzey	$R \geq 5d$ a =90 derece	0.2
dönen boru köşeli	köşe sayısı=2 a =45 derece	0.15
dönen boru köşeli	köşe sayısı=3 a =60 derece	0.2
dönen boru köşeli	köşe sayısı=3 a =90 derece	0.25
açılı köşe dönüş düzgün yüzey	köşe sayısı=1 a =45 derece	0.25
açılı köşe dönüş pürüzlü yüzey	köşe sayısı=1 a =45 derece	0.35
açılı köşe dönüş düzgün yüzey	köşe sayısı=1 a =60 derece	0.5
açılı köşe dönüş pürüzlü yüzey	köşe sayısı=1 a =60 derece	0.7
açılı köşe dönüş düzgün yüzey	köşe sayısı=1 a =90 derece	1.15
açılı köşe dönüş pürüzlü yüzey	köşe sayısı=1 a =90 derece	0.13
90 derece uçlu köşe	köşe sayısı 1	2.5
91 derece uçlu köşe	köşe sayısı 2	5
iki doksan derece dönüş		3
boru genişleme bağlantısı		0.3-2
"Lyra" düzgün yüzey genişleme		0.7
"Lyra" pürüzlü genişleme bağlantısı		1.4
T keskin köşe		1 - 3
T yuvarlatılmış köşe		0.7
T altı yuvarlak yuvarlatılmış köşe		0.9
T küresel köşe		2.5 -
T bağlantı açılı birleşme KLd	$Q_a=0$ $\alpha=90$ derece	0.04
T bağlantı açılı birleşme KLd	$Q_a=0.5Q$ $\alpha=90$ derece	0.35
T bağlantı açılı birleşme KLd	$Q_a=0.8Q$ $\alpha=90$ derece	0.5
T bağlantı açılı birleşme KLd	$Q_a=Q$ $\alpha=90$ derece	-
T bağlantı açılı birleşme KLa	$Q_a=0$ $\alpha=90$ derece	-
T bağlantı açılı birleşme KLa	$Q_a=0.5Q$ $\alpha=90$ derece	0.3
T bağlantı açılı birleşme KLa	$Q_a=0.8Q$ $\alpha=90$ derece	0.7
T bağlantı açılı birleşme KLa	$Q_a=Q$ $\alpha=90$ derece	0.9
T bağlantı açılı birleşme KLd	$Q_a=0$ a =45 derece	0.04
T bağlantı açılı birleşme KLd	$Q_a=0.5Q$ a =45 derece	0.2
T bağlantı açılı birleşme KLd	$Q_a=0.8Q$ a =45 derece	0.1
T bağlantı açılı birleşme KLd	$Q_a=Q$ a =45 derece	-
T bağlantı açılı birleşme KLa	$Q_a=0$ a =45 derece	-
T bağlantı açılı birleşme KLa	$Q_a=0.5Q$ a =45 derece	0.15
T bağlantı açılı birleşme KLa	$Q_a=0.8Q$ a =45 derece	0.35
T bağlantı açılı birleşme KLa	$Q_a=Q$ a =45 derece	0.4
T bağlantı ayrılma KLd	$Q_a=0$ $\alpha=90$ derece	0.04
T bağlantı ayrılma KLd	$Q_a=0.5Q$ $\alpha=90$ derece	0.01
T bağlantı ayrılma KLd	$Q_a=0.8Q$ $\alpha=90$ derece	0.2
T bağlantı ayrılma KLd	$Q_a=Q$ $\alpha=90$ derece	-
T bağlantı ayrılma KLa	$Q_a=0$ $\alpha=90$ derece	-
T bağlantı ayrılma KLa	$Q_a=0.5Q$ $\alpha=90$ derece	0.9
T bağlantı ayrılma KLa	$Q_a=0.8Q$ $\alpha=90$ derece	1.1
T bağlantı ayrılma KLa	$Q_a=Q$ $\alpha=90$ derece	1.3
T bağlantı ayrılma KLd	$Q_a=0$ a =45 derece	0.04
T bağlantı ayrılma KLd	$Q_a=0.5Q$ a =45 derece	0.02
T bağlantı ayrılma KLd	$Q_a=0.8Q$ a =45 derece	0.2
T bağlantı ayrılma KLd	$Q_a=Q$ a =45 derece	-
T bağlantı ayrılma KLa	$Q_a=0$ a =45 derece	-
T bağlantı ayrılma KLa	$Q_a=0.5Q$ a =45 derece	0.4
T bağlantı ayrılma KLa	$Q_a=0.8Q$ a =45 derece	0.35
T bağlantı ayrılma KLa	$Q_a=Q$ a =45 derece	0.5



Boru basınç düşümü programı:pipe2.java pipe2P.java pipe2Table.java

Boru basınç düşümü		
Sıvı ismi :	su	
Sıcaklık (derece C) :	27.0	
Basınç (Bar) :	1.0	
Boru boyu, m :	1.0	
Boru Şekli :	silindirik	
Boru Boyutu D1, m :	0.05	
Boru Boyutu D2, m :	0.05	
Boru yerel basınç düşümü katsayısı K, :	0.0	
debi , kg/s :	0.01	
boru eşdeğer pürüzlülüğü, m:	1.0E-5	
Basınç düşüşü	5.567511024090806E-7	bar
f sürtünme katsayısı	0.2138856365320268	
Akış hızı	0.005111040886049873	m/s
Reynold sayısı Re	299.2253291885581	
Prandtl sayısı Pr	5.827599866603247	
Nusselt sayısı Nu	3.6600000000000006	
Hidrolik giriş gelişme boyu	0.8976759875656742	m
μ , sıvı viskozitesi	8.510239077607134E-4	Ns/m ²
k , sıvı ısıl iletkenliği	0.6105837171279589	W/mK
Cp, sıvı özgül ısı	4.181125296288967	KJ/kgK
ρ , sıvı yoğunluğu	996.4620304332573	kg/m ³
Sıvı ismi	su	

PROBLEM: Şekilde verildiği gibi bağıl yoğunluğu 0.94 ve viskozitesi 5.10^{-3} Pas olan bir sıvı, üst tarafı atmosfere açık bir depodan 20 kPa göstergeli basıncına sahip üst tarafı kapalı bir depoya pompa ile gönderilmektedir. Boru bakırdan yapılmış olup, çapı 30 mm ve uzunluğu 7 m değerindedir. Sistemdeki bütün vanalar tam açık konumdadır ve sistemde 1 adet keskin kenarlı boru girişi, 2 adet sürgülü vana, 1 adet küresel vana ve 1 adet keskin kenarlı boru çıkışı vardır. Diğer bilgiler şekil üzerinde verilmiştir. Ortalama hız değişimi dikkate alınarak oluşturulan sistem yük eşitliğinde ($H = A + BV_{ort}^2$) yer alan A ve B katsayılarının sayısal değerlerini sırası ile [m] ve [s²/m] olarak elde ediniz. (Boru içi ortalama hız değerini 2 m/s olarak alınız).



Şekil Üst tarafı atmosfere açık depo ile üst tarafı atmosfere kapalı depoya sahip boru sistemi

Çözüm: Bir akışkan bir boru sistemi boyunca pompa ile gönderildiği zaman sistem yükü, pompa tarafından sağlanan toplam yükür. Üst tarafı atmosfere açık depoya ait serbest akışkan yüzeyi 1 ve üst tarafı atmosfere kapalı depoya ait serbest akışkan yüzeyi 2 olarak işaretlenirse pompa tarafından sağlanan sistem yükü (H), aşağıda verildiği gibi gösterilir:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H_{K, \text{toplam}}$$

Genelleştirilmiş Bernoulli denkleminde sistem yükü çekildiğinde aşağıda verilen denklem elde edilir.

$$\text{Sistem yükü : } H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + H_{K, \text{toplam}} \quad (\text{m})$$

$P_1 = P_{\text{atm}} = 0$ Pa (göstergeli basıncı), $P_2 = 20$ kPa = 20000 Pa, $V_1 = V_2 \cong 0$ m/s (serbest akışkan yüzeylerinin azalma ve artma hızları yaklaşık 0 m/s olarak alınabilir), $z_1 = 0$ m ve $z_2 = 4$ m (serbest akışkan yüzeyleri arası uzaklık), $\rho =$ (bağıl yoğunluk)(1000 kg/m³) = (0.94)(1000 kg/m³) = 940 kg/m³ olarak alınıp, sistem yükü aşağıda verildiği gibi düzenlenebilir.

$$H = \frac{(20000 - 0) \text{ Pa}}{(940 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)} + \frac{(\alpha_2 0 - \alpha_1 0) \text{ m/s}}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} + (4 - 0) \text{ m} + H_{K, \text{toplam}} \rightarrow H = 6.169 + H_{K, \text{toplam}}$$

Boru içi ortalama hız değerini 2 m/s olarak alınıp, Re sayısı aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$Re_D = \frac{\rho V_{\text{ort}} D}{\mu} = \frac{(940 \text{ kg/m}^3)(2 \text{ m/s})(0.03 \text{ m})}{(5.10^{-3} \text{ Pas})} = 11280$$

Re sayısı 4000 değerinden buyk olduğu için akım turblanslıdır. Bakıra ait purzllk değeri izelge 2'den $\epsilon = 1.52 \mu\text{m} = 0.00152 \text{ m}$ olarak alınıp Darcy-Weisbach sirtnme faktörü Denklem (37) kullanılarak belirlenir.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left[\frac{6.9}{11280} + \left(\frac{1.52 \cdot 10^{-6} \text{ m} / 0.03 \text{ m}}{3.7} \right)^{1.11} \right] \rightarrow f = 0.02994$$

1 adet keskin kenarlı boru girişi için kayıp katsayısı 0.5 ve 1 adet keskin kenarlı boru çıkışı için kayıp katsayısı 1.05 olarak alınır. 2 adet tam açık surgl vana için kayıp katsayısı $2 \times 0.15 = 0.3$ ve 1 adet tam açık küresel vana için kayıp katsayısı 10 alınır. Toplam kayıp katsayısı ise, $0.5 + 1.05 + 0.3 + 10 = 11.85$ olarak belirlenir. Toplam kayıp yükü aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

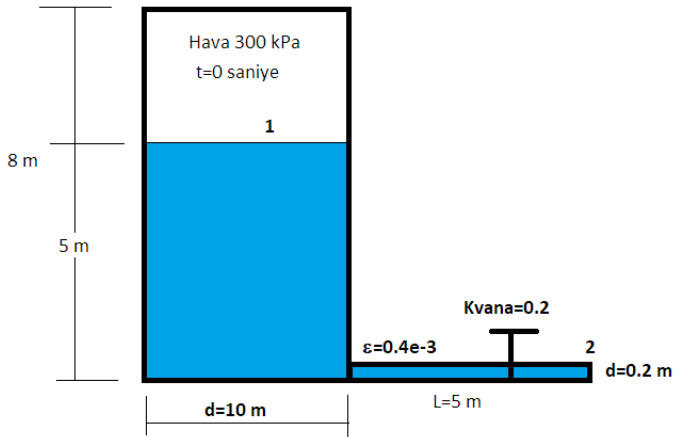
$$H_{K, \text{toplam}} = H_{K_f} + H_{K_Y} = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_K \right) \frac{V_{\text{ort}}^2}{2g} = \left(0.02994 \frac{7 \text{ m}}{0.03 \text{ m}} + 11.85 \right) \frac{V_{\text{ort}}^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} = 0.96 V_{\text{ort}}^2$$

Yukarıda sistem yükü için $H = 6.169 + H_{K, \text{toplam}}$ eşitliği elde edilmişti. $H_{K, \text{toplam}}$ yerine konulduğunda aşağıda verilen eşitlik elde edilir.

$$H = 6.169 + 0.96 V_{\text{ort}}^2 \text{ (m)}$$

Buradan A = 6.169 m ve B = 0.96 s²/m olarak bulunur.

PROBLEM: İçi su dolu basınçlı bir su deposundaki su seviyesi başlangıçta 5 m ve su üzerindeki hava basıncı 300 kPa'dır. Su deposunun toplam yüksekliği 8 m ve çapı 10 mdir. Ve boşaltma borusunun boyu L=5 m ve çapı d=0.2 m'dir. Depodaki suyun ve havanın sıcaklığı 20 derece olduğuna göre ilk 2 dakikadaki su çıkış hızı değişimini zamana bağlı olarak hesaplayınız.



Program: `sudeposu_boru_akis.java`

```

----- Capture Output -----
> "D:\co\java\bin\javaw.exe" sudeposu_boru_akis
mhava = 839.9778757312198 kg
rohava = 3.5649768269454247 kg/m^3
Vhava = 235.61944901923448 m^3
t=0.0s V=16.708041102062847m/s h = 5.0 m f = 0.023476798315720825 Re = 3342389.2009554342
t=1.0s V=16.681425413399687m/s h = 4.993316783559175 m f = 0.023476887797448397 Re = 3337064.8191311196
t=2.0s V=16.656929405513416m/s h = 4.986644213393815 m f = 0.02347697040454885 Re = 3332164.472541986
t=3.0s V=16.63253191594394m/s h = 4.979981441631609 m f = 0.023477052920333044 Re = 3327283.8342212336
t=4.0s V=16.608232150184605m/s h = 4.973328428865232 m f = 0.023477135345636377 Re = 3322422.745230393
t=5.0s V=16.58402932285497m/s h = 4.966685136005158 m f = 0.02347721768128694 Re = 3317581.0484566656
t=6.0s V=16.559922657564837m/s h = 4.960051524276016 m f = 0.02347729992810565 Re = 3312758.5885857213

```

t=7.0s V=16.53591138678078m/s h = 4.953427555212991 m f = 0.023477382086906338 Re = 3307955.2120749974
t=8.0s V=16.51199475169512m/s h = 4.946813190658278 m f = 0.023477464158495845 Re = 3303170.767127491
t=9.0s V=16.48817200209729m/s h = 4.9402083927576 m f = 0.023477546143674078 Re = 3298405.10366602
t=10.0s V=16.464442396247446m/s h = 4.933613123956761 m f = 0.02347762804323416 Re = 3293658.0733079454
t=11.0s V=16.440805200752475m/s h = 4.927027346998262 m f = 0.02347770985796245 Re = 3288929.529340364
t=12.0s V=16.417259690444155m/s h = 4.920451024917961 m f = 0.023477791588638663 Re = 3284219.326695734
t=13.0s V=16.393805148259506m/s h = 4.913884121041783 m f = 0.02347787323603596 Re = 3279527.3219279437
t=14.0s V=16.3704440865123307m/s h = 4.907326598982479 m f = 0.02347795480092101 Re = 3274853.3731888034
t=15.0s V=16.347166139832648m/s h = 4.90077842263643 m f = 0.023478036284054097 Re = 3270197.3402049546
t=16.0s V=16.323980278943615m/s h = 4.894239556180497 m f = 0.023478117686189164 Re = 3265559.0842552017
t=17.0s V=16.300882596659886m/s h = 4.88770996406892 m f = 0.023478199008073942 Re = 3260938.468148224
t=18.0s V=16.27787241472335m/s h = 4.881189611030256 m f = 0.023478280250449957 Re = 3256335.3562006964
t=19.0s V=16.254949062306622m/s h = 4.874678462064367 m f = 0.02347836141405269 Re = 3251749.614215784
t=20.0s V=16.232111875907446m/s h = 4.868176482439444 m f = 0.023478442499611594 Re = 3247181.1094620223
t=21.0s V=16.209360199244927m/s h = 4.861683637689081 m f = 0.02347852350785017 Re = 3242629.7106525563
t=22.0s V=16.18669338315761m/s h = 4.855199893609384 m f = 0.023478604439486083 Re = 3238095.287924752
t=23.0s V=16.16411078550325m/s h = 4.8487252162561205 m f = 0.023478685295231182 Re = 3233577.712820144
t=24.0s V=16.141611771060393m/s h = 4.842259571941919 m f = 0.023478766075791614 Re = 3229076.858264749
t=25.0s V=16.119195711431583m/s h = 4.835802927233495 m f = 0.023478846781867867 Re = 3224592.598549703
t=26.0s V=16.09686198494829m/s h = 4.8293552489489215 m f = 0.023478927414154842 Re = 3220124.809312242
t=27.0s V=16.074609976577428m/s h = 4.822916504154942 m f = 0.023479007973341934 Re = 3215673.3675170005
t=28.0s V=16.052439077829458m/s h = 4.816486660164311 m f = 0.023479088460113064 Re = 3211238.151437627
t=29.0s V=16.0303486866681m/s h = 4.810065684533179 m f = 0.023479168875146828 Re = 3206819.040638726
t=30.0s V=16.008338207421517m/s h = 4.803653545058512 m f = 0.023479249219116427 Re = 3202415.915958087
t=31.0s V=15.98640705069504m/s h = 4.797250209775544 m f = 0.023479329492689875 Re = 3198028.6594892256
t=32.0s V=15.964554633285358m/s h = 4.790855646955266 m f = 0.023479409696529972 Re = 3193657.154564218
t=33.0s V=15.942780378096115m/s h = 4.784469825101952 m f = 0.02347948983129437 Re = 3189301.285736819
t=34.0s V=15.921083714054966m/s h = 4.778092712950714 m f = 0.02347956989763568 Re = 3184960.938765866
t=35.0s V=15.899464076031977m/s h = 4.771724279465092 m f = 0.02347964989620149 Re = 3180636.000598957
t=36.0s V=15.877920904759419m/s h = 4.765364493834679 m f = 0.02347972982763444 Re = 3176326.3593564034
t=37.0s V=15.856453646752842m/s h = 4.759013325472775 m f = 0.023479809692572292 Re = 3172031.9043154437
t=38.0s V=15.835061754233509m/s h = 4.7526707440140745 m f = 0.02347988949164796 Re = 3167752.5258947266
t=39.0s V=15.813744685052056m/s h = 4.7463367193123815 m f = 0.02347996922548958 Re = 3163488.115639038
t=40.0s V=15.792501902613447m/s h = 4.740011221438361 m f = 0.023480048894720596 Re = 3159238.566204288
t=41.0s V=15.771332875803136m/s h = 4.733694220677315 m f = 0.02348012849995975 Re = 3155003.771342742
t=42.0s V=15.750237078914433m/s h = 4.727385687526994 m f = 0.02348020804182119 Re = 3150783.625888488
t=43.0s V=15.72921399157705m/s h = 4.721085592695428 m f = 0.023480287520914515 Re = 3146578.025743147
t=44.0s V=15.708263098686835m/s h = 4.714793907098797 m f = 0.023480366937844808 Re = 3142386.8678618087
t=45.0s V=15.687383890336601m/s h = 4.708510601859323 m f = 0.023480446293212703 Re = 3138210.0502392026
t=46.0s V=15.666575861748093m/s h = 4.702235648303188 m f = 0.023480525587614428 Re = 3134047.4718960826
t=47.0s V=15.645838513205042m/s h = 4.695969017958489 m f = 0.02348060482164186 Re = 3129899.0328658377
t=48.0s V=15.6251713499873m/s h = 4.689710682553207 m f = 0.023480683995882597 Re = 3125764.634181312
t=49.0s V=15.604573882306024m/s h = 4.683460614013212 m f = 0.02348076311091994 Re = 3121644.177861844
t=50.0s V=15.584045625239874m/s h = 4.6772187844602895 m f = 0.023480842167333035 Re = 3117537.566900499
t=51.0s V=15.56358609867225m/s h = 4.670985166210193 m f = 0.023480921165696847 Re = 3113444.705251515
t=52.0s V=15.543194827229526m/s h = 4.664759731770724 m f = 0.023481000106582238 Re = 3109365.4978179457
t=53.0s V=15.522871340220219m/s h = 4.658542453839832 m f = 0.023481078990556 Re = 3105299.8504394935
t=54.0s V=15.502615171575158m/s h = 4.652333305303744 m f = 0.02348115781818092 Re = 3101247.66988054
t=55.0s V=15.482425859788583m/s h = 4.646132259235114 m f = 0.02348123659001581 Re = 3097208.8638183596
t=56.0s V=15.462302947860138m/s h = 4.639939288891198 m f = 0.023481315306615565 Re = 3093183.34083152
t=57.0s V=15.442245983237811m/s h = 4.633754367712054 m f = 0.02348139396853117 Re = 3089171.0103884656
t=58.0s V=15.422254517761722m/s h = 4.6275774693187595 m f = 0.023481472576309805 Re = 3085171.782836272
t=59.0s V=15.402328107608822m/s h = 4.621408567511655 m f = 0.023481551130494834 Re = 3081185.5693895835
t=60.0s V=15.38246631328403m/s h = 4.615247636268611 m f = 0.023481629631625867 Re = 3077212.282119714
t=61.0s V=15.362668699338498m/s h = 4.609094649743316 m f = 0.023481708080238806 Re = 3073251.8339439216
t=62.0s V=15.342934834773047m/s h = 4.60294958226358 m f = 0.023481786476865895 Re = 3069304.138614842
t=63.0s V=15.323264292529943m/s h = 4.596812408329671 m f = 0.023481864822035705 Re = 3065369.1107100947
t=64.0s V=15.303656649669799m/s h = 4.590683102612659 m f = 0.023481943116273267 Re = 3061446.665622032

t=65.0s V=15.284111487275554m/s h = 4.584561639952791 m f = 0.02348202136010004 Re = 3057536.719547661
t=66.0s V=15.264628390402816m/s h = 4.578447995357881 m f = 0.023482099554033957 Re = 3053639.189478707
t=67.0s V=15.245206948030962m/s h = 4.57234214400172 m f = 0.0234821776985895 Re = 3049753.9931918336
t=68.0s V=15.225846753014972m/s h = 4.566244061222507 m f = 0.023482255794277686 Re = 3045881.0492390054
t=69.0s V=15.206547402038018m/s h = 4.560153722521301 m f = 0.02348233384160617 Re = 3042020.276938005
t=70.0s V=15.187308495564722m/s h = 4.554071103560486 m f = 0.023482411841079222 Re = 3038171.596363081
t=71.0s V=15.168129637795147m/s h = 4.54799618016226 m f = 0.023482489793197784 Re = 3034334.9283357463
t=72.0s V=15.149010436619458m/s h = 4.541928928307142 m f = 0.023482567698459515 Re = 3030510.194415704
t=73.0s V=15.129950503573275m/s h = 4.535869324132494 m f = 0.02348264555735883 Re = 3026697.3168919208
t=74.0s V=15.11094945379366m/s h = 4.5298173439310645 m f = 0.02348272337038691 Re = 3022896.2187738204
t=75.0s V=15.092006905975806m/s h = 4.523772964149547 m f = 0.023482801138031754 Re = 3019106.8237826168
t=76.0s V=15.073122482330307m/s h = 4.517736161387156 m f = 0.023482878860778215 Re = 3015329.056342771
t=77.0s V=15.054295808541113m/s h = 4.511706912394224 m f = 0.023482956539108035 Re = 3011562.841573576
t=78.0s V=15.035526513724049m/s h = 4.505685194070808 m f = 0.023483034173499853 Re = 3007808.1052808594
t=79.0s V=15.016814230385984m/s h = 4.499670983465318 m f = 0.02348311176442928 Re = 3004064.7739488194
t=80.0s V=14.998158594384602m/s h = 4.493664257773164 m f = 0.023483189312368896 Re = 3000332.774731971
t=81.0s V=14.979559244888693m/s h = 4.48766499433541 m f = 0.023483266817788295 Re = 2996612.035447205
t=82.0s V=14.961015824339116m/s h = 4.481673170637455 m f = 0.023483344281154124 Re = 2992902.484565981
t=83.0s V=14.942527978410245m/s h = 4.475688764307719 m f = 0.0234834217029301 Re = 2989204.051206612
t=84.0s V=14.924095355972028m/s h = 4.469711753116355 m f = 0.023483499083577046 Re = 2985516.6651266734
t=85.0s V=14.90571760905257m/s h = 4.463742114973966 m f = 0.023483576423552935 Re = 2981840.256715522
t=86.0s V=14.887394392801237m/s h = 4.457779827930345 m f = 0.02348365372331289 Re = 2978174.7569869114
t=87.0s V=14.869125365452346m/s h = 4.451824870173224 m f = 0.02348373098330924 Re = 2974520.0975717297
t=88.0s V=14.850910188289294m/s h = 4.445877220027043 m f = 0.02348380820399155 Re = 2970876.2107108245
t=89.0s V=14.832748525609274m/s h = 4.439936855951728 m f = 0.023483885385806626 Re = 2967243.029247942
t=90.0s V=14.814640044688442m/s h = 4.434003756541484 m f = 0.023483962529198564 Re = 2963620.486622761
t=91.0s V=14.796584415747608m/s h = 4.428077900523609 m f = 0.02348403963460877 Re = 2960008.516864029
t=92.0s V=14.778581311918385m/s h = 4.422159266757309 m f = 0.023484116702476004 Re = 2956407.05458279
t=93.0s V=14.760630409209856m/s h = 4.416247834232542 m f = 0.023484193733236368 Re = 2952816.034965716
t=94.0s V=14.742731386475665m/s h = 4.410343582068858 m f = 0.02348427072732338 Re = 2949235.3937685243
t=95.0s V=14.724883925381597m/s h = 4.404446489514267 m f = 0.023484347685167967 Re = 2945665.0673094923
t=96.0s V=14.70708771037361m/s h = 4.398556535944115 m f = 0.023484424607198528 Re = 2942104.992463062
t=97.0s V=14.689342428646306m/s h = 4.392673700859966 m f = 0.023484501493840907 Re = 2938555.1066535325
t=98.0s V=14.671647770111836m/s h = 4.386797963888507 m f = 0.02348457834551846 Re = 2935015.347848839
t=99.0s V=14.654003427369265m/s h = 4.380929304780462 m f = 0.023484655162652066 Re = 2931485.6545544257
t=100.0s V=14.636409095674322m/s h = 4.375067703409514 m f = 0.023484731945660167 Re = 2927965.965807195
t=101.0s V=14.618864472909596m/s h = 4.369213139771245 m f = 0.023484808694958774 Re = 2924456.2211695416
t=102.0s V=14.601369259555144m/s h = 4.36336559398208 m f = 0.02348488541096149 Re = 2920956.360723477
t=103.0s V=14.583923158659463m/s h = 4.357525046278258 m f = 0.023484962094079558 Re = 2917466.32506482
t=104.0s V=14.566525875810932m/s h = 4.3516914770147945 m f = 0.02348503874472185 Re = 2913986.055297485
t=105.0s V=14.549177119109572m/s h = 4.345864866664471 m f = 0.023485115363294944 Re = 2910515.4930278324
t=106.0s V=14.531876599139231m/s h = 4.340045195816827 m f = 0.023485191950203085 Re = 2907054.580359103
t=107.0s V=14.514624028940146m/s h = 4.334232445177171 m f = 0.02348526850584823 Re = 2903603.259885931
t=108.0s V=14.497419123981853m/s h = 4.3284265955655945 m f = 0.023485345030630125 Re = 2900161.474688924
t=109.0s V=14.48026160213651m/s h = 4.322627627916002 m f = 0.02348542152494624 Re = 2896729.1683293264
t=110.0s V=14.463151183652515m/s h = 4.316835523275147 m f = 0.023485497989191834 Re = 2893306.284843741
t=111.0s V=14.446087591128554m/s h = 4.311050262801686 m f = 0.02348557442376 Re = 2889892.768738939
t=112.0s V=14.429070549487918m/s h = 4.305271827765234 m f = 0.023485650829041648 Re = 2886488.5649867193
t=113.0s V=14.412099785953238m/s h = 4.299500199545439 m f = 0.02348572720542554 Re = 2883093.61901886
t=114.0s V=14.395175030021525m/s h = 4.293735359631057 m f = 0.023485803553298323 Re = 2879707.876722118
t=115.0s V=14.378296013439503m/s h = 4.2879772896190484 m f = 0.023485879873044513 Re = 2876331.2844332987
t=116.0s V=14.36146247017937m/s h = 4.2822259712136725 m f = 0.023485956165046593 Re = 2872963.7889344078
t=117.0s V=14.344674136414769m/s h = 4.2764813862256 m f = 0.023486032429684923 Re = 2869605.337447841
t=118.0s V=14.327930750497151m/s h = 4.270743516571034 m f = 0.023486108667337857 Re = 2866255.8776316587
t=119.0s V=14.311232052932434m/s h = 4.265012344270835 m f = 0.02348618487838174 Re = 2862915.3575749155

> Terminated with exit code 0.

9.2 POMPALAR

Pompa çeşitleri

Pompa deyince aklımıza çeşitli sıvılara basınç ve akış sağlayan makineler gurubu gelmektedir. Temel olarak pozitif hacim pompaları ve döner türbo pompalar (rotadinamik) olarak ikiye ayrılır. Pozitif hacimli pompalara pistonlu pompaları örnek verebiliriz. Türbo pompaların en fazla kullanılan türü ise santrifüj pompalardır.

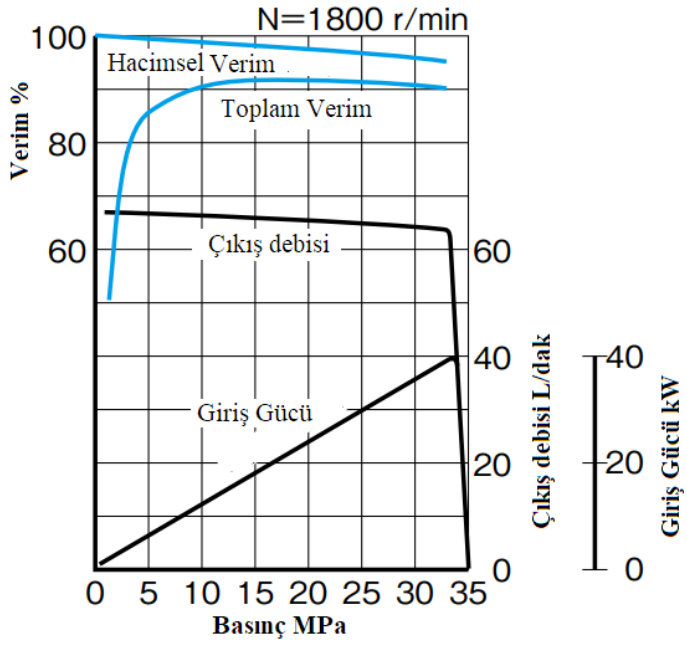


Çeşitli pompalardan görünüm

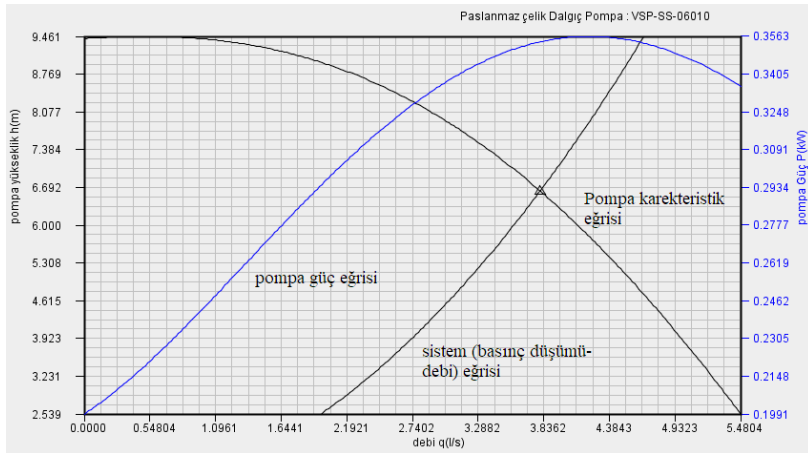
Hacimsel pompaların akışkanı emme seviyesinden alıp basma seviyesine zorunlu olarak veren ve çalışma sırasında değişen bir veya çok sayıda hacimleri vardır. Bazı hacimsel pompalar hacmin dolup boşalma prensibine göre çalışır, bunlarda genellikle sıvının akmasını kontrol eden vanalar bulunur. Bu tür pompalarda akış periyodik olarak değişen kesikli bir debi oluştururlar. Dişli pompalar gibi sürekli hacim değişimiyle çalışan hacimsel pompalarda ise akış debisi sabittir. Döner türbo pompalar temel olarak kinetik enerjiyi basınç enerjisine dönüştürme prensibine göre çalışırlar. Bu sebeple genel olarak oluşturabildikleri basınç hacimsel pompalara göre daha düşüktür, ancak daha yüksek debileri rahatça elde edebilirler. Hacimsel pompalarla yüksek basınç elde etmek için kademeli pompalar kullanılır.

Pompa karakteristik eğrileri

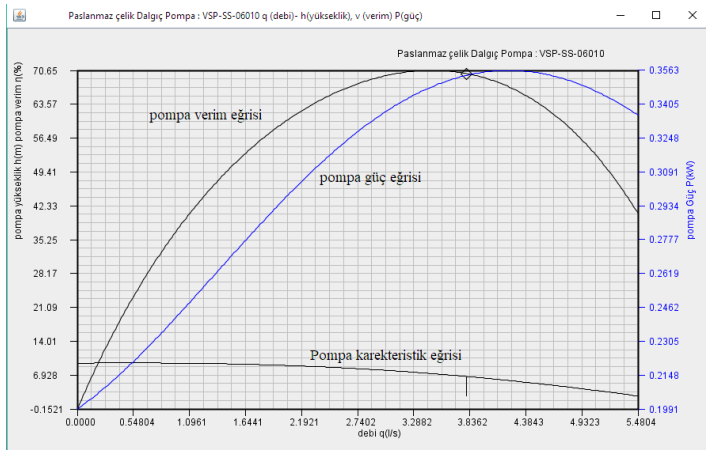
Aşağıdaki şekilde bir pistonlu pompanın karakteristik eğrisi görülmektedir. Hacim değişmeli pompalarda devir sayısına bağlı olarak karakteristik olarak oldukça dik bir basınç artış eğrisi görülür, bunun dışında pompa davranışı dizayn, kaçaklar vb. sebeplerle oldukça değişebilir.



Aşağıdaki şekilde ise bir dalgıç turbo pompanın karakteristik eğrileri görülmektedir. Görüldüğü gibi debi basınç eğrisi bu tür pompalarda çok daha yatay bir profil izlemektedir.



Turbo pompa karakteristik eğrileri olarak genellikle tanımlanan başlıca değerler şunlardır. Yükseklik-debi eğrisi : Belli bir turbo pompa hızı için pompa debisi ile basma yüksekliğini (basıncı) gösterir. Pompa verim eğrisi hidrolik sıvıya verilen enerjinin giren enerjiye oranıdır. Aşağıdaki şekilde üstteki aynı pompanın verim eğrisi gösterilmiştir.



$$\text{Basma Yüksekliği } H_p = \frac{\Delta P_{pompa}}{\rho g}$$

Pompa verimi: $\eta = \frac{\rho g H_p Q}{W_{pompa}} = \frac{\rho g H_p}{V \cos(\phi)}$ Buradaki ϕ alternatif akım için faz açısıdır (Pompanın elektrik motoruyla sürüldüğü farzedilirse) W_{pompa} pompa iş girdisidir.

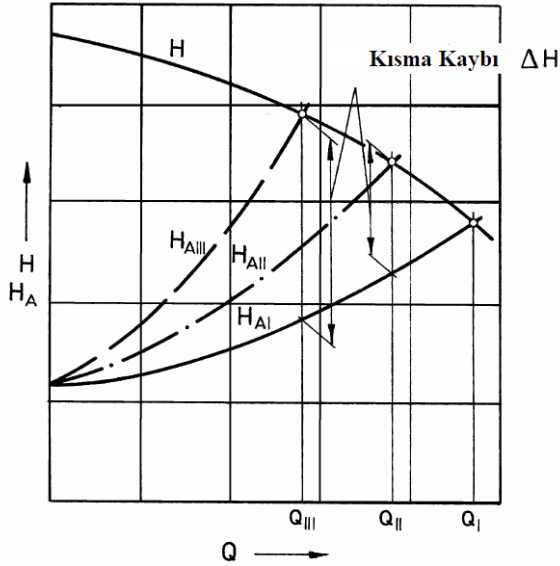
Pompa dönüş hızı değiştirildiğinde bu hıza bağlı olarak pompa debisi değişir

$$Q_2 = Q_1 n_2 / n_1$$
 Bu denklemde Q hacimsel debi (m^3/s) ve n pompa dönüş hızıdır (devir/dakika)

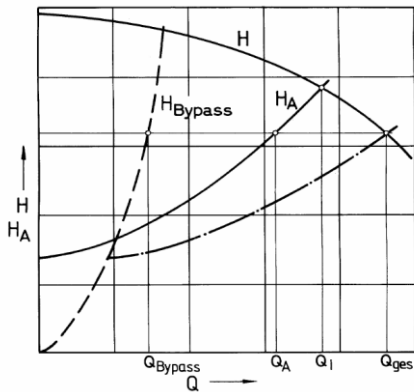
Oluşan basma yüksekliği dönüş hızının karesi ile değişir.

$$H_{p2} = H_{p1} (n_2 / n_1)^2$$

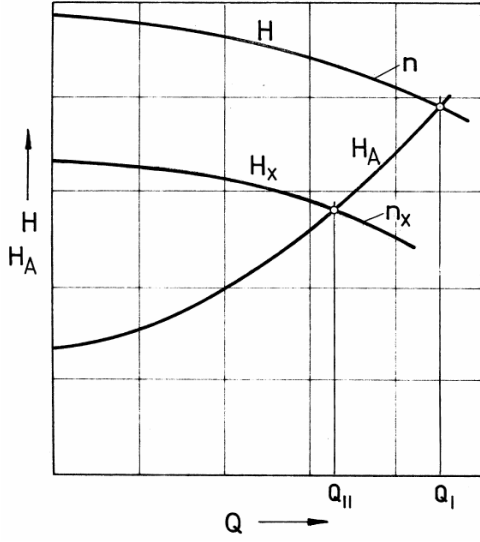
Bir pompanın optimal şartlarda çalışması için sistem eğrisi dediğimiz, yukarda belirttiğimiz basınç düşümleri ve statik kod farkından oluşan (debinin fonksiyonu olarak değişen) eğri ile pompa karakteristik eğrisinin çakışma noktasının mümkün olan maksimum verime karşı gelmesi istenir. Pompa genellikle bu şartlar göz önüne alınarak seçilir. Ancak bu her zaman mümkün olmayabilir. Pompayla karakteristik eğrinin uydurulabilmesi için değişik uygulamalar mevcuttur. Örneğin bir kısma vanasını ayarlayarak sistem eğrisi değiştirilebilir. Aşağıdaki şekilde kısma kaybının etkisi görülmektedir.



Pompa çıkış debisi basılan sıvının bir kısmının bypass edilmesi ile de (gereğinden daha fazla debinin pompaya gönderilmesi) sistem karakteristik eğrisi ile uyum iyileştirilebilir.

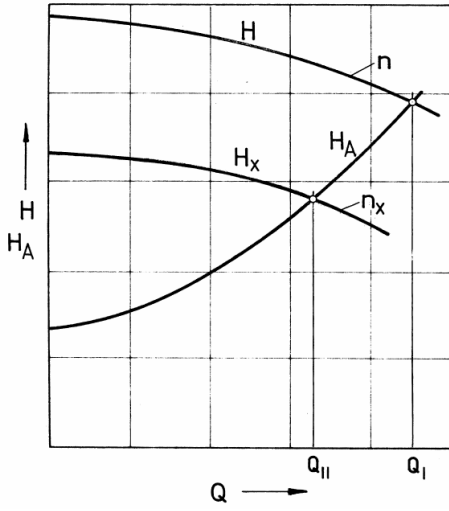


Her iki durumda da bu proseslerden dolayı bir enerji kaybı mevcuttur ve bu istenen bir durum değildir. Frekans kontrollü motorlar kullanılarak pompa hızı değiştirilebilir, be sistem karakteristiğiyle daha iyi bir uyum sağlanabilir. Bu bilhassa sistem debilerinin değişken olduğu durumlarda iyi bir çözüm olabilir.

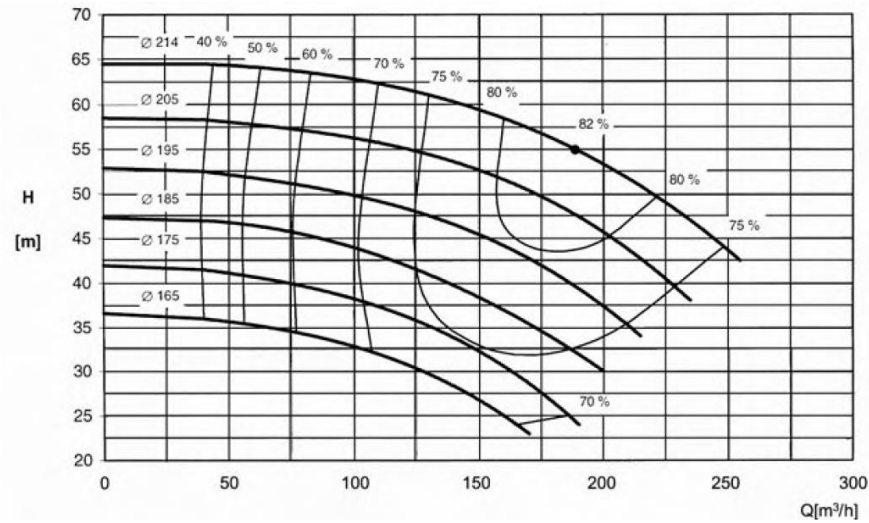


Santrifuj tip turbopompalarda pompa dizayn aşamasında yapılabilecek diğer bir değişiklik te pompa çapının değiştirilmesidir.

$$D_2 \cong D_1(Q_2/Q_1)^{0.5}$$



Genellikle santrifuj tip pompa imalatçıları aynı pompanın değişik pompa çapları için karakterisrik eğrilerini verirler.

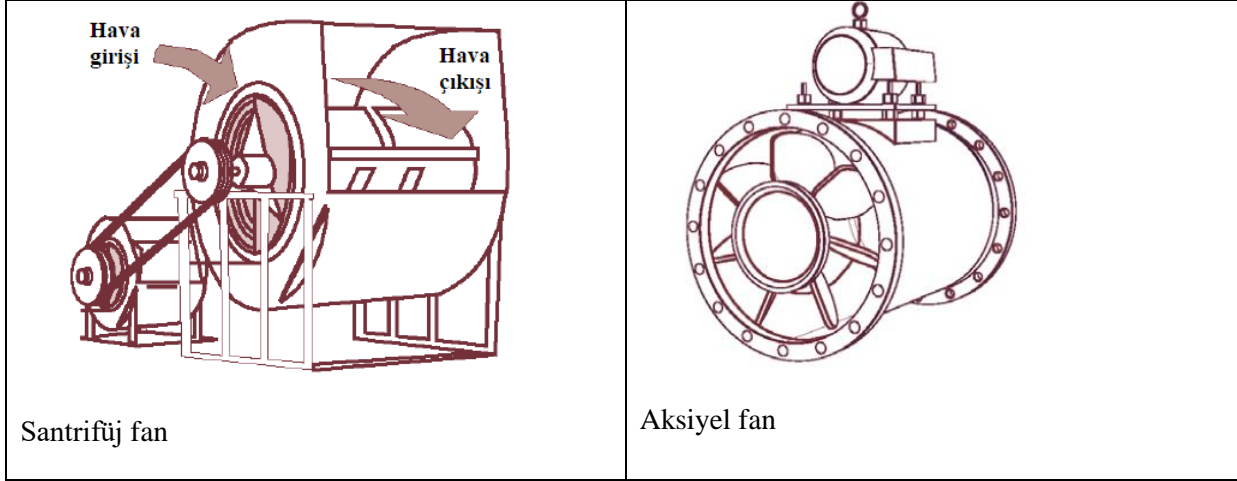


Santrifüj tipi bir pompanın değişik pompa çapları için karakteristik eğrisi eő verim eğrisiyle birlikte üstteki şekilde verilmiştir.

Pompaların bir diğer önemli karakteristiği de net pozitif emme yüksekliği- NPEY (Net positive suction Head- NPSH kısaltma olarak İngilizce eődeęeri sıkça kullanılır) değeridir. Bu değer pompanın sıvıyı giriş ağzından emebilmesi için giriş tarafındaki yükseklik cinsinden basınç farkını ifade eder.

9.3 FANLAR

Fanlar genellikle endüstriyel ve iklimlendirme proseslerinde havayı hareketlendirmek için kullanılan cihazlardır. Fan mili dönen bir motordan iş enerjisi olarak bu enerjii havaya (veya diğer bir gaza) aktarır. Genellikle fanların sağladıkları basınç oranları 1.2 den küçüktür. Daha yüksek basınç oranları gerektiğinde kompresörler kullanılır. Fanlar santrifüj (radyal) ve aksiyel olmak üzere iki değişik konfigürasyonda olabilir.


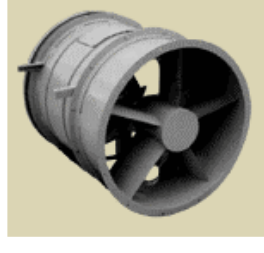

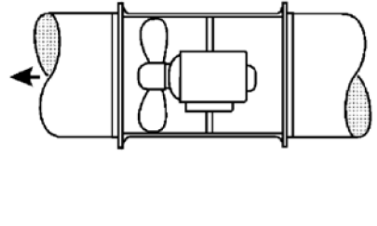
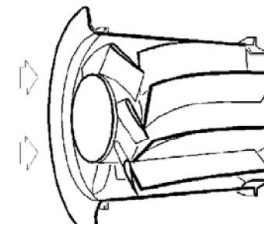
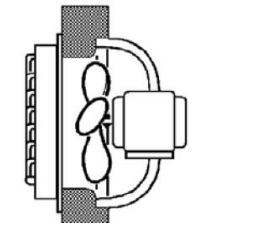


Santrifüj Kanat yapısı olarak radyal, öne doğru eğimli ve arkaya doğru eğimli olabilirler.



Radyal fanlar yüksek basınç ıktıları nedeniyle daha pahalı olan fiyatlarına rağmen sıkça kullanılırlar. 1400 mm su sütünuna kadar basınç sağlayabilirler. Öne doğru ve arkaya doğru eğimli fanlar daha yüksek debileri daha düşük basınç farklarıyla sağlamaya yararlar.

Aksiyel fanları boru tipi aksiyel fanlar, yel değirmeni tipi aksiyel fanlar ve vantilatör tipi fanlar olarak guruplayabiliriz. Havanın fan arkı ile aynı ekseninde yön değiştirmeden, hareket ettiği fanlardır. Yüksek hava debileri (10.000 – 150.000 m³/h) ve düşük basınç sınıfına (0 – 500 Pa) sahip sistemler için uygun fanlardır. Kullanım yerine göre değişik gövde yapılarına sahiptirler.

		
		
kanal tipi aksiyel van	Yel değirmeni tipi aksiyel fan	Vantilatör tipi aksiyel fan

Fan seçiminde göz önünde bulundurduğumuz gereken en önemli faktör sistem karakteristik eğrisidir. Bu temel olarak değişik debiler için basınç düşümüdür. Boru içi basınç düşümünden daha önce bahsedilmişti. Burada havalı sistemlerde kullanılan diğer ekipmanlardan bahsetmekte yarar görüyoruz. Hava sistemlerinde toz geçişini engellemek için genellikle filtreler kullanılır. Bunlar fanın kullanıldığı sistemde basınç düşümü oluşturan en önemli elemanlardır. Diğer bir önemli basınç düşürücü elemanda ısı değıştiricilerdir. Fan sistemleri ısıtma/soğutma sistemleriyle entegre halde bulunabilirler bu durumda sistem basınç düşümünün önemli bir unsuru haline geleceklerdir. Hava sistemlerinde de yine boru/kanal dönüşleri, daralma genişleme gibi etkiler yerel basınç düşümü olarak hesaba katılır. Sistem direnci hacimsel hava debisinin karesiyle orantılı bir değışim gösterir. Fan karakteristik eğrileri türbo pompa karakteristik eğrilerine benzer bir yapı gösterir. En önemlisi basınç düşümü ile akışkan debisi arasındaki ilişkiyi veren eğridir. Bunun yanında fan verimi ve güç harcamı eğrileri de verilir.

Fan debi devir sayısı , basınç düşümü be güç gereksinimleri aşağıdaki denklemlerle verilebilir

$$Q_2 = Q_1 n_2 / n_1$$

Bu denklemde Q hacimsel debi (m^3/s) ve n pompa dönüş hızıdır (devir/dakika)

Oluşan basma yüksekliği dönüş hızının karesi ile değışir.

$$H_{p2} = H_{p1} (n_2 / n_1)^2$$

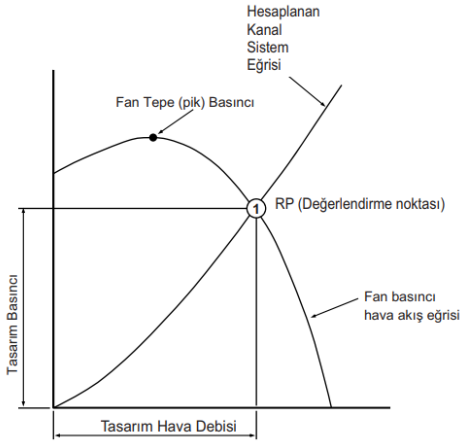
Toplam sistem statik basıncı fan devrinin karesi ile orantılıdır.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2$$

Fan tahrik güç gereksinmesi fan devrinin küpü ile orantılıdır

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^3$$

Fan seçiminde tasarım basıncını karşılayacak şekilde sistem eğrisi ile fan karakteristik eğrisinin kesim noktası alınır. Bunu yaparken seçilen fanın mümkününde bu noktada en yüksek verimle çalışması önemlidir.



FAN SEÇİMİNDE KULLANILAN GEREKLİ PARAMETRELER

Mutlak Basınç Mutlak basınç iki bileşenden oluşur. Bunlar atmosferik basınç ve etkin (efektif) basınçtır.

$$P = P_{atmosfer} + P_e$$

Atmosferik basınç (P_{atm}), söz konusu yerin üzerindeki atmosfer kalınlığındaki hava tabakası ağırlığı tarafından oluşturulur (1 Atm=101.325 kPa). Etkin basınç ise, zaten atmosferik basınç etkisinde olan akışkana, bir başka dış kuvvet uygulanarak oluşturulur. Bir U borulu manometrenin, içinden geçen gaz akışı olan bir kanala bağlantı şekline göre, kanalda hüküm süren üç değişik basınç okunabilir (statik basınç, dinamik basınç ve toplam basınç). Basma Yüksekliği Bazen basınçların Pa (Pascal) birimi yerine mmSS (milimetre su sütunu) birimi ile verilmesi tercih edilir. Bu durumda, herhangi bir sistemin iki noktası (1 ve 2) arasındaki basınç farkına karşı gelen yüksekliğe basma yüksekliği denir.

$$\rho_{su} g H = \Delta P_{statik} + \Delta P_{dinamik} + \Delta P_{basınç kaybi} = \Delta P_{toplam}$$

H = Basma yüksekliği (mmSS), ρ_{su} = Suyun yoğunluğu (998,3 kg/m³) g = Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²) 4.8.3 Fan Gücü ve Verimi: Bir fanın teorik gücü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$W = Q \Delta P_{toplam}$$

Hava kaçakları, mil sürtünmesi kayıpları ve akış sürtünmesi dirençleri nedeniyle bir güç kaybı olur ve fan verimi terimi ortaya çıkar. Q: Havanın hacimsel debisi (m³/s), ΔP_{toplam} Fanın giriş ve çıkışı arasındaki toplam basınç farkı (Pa)

Debi Debi, birim zamanda geçen hava miktarıdır. $Q = V \cdot A$

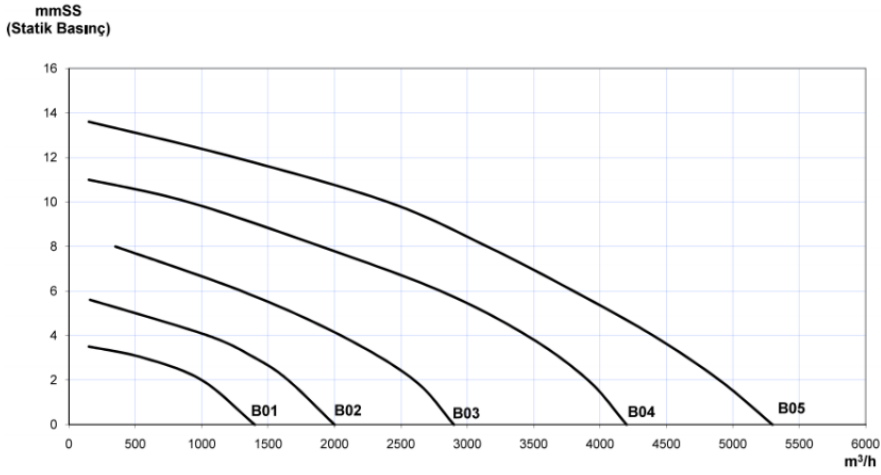
A: Kesit alanı (m²)

Fan Seçimi Üretici firmalar fan seçiminde kullanılmak üzere, belirli tip boyut ve mil hızı (d/d) için, fan basıncı, verimi ve gücünün fan debisi ile değişimini gösteren, fan performans eğrilerini kullanıcılara sağlamaktadırlar.

Belirli bir hava dağıtım sisteminde fan seçimi yapılması için;

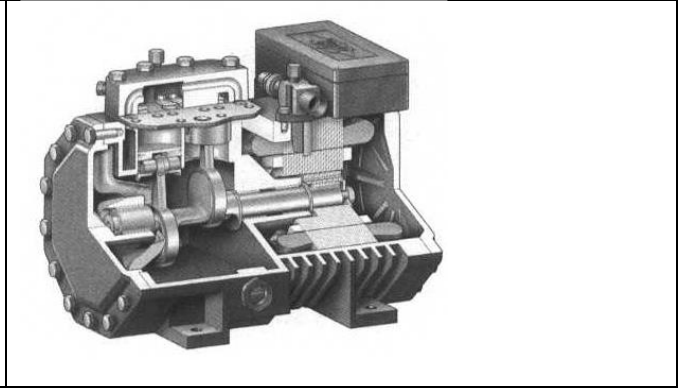
1. Sistemin tamamen tasarlanmış olması, tüm elemanlarının ve boyutlarının belirlenmiş olması gereklidir.
2. Hava miktarı (debisi) değerleri tespit edilmelidir.
3. Kanal, menfez, panjur, damper, hava yıkayıcısı, filtre, ısıtıcı ve soğutucu serpantin gibi kısımlardaki basınç kayıpları toplanarak statik basınç tayin edilmelidir.
4. Bulunan bu karakteristiklere göre fan seçimi firma katalogundan yapılır

Örnek bir katalog fan eğrisi aşağıda verilmiştir.



9.4 KOMPRESÖRLER

Kompresörler akışkan basıncı sağlama ekipmanlarıdır. Kompresörler genellikle piston silindir, döner piston, vidalı kompresör ve sarmal kompresör tiplerindedir.



Şekil 3.4.1 Açık pistonlu kompresörler



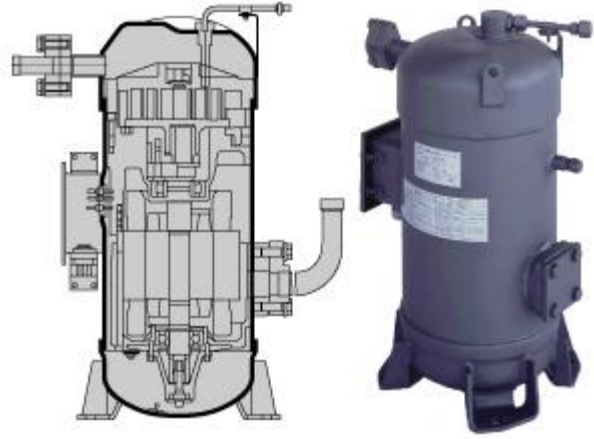
Şekil 3.4.2 Tam kapalı pistonlu kompresör



Şekil 3.4.3 Tam kapalı vidalı kompresör



Şekil 3.4.4 Açık vidalı kompresör gurubu

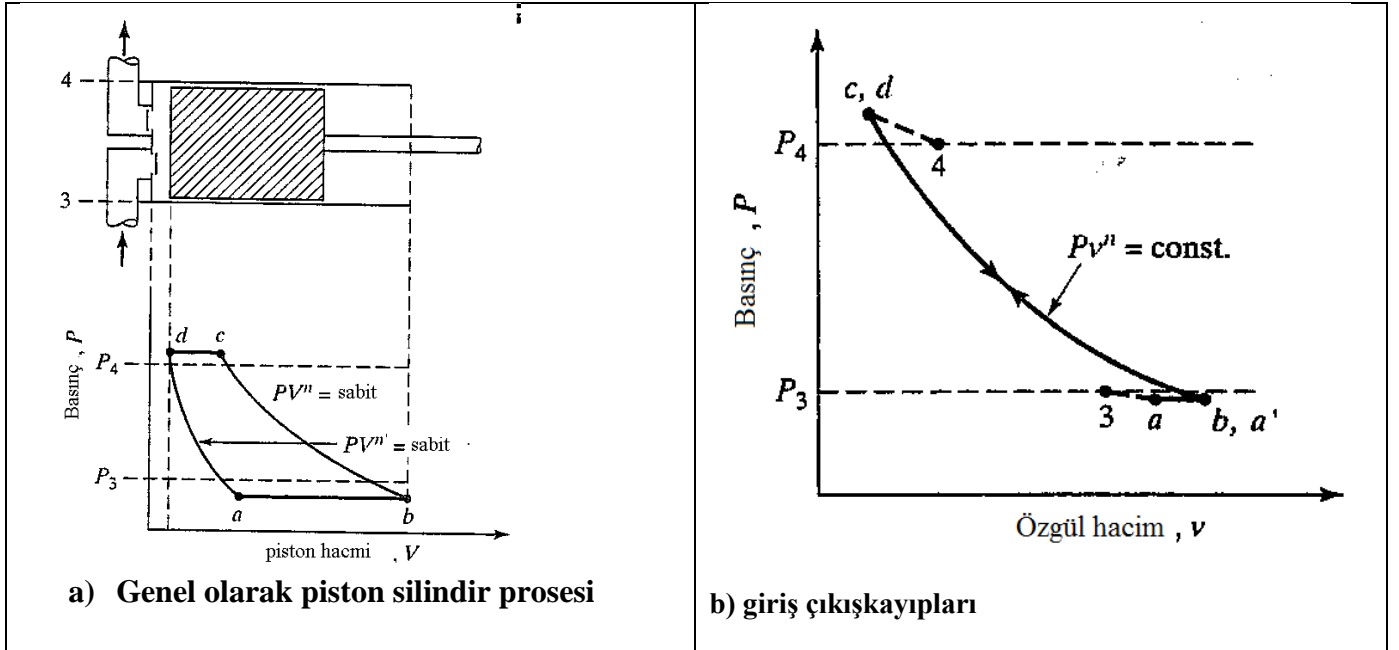


Şekil 3.4.5 Tam kapalı sarmal(scroll) tip kompresör

Piston silindir sistemli kompresörlerden başlayarak bir termodinamik aygıt olarak kompresörleri inceleyelim. Altta şekil piston silindirli bir kompresörün sıkıştırma prosesini göstermektedir. b de c'ye sıkıştırma prosesi için genel politropik prosesin oluştuğunu varsayalım. $PV^n = \text{sabit}$ denkleminin uyumlu olarak sıkıştırma gerçekleşecektir.

Bu proses için $P_b v_b^n = P_c v_c^n$

Ancak sıkıştırma sonunda gazın hepsini silindirden atamayız. Az miktarda gaz silindirimize kalır. Piston tekrar geriye giderken bu gaz genişler. Bu genişlemenin denklemi $PV^n = \text{sabit}$ şeklinde gerçekleşir. Bu proses için $P_d v_d^n = P_c v_c^n$ yazılabilir.



Şekil 3.4.6 Pistonlu kompresörün P-V diagramında görünümü

Bir çevrimde pistondan dışarıya verilen kütleli debi :

$$m = \frac{V_b}{v_b} - \frac{V_a}{v_{a'}} = \frac{V_b - V_a}{v_b}$$

Bir piston silindirli kompresörde hacmsel verim kompresörün gerçek olarak pompaladığı kütleli debinin teorik olarak aktarabileceği maksimum kütleli debiye oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_v = \frac{(V_b - V_a)v_3}{(V_b - V_d)v_b}$$

Aynı zamanda

$$V_b - V_a = (V_b - V_d) - (V_a - V_d)$$

$$V_a = V_d \left(\frac{P_d}{P_a} \right)^{1/n} = V_d \left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{1/n}$$

Bir silindir boşluk faktörü tanımlayacak olursak :

$$C = \frac{V_d}{V_b - V_d}$$

$$\frac{V_b - V_a}{V_b - V_d} = 1 + C - C \left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{1/n} \text{ bu durumda hacimsel verim}$$

$$\eta_v = \left[1 + C - C \left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{1/n} \right] \frac{v_3}{v_b}$$

Hacimsel verimin temel tanımından

$$\eta_v = \frac{mv_3}{C.D.} \text{ buradaki C.D. piston süpürme hacmidir. M kütleli debidir. Bu durumda kütleli debi için}$$

$$m = \left[1 + C - C \left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{1/n} \right] \frac{C.D.}{v_b} = \frac{\eta_v C.D.}{v_b}$$

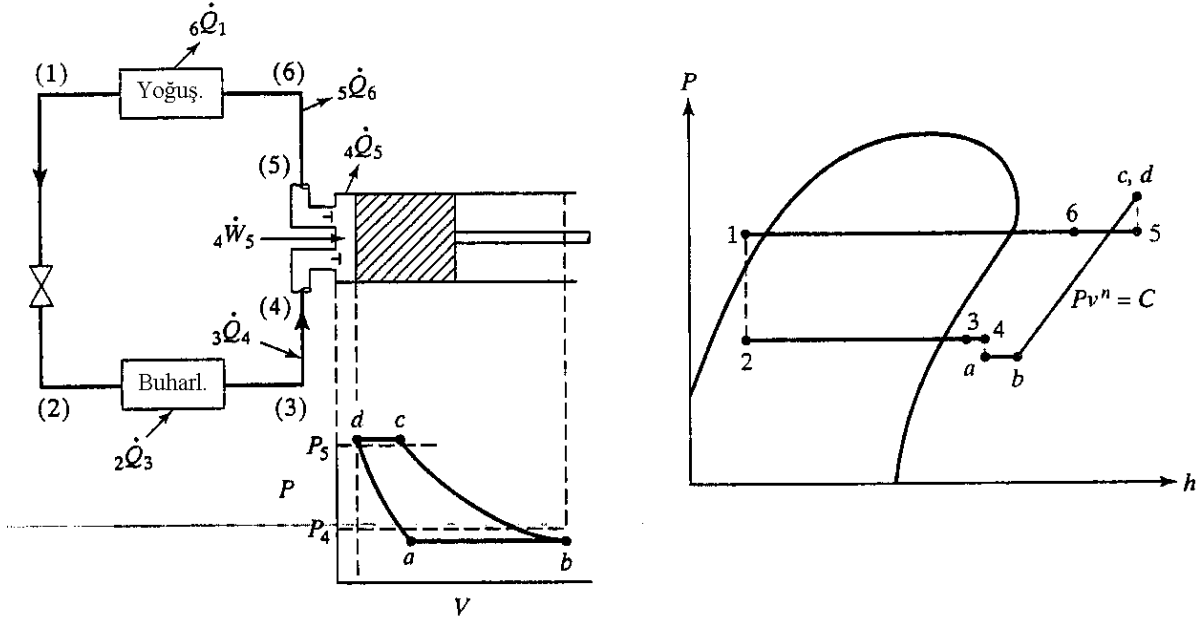
Pistonlu kompresörler için n politropik genişleme katsayısını R22 için 1.12 Amonyak için 1.29 alabiliriz.

Pistonlu kompresörün işi için termodinamikten çıkan genel denklem:

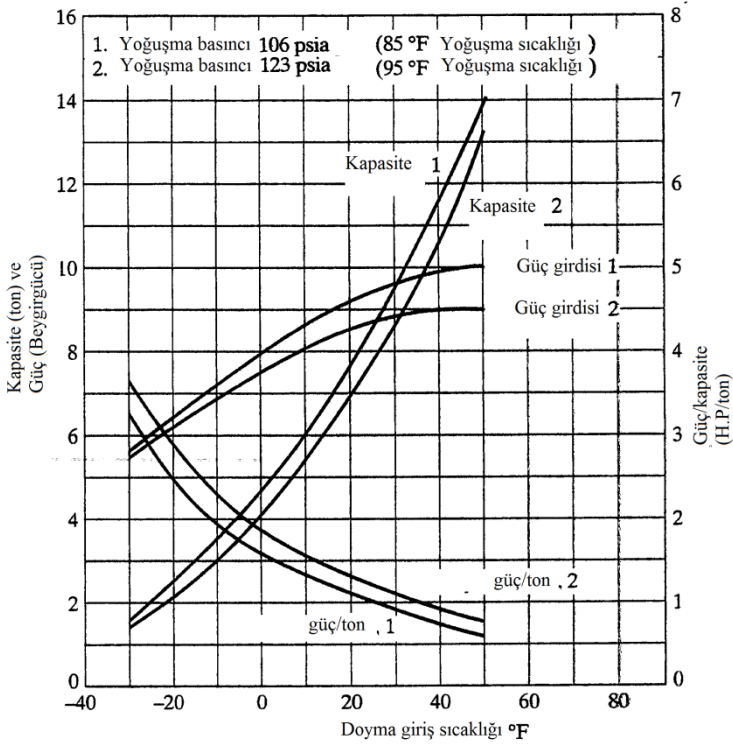
$$w = \frac{n}{n-1} P_b v_b \left[\left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \text{ bu durumda toplam elektrik kompresör güç girişi için}$$

$$W_{elektrik} = \frac{n P_b C.D.}{(n-1) \eta_m \eta_e} \left[1 + C - C \left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{1/n} \right] \left[\left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

Buradaki η_m mekanik verim ve η_e elektrik verimdir.



Şekil 3.4.7 Tek kademeli bir soğutma çevriminin pistonlu kompresörle çalışmasının görünümü



Şekil 3.4.8 Pistonlu kompresörle beraber çalışan R12 soğutkanlı bir sistemin performans eğrileri

Şekil 3.4.8 de R12 gazı ile çalışan piston silindirli kompresör kullanan bir sistemin 2 değişik işletim şartındaki performansını görülmektedir. BU değerler gerçek deneysel verilerle saptanmış değerlerdir. Buradan buharlaşma doyma giriş sıcaklığı (buharlaştırıcı sıcaklığı) düştükçe system veriminin hızlı bir düşüş gösterdiğini görebiliriz. Kondenser basıncı(sıcaklığı) arttıkça da system veriminin düştüğünü gözlemleyebiliriz.

Bilgisayar ortamında pistonlu kompresör hesaplarına örnek verelim:

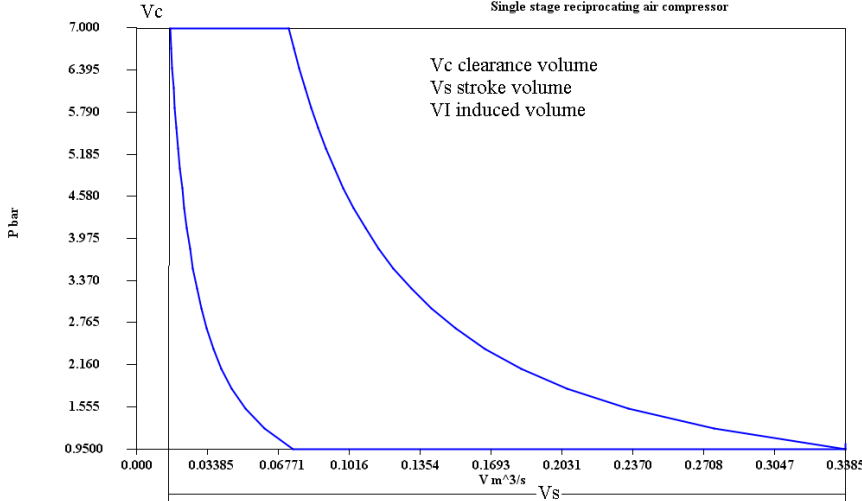
Program ismi: **Single stage gas compressor.java (tek kademeli gaz kompresörü)**

----- Capture Output -----

```

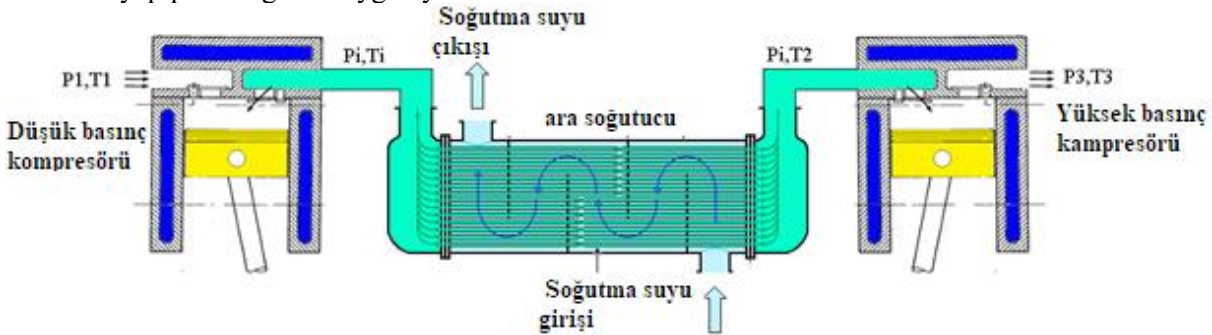
> "C:\java\bin\javaw.exe" single_stage_gas_compressor
work required W = 63.53862446172352 kW
induced mass flow rate m=0.286034892 kg/s
compression mass flow rate m=0.36732610467088783 kg/s
expansion mass flow rate m=0.08129121267088785 kg/s
polytropic expansion coefficient ne=1.3
polytropic compression coefficient nc=1.3
outside (inlet) gas condition T0 = 288.0 degree K P0 = 1.013 bar
compressor inlet gas condition T1 = 305.0 degree K P1 = 0.95 bar
compressor inlet gas condition T2 = 483.5758824133243 degree K P2 = 7.0 bar
Va=0.3385342959534208 m^3/s Vb=0.07284362815538707 m^3/s Vc=0.016120680759686708
m^3/s Vd=0.07491943289300315 m^3/s Vs=0.3224136151937341 VI=0.2636148630604177 m^3/s
Vs_cycle = 0.06448272303874683 m^3
volumetric efficiency = 0.8176294382047575
isothermal (minimum possible) work output = 50.01662022638588 kW
isothermal efficiency = 0.7871844984072095

```

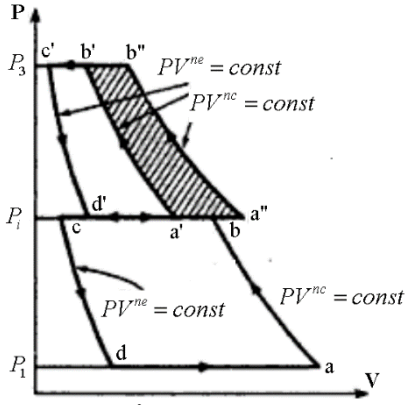


Şekil 3.4-9 Örnekteki hava kompresörünün P-V diyagramı

Kompresörlerin verimini arttırmak için sıkıştırma prosesini mümkün olduğunca izotermal (sabit sıcaklık) prosesine doğru itmektir. Bu pratik olarak yapılması zor bir süreçtir. Bunun yerini alması da toplam verimi kompresörü kademeli yapıp ara soğutma uygulayarak da artırabiliriz.



Şekil 4.5.9 İki kademeli bir pistonlu kompresörün şematik görünümü



Şekil 4.5.9 İki kademeli bir pistonlu kompresörün P-v diyagramı

Örnek problem: two_stage_gas_compressor.java (iki kademeli hava kompresörü)

----- Capture Output -----

```
> "C:\java\bin\javaw.exe" two_stage_gas_compressor
```

First stage Data :

work required W = 28.115774582942578 kW

induced mass flow rate m=0.286034892 kg/s

compression mass flow rate m=0.318749135391564 kg/s

expansion mass flow rate m=0.032714243391564035 kg/s

polytropic expansion coefficient ne=1.3

polytropic compression coefficient nc=1.3

outside (inlet) gas condition T0 = 288.0 degree K P0 = 1.013 bar

compressor inlet gas condition T1 = 305.0 degree K P1 = 0.95 bar

compressor inlet gas condition T2 = 384.01965208637057 degree K P2 = 2.578 bar

Va=0.2937648938188761 m³/s Vb=0.1362990204550468 m³/s Vc=0.013988804467565528

m³/s Vd=0.030150030758458363 m³/s Vs=0.27977608935131054VI=0.2636148630604177

m³/s

Vs_cycle = 0.05595521787026211 m³

volumetric efficiency = 0.9422351412218097

isothermal (minimum possible) work output = 25.000934281788012

isothermal efficiency = 0.889213783103657

second stage Data :

work required W = 28.134349402297975 kW

induced mass flow rate m=0.286034892 kg/s

compression mass flow rate m=0.31876565856185696 kg/s

expansion mass flow rate m=0.03273076656185697 kg/s

polytropic expansion coefficient ne=1.3

polytropic compression coefficient nc=1.3

outside (inlet) gas condition T0 = 305.0 degree K P0 = 2.578 bar

compressor inlet gas condition T1 = 305.0 degree K P1 = 2.578 bar

compressor inlet gas condition T2 = 384.07185681125037 degree K P2 = 7.0 bar

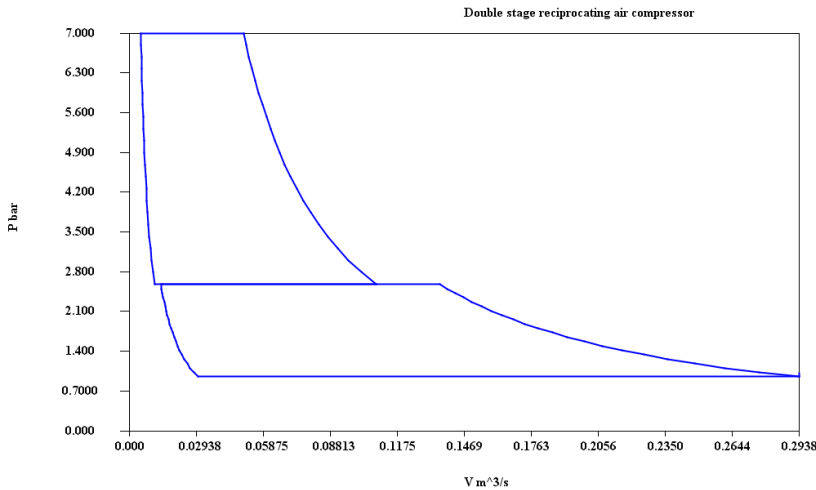
Va=0.10825877260443238 m³/s Vb=0.050206408467080355 m³/s Vc=0.0051551796478301135

m³/s Vd=0.011115979777668667 m³/s Vs=0.10310359295660226VI=0.09714279282676372

m³/s

$V_{s_cycle} = 0.020620718591320454 \text{ m}^3$
 volumetric efficiency = 0.9421863006040194
 isothermal (minimum possible) work output = 25.015685944597877
 isothermal efficiency = 0.889151036936885

Combined data : work required $W = 56.25012398524055 \text{ kW}$
 isothermal (minimum possible) work output = 50.01662022638588
 isothermal efficiency = 0.8891823996603052
 $W=56.25012398524055$



Şekil 4.5.10 Ara soğutmalı iki kademeli pistonlu kompresör örnek problemi çıktısı

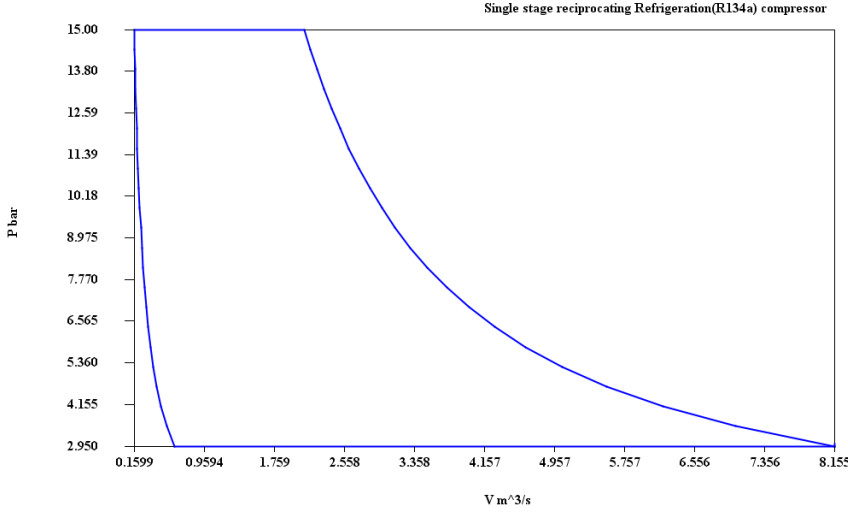
Aynı değerler için hesaplanan tek kademeli kompresör 63.53 kW harcarken iki kademeli kompresör 56.25 kW harcamıştır.

Şimdi de bir soğutkan pistonlu kompresörü örneğine göz atalım. Soğutucu akışkan olarak R134a seçilmiştir.

Örnek problem: `single_stage_refrigeration_compressor.java`

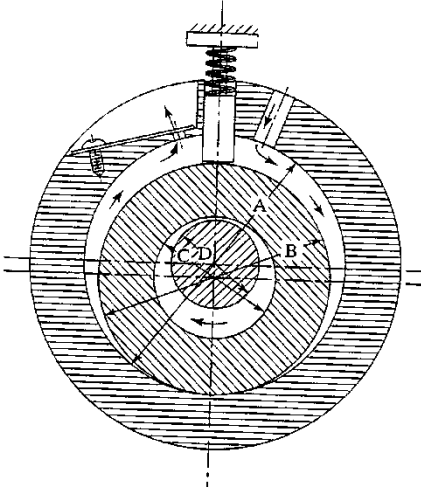
```

----- Capture Output -----
> "C:\java\bin\javaw.exe" single_stage_refrigeration_compressor
work required W = 41.5219367987685 kW
induced mass flow rate m=1.0 kg/s
compression mass flow rate m=1.0822867414486952 kg/s
expansion mass flow rate m=0.08228674144869519 kg/s
polytropic expansion coefficient ne=1.2
polytropic compression coefficient nc=1.2
outside (inlet) gas condition T0 = 273.0 degree K P0 = 3.0 bar
compressor inlet gas condition T1 = 273.0 degree K P1 = 2.95 bar
compressor inlet gas condition T2 = 358.25104240259975 degree K P2 = 15.0 bar
Va=8.15506872984526 m^3/s Vb=2.1031484243870993 m^3/s Vc=0.15990330842833844 m^3/s
Vd=0.6200334960870695 m^3/s Vs=7.995165421416922 VI=7.535035233758191 m^3/s
Vs_cycle = 1.5990330842833844 m^3
volumetric efficiency = 0.9424489471567198
isothermal work Wisothermal = 36.10413428812925
isothermal efficiency etaisothermal = 0.8695195135791466
  
```

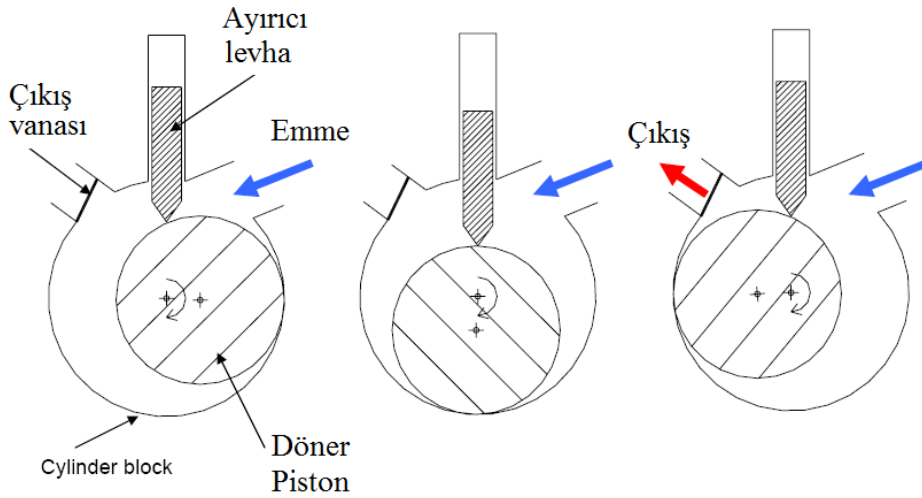


Şekil 4.5.11 tek kademe soğutkan (R134a) pistonlu kompresörü basınç-hacim diyagramı

Şimdi de döner pistonlu kompresörlere bir göz atalım. Şekil 5.9 ve şekil 5.10 da iki değişik tür döner pistonlu kompresör görmekteyiz. Şekil 5.9 deki kompresörde yay tarafından pistonun üzerine basan bir levha giriş ve çıkış tarafını birbirinden ayırıyor. Sol taraftaki boşluktaki gaz sıkıştırılarak dışarı atılırken sağ tarafta gaz emilmektedir.



Şekil 4.5.12 döner pistonlu döner kompresör



Şekil 4.5.13 döner pistonlu döner kompresörün çalışma evreleri

Bu yüzden bu kompresör çift etkili bir kopresördür. Kompresörün süpürme hacmi :

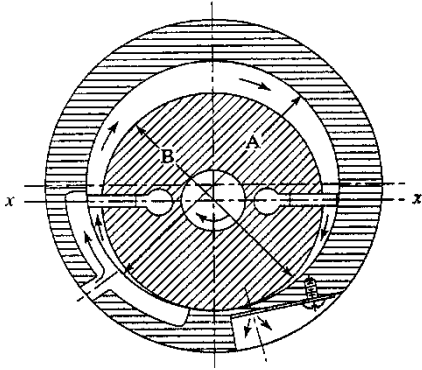
$$V_s = \frac{\pi W}{4} (A^2 - B^2)$$

Buradaki W ayırma levhasının ve kompresörün enidir. Hacimsel verim kompresörden gaz atıldığı anda içerde kalan gaz hacmiyle belirlenir. Kompresör süpürme hacmi:

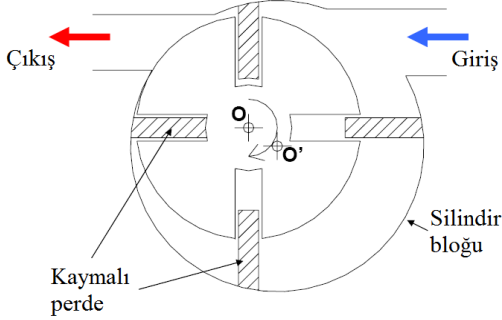
C.D.= $V_s(w_{\text{kompresör}})$ Kompresör iş çıkışı<

$$w_{\text{kompresör}} = w_{\text{mil}} \left[\left(\frac{A}{B} - 1 \right) \frac{A}{B} \right]. \text{ Bu durumda süpürme hacmi için}$$

$$C.D. = \frac{\pi W}{4} (A^2 - B^2) (w_{\text{mil}}) \left[\left(\frac{A}{B} - 1 \right) \frac{A}{B} \right]$$



Şekil 4.5.14 kanatlı kaymalı perdeli döner kompresör



Şekil 4.5.15 4 kanatlı kaymalı perdeli döner kompresör

Kaymalı perdeli kompresör performans açısından döner pistonlu kompresöre benzer. Burada iç piston tam bir dönme hareketi yapar. Pistonun üzerinde kaymalı perde (sliding vane) ismini verebileceğimiz dışarı doğru çıkan ve hareket ederek dış gövdeyle arasındaki boşluğu kapatan ayırıcı levhalar mevcuttur. Bu kanatlar emme odasının karşısına geldiğinde gazı emer, basma kapağının karşısına geldiğinde ise boşalır. Emilen gazın maksimum hacmi silindirin tam x-x eksenini geçtiği noktada oluşur. Bu noktadaki hacim hesaplanabilir

$$V_{x-x} = W \left[\frac{A^2}{4} \cos^{-1} \left(\frac{A-B}{A} \right) + \frac{C}{4} (B-A) \right]$$

Burada

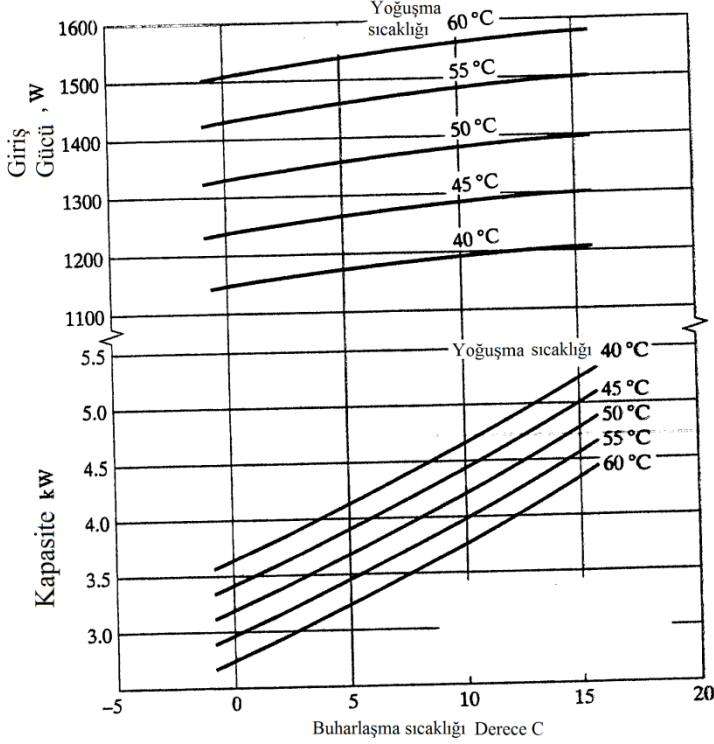
$$C = \sqrt{B(2A-B)}$$

Süpürülen hacim

$$V_s = \frac{W}{4} \left[\pi \left(A^2 - \frac{B^2}{2} \right) \cos^{-1} \left(\frac{A-B}{A} \right) + \frac{C}{4} (B-A) - 2t(C-B) \right]$$

t kanal kalınlığıdır. Pompa tarafından basılan süpürme hacmi

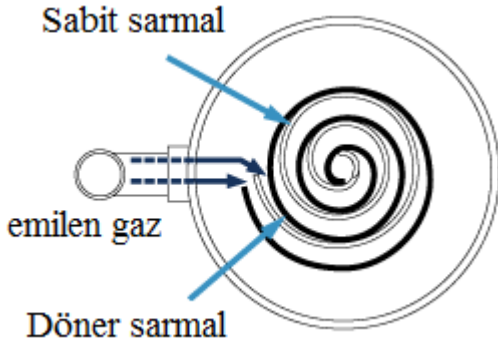
$C.D=2V_s(w_{mil})$ şeklindedir.



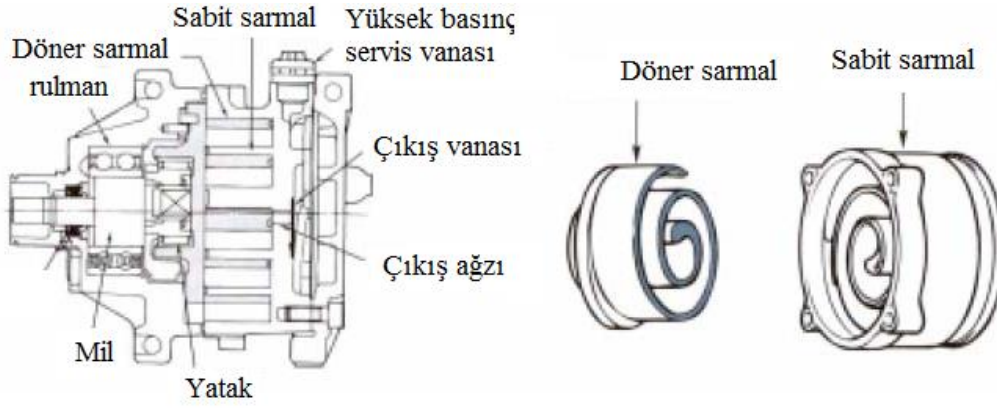
Şekil 4.5.16 Tipik bir döner pistonlu kompresörün performans eğrileri. Soğutkan : R22, hız : 58 devir/s, 33 C çevre sıcaklığı, 33 derec C emme sıcaklığı, 0.25 C sıvı soğutma

Şekil 5.12 de tipik bir döner pistonlu kompresörle donatılmış, R22 soğutkanlı sistemin performans eğrilerini görmekteyiz.

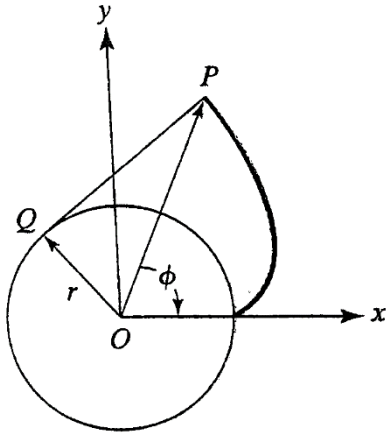
Döner kompresörler gibi sarmal kompresörler de sabit hacim aktarım makinalarıdır. Sarmal kompresördeki temel geometri bir sipiral şeklindedir. Şekil 3.1.13 de sipiralin hareket geometrisi görülmektedir.



Şekil 4.5.17 Sarmal kompresör



Şekil 4.5.18 Sarmal kompresör

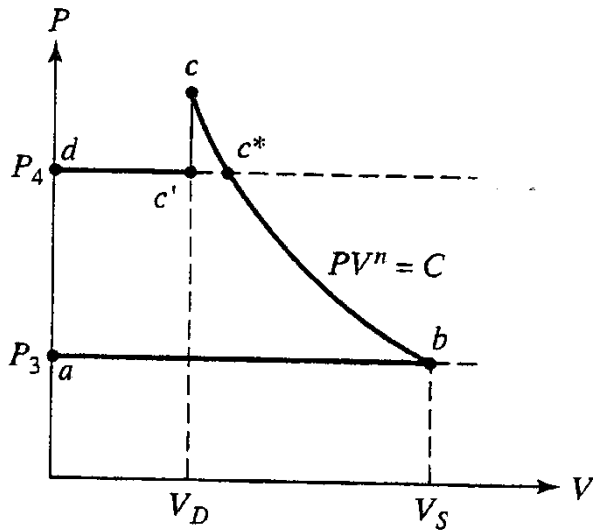


Şekil 4.5.19 Sarmal kompresörün sipiral hareketi

P noktasının x ve y koordinatı hareket denklemlerini yazacak olursak:

$$x_p = r(\cos \phi + \phi \sin \phi)$$

$y_p = r(\sin \phi - \phi \cos \phi)$ olur. Bu denklemlerde r temel dönme çemberinin çapı, O merkez noktasıyla sipiral yayın uç noktası arasındaki açıdır. Sipirallerin kalınlığı t, yüksekliği h dir.



Şekil 4.5.20 Sarmal kompresörün P-V diyagramı

Şekil 3.1.14 de sarmal kompresörün P-V diyagramı görülmektedir. a nokrası kompresörün giriş noktasıdır. Akış a-b arasında çok az bir basınç düşümü olmaktadır, bu yüzden bu prosesinde basınç düşümü olmadığını kabul edebiliriz. Sıkıştırma sonucu sistemde istenilen basıncın üzerinde bir basınç oluşması mümkündür.

$$\frac{P_c}{P_b} = \frac{P_c}{P_3} = \left(\frac{V_b}{V_c}\right)^n = \left(\frac{V_s}{V_d}\right)^n = V_r^n \text{ buradaki } V_r \text{ kompresörün hacim oranıdır.}$$

Bu kompresörün hacimsel verimini teorik denklemlerle vermek oldukça zordur, genellikle imalatçıların deneysel verilerini kullanmamız gerekir. Ancak bir yaklaşım olarak

$$\eta_v = (1 - L_{uç} - L_{yan}) \frac{v_3}{v_b} \text{ yaabiliriz. Burada } L_{uç} \text{ sarmal kompresörün ucundan sızan(kaçan) gaz yüzdesi, } L_{uç}$$

sarmal kompresörün sipiralinin yan yüzeyinden sızan(kaçan) gaz yüzdesidir. Kompresörde pompalanan kütleli debi

$$m = \frac{\eta_v C.D.}{v_3} = (1 - L_{uç} - L_{yan}) \frac{C.D.}{v_b}$$

Çevrim başına iş gereksinimi :

$$W / \text{çevrim} = \int_b^c V dP - \int_{c'}^c V dP$$

$$W / \text{çevrim} = \frac{n}{n-1} P_3 V_s \left[\left(\frac{P_c}{P_3}\right)^{(n-1)/n} - 1 \right] - (P_c - P_4) V_d$$

Aynı denklemi hacim oranı V_r cinsinden yazarsak :

$$W / \text{çevrim} = \frac{n}{n-1} P_3 V_s \left[V_r^{(n-1)} - 1 \right] - (P_3 V_r^n - P_4) \frac{V_s}{V_r}$$

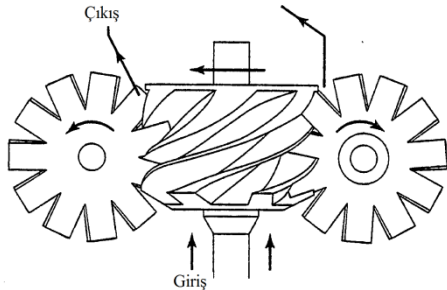
Tüm çevrim için iş girişi:

$$w = \frac{n}{n-1} P_3 v_b \left[V_r^{(n-1)} - 1 \right] - (P_3 V_r^n - P_4) \frac{v_b}{V_r}$$

Elektrik motoru iş gereksinimi:

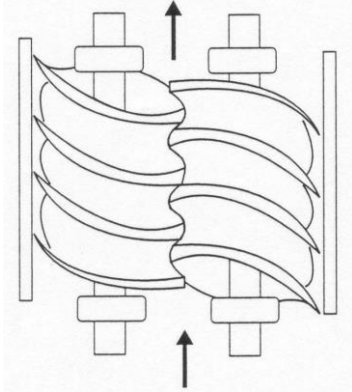
$$W_{elektrik} = \frac{\eta_v C.D.}{\eta_m \eta_e} \left[\frac{n}{n-1} P_3 \left[V_r^{(n-1)} - 1 \right] - \frac{(P_3 V_r^n - P_4)}{V_r} \right]$$

Vidalı kompresörler temel olarak iki türlü imal edilebilen pozitif hacim süpürme kompresörleridir. Tek vida veya çift vida türlerinde olurlar. Tek vidalı türü şekil 3.1.15 de gösterilmiştir. Helical bir vida iki adet yıldız tipi çıkış ağızlı olan mile hareket verir.

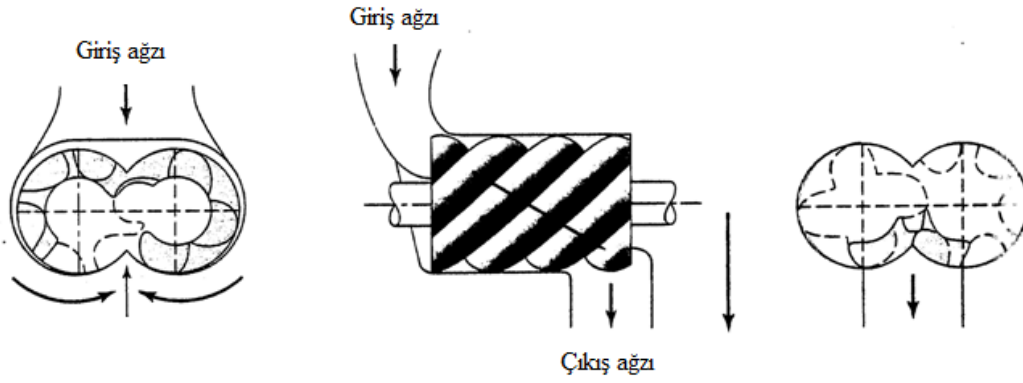


Şekil 4.5.21 Tek vidalı kompresör

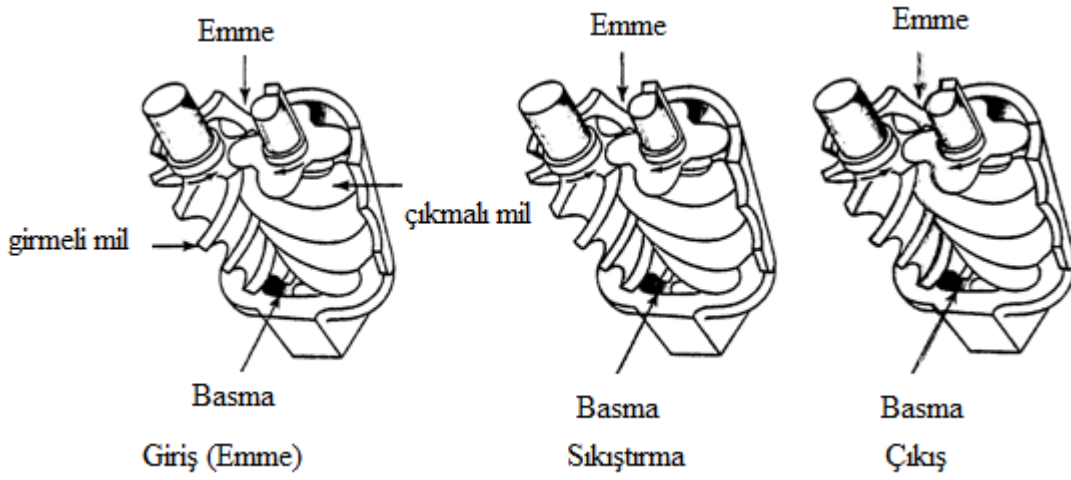
Çift vidalı kompresörde yıldız tipi mil yerine ikinci bir helical vida alır, ikinci vidanın yüzeyi birinci ile aradaki hacimleri kapatacak şekilde ters büküme sahiptir.



Şekil 4.5.22 Çift vidalı kompresör



Şekil 4.5.23 Çift vidalı kompresör



Şekil 4.5.24 Çift vidalı kompresörün temel proseslerinin oluşması

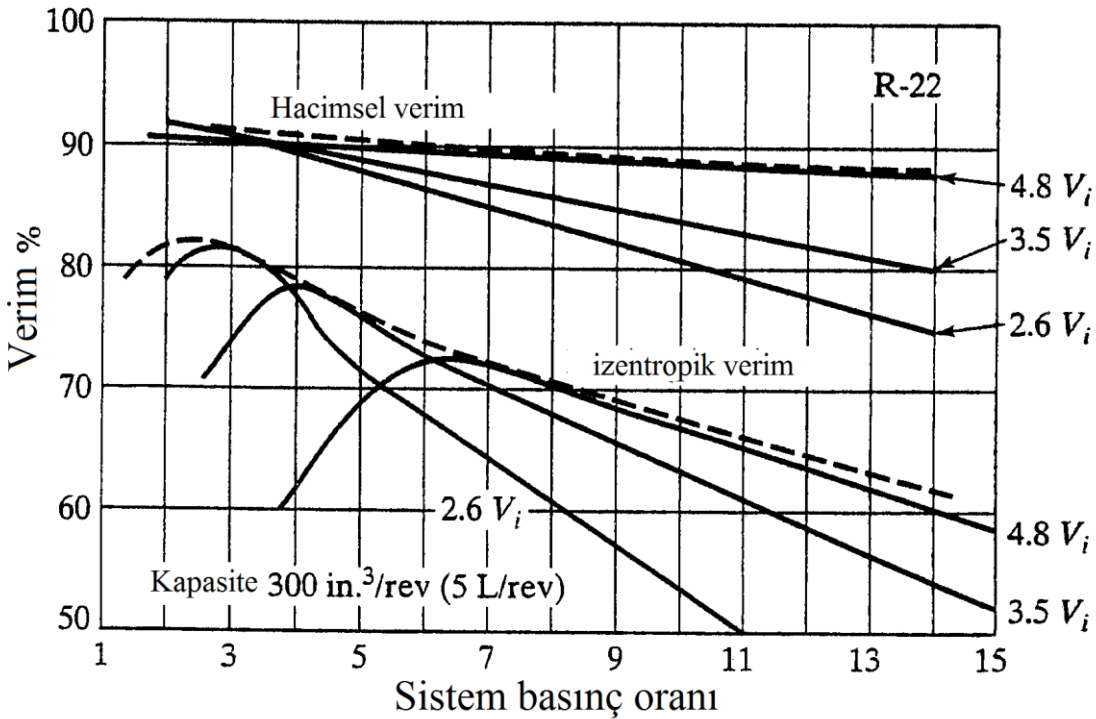
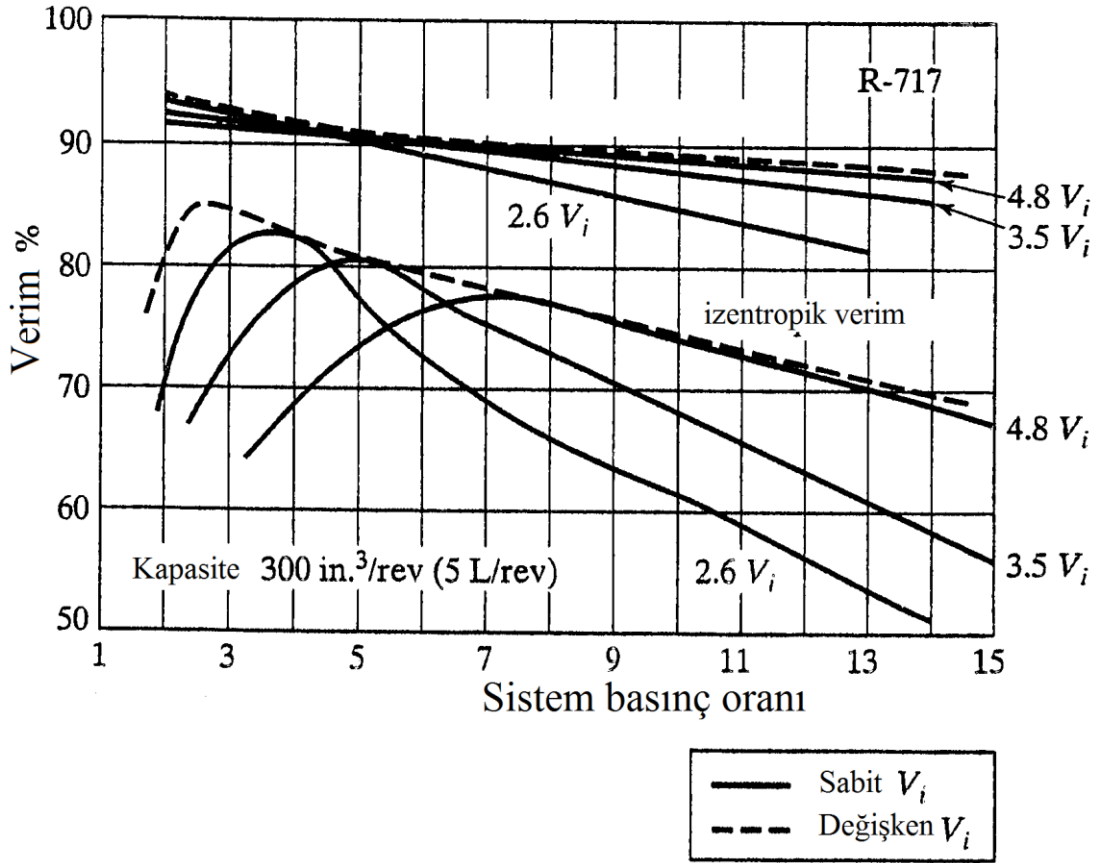


Şekil 4.5.25 Çift vidalı kompresörün vidalarının görünümü



Şekil 4.5.26 Çift vidalı kompresörün montaj görünümü

Şekil 5.20 de çift vidalı bir kompresörün deneysel verim eğrileri R717 ve R22 soğutkanları için verilmiştir.

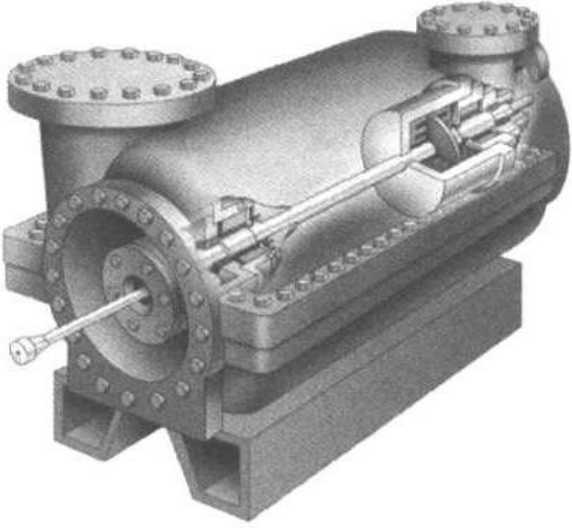


Şekil 4.5.27 Çift vidalı kompresörün R717(Amonyak) ve R22 için kapasite eğrileri

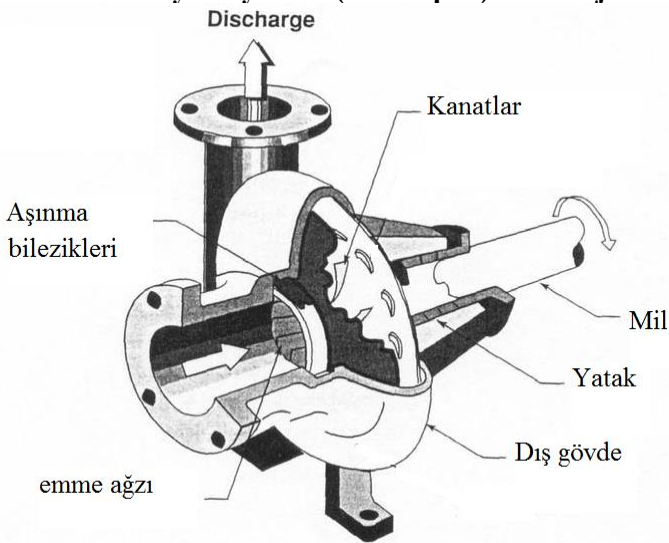
Çok büyük klima uygulamalarında kompresör olarak santrifüj kompresörlerin kullanılması mümkündür. Bu tür makineler pozitif yerdeğiştirme prensibi ile değil turbokompresör prensibi ile çalışırlar. Bu tür kompresörlerde her kompresör kademesinde elde edebileceği basınç sınırlıdır, ancak bu tür kompresörler seri bağlanak 30 a kadar varan basınç oranları elde edilebilir.



Şekil 4.5.28 Santrifuj bir kompresörün kanatlarının görünümü



Şekil 4.5.29 Manyetik yataklı (tam kapalı) santrifuj bir kompresör



Şekil 4.5.30 Tek kademeli açık santrifuj bir kompresör

Bu tür bir kompresörün genel denklemi:

$$w = \int_{P_1}^{P_2} v dP$$

Politropik proses için $Pv^n = \text{sabit}$ olduğundan

$$w_p = \frac{n}{n-1} P_3 v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

Santrifüj pompa prosesi adyabtik prosese yaklaşır. Adyabatik bir proseste ideal gaz yaklaşımı yapılırsa:

$$w_s = \frac{k}{k-1} P_3 v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

Adyabatik proses için :

$w_s = (h_2 - h_1)$ yazılabilir. Politropik iş gereksinmesi için daha genel bir formül olarak

$$w_p = \frac{w_p}{w_s} (h_2 - h_1) \text{ denkleminde yararlanabiliriz.}$$

10.0 HAVUZ İKLİMLENDİRİLMESİ

Havuzlar kapalı ve açık havuzlar olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki tipte de ilk bilmemiz gereken ne kadar suyun buharlaştığıdır. Açık havuzlarda buharlaşan atmosfere karıştığından sadece ısıtma ihtiyacı mevcut olabilir. Kapalı havuzlarda ise buharlaşan suyun ortamdan atılması ve konforun sağlanması çok daha komplks bir iklimlendirme prosesine ihtiyaç gösterir. Bu yüzden iklimlendirme proseslerinin detaylarını irdelemeden önce havuzlardan su buharlaşma prosesinin detaylarına göz atalım.

10.1 HAVUZ BUHARLAŞMA PROSELERİ

Kapalı havuzlarda temel buharlaşma prosesinin doğal taşınım ve kütle transferi üzerinden oluştuğunu düşünebiliriz.[53]. Bu durumda temel olarak suyun buharlaşma miktarı

$$E_o = h_M \rho_w (w_w - w_r) \quad 10.1$$

Denklemlerle verilebilir. Burada E_o m² havuz yüzeyinden saate buharlaşan su miktarıdır. h_M kütle transfer katsayısı, ρ_w su sıcaklığındaki doymuş havanın içindeki kuru havanın yoğunluğu, w_w su sıcaklığındaki doymuş havanın özgül nemi ve w_r havuz ortamındaki havanın özgül nemidir. Doğal taşınım ısı transferi için

$Nu = 0.14(Gr_H Pr)^{1/3}$ 10.2 denklemini yazabiliriz. Buradaki Nu Nussel sayısı, Gr Grashoff sayısı ve Pr Prandtl sayısıdır. Isı ve kütle transferi benzerliğinden

$Sh = 0.14(Gr_M Sc)^{1/3}$ 10.3 denklemini yazılabilir. Buradaki Gr_M kütle transfer Grashoff sayısı, Sc Schmith sayısı= $\mu/\rho D$ D moleküler diffüzyon katsayısı, μ dinamik viskozitedir. Sh Sherwood sayısıdır = $\frac{h_M L}{D}$ buradaki L karakteristik boyuttur.

$$Gr_M = \frac{\gamma g (w_w - w_r) L^3 \rho^2}{\mu^2} \quad 10.4 \quad \gamma = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial w} = \frac{\rho_r - \rho_w}{\rho (w_w - w_r)} \quad 10.5 \quad Gr_M = \frac{g (\rho_r - \rho_w) L^3 \rho}{\mu^2} \quad 10.6$$

10.6 denklemini 10.2 denklemine uygularsak:

$$Sh = \frac{h_M L}{D} = 0.14 \left[\frac{g (\rho_r - \rho_w) L^3}{\mu D} \right]^{1/3} \quad 10.7 \text{ ve}$$

$E_o = 0.14g^{1/3}D^{2/3}\rho_w\mu^{-1/3}(\rho_r - \rho_w)^{1/3}(w_w - w_r)$ 10.8 denklemi elde edilir.

$D^{2/3}\mu^{-1/3}$ değerinin tipik bir havuz için değişmediği varsayılırsa, denklem

$E_o = C\rho_w(\rho_r - \rho_w)^{1/3}(w_w - w_r)$ 10.9 şeklinde yazılabilir buradaki C=35 değerini alır. Temel olarak kapalı bir havuzdaki yüzücü olmadığı zamanki buharlaşma değeri için bu denklem veya

$E_o = b(P_w - P_r)$ 10.10 denklemi kullanılır buradaki b=0.00005 alınır. Temel olarak yüzücü olmayan kapalı havuzdaki buharlaşma için denklem 10.9 veya 10.10 un maksimum olanı seçilir.

Havuzda yüzen insanlar olması durumunda, bunların oluşturduğu su sıçratmaları ve dalgalanmalar sebebiyle buharlaşma artacaktır. Bu durumdaki buharlaşma miktarı için $N^* \geq 0.05$ için (N^* metrekaireye düşen yüzücü sayısıdır) $E_{occ}/E_o = 1.9 - 21(\rho_r - \rho_w) + 5.3N^*$ 10.11

Eğer $N^* < 0.05$ ise $N^* = 0.05$ değerindeki E_{occ}/E_o ile $N^* = 0$ değerindeki $E_{occ}/E_o=1$ arasında lineer interpolasyon yapılarak değer elde edilir.

Verilen formülleri hesaplamak için bir program oluşturduk

```
public class pool
{
//A havuz yüzey alanı m^2
//N havuzdaki kişi sayısı
//t havuz ortamı hava sıcaklığı derece C
//rh havuz ortamı bağıl nemi
//tw havuz suyu sıcaklığı derece C
//P havuz ortam basıncı kPa
//humid_air_IAPWS nemli havanın termodinamik ve termo fiziksel özellikleri IAPWS formülü
public humid_air_IAPWS ha=new humid_air_IAPWS();
public double E0(double t,double rh,double tw,double P)
{double C=35.0;double b=0.00005;
double Aw=ha.A_rhTP(1.0,(tw+273.15),P);
double Ar=ha.A_rhTP(rh,(t+273.15),P);
double row=Aw*ha.ro_rhTP((tw+273.15),1.0,P);
double ror=Ar*ha.ro_rhTP((t+273.15),rh,P);
double ww=ha.w(Aw);
double wr=ha.w(Ar);
double E01=C*row*Math.pow((ror-row),(1.0/3.0))*(ww-wr);
double xAw=ha.xA(Aw);
double xAr=ha.xA(Ar);
double pw=(1.0-xAw)*P*1e3;
double pr=(1.0-xAr)*P*1e3;
double E02=b*(pw-pr);
if(E01>E02) return E01;
else return E02;
}
public double EOCC(double A,double N,double t,double rh,double tw,double P)
{ double NS=N/A;
double NS1=0.05;
double Aw=ha.A_rhTP(1.0,(tw+273.15),P);
double Ar=ha.A_rhTP(rh,(t+273.15),P);
double row=Aw*ha.ro_rhTP((tw+273.15),1.0,P);
double ror=Ar*ha.ro_rhTP((t+273.15),rh,P);
double E0=E0(t,rh,tw,P);
double ratio=0.0;
if(NS>=NS1) {ratio=1.9-21.0*(ror-row)+5.3*NS;}
else {ratio=1.9-21.0*(ror-row)+5.3*NS1;ratio=(NS1-NS)/NS1*ratio;}
double EOCC=ratio*E0;
return EOCC;
}
```

```

public static void main(String arg[])
{
    pool p=new pool();
    double E0=p.E0(32.2,0.516,27.9,101.325);
    System.out.println("E0="+E0);
    double EOCC=p.EOCC(62.2,6,32.2,0.516,27.9,101.325);
    System.out.println("EOCC="+EOCC);
}
}

```

```

----- Capture Output -----
> "E:\co\java\bin\java.exe" pool
E0=0.0638569448686408
EOCC=0.16871981574930428

> Terminated with exit code 0.

```

Tablo 10.1 Su buharlaşma modelinin sonuçlarının ölçülmüş değerlerle karşılaştırılması[53]

kaynak	Havuz alanı m ²	Hava sıcaklığı Derece C	Hava bağlı nem %	Su sıcaklığı Derece C	Havuzdaki kişi sayısı	Ölçülen nem kg/(m ² h)	Hesaplanan nem kg/(m ² h)	% fark
Biasin ve Krumme(1974)[70]	62.2	32.2	51.6	27.9	6	0.152	0.1687	10.98
Biasin ve Krumme(1974)	62.2	28	57.6	30	1	0.172	0.17203790899969063	-0.0122
Biasin ve Krumme(1974)	62.2	31	54	28.5	0	0.07	0.07331466071966276	-4.73
Heiman ve Rink(1970)[71]	200	31	55	28.5	20	0.175	0.17487441275100704	0.0718
Heiman ve Rink	200	31	55	28.5	65	0.235	0.2596208718786983	-10.47
Doering(1979)[72]	425	27.5	34	25	35	0.212	0.21972013684613384	-3.64
Hansen & Mathieson(1990)[73]	72	30	63	32	27	0.6	0.5212155082563735	13.1307
Hylgaard(1990)[74]	418	28.5	37	26	0	0.125	0.09713686639126419	22.29
Bohlen(1972)	32	27	60	25	0	0.052	0.05145048553036768	1.0568
Reker(1978)	verilmemiş	25.5	71	23	0	0.026	0.02462066048414147	5.3052

10.2 HAVUZ ISI VE NEM KAYNAKLARI

Bir kapalı havuzda suyun havuzdan buharlaşmasının yanı sıra çeşitli duyulur ve gizli ısı kaynakları yer alacaktır. Bunun belli başlı bazıları burada listeleyelim:

1. Soyunma kabinleri/bayo (duyulur ve gizli ısı kaynağı)
2. Seyirciler (duyulur ve gizli ısı kaynağı)
3. Makinalar(duyulur ısı kaynağı)
4. Işık güneş enerjisi girdisi (duyulur ısı kaynağı)

5. O anda ölçülen havuz içi hava şartının istenilen ideal havuz içi hava şartından farkından dolayı gerekli enerji (duyulur ve gizli ısı)
6. Taze hava giriş ve çıkışı/enerji geri kazanım opsiyonu (duyulur ve gizli ısı kaynağı)
7. Kapı ve pencere açıklarından dış havanın içeri sızması/iç havanın dışarı kaçması (duyulur ve gizli ısı kaynağı)
8. Havuz suyunun buharlaşması-iç hava tarafı (gizli ısı kaynağı)
9. Havuz suyunun buharlaşması-havuz suyu (duyulur ısı kaynağı-evaporatif soğumadan dolayı oluşan enerji farkı havuz suyuna verilmelidir)

ÖRNEK PROBLEM: 200 m² havuz alanı olan bir havuzda 20 yüzücü bulunmaktadır. Hava sıcaklığı 31 derece C ve bağıl nemi %55, havuz suyu sıcaklığı 28.5 derece C olduğuna göre buharlaşan su miktarı ve eklediği gizli ısıyı bulunuz. Havuz atmosferik basıncı P=100 kPa'dır.

$$EOCC=0.17487441275100704 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

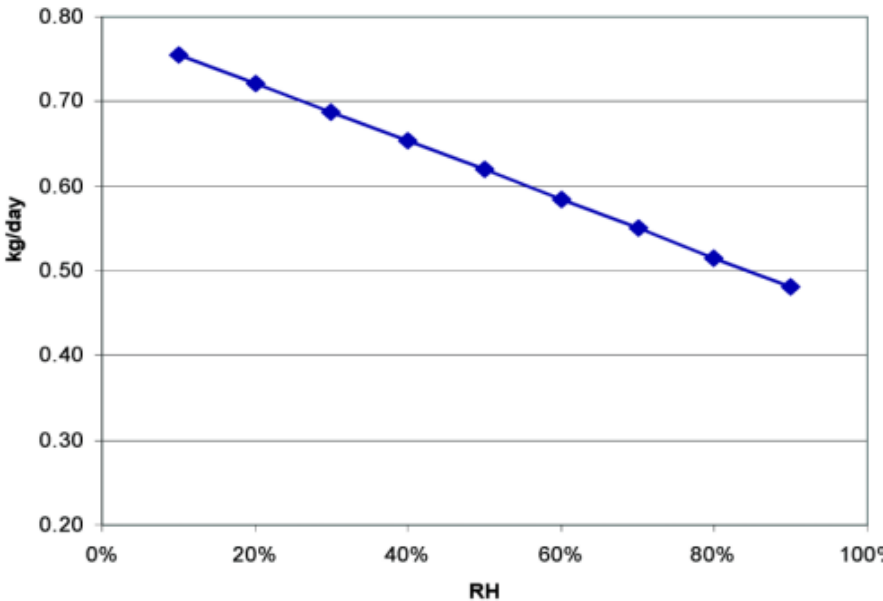
$$\text{Buharlaşma miktarı} = \frac{AEOCC}{3600} = 0.009715 \text{ kg/s}$$

$$Q = \frac{Ah_{fg}EOCC}{3600} = 23.640821555903717 \text{ kW}$$

TenWolde[75] Duş almanın ortama 0.11 ila 0.23 kg su buharı ekleyeceğini Hite ve Bray(1949) [76] kaynağına dayanarak raporlamış ancak duş süresi konusunda bilgi vermemiştir. Aynı kaynak Angell ve Olson(1988)[77] e dayanarak bu miktarın 15 dakikalık bir duşta oluşacağını bildirmişlerdir. IEA ANNEX14(1999)[78] 15 dakikalık bir duşun ortama 0.2 kg su buharı eklediğini bildirmiştir. Aynı kaynak duş başına 2.6 kg/h su buharı eklendiğini bildirmiştir.

Bir kişinin nefes alırken çevreye verdiği nem

$w_e - w_i = A + Bt_i - 0.798w_i$ formülü ile verilebilir. Bu formüldeki w_e verilen nefesteki özgül nem miktarı, w_i çevre havasındaki özgül nem miktarı, t_i çevre hava sıcaklığı (derece C) A=0.02760 ve B=0.000065 sabitlerdir. Nefes almanın havaya eklediği yaklaşık nem değeri 240 L/h m² insan vücududur. Ortalama bir yetişkin erkeğin vücut alanı 1.8 m² civarındadır. Aşağıdaki şekil 10.1-1 de bağıl nemin fonksiyonu olarak 21.1 C oda sıcaklığında bir gündeki kişi başına eklenen nem miktarı verilmiştir.



Şekil 10.1-1 Nefes alma yoluyla bir kişinin 21.1 C oda sıcaklığında çevreye verdiği nem miktarı

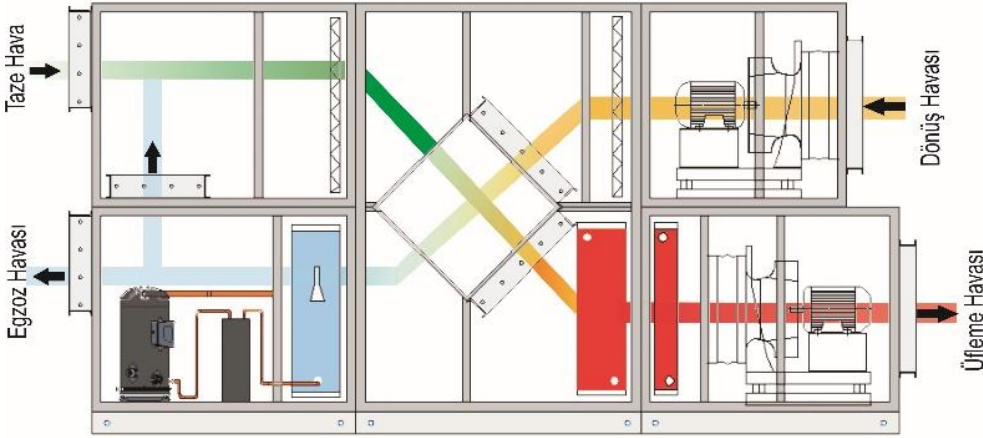
Terleme ile ortama verilen nem ise kişi başına %50 bağıl nem ortamında dinlenmekte olan bir yetişkin insan için 0.5 ila 1.4 kg/gün civarındadır. (1.8 m² yüzey alanı ve 30 C deri sıcaklığı varsayılmıştır). Toplam olarak nefes alma ve terlemeden 0.8 ila 1.7 kg/gün nem ortama eklenmektedir.

Havuzda verilmesi gereken taze hava ihtiyacı VDI 2089 a göre işletilen havuzun yüzey alanı(m²) başına minimum $V_{dış ortam havası}=10 \text{ m}^3/\text{h}$ dir.

$$V_{taze hava} = AV_{dış ortam havası} 1.2(w_{dış ortam} - w_{iç ortam})$$

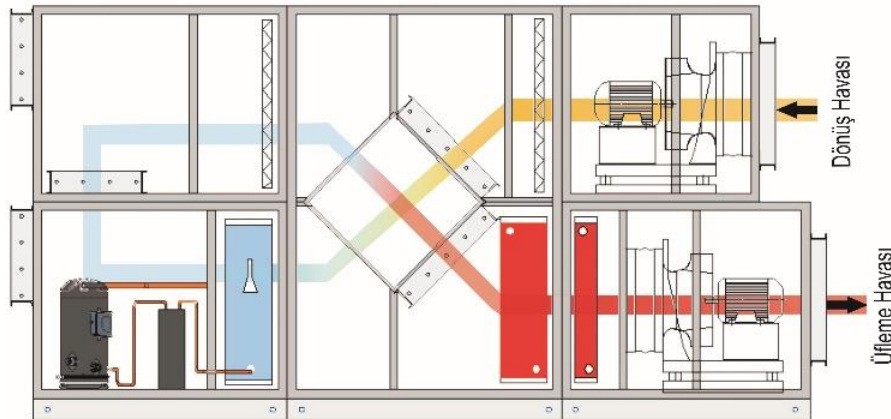
ancak bir çok modern yaklaşımda kışın %60 yazınsa %100 civarında taze hava tavsiye edilmektedir.

10.3 HAVUZ İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ



Şekil 10.3-1 Tipik bir havuz iklimlendirme sistemi

Şekilde tipik bir havuz iklimlendirme sistemi görülmektedir. Burada temel nem alma görevini bir soğutma sisteminin buharlaştırıcı ünitesi gerçekleştirmektedir. Dış havanın çığ noktası sıcaklığının altında olduğu durumlarda dönüş havası ısı değiştiricide nem alma için kullanılabilir, veya genelde soğuk havadaki mutlak nem düşük olacağından sadece ısıtılarak iç ortama düşük bağıl nemde verilebilir. Eğer taze hava gereksinimi yoksa iç hava soğuk dış hava/ısı değiştirici veya evaporatör kullanılarak nemi alındıktan sonra kondenser/ısı değiştirici/ısıtıcı sistemleriyle ısıtılıp tekrar havuz ortamına verilebilir.



Şekil 10.3-2 Tipik bir havuz iklimlendirme sisteminde dış hava alınmaksızın nemi alınan ve ısıtılan iç hava ile çalışma

Eğer iç nem yeterince düşükse dönüş havası sadece ısıtılarak ta ortama geri verilebilir. Tüm bu stratejiler bu tür sistemlerin iyi bir kontrol sistemi gerektirir. Havuz içi iç havanın kontrolünde havuzdaki buharlaşma, havuz ve

çevresindeki insanlar, duş vs gibi tüm kaynakları hesap ederek kendi kendini ayarlayabilecek akıllı iklimlendirme sistemlerinin dizaynı da temel olarak mümkündür.

ÖRNEK PROBLEM: Türkiye aylık iklim koşulları EK 5 de verilmiştir. Buna göre İzmir ili için Aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları ve aylık ortalama dış ortam nem değerleri:

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Sıcaklık C	8.7	9.5	11.6	15.8	20.8	25.5	28	27.6	23.6	18.7	14.1	10.4	17.9
Nem %	71	69	67	64	60	53	51	54	58	64	70	73	

Olarak verilmiştir. Havuz içimahal şartı 30 C ve %50 bağıl nemdir. Havuz alanı basıncı 101.325 kPa olarak ölçülmüştür. Bu durumda mahalın şartları:

array no	property na...	value humi...	unit	value dry ai...	unit
0	P, pressur...	101.325	kPa		
1	T, temper...	30.0	deg C		
2	v, specific...	0.8653731...	m ³ /kg hu...	0.8768940...	m ³ /kg dry...
3	h, enthalp...	63.360663...	KJ/kg hu...	64.204203...	kJ/(kg dry...
4	s, entropy...	0.2247128...	KJ/kg hu...	0.2277045...	kJ/(kg dry...
5	w, specifi...	0.0133133...	kg vap/kg...		
6	A, mass fr...	0.9868616...	kg dry air...		
7	xA, mole f...	0.9790430...	kmol dry ...		
8	relative hu...	0.4999999...			
9	Adiabatic ...	22.069886...	degree C		
10	dew point ...	18.447468...	degree C		
11	η Dynami...	5.0236937...	Pa.s		
12	k Thermal...	0.0284154...	W/mK		
13	degree of ...	0.4960070...			
14	Pa dry air ...	99.201540...	kPa		
15	Pv water ...	2.1234599...	kPa		
16	ρ density	1.1555709...	kg humid ...	1.1403885...	kg dry air/...
17	Cp isocho...	1.0181090...	kJ/(kg hu...	1.0316634...	kJ/(kg dry...
18	Cv isovolu...	0.7273483...	kJ/(kg hu...	0.7370317...	kJ/(kg dry...
19	ha enthalp...	30.185582...	kJ/(kg hu...	30.587452...	kJ/(kg dry...
20	hv enthalp...	2556.4672...	kJ/(kg wa...		

W=13.31 g su buharı/kg kuru hava T_{adyabatik yoğunlaşma sıcaklığı}=22 C dir.

İstenilen hava gönderme şartı 40 C ve %20 bağıl nemdir. Bu durumda

array no	property name	value humid air mass fr base	unit	value dry air mass fr base	unit
0	P, pressure	101.325	kPa		
1	T, temperature	40.0	deg C		
2	v, specific volume	0.8918443105997529	m ³ /kg humid air	0.9000496596682521	m ³ /kg dry air
3	h, enthalpy	63.353113196216526	KJ/kg humid air	63.93598893155818	kJ/(kg dry air)
4	s, entropy	0.2224951172405763	KJ/kg humid air K	0.22454216747265981	kJ/(kg dry air K)
5	w, specific humidity, humidity...	0.009200427665430983	kg vap/kg dry air		
6	A, mass fraction of dry air	0.9908834485071373	kg dry air/kg humid air		
7	xA, mole fraction of dry air	0.9854229252905131	kmol dry air/kmol humid air		
8	relative humidity	0.2000000000002081			
9	Adiabatic saturation temperat...	22.175858830273228	degree C		
10	dew point temperature	12.784750276630007	degree C		
11	η Dynamic viscosity	4.226181292129389E-4	Pa.s		
12	k Thermal conductivity	0.02849516852240849	W/mK		
13	degree of saturation	0.19556696114798983			
14	Pa dry air partial pressure	99.84797790506124	kPa		
15	Pv water moisture partial pres...	1.4770220949387582	kPa		
16	ρ density	1.1212719396365425	kg humid air/m ³	1.1110498062613439	kg dry air/m ³
17	Cp isochoric specific heat	1.0149044525887752	kJ/(kg humid air K)	1.024242007592142	kJ/(kg dry air K)
18	Cv isovolumetric specific heat	0.724996717277544	kJ/(kg humid air K)	0.7316669971325309	kJ/(kg dry air K)
19	ha enthalpy of dry air KJ/kg d...	40.25092823472237	kJ/(kg humid air)	40.62125398841239	kJ/(kg dry air K)
20	hv enthalpy of vapor KJ/kg w...	2575.506420732661	kJ/(kg water)		

W=9.2 g su buharı/kg kuru hava T_{adyabatik yoğunlaşma sıcaklığı}=22.17 C ve yoğunluk ρ=1.1212 kg/m³ dir. Bu durumda üflenen m³/h dönüş havası için w=V_{üflenen hava}(m³/h) 1.1212*(13.31-9.2)= V_{üflenen hava}(m³/h) 3.8 g/h nem alınacaktır. Havuzdaki nem üretimin çeşitli kaynaklarını yukarda görmüştük. Şimdi hesap basitliği için sadece havuzdan

buharlaşan nem olduğunu varsayalım. 200 m² havuz alanı olan bir havuzda 20 yüzücü bulunmaktadır. , havuz suyu sıcaklığı 28.5 derece C olduğunu varsayalım. Bu durumda havuzdan buharlaşan su miktarı

EOCC=0.20461767210923038kg/m²h ve 200*0.20461767210923038kg/m²h= 40.92353 kg/h olacaktır. Bu durumda Üflenmesi gereken hava (sadece havuzdaki oluşan nemi gidermek için) 10766.89 m³/h=2.99 m³/s dir.

Şimdi nem ve sıcaklık değerlerini sağlamak için gerekenleri göz önüne alalım. İzmir için değişik aylardaki dış havayı göz önüne alırsak:

Ocak ayında dış havanın sıcaklığı ortalama 8.7 C ve bağıl nemi %71 dir. Dış hava basıncının da 101.325 kPa olduğunu varsayarsak:

array no	property name	value humid air mas...	unit	value dry air mass fr ...	unit
0	P, pressure	101.321	kPa		
1	T, temperature	8.699999999999999	deg C		
2	v, specific volume	0.8004733078028718	m ³ /kg humid air	0.804429830474465	m ³ /kg dry air
3	h, enthalpy	21.082186596506748	KJ/kg humid air ...	21.186390132618133	kJ/(kg dry air)
4	s, entropy	0.07835120574134...	KJ/kg humid air K ...	0.07873847452200...	kJ/(kg dry air K)
5	w, specific humidit...	0.00494272904920...	kg vap/kg dry air		
6	A, mass fraction of...	0.9950815813614724	kg dry air/kg humi...		
7	xA, mole fraction o...	0.9921155975520264	kmol dry air/kmol ...		
8	relative humidity	0.7100000000000256			
9	Adiabatic saturatio...	6.316628937610972	degree C		
10	dew point temperat...	3.741718985392481	degree C		
11	η Dynamic viscosity	2.39275139876931...	Pa.s		
12	k Thermal conducti...	0.02550046886765...	W/mK		
13	degree of saturation	0.7091330291479951			
14	Pa dry air partial pr...	100.52214445956886	kPa		
15	Pv water moisture ...	0.7988555404311346	kPa		
16	ρ density	1.2492608938389043	kg humid air/m ³	1.2431165057742632	kg dry air/m ³
17	Cp isochoric specif...	1.0101718686970578	kJ/(kg humid air K)	1.01516487453716	kJ/(kg dry air K)
18	Cv isovolumetric s...	0.7206605375470697	kJ/(kg humid air K)	0.7242225673206217	kJ/(kg dry air K)
19	ha enthalpy of dry ...	8.752180040868552	kJ/(kg humid air)	8.795439695400455	kJ/(kg dry air K)
20	hv enthalpy of vap...	2517.091366594221	kJ/(kg water)		

Dışhava W=4.94 g su buharı/kg kuru hava değerine sahiptir.

$$m_{dış\ hava}W_{dış\ hava} + m_{dönüş\ havası}W_{dönüş\ havası} = (m_{dış\ hava} + m_{dönüş\ havası})W_{üfleme\ havası\ havası}$$

$$\frac{m_{dış\ hava}}{m_{dönüş\ havası}} = \frac{W_{üfleme\ havası\ havası} - W_{dış\ hava}}{W_{dönüş\ havası} - W_{dış\ hava}} = \frac{9.92 - 4.94}{13.31 - 4.94} = 0.59 \text{ bulunur.}$$

Enerji dengesine bakmak istersek önce karışımın entalpisini bulmamız gerekir

$$m_{dış\ hava}h_{dış\ hava} + m_{dönüş\ havası}h_{dönüş\ havası} = (m_{dış\ hava} + m_{dönüş\ havası})h_{karışım\ havası}$$

$$h_{karışım\ havası} = \frac{\frac{m_{dış\ hava}}{m_{dönüş\ havası}}h_{dış\ hava} + h_{dönüş\ havası}}{\frac{m_{dış\ hava}}{m_{dönüş\ havası}} + 1}$$

$$h_{dış\ hava} = 21.186 \frac{kJ}{kg} \text{ kuru hava}$$

$$h_{dönüş\ havası} = 64.204 \frac{kJ}{kg} \text{ kuru hava}$$

$$h_{karışım\ havası} = 48.15 \frac{kJ}{kg} \text{ kuru hava}$$

$$h_{üfleme\ havası} = 3.94 \frac{kJ}{kg} \text{ kuru hava olduğundan fark ısıtılarak verilmelidir.}$$

Temmuz ayı değerlerini göz önüne alalım: sıcaklık 28 C ve nem %51 değerindedir.

array no	property name	value humid air mass...	unit	value dry air mass fr...	unit
0	P, pressure	101.325	kPA		
1	T, temperature	28.0	deg C		
2	v, specific volume	0.8590266644098093	m ³ /kg humid air	0.8693972478841032	m ³ /kg dry air
3	h, enthalpy	58.27209382556575	KJ/kg humid air	58.975582597541305	kJ/(kg dry air)
4	s, entropy	0.207477304345459...	KJ/kg humid air K	0.209982070254226...	kJ/(kg dry air K)
5	w, specific humidit...	0.012072481453668...	kg vap/kg dry air		
6	A, mass fraction of ...	0.9880715248414539	kg dry air/kg humi...		
7	xA, mole fraction of...	0.9809591138592325	kmol dry air/kmol ...		
8	relative humidity	0.5099999999980054			
9	Adiabatic saturation...	20.59210085403788	degree C		
10	dew point temperature	16.927288926007236	degree C		
11	η Dynamic viscosity	4.86330132158626...	Pa.s		
12	k Thermal conducti...	0.028071982584335...	W/mK		
13	degree of saturation	0.5064472715701609			
14	Pa dry air partial pre...	99.39568221178673	kPA		
15	Pv water moisture p...	1.9293177882132657	kPa		
16	ρ density	1.1641082185580884	kg humid air/m ³	1.150222182591159	kg dry air/m ³
17	Cp isochoric specifi...	1.0169530275927365	kJ/(kg humid air K)	1.0292301741576015	kJ/(kg dry air K)
18	Cv isovolumetric sp...	0.7263931669991227	kJ/(kg humid air K)	0.7351625350357909	kJ/(kg dry air K)
19	ha enthalpy of dry a...	28.17230451847394	kJ/(kg humid air)	28.51241414228031	kJ/(kg dry air K)
20	hv enthalpy of vapo...	2552.7791828116606	kJ/(kg water)		

Bu durumda dış hava W=12.072 g su buharı/kg kuru hava değerine sahiptir. Bu değer istediğimiz üfleme W değerinin üzerindedir. Bu yüzden nem almak için direk kullanıma uygun değildir. Dış hava ve iç hava şartları çok yakın olduğundan bu durumda minimum gerekli dış havayı (veya tamamne dış havayı) alıp bir nem alma sistemiyle (standart soğutma çevrimi en yaygın uygulamadır ve yukardaki şemalarda da bu gösterilmiştir) nemini aldıktan sonra ısıtılarak dönüş havası olarak gönderilir. %100 dış hava kullandığımızı varsayalım. Bu durumda W=12.072 olan özgül nem değerini nem alma ile W=9.2 gr su buharı/kg kuru hava değerine kadar nem aldıktan sonra (bağlı nem %100 olacaktır) h= 63.935 kJ/kg değerine kadar ısıtmamız gerekecektir.

array no	property na...	value humi...	unit	value dry ai...	unit
0	P, pressur...	101.325	kPA		
1	T, temper...	12.784760...	deg C		
2	v, specific...	0.8141267...	m ³ /kg hu...	0.8216170...	m ³ /kg dry..
3	h, enthalp...	35.745564...	KJ/kg hu...	36.074438...	kJ/(kg dry..
4	s, entropy...	0.1302664...	KJ/kg hu...	0.1314649...	kJ/(kg dry..
5	w, specifi...	0.0092004...	kg vap/kg...		
6	A, mass fr...	0.9908834...	kg dry air...		
7	xA, mole f...	0.9854229...	kmol dry ...		
8	relative hu...	0.9999993...			
9	Adiabatic ...	12.784753...	degree C		
10	dew point ...	12.784749...	degree C		
11	η Dynami...	3.9717088...	Pa.s		
12	k Thermal...	0.0264892...	W/mK		
13	degree of ...	0.9999993...			
14	Pa dry air ...	99.847977...	kPA		
15	Pv water ...	1.4770220...	kPa		
16	ρ density	1.2283099...	kg humid ...	1.2171120...	kg dry air/..
17	Cp isocho...	1.0141328...	kJ/(kg hu...	1.0234633...	kJ/(kg dry..
18	Cv isovol...	0.7238845...	kJ/(kg hu...	0.7305445...	kJ/(kg dry..
19	ha enthalp...	12.862637...	kJ/(kg hu...	12.980979...	kJ/(kg dry..
20	hv enthalp...	2524.2933...	kJ/(kg wa...		

Buradaki çıkış entalpisi h=36.0744 kJ/kg kuru hava değeri üfleme havası entalpisi h=62.959 kJ/kg değerine kadar ısıtılmalıdır. Soğutma sistemi evaporatöründeki soğutma entalpi farkı: Δh=58.975-35.745=23.23 kJ/kmol ve COP değerleri COP evaporatör = 4.925696260754337 COP kondenser = 5.925696260754337 olarak hesaplandı.

Bu durumda: mevcut kondenser entalpi farkı: $\Delta h = 5.925696260754337 / 4.925696260754337 * 23.23 = 27.94$ kJ/kg kuru hava olarak bulunur. Kondenseri ısıtma gayesiyle kullandığımızda kondenser çıkış entalpisi $h=36.0744+27.94=64.02$ kJ/kg etmektedir. Bu değer 62.959 değerinden büyük olduğundan bu durumda kondenser ısısının üfleme noktasına erişim için yeterli olduğu görülmektedir. Ayrıca ek bir ısıtma gerekmemektedir.

EK 1.0 HAL DENKLEMLERİ

Psikometrik tabloların oluşturulmasında ve temelinde hal denklemlerinin bilinmesi ve hesaplanması yatar bu yüzden konumuza başlarken önce saf sıvıların hal denklemlerinin hal nasıl hesaplanacağını inceleyeceğiz sonra bir gaz karışımı olan su buharı hava karışımının (nemli havanın) özelliklerinin hesaplanmasına, diğer bir deyimle psikometrik tablo hesaplarına geçeceğiz. Önce hava ve diğer gazları modellediğimiz ideal gaz hal denklemini inceleyelim.

1.1 İDEAL GAZ HAL DENKLEMİ

İdeal gaz hal denklemleri aşağıdaki temel ilişki ile verilir:

$$P(T, V) = \frac{NR_uT}{V} \quad (1.1.1)$$

Bu denklemde N kimyasal bileşimin mol sayısıdır. Bu denklemde temel olarak tek bir komponent olduğu varsayılabilir, ancak kuru hava gibi gaz karışımlarını da tek bir az varsayarak hesaplamamız mümkündür. Denklemdeki R_u katsayısına universal gaz sabiti adı verilir ve değeri $R_u=8314.5 \text{ J/(kmol K)}$ dir. Bu denklemdeki N mol sayısı yerine m kütle kullanımı mümkündür. Bu iki değer arasında $N = \frac{m}{M}$ (1.1.2) ilişkisi mevcuttur. Bu denklemde m kütle kg cinsinden verilmiştir, N molar kütle kmol cinsinden verilmiştir ve M molekül ağırlığı kg/kmol cinsinden verilmiştir. Bu durumda ideal gaz denklemleri:

$P(T, V) = \frac{m(R_u/M)T}{V} = \frac{mRT}{V}$ (1.1.3) olarak yazılabilir. Burada $R=R_u/M$ (J/kgK) gaz sabiti olarak adlandırılır. Pratik hesaplamalarda hacim yerine özgül hacim kullanılabilir ve denklem aşağıdaki formda ifade edilir.

$$P(T, v) = \frac{R_uT}{v} \quad (1.1.4)$$
 bu denklemdeki v'nin birimi m^3/kmol 'dür.

Temel hal denklemleri tanımları yapıldıktan sonra diğer termodinamik özelliklerin hesabına geçebiliriz.

$$ds = \frac{C_v(T)}{T} dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v dv \quad (1.1.5)$$

$$du = C_v dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v - P\right] dv \quad (1.1.6)$$
 Bu denklemlerdeki s entropi(J/kmol K) ve u iç enerji

(J/kmol) adını alır. Bunlara ek olarak $C_p - C_v = R_u$ (2.1.5) ilişkisi de mevcuttur. Buradaki C_v sabit hacimde özgül ısı (J/kmolK) ve C_p sabit basınçta özgül ısı (J/kmolK) ismini alır. Denklemlerde genellikle sabit basınçta özgül ısının kullanılması daha yaygındır, ancak bu iki özellik birbirine dönüştürülebilir.

$$ds = \frac{C_p - R_u}{T} dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v dv \quad (1.1.5a)$$

$$du = (C_p - R_u)dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v - P\right] dv \quad (1.1.6a)$$

Buradaki türev ifadelerinin değerleri ideal gaz hal denklemlerinden alınarak yerine konulursa

$$\left(\frac{\partial P(T,v)}{\partial T}\right)_v = \frac{R_u}{v} \quad (1.1.7)$$

$$ds = \frac{C_p - R_u}{T} dT + \left(\frac{R_u}{v}\right) dv \quad (1.1.8)$$

$$du = (C_p(T) - R_u)dT + \left[T \left(\frac{R_u}{v}\right) - \frac{R_uT}{v}\right] dv = (C_p(T) - R_u)dT = C_v(T)dT \quad (1.1.9)$$

Bu denklemde de görüleceği gibi, ç enerji değişimi hacimsel değişimin fonksiyonu değildir ve sadece sıcaklık değişiminin fonksiyonudur ve gaz için özgül ısı denklemlerini kullanarak hesaplanabilir.

Entalpi fonksiyonu da iç enerji fonksiyonu ve hal denklemlerinden hesaplanabilir.

$$h(T) = u(T) + Pv = u(T) + R_uT \quad (1.1.10)$$
 Bulunur. Bu denklemlerin integralleri alınırsa:

$$s = s_0 + \int_{T_0}^T \frac{C_p - R_u}{T} dT + R_u \ln\left(\frac{v}{v_0}\right) \quad (1.1.11)$$

$$u = u_0 + \int_{T_0}^T (C_p - R_u) dT \quad (1.1.12)$$

$$h = h_0 + \int_{T_0}^T C_p(T) dT \quad (1.1.13)$$

Bu denklemlerdeki 0 referans noktasını bildirir. Termlerin mutlak değerleri referans noktasına bağlıdır. İdeal gazlar için literatürde çeşitli referans noktalarına rastlanmaktadır. En yaygın olarak kullanılan referans noktaları 0K, 273.15 K, 233.15 K ve 293.15 K değerleridir. Termodinamik göreceli eski bir bilim dalı olduğundan sabir bir referans noktası belirlenememiştir. Ancak değerlerin farkları sabittir.

Şimdi biraz da özgül ısı değerlerinin hesaplanmasını irdeleyelim. Hava için sabit basınçta özgül ısı değerleri Tablo 1.1.1 de kJ/kmolK birimi cinsinden verilmiştir. Denklemlerdeki integralleri almak için tablolar yerine temel denklemlerin kullanılması gerekmektedir. Temel denklemleri eğri uydurma veya interpolasyon teknikleriyle oluşturabiliriz. Eğri uydurma tekniği olarak önce en küçük kareler yöntemini kullanmayı deneyelim. Bu yöntemle göre temel denklemlerimiz

$$C_p(T) = \sum_{i=0}^n a_i T^i \quad (1.1.14)$$

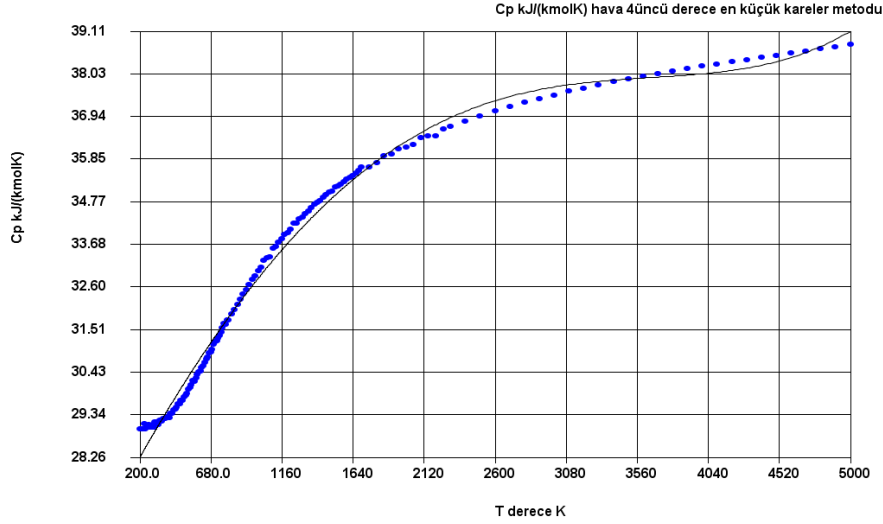
Tablo 1.1.1 Kuru hava için sıcaklığın fonksiyonu olarak Cp özgül ısı değerleri

T K	Cp kJ/kmolK	T K	Cp kJ/kmolK	T K	Cp kJ/kmolK	T K	Cp kJ/kmolK
200	28.97	530	29.98395	1020	33.098225	1900	35.98074
210	28.97	540	30.04189	1040	33.25756	1950	36.09662
220	28.97	550	30.09983	1060	33.329985	2000	36.15456
230	29.11485	560	30.21571	1080	33.358955	2050	36.2125
240	28.97	570	30.18674	1100	33.57623	2100	36.38632
250	29.05691	580	30.27365	1120	33.619685	2150	36.44426
260	29.08588	590	30.36056	1140	33.735565	2200	36.44426
270	29.02794	600	30.4185	1160	33.822475	2250	36.61808
280	29.02794	610	30.44747	1180	33.92387	2300	36.68109071
285	29.02794	620	30.53438	1200	33.967325	2400	36.81782778
290	29.08588	630	30.59232	1220	34.06872	2500	36.94534153
295	29.02794	640	30.67923	1240	34.21357	2600	37.0659755
300	29.08588	650	30.76614	1260	34.21357	2700	37.17910201
305	29.14382	660	30.79511	1280	34.314965	2800	37.28550195
310	29.08588	670	30.91099	1300	34.372905	2900	37.38673797
315	29.14382	680	30.93996	1320	34.459815	3000	37.48062006
320	29.08588	690	30.9979	1340	34.53224	3100	37.57095647
325	29.08588	700	31.14275	1360	34.604665	3200	37.65649247
330	29.14382	710	31.20069	1380	34.691575	3300	37.73764644
340	29.20176	720	31.22966	1400	34.73503	3400	37.81498992
350	29.17279	730	31.2876	1420	34.79297	3500	37.88873262
360	29.23073	740	31.34554	1440	34.865395	3600	37.95866514
370	29.23073	750	31.43245	1460	34.93782	3700	38.02598754
380	29.2597	760	31.54833	1480	34.99576	3800	38.08970953
390	29.28867	770	31.66421	1500	35.02473	3900	38.151812
400	29.2597	780	31.63524	1520	35.14061	4000	38.21130463
410	29.37558	790	31.75112	1540	35.16958	4100	38.26938743
420	29.37558	800	31.75112	1560	35.213035	4200	38.32606044
430	29.46249	820	31.910455	1580	35.270975	4300	38.38153326
440	29.49146	840	32.01185	1600	35.3434	4400	38.43523458
450	29.52043	860	32.142215	1620	35.386855	4500	38.48893572
460	29.60734	880	32.287065	1640	35.43031	4600	38.54284623
470	29.60734	900	32.402945	1660	35.48825	4700	38.59615756
480	29.69425	920	32.518825	1680	35.54619	4800	38.64916244
490	29.69425	940	32.64919	1700	35.6331	4900	38.70354898
500	29.78116	960	32.779555	1750	35.6331	5000	38.75799272
510	29.8391	980	32.88095	1800	35.74898		
520	29.86807	1000	33.011315	1850	35.9228		

Hava için bilgisayar programıyla bu eğri uydurmayı tablodaki verilen verileri kullanarak gerçekleştirelim

Program 1.1.1 En küçük kareler eğri uydurma programı. Program ismi: SCO11B4) program kodu için sco1.jar dosyasını www.turhancoban.com adresinden indirebilirsiniz.

Program çıktısı:



Çıktıdan da görüldüğü gibi iki veri tam olarak üst üste gelmemektedir. İdeal gaz değerlerinin hassas olarak hesaplanabilmesi için özgül ısı değerlerinin çok hassas ve doğru olarak hesaplanması şarttır. Bu yüzden tek denklemlen en küçük kareler metodu yerine kısmi devamlı bir en küçük kareler metodu kullanımına gidebiliriz.

Bizim modelimizde kullanacağımız kısmi devamlı en küçük kareler denklemi:

$$C_{pi}(T) = A_i + B_i * 10^{-3}T + C_i * 10^5/T^2 + D_i * 10^{-6}T^2 \quad T_{Li} \geq T > T_{Hi} \quad \text{KJ/kmol K} \quad (1.1.15)$$

Bu tip kısmi devamlı en küçük kareler yönteminin kullanılması bize hata kontrol olasılığını sağlar. En küçük kareler metodunun ne şekilde işlediğinin burada biraz detayına değinebiliriz. Kısmi devamlı en küçük kareler metodunda toplam veri bölgesi elde edilmek istenen kısmi denklem sayısı kadar (L veri bölgesi) alt bölgeye bölünür. Her bölge için en küçük kareler katsayıları ayrı ayrı hesaplanır. Her set T_i, C_{pi} $i=(n-1)/L * k \dots (n-1)/L * (k+1) \quad k=0 \dots (L-1)$ şekline gelir bu setler için

$$C_{pk}(T) = \sum_{j=0}^m a_{jk}^{(m)} \phi_j(T) \quad T_{Li} \geq T > T_{Hi} \quad k=0 \dots (L-1) \quad (1.1.16)$$

Denklem 1.1.15 için ϕ_j katsayıları $\phi_0=1, \phi_1=10^{-3} * T, \phi_2=10^5/T^2, \phi_3=10^{-6} * T^2$

Şeklinde tanımlanmıştır. Bu denklemin katsayılarını bulmak için aşağıdaki denklemin minimum

$$\text{katsayıları bulunur. } H_k(a_{0k}^{(m)}, \dots, a_{mk}^{(m)}) = \sum_{i=\frac{n-1}{L} * k}^{i=\frac{n-1}{L} * (k+1)} w_k(T_i) \left[\frac{C_{pi} - \sum_{j=0}^m a_{jk}^{(m)} \phi_j(T_i)}{(L-1)} \right]^2 \quad (1.1.17)$$

Denklemdaki w_k ağırlık fonksiyonu adını alır. Hesabı kolaylaştırmak için ağırlık fonksiyonunun değeri 1 olarak alınabilir. Veri ile doğru arasındaki mesafelerin karesini minimum yapacak katsayıları bulmak için fonksiyonun katsayılara göre türevinin kökleri hesaplanır.

$$\frac{\partial H_k(a_{0k}^{(m)}, \dots, a_{mk}^{(m)})}{\partial a_{pk}^{(m)}} = \frac{2}{L-1} \sum_{i=\frac{n-1}{L} * k}^{i=\frac{n-1}{L} * (k+1)} w_k(T_i) \left[\frac{C_{pi} - \sum_{j=0}^m a_{jk}^{(m)} \phi_j(T_i)}{(L-1)} \right] \phi_p(T_i) = 0 \quad p=0..m \quad (1.1.18)$$

$$\left[\sum_{j=0}^m w_k(T_i) \phi_j(T_i) \phi_p(T_i) \right] [a_j^{(m)}] = \left[\sum_{i=1}^n w_k(T_i) \phi_p(T_i) C_{pi} \right] \quad p=1..m \quad (1.1.19)$$

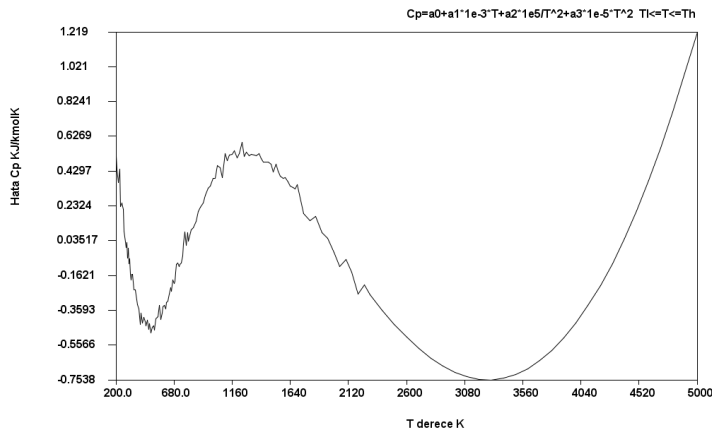
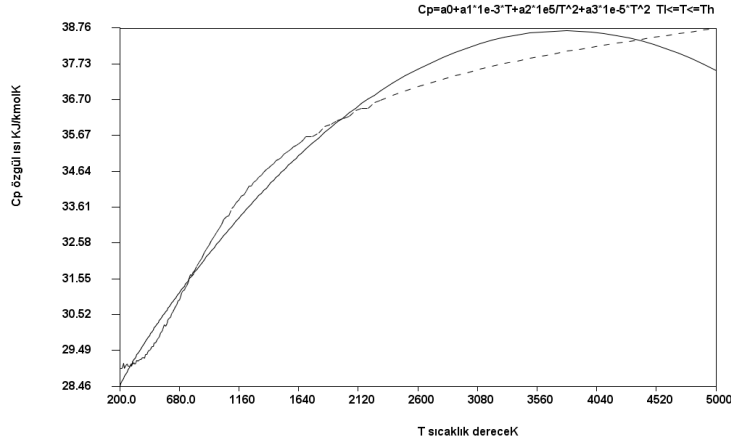
Bu denklem $m+1$ lineer denklemden oluşan bir denklem sistemidir ve Gauss eleme yöntemi gibi bir lineer denklem sistemi çözücüsü tarafından çözülebilir. Ağırlık faktörü $w_k(T_i)=1$ olarak alınacaktır.

$$\begin{bmatrix}
\sum_{i=1}^n \phi_0(T_i)\phi_0(T_i) & \sum_{i=1}^n \phi_0(T_i)\phi_1(T_i) & \sum_{i=1}^n \phi_0(T_i)\phi_2(T_i) & \dots & \sum_{i=1}^n \phi_0(T_i)\phi_m(T_i) \\
\sum_{i=1}^n \phi_1(T_i)\phi_0(T_i) & \sum_{i=1}^n \phi_1(T_i)\phi_1(T_i) & \sum_{i=1}^n \phi_1(T_i)\phi_2(T_i) & \dots & \sum_{i=1}^n \phi_1(T_i)\phi_m(T_i) \\
\sum_{i=1}^n \phi_2(T_i)\phi_0(T_i) & \sum_{i=1}^n \phi_2(T_i)\phi_1(T_i) & \sum_{i=1}^n \phi_2(T_i)\phi_2(T_i) & \dots & \sum_{i=1}^n \phi_2(T_i)\phi_m(T_i) \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
\sum_{i=1}^n \phi_m(T_i)\phi_0(T_i) & \sum_{i=1}^n \phi_m(T_i)\phi_1(T_i) & \sum_{i=1}^n \phi_m(T_i)\phi_2(T_i) & \dots & \sum_{i=1}^n \phi_m(T_i)\phi_m(T_i)
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
a_0 \\
a_1 \\
a_2 \\
\vdots \\
a_m
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
\sum_{i=1}^n \phi_0(T_i)C_p(T_i) \\
\sum_{i=1}^n \phi_1(T_i)C_p(T_i) \\
\sum_{i=1}^n \phi_2(T_i)C_p(T_i) \\
\vdots \\
\sum_{i=1}^n \phi_m(T_i)C_p(T_i)
\end{bmatrix} \quad (1.1.20)$$

Bu denklemi kısmi devamlı sistem olarak çözmek için bir bilgisayar programı geliştirildi. Bilgisayar programı ve çeşitli bölme derecelerinde havanın özgül ısısı için çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

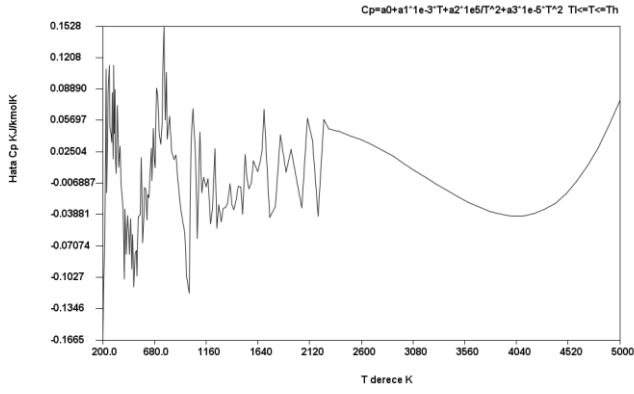
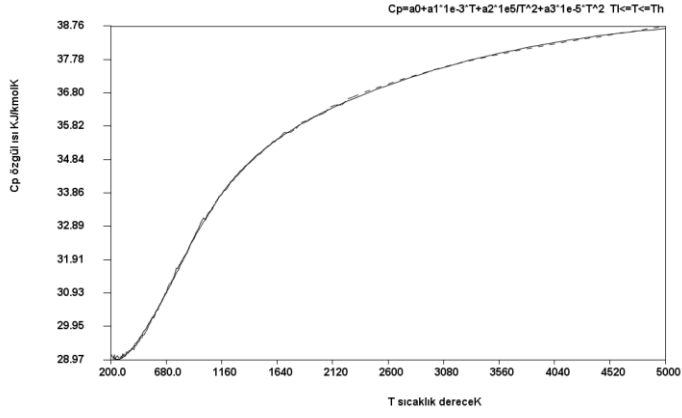
Program 1.1.2 Kısmi devamlı eğri uydurma programı (Ga_gen_Data) program kodu için sco1.jar dosyasını www.turhancoban.com adresinden indirebilirsiniz.

Çıktı 1.1-1 En küçük kareler kuru hava Cp(T) bir denklem (n=1)



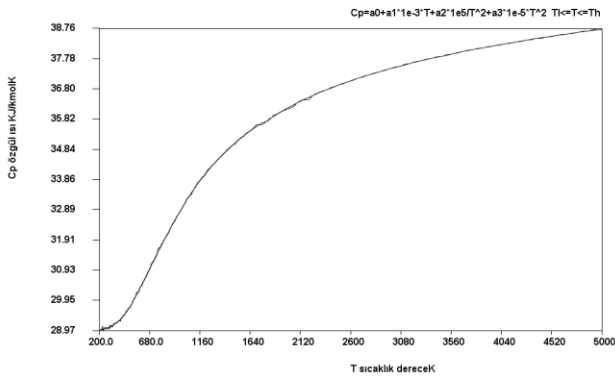
Cp eğri uydurma katsayıları					
a0	a1	a2	a3	TL	TH
27.51726334684723	5.890526889517455	-0.08227467705516...	-0.77720808022689...	200.0	5000.0

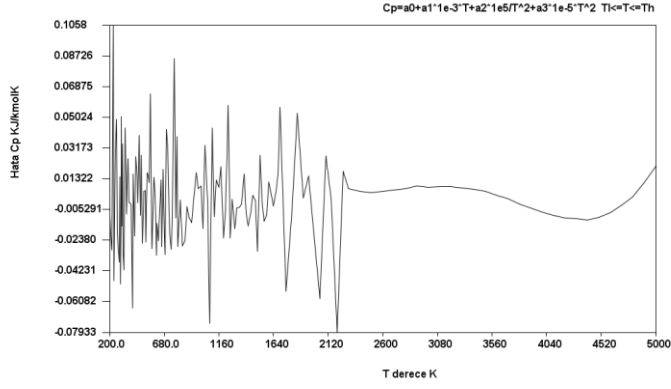
Çıktı 1.1-2 En küçük kareler kuru hava Cp(T) bir denklem (n=2)



Cp eğri uydurma katsayıları					
a0	a1	a2	a3	TL	TH
26.9067375554277...	4.868053970336219	0.48155490460604...	1.30729735227352...	200.0	1000.0
34.09114648006858	1.65257569318453...	-26.681290154206...	-0.1426719624840...	1000.0	5000.0

Çıktı 1.1-4 En küçük kareler kuru hava Cp(T) bir denklem (n=4)

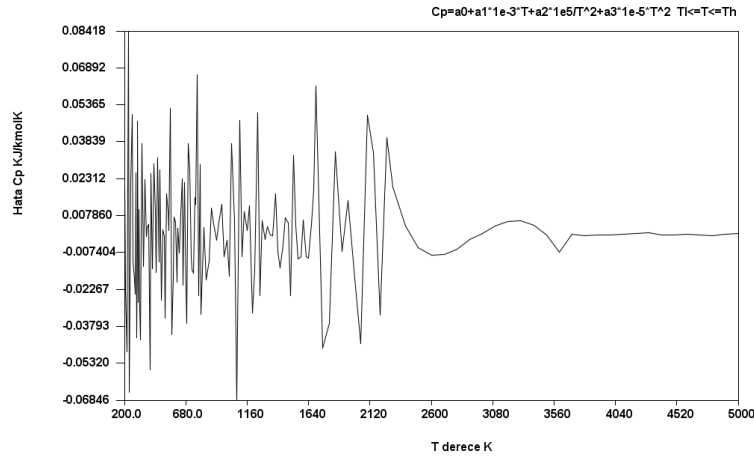
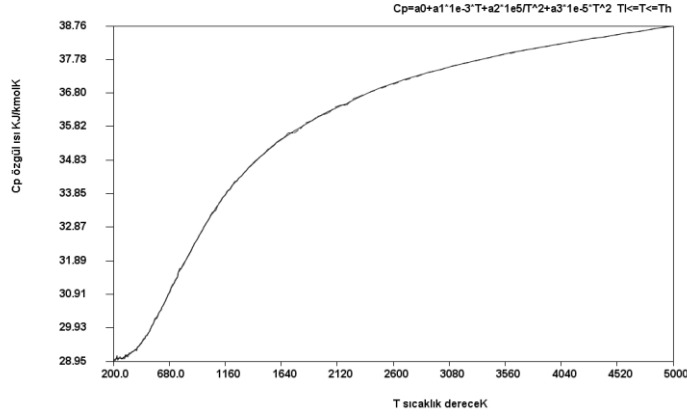




Cp eğri uydurma katsayıları

a0	a1	a2	a3	TL	TH
30.1581649969999265	-6.783794345805102	-0.12491139777602873	12.2366549321365	200.0	520.0
21.73224066955079	15.782471463254275	3.4876773835068566	-4.881757753364009	520.0	980.0
29.991615241614152	5.296686641680214	-12.528688016079633	-1.0331187914546878	980.0	1750.0
35.93838535176548	0.8412087690759494	-49.93371549814616	-0.04829916363912926	1750.0	5000.0

Çıktı 1.1-4 En küçük kareler kuru hava Cp(T) bir denklem (n=10)



a0	a1	a2	a3	TL	TH
40.633370019393325	-61.61552098528398	-1.217726321745746	92.07577710919253	200.0	315.0
38.9506923248841	-38.2335311483514	-2.1168675245328736	43.63369236797598	315.0	450.0
4.759519191662463	59.71175112872247	10.760448390015126	-36.56194855739666	450.0	600.0
-21.00513248630441	101.75920598405334	34.45178502456591	-53.37195806779604	600.0	750.0
28.72302382322788	3.3635262685463085	-2.41829596227559	1.1690838545874616	750.0	1000.0
5.700898684728959	33.87603582709513	38.862481134943124	-10.452188264185468	1000.0	1300.0
54.12929360011557	-16.95608147886831	-96.27384630716209	4.726036567320808	1300.0	1600.0
21.998542712800145	10.251305728635424	43.43105059613206	-1.853555836419356	1600.0	2200.0
40.01457357620491	-0.9781836608672889	-108.19255419858129	0.1780505087702342	2200.0	3600.0
40.61526929744087	-0.7607169459365003	-164.3054028477198	0.10412648185395267	3600.0	5000.0

Program sonuçlarından da görüldüğü gibi denklem sayısı arttıkça hata azalmaktadır.

Özgül ısı Cp değerlerini hassas olarak tanımlananın bir diğer yolu da kübik şerit interpolasyon formülünün kullanılmasıdır. Veri seti $[(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_k, y_k), (x_{k+1}, y_{k+1}), \dots, (x_n, y_n)]$ verildiğinde eğer kübik şerit polinom denklemimiz: $r_k(x) = a_k(x - x_k)^3 + b_k(x - x_k)^2 + c_k(x - x_k) + y_k \quad 1 \leq k \leq n$ (1.1.20)

Burada her iki nokta arasında bir kübik polinom tanımlanmıştır. İnterpolasyon prosesinde eğri her noktadan tam olarak geçmelidir.

$$r_{k-1}(x_k) = r_k(x_k) = y_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.21)$$

Aynı zamanda bu geçiş noktalarında polinomların ilk türevleri de birbirine eşit olmalıdır.

$$r'_{k-1}(x_k) = r'_k(x_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.22)$$

Kübik polinomlarda aynı zamanda her geçiş noktasında ikinci türevler de eşitlenir.

$$r''_{k-1}(x_k) = r''_k(x_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.23)$$

Tüm birinci ve ikinci türev eşitlemeleri ilk ve son noktalar açıkta kaldığından denklem sisteminin çözümü için yeterli veri vermez. Bu yüzden ilk ve son noktaların ikinci türevleri kullanıcı tarafından belirlenir. Eğer bu değerler sıfıra eşitlenirse doğal kübik şerit interpolasyonu adını alır.

$$r''_0(x_0) = A \quad (1.1.24)$$

$$r''_n(x_n) = B \quad (1.1.25)$$

$$\text{Eğer } h_k = x_k - x_{k-1} \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.26)$$

Tanımlarsak kübik şerit formülümüz

$$a_{k-1}h_k^3 + b_{k-1}h_k^2 + c_{k-1}h_k = y_k - y_{k-1} \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.27)$$

$$3a_{k-1}h_k^2 + 2b_{k-1}h_k + c_{k-1} - c_k = 0 \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.28)$$

$$6a_{k-1}h_k + 2b_{k-1} - 2b_k = 0 \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.29)$$

$$2b_0 = 0 \quad (1.1.30)$$

$$6a_n h_k + 2b_n = 0 \quad (1.1.31)$$

Bu set 3n-3 denklemden oluşur. Bu kadar denklemin çözümü de bilgisayar açısından yük getiren bir prosestir.

Kübik şerit interpolasyonunun bu formunda çok fazla çözülmesi gereken katsayı olduğunda katsayıları azaltmak için özel bir formunu kullanacağız.

$$S_k(x) = a_k(x - x_k) + b_k(x_{k+1} - x) + [c_{k+1}(x - x_k)^3 + c_k(x_{k+1} - x)^3]/(6h_k) \quad 0 \leq k \leq n \quad (1.1.32)$$

Bu durumda türev denklemleri

$$S'_k(x) = a_k - b_k + [c_{k+1}(x - x_k)^2 + c_k(x_{k+1} - x)^2]/(2h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.33)$$

$$S''_k(x) = [c_{k+1}(x - x_k) + c_k(x_{k+1} - x)]/h_k \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.34)$$

a_k ve b_k katsayıları c_k nin fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

$$b_k = [6y_k - h_k c_k]/(6h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.35)$$

$$a_k = [6y_{k+1} - h_k^2 c_{k+1}]/(6h_k) \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.36)$$

Bu durumda çözüm için denklem sistemi sadece c katsayılarının olduğu bir forma gelir.

$$6h_{k-1}c_{k-1} + 2(h_{k-1} - h_k)c_k + h_k c_{k+1} = \left[\frac{y_{k+1} - y_k}{h_k} - \frac{y_k - y_{k-1}}{h_{k-1}} \right] \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.1.37)$$

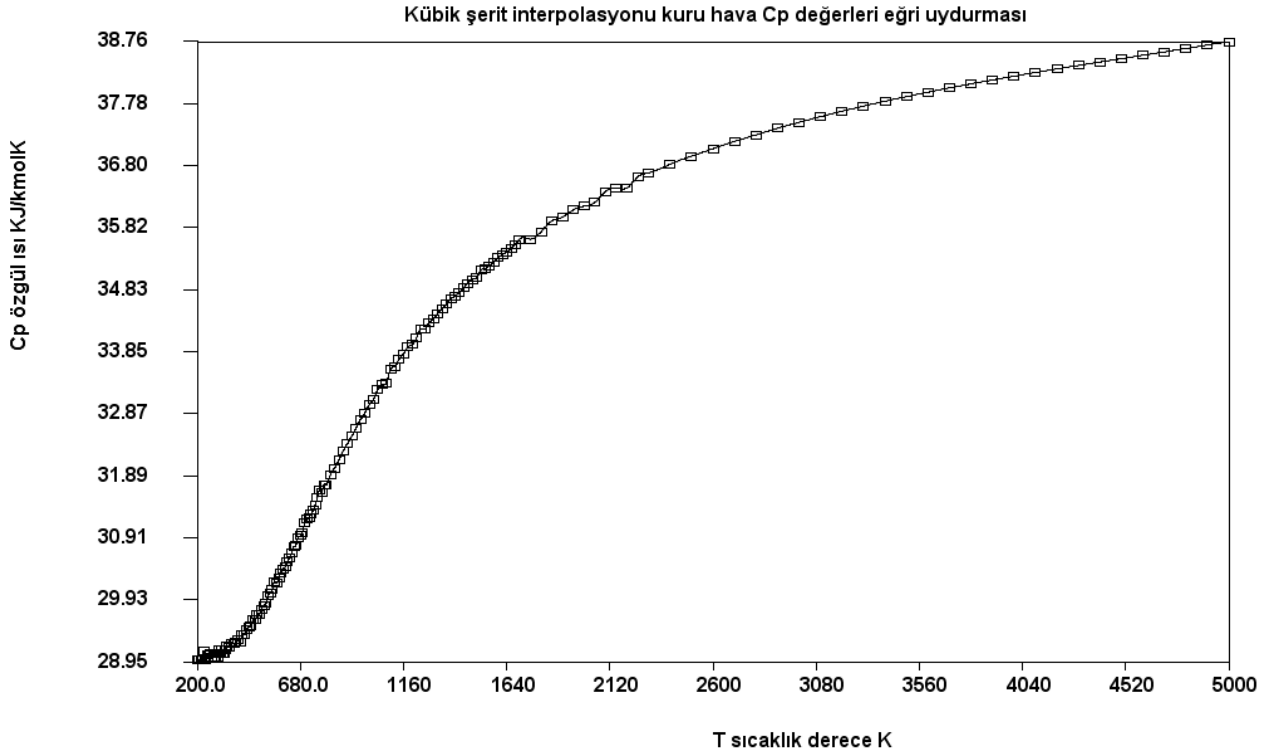
Bu denklem sisteminde sadece çözülecek n-2 terim mevcuttur. Ek olarak

$w_k = \frac{y_{k+1} - y_k}{h_k}$ $1 \leq k \leq n$ (1.1.38) tanımını yaparsak denklem sistemi

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & 2(h_1 + h_2) & h_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 2(h_2 + h_3) & \dots & 0 & 0 & 0 \\ & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ & 0 & 0 & 0 & 2(h_{n-3} + h_{n-2}) & h_{n-2} & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & h_{n-2} & 2(h_{n-2} + h_{n-1}) & h_{n-1} \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_{n-1} \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ 6(w_2 - w_1) \\ 6(w_3 - w_2) \\ \dots \\ 6(w_{n-2} - w_{n-3}) \\ 6(w_{n-1} - w_{n-2}) \\ B \end{bmatrix} \quad (1.1.38)$$

Buradaki A ve B katsayıları uç noktadaki ikinci türev katsayılarıdır. Bu matrisle ilgili diğer bir özellikte üçlü bant matris olmasıdır. Thomas algoritması gibi göreceli basit denklem sistemi çözüm yöntemleri kullanılarak çözülebilir. Şimdi kübik şerit interpolasyon denklemini kullanarak aynı kuru hava Cp değerlerini bu yöntemle de hesaplayalım.

Program 1.1.3 Kübik şerit interpolasyon programı. Program ismi: NA49.java program kodu için sco1.jar dosyasını www.turhancoban.com adresinden indirebilirsiniz.



Görüldüğü gibi kübik şerit mükemmel bir eğri uydurma sağladı. Buradaki temel problem çok fazla katsayı ve eğrinin mevcut olmasıdır, ancak temel hesaplamaları bilgisayar yaptığı için bu hesaplamalar bizi direk olarak ilgilendirmez. Şimdi İdeal gaz denklemine geri dönüp kısmi devamlı en küçük kareler Cp katsayıları cinsinden termodinamik verileri nasıl hesapladığımıza bakalım.

$$ds = \frac{C_p - R_u}{T} dT + \left(\frac{R_u}{v}\right) dv \quad (1.1.8)$$

$$T = \frac{Pv}{R_u} \quad dT = \frac{Pdv + v dP}{R_u} \quad (1.1.39)$$

$$ds = \frac{C_p}{T} dT - \frac{R_u}{T} dT + \left(\frac{R_u}{v}\right) dv = \frac{C_p}{T} dT - R_u \left[\frac{pdv - vdP}{Pv} - \frac{dv}{v} \right] \quad (1.1.40)$$

$$ds = \frac{C_p}{T} dT - R_u \left[\frac{dP}{P} \right] \quad (1.1.41)$$

Şimdi bu formüle kısmi devamlı Cp formülünü uyarlırsak:

$$h(T) = h_0 + \sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} C_{pi}(T) dT + \int_{T_{Li}}^T C_{pi}(T) dT \quad (1.1.42)$$

$$s(T) = s_0 + \sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} \frac{C_{pi}(T)}{T} dT + \int_{T_{Li}}^T \frac{C_{pi}(T)}{T} dT - R_u \ln \frac{P}{P_0} \quad (1.1.43)$$

Bu denklemleri kullanarak bir bilgisayar programı hazırlayabiliriz. Bilgisayar programını tam kodu ek A1 de verilmiştir. Burada programımızda hava dışında da bir çok ideal gazı hesaplayabildiğimizi not edelim.

Kullanıcı arayüzü GasTableT, ideal gazların termodinamik özellikleri

İdeal gazların özellikleri

birim sistemi: SI

kütle/molar: kütle

gaz ismi: hava

sıcaklık: 27.0 derece C

basınç: 1.0 bar

Gas.txt dosyasına ek veri girilebilir
 Dr. Turhan Çoban,
 Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Müh.
 Gaz Formülü : O0.419642N1.561756Ar0.009301C3.0E-4

Özellik	Değer	Birim
P, basınç	1.0	bar
T, sıcaklık	300.0	derece K
v, özgül hacim	0.8611838954663815	m ³ /kg
h, entalpi	300.47384914639287	KJ/kg
u, iç enerji	214.35545959975468	KJ/kg
s, entropi	6.707391940149789	KJ/kg K
g, gibbs serbest enerjisi ...	-1711.7437328985436	KJ/kg
ht, kimyasal entropi	-0.011643397980835857	KJ/kg
gt, kimyasal gibbs s.e.	-0.0746727085972957	KJ/kg
Cp, sabit basınçta özgül e...	1.0048029841851767	KJ/kg K
Cv, sabit hacimde özgül en...	0.7177416856963827	KJ/kg K
Cp/Cv, adiabatik sabit	1.3999507123656545	
c, ses hızı	347.21908759367886	m/s
viskosite	1.844698934769573E-5	Ns/m ²
ısıl iletkenlik katsayısı	0.026259633891830104	W/m K
M, moleküler ağırlık	28.964196998240002	kg/kmol
Prandtl sayısı	0.7058586582794525	
Pr, indirgenmiş basınç	1.0218876071366154	
vr, indirgenmiş hacim	842.7383691240425	

İdeal gaz özgül ısı denklemini kübik şerit interpolasyonu cinsinden de ifade edebileceğimizi anlatmıştık. Bu durumda denklemlerimiz:

$$S_k(x) = a_k(x - x_k) + b_k(x_{k+1} - x) + [c_{k+1}(x - x_k)^3 + c_k(x_{k+1} - x)^3]/(6h_k) \quad 0 \leq k \leq n \quad (1.1.32)$$

$$C_{pk}(T) = a_k(T - T_k) + b_k(T_{k+1} - T) + [c_{k+1}(T - T_k)^3 + c_k(T_{k+1} - T)^3]/(6h_k) \quad 0 \leq k \leq n \quad (1.1.32a)$$

$$C_{pk}(T) = a_k(T - T_k) + b_k(T_{k+1} - T) + [c_{k+1}(T^3 - 3T^2T_k + 3TT_k^2) + c_k(T_{k+1}^3 - 3T_{k+1}^2T + 3T_{k+1}T^2 + T^3)]/(6h_k) \quad 0 \leq k \leq n \quad (1.1.32b)$$

Denklemin integrali:

$$\int C_{pk}(T) dT = a_k \left(\frac{T^2}{2} - TT_k \right) + b_k \left(TT_{k+1} - \frac{T^2}{2} \right) + [c_{k+1} \left(\frac{T^4}{4} - T^3T_k + \frac{3}{2}T^2T_k^2 - TT_k^3 \right) + c_k \left(TT_{k+1}^3 - \frac{3}{2}T_{k+1}^2T^2 + T_{k+1}T^3 + \frac{T^4}{4} \right)] / (6h_k) \quad (1.1.33)$$

$$\int \frac{Cp_k(T)}{T} dT = a_k(T - T_k \ln(T)) + b_k(T_{k+1} \ln(T) - T) + \left[c_{k+1} \left(\frac{T^3}{3} - \frac{3}{2} T^2 T_k + 3 T T_k^2 - T_k^3 \ln(T) \right) + c_k (T_{k+1}^3 \ln(T) - 3 T_{k+1}^2 T + \frac{3}{2} T_{k+1} T^2 + \frac{T^3}{3}) \right] / (6 h_k) \quad (1.1.34)$$

Bu denklemler alt kübik şerit denklemlerinin toplanarak kullanılmasıyla aşağıdaki formu alır.

$$h(T) = h_0 + \int_{T_{ref}}^{T_{kN} \text{ } kN > T_{ref}} Cp_i(T).dT + \left(\sum_{k=kN}^{kM} \int_{T_{ki}}^{kM > T} Cp_i(T).dT \right) \quad (2.1.52)$$

$$s(T, P) = s_0 + \int_{T_{ref}}^{T_{kN} \text{ } kN > T_{ref}} \frac{Cp_k(T)}{T} dT + \left(\sum_{k=kN}^{kM} \int_{T_{ki}}^{kM > T} \frac{Cp_k(T)}{T} dT \right) - R \ln \frac{P}{P_{ref}} \quad (2.1.53)$$

İntegraller kübik şerit integral algoritmasının (NA49) içinde alınmış ve GasCS programında ideal gaz olarak hesaplanmıştır.

İdeal gazların özellikleri Kübik şerit modeli

kütle/molar:
 gaz ismi:
 sıcaklık: derece C
 basınç: bar

Dr. Turhan Çoban,
 Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Müh.
 Gas Formülü : O0.419642N1.561756Ar0.009301C3.0E-4

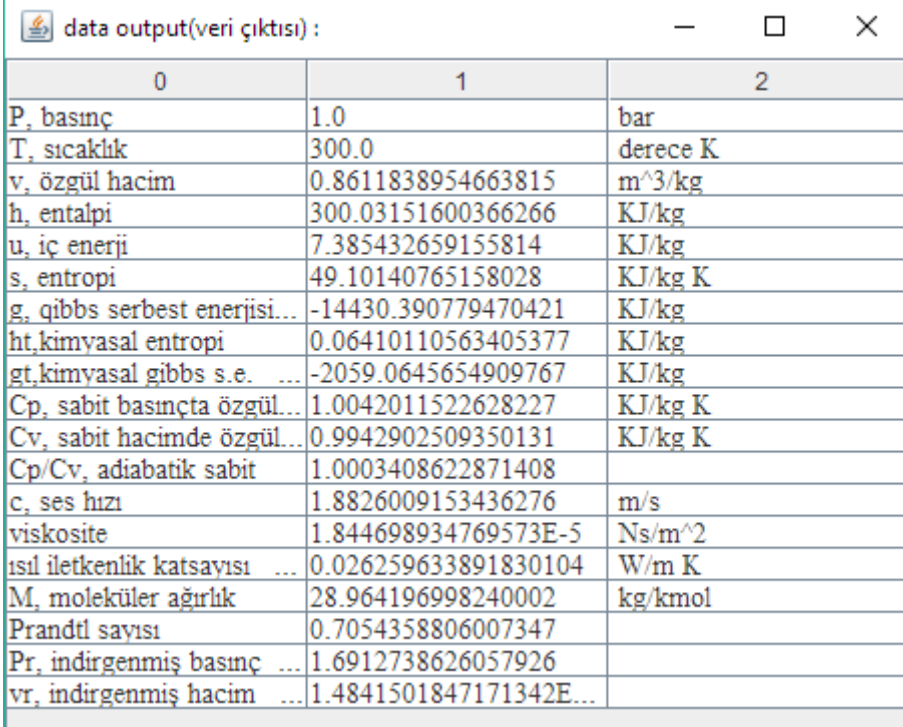
P, basınç	1.0	bar
T, sıcaklık	298.15	derece K
v, özgül hacim	0.8558732614443388	m^3/kg
h, entalpi	298.17487895227293	KJ/kg
u, iç enerji	7.339666720978208	KJ/kg
s, entropi	49.101193319821995	KJ/kg K
g, qibbs serbest enerjisi ...	-14341.345909352653	KJ/kg
ht, kimyasal entropi	0.0	KJ/kg
gt, kimyasal gibbs s.e.	-2046.4285002098957	KJ/kg
Cp, sabit basınçta özgül e...	1.0030108303091978	KJ/kg K
Cv, sabit hacimde özgül e...	0.9930999289813882	KJ/kg K
Cp/Cv, adiabatik sabit	1.0003412669431182	
c, ses hızı	1.876787265699029	m/s
viskozite	1.835715094827166E-5	Ns/m^2
ısıl iletkenlik katsayısı	0.02610734631177777	W/m K
M, moleküler ağırlık	28.964196998240002	kg/kmol
Prandtl sayısı	0.7052582439767487	
Pr, indirgenmiş basınç	1.0	
vr, indirgenmiş hacim	4.198575773117453E-8	

Oluşturulan bu ideal gaz termodinamik özellikleri programları kendi programlarınızın içinde de çağrılarak direk olarak kullanılabilir.

Program 2.1.3 GasCStest örnek programı

```
public class GasCStest
{
public static void main(String arg[])
```

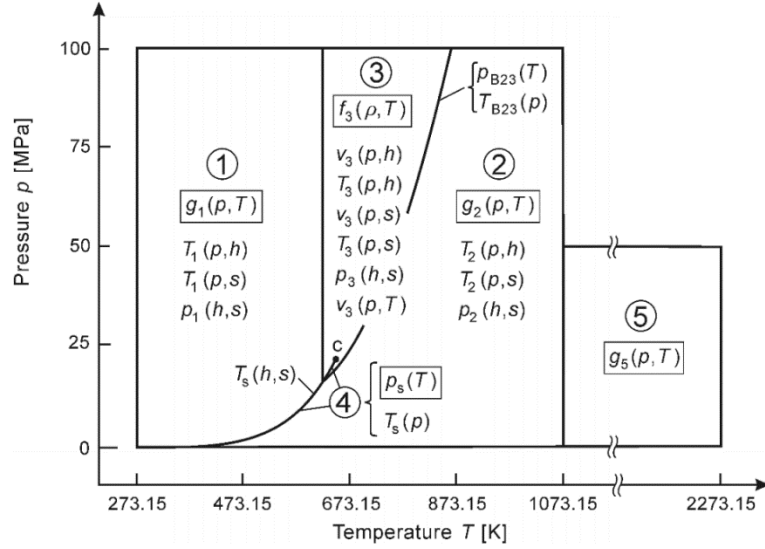
```
{ GasCS g=new GasCS("hava");
g.setMass();
double T=300;
Text.print(g.toString1T(T,1.0));
}}
```



	0	1	2
P, basınç	1.0		bar
T, sıcaklık	300.0		derece K
v, özgül hacim	0.8611838954663815		m ³ /kg
h, entalpi	300.03151600366266		KJ/kg
u, iç enerji	7.385432659155814		KJ/kg
s, entropi	49.10140765158028		KJ/kg K
g, qibbs serbest enerjisi...	-14430.390779470421		KJ/kg
ht, kimyasal entropi	0.06410110563405377		KJ/kg
gt, kimyasal gibbs s.e. ...	-2059.0645654909767		KJ/kg
Cp, sabit basınçta özgül...	1.0042011522628227		KJ/kg K
Cv, sabit hacimde özgül...	0.9942902509350131		KJ/kg K
Cp/Cv, adiabatik sabit	1.0003408622871408		
c, ses hızı	1.8826009153436276		m/s
viskosite	1.844698934769573E-5		Ns/m ²
ısı iletkenlik katsayısı ...	0.026259633891830104		W/m K
M, moleküler ağırlık	28.964196998240002		kg/kmol
Prandtl sayısı	0.7054358806007347		
Pr, indirgenmiş basınç ...	1.6912738626057926		
vr, indirgenmiş hacim ...	1.4841501847171342E...		

1.2 SU BUHARININ TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ: IAPWS-IF97 BUHAR HAL DENKLEMİ

Su buharı termodinamik sistemlerde en fazla kullanılan işletme sıvısıdır. Aynı zamanda nemli havanın kuru havadan sonraki ikinci karışım elemanıdır. Bu yüzden su buharının termodinamik özelliklerine de detaylı olarak göz atalım. Uluslararası bir kuruluş olan (uluslararası su ve su buharı özellikleri komitesi (International Association for the Properties of Water and Steam- IAPWS)1997 yılında su buharının termodinamik özelliklerinin en son hal denklemini yayınlamıştır. Su buharının özellikleri 5 ayrı denklem seti olarak verilmiştir. Şekil 1 de denklem setlerinin bölgeleri görülmektedir.



Şekil 1.2.1 Su buharı için denklem bölgeleri

Temel olarak sıvı bölgesini kapsayan ilk hal denklemini gibbs serbets enerjisi formunda aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\frac{g_1(p,T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \sum_{i=1}^{34} n_i (71 - \pi)^{l_i} (\tau - 1222)^{j_i} \quad (1.2.1)$$

Burada $\pi = p / p^*$ $\tau = T^* / T$ $p^* = 16.62$ MPa ve $T^* = 1386$ K $R = 0461526$ kJ/(kgK)

Tablo 1.2.1 1.2.1 hal denkleminin katsayıları

i	li	Ji	ni	i	li	Ji	ni
1	0	-2	0.14632971213167	18	2	3	-4.4141845331E-06
2	0	-1	-0.84548187169114	19	2	17	-7.2694996298E-16
3	0	0	-3.75636036720400	20	3	-4	-3.1679644845E-05
4	0	1	3.38551691683850	21	3	0	-2.8270797985E-06
5	0	2	-0.95791963387872	22	3	6	-8.5205128120E-10
6	0	3	0.15772038513228	23	4	-5	-2.2425281908E-06
7	0	4	-0.01661641719950	24	4	-2	-6.5171222896E-07
8	0	5	0.00081214629984	25	4	10	-1.4341729938E-13
9	1	-9	0.00028319080124	26	5	-8	-4.0516996860E-07
10	1	-7	-0.00060706301566	27	8	-11	-1.2734301742E-09
11	1	-1	-0.01899006821842	28	8	-6	-1.7424871231E-10
12	1	0	-0.03252974877051	29	21	-29	-6.8762131296E-19
13	1	1	-0.02184171717541	30	23	-31	1.4478307829E-20
14	1	3	-0.00005283835797	31	29	-38	2.6335781663E-23
15	2	-3	-0.00047184321073	32	30	-39	-1.1947622640E-23
16	2	0	-0.00030001780793	33	31	-40	1.8228094581E-24
17	2	1	0.00004766139	34	32	-	-

Bu denklemden termodinamik ilişkiler aşağıda verilen eşitliklerden yararlanılarak hesaplanır. Denklemler gibbs serbest enerjisi cinsinden verildiğinden tüm özellikler integrasyona gerek kalmadan türevler üzerinden hesaplanabilmektedir.

$$\text{Özgül hacim: } v = \left(\frac{\partial g}{\partial p} \right)_T \quad (1.2.2)$$

$$\text{Özgül entalpi: } h = g - T \left(\frac{\partial g}{\partial p} \right)_p \quad (1.2.3)$$

$$\text{Özgül iç enerji: } u = g - T \left(\frac{\partial g}{\partial T} \right)_p - p \left(\frac{\partial g}{\partial p} \right)_T \quad (1.2.4)$$

$$\text{Özgül entropi: } s = \left(\frac{\partial g}{\partial T} \right)_p \quad (1.2.5)$$

$$\text{Sabit basınçta özgül enerji: } C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (1.2.6)$$

$$\text{Sabit hacimde özgül enerji: } C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad (1.2.7)$$

İkinci hal denklemi buhar bölgesini kapsamaktadır

$$\frac{g_2(p, T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \gamma^0(\pi, \tau) + \gamma^r(\pi, \tau) \quad (1.2.8)$$

Burada $\pi = p/p^*$ $\tau = T^*/T$ $R=0461526$ kJ/(kgK), $\gamma^0(\pi, \tau)$ hal denkleminin ideal gaz kısmıdır, ve $\gamma^r(\pi, \tau)$ hal denkleminin gerçek gazla ideal gaz arasındaki farkıdır:

$$\gamma^0(\pi, \tau) = \ln \pi + \sum_{i=1}^9 n_i^0 \tau^{J_i} \quad (1.2.9)$$

Bu denklemde $p^*=1$ MPa ve $T^*=540$ K

Tablo 1.2.2 denklem 1.2.9 un katsayıları

i	J _i	n _i ⁰	i	J _i	n _i ⁰
1	0	-9.692768650E+00	6	-2	1.4240819171E+00
2	1	1.008665597E+01	7	-1	-4.3839511319E+00
3	-5	-5.608791128E-03	8	2	-2.8408632461E-01
4	-4	7.145273808E-02	9	3	2.1268463753E-02
5	-3	-4.071049822E-01			

dimensionless residual part of the basic equation $g_2(p, T)$ is as follows:

$$\gamma^r(\pi, \tau) = \sum_{i=1}^{43} n_i \pi^{l_i} (\tau - 0.5)^{J_i} \quad (1.2.10)$$

Burada $p^*=1$ MPa and $T^*=540$ K

Tablo 1.2.3 denklem 1.2.10 un katsayıları

i	l _i	J _i	n _i	i	l _i	J _i	n _i
1	1	0			7	0	-5.9059564324270E-18
2	1	1	-1.7834862292358E-02	24	7	11	-1.2621808899101E-06
3	1	2	-4.5996013696365E-02	25	7	25	-3.8946842435739E-02
4	1	3	-5.7581259083432E-02	26	8	8	1.1256211360459E-11
5	1	6	-5.0325278727930E-02	27	8	36	-8.2311340897998E+00
6	2	1	-3.3032641670203E-05	28	9	13	1.9809712802088E-08
7	2	2	-1.8948987516315E-04	29	10	4	1.0406965210174E-19
8	2	4	-3.9392777243355E-03	30	10	10	-1.0234747095929E-13
9	2	7	-4.3797295650573E-02	31	10	14	-1.0018179379511E-09
10	2	36	-2.6674547914087E-05	32	16	29	-8.0882908646985E-11
11	3	0	2.0481737692309E-08	33	16	50	1.0693031879409E-01
12	3	1	4.3870667284435E-07	34	18	57	-3.3662250574171E-01
13	3	3	-3.2277677238570E-05	35	20	20	8.9185845355421E-25
14	3	6	-1.5033924542148E-03	36	20	35	3.0629316876232E-13
15	3	35	-4.0668253562649E-02	37	20	48	-4.2002467698208E-06
16	4	1	-7.8847309559367E-10	38	21	21	-5.9056029685639E-26
17	4	2	1.2790717852285E-08	39	22	53	3.7826947613457E-06
18	4	3	4.8225372718507E-07	40	23	39	-1.2768608934681E-15
19	5	7	2.2922076337661E-06	41	24	26	7.3087610595061E-29
20	6	3	-1.6714766451061E-11	42	24	40	5.5414715350778E-17
21	6	16	-2.1171472321355E-03	43	24	58	-9.4369707241210E-07
22	6	35	-2.3895741934104E+01				

Bölge 3 denklemi Helmholtz serbest enerji denklemi olarak verilmiştir:

$$\frac{f_3(\rho, T)}{RT} = \phi(\delta, \tau) = n_1 \ln \delta + \sum_{i=2}^{40} n_i \delta^{l_i} \tau^{j_i} \quad (1.2.11)$$

Burada $\delta = \rho / \rho^*$, $\tau = T^* / T$, $T^* = T_c = 647.096$ ve $R = 0.461526$ kJ/(kgK)

Tablo 1.2.4 denklem 1.2.11 katsayıları

i	l _i	J _i	n _i	i	l _i	J _i	n _i
1	0	0	1.065807002851E+00	21	3	4	-2.0189915023570E+00
2	0	0	-1.573284529024E+01	22	3	16	-8.2147637173963E-03
3	0	1	2.094439697431E+01	23	3	26	-4.7596035734923E-01
4	0	2	-7.686770787872E+00	24	4	0	4.3984074473500E-02
5	0	7	2.618594778795E+00	25	4	2	-4.4476435428739E-01
6	0	10	-2.808078114862E+00	26	4	4	9.0572070719733E-01
7	0	12	1.205336969652E+00	27	4	26	7.0522450087967E-01
8	0	23	-8.456681281250E-03	28	5	1	1.0770512626332E-01
9	1	2	-1.265431547771E+00	29	5	3	-3.2913623258954E-01
10	1	6	-1.152440780668E+00	30	5	26	-5.0871062041158E-01
11	1	15	8.852104398432E-01	31	6	0	-2.2175400873096E-02
12	1	17	-6.420776518161E-01	32	6	2	9.4260751665092E-02
13	2	0	3.849346018667E-01	33	6	26	1.6436278447961E-01
14	2	2	-8.521470882421E-01	34	7	2	-1.3503372241348E-02
15	2	6	4.897228154188E+00	35	8	26	-1.4834345352472E-02
16	2	7	-3.050261725697E+00	36	9	2	5.7922953628084E-04
17	2	22	3.942053687915E-02	37	9	26	3.2308904703711E-03
18	2	26	1.255840842431E-01	38	10	0	8.0964802996215E-05
19	3	0	-2.799932969871E-01	39	10	1	-1.6557679795037E-04
20	3	2	1.389979956946E+00	40	11	26	-4.4923899061815E-05

Burada bu denklemin yoğunluk ve sıcaklığın fonksiyonu olduğunu not edelim. Şimdi değişik termodinamik özelliklerin hesap formüllerini de inceleyelim

$$\text{Basınç: } p = \rho^2 \left(\frac{\partial f}{\partial \rho} \right)_T \quad (1.2.12)$$

$$\text{Özgül entalpi: } h = f - T \left(\frac{\partial f}{\partial T} \right)_p + \rho \left(\frac{\partial f}{\partial \rho} \right)_T \quad (1.2.13)$$

$$\text{Özgül iç enerji: } u = f - T \left(\frac{\partial f}{\partial T} \right)_p \quad (1.2.14)$$

$$\text{Özgül entropi: } s = \left(\frac{\partial f}{\partial T} \right)_p \quad (1.2.15)$$

$$\text{sabit basınçta özgül enerji: } C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (1.2.16)$$

$$\text{Sabit hacimde özgül enerji: } C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad (1.2.17)$$

4 nolu bölge doymuş karışım bölgesidir. Buradaki hal denklemi aşağıdaki polinomla belirlenmiştir.

$$\beta^2 \mathcal{G}^2 + n_1 \beta^2 \mathcal{G} + n_2 \beta^2 + n_3 \beta \mathcal{G}^2 + n_4 \beta \mathcal{G} + n_5 \beta + n_6 \mathcal{G}^2 + n_7 \mathcal{G} + n_8 = 0 \quad (1.2.18)$$

Polinomdaki terimler:

$$\beta = \left(p_s / p^* \right)^{0.25} \quad (1.2.19)$$

$$\mathcal{G} = \frac{T_s}{T^*} + \frac{n_9}{\left(T_s / T^* \right) - n_{10}} \quad (1.2.20)$$

Bu polinomu kullanarak hem doyma basıncı hem de doyma sıcaklığı elde edilebilir.

$$\frac{P_s}{P^*} = \left[\frac{2C}{-B + (B^2 - 4AC)^{0.5}} \right]^4 \quad (1.2.21)$$

Burada $p^*=1$ MPa

$$A = \mathcal{G}^2 + n_1 \mathcal{G} + n_2$$

$$B = n_3 \mathcal{G}^2 + n_4 \mathcal{G} + n_5$$

$$C = n_6 \mathcal{G}^2 + n_7 \mathcal{G} + n_8$$

Tablo 1.2.5 denklem katsayıları. 1.2.21

i	n_i	i	n_i
1	1.1670521453E+03	6	1.4915108614E+01
2	-7.2421316703E+05	7	-4.8232657362E+03
3	-1.7073846940E+01	8	4.0511340542E+05
4	1.2020824702E+04	9	-2.3855557568E-01
5	-3.2325550322E+06	10	6.5017534845E+02

Temel denklemden doyma sıcaklığı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır

$$\frac{T_s}{T^*} = \frac{n_{10} + D - \left[(n_{10} + D)^2 - 4(n_9 + n_{10}D) \right]^{0.5}}{2} \quad (1.2.22)$$

Burada $T^*=1$ K

$$D = \frac{2G}{-F - (F^2 - 4EG)^{0.5}}$$

$$E = \beta^2 + n_3 \beta + n_6$$

$$F = n_1 \beta^2 + n_4 \beta + n_7$$

$$G = n_2 \beta^2 + n_5 \beta + n_8$$

En son bölge olan 5 nolu bölge için hal denklemi yine Gibbs serbest enerjisi cinsinden verilmiştir.

$$\frac{g_s(p, T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \gamma^0(\pi, \tau) + \gamma^r(\pi, \tau) \quad (1.2.23)$$

Burada $\pi = p/p^*$ $\tau = T^*/T$ $R=0461526$ kJ/(kgK), $\gamma^0(\pi, \tau)$ hal denkleminin ideal gaz kısmıdır. ve $\gamma^r(\pi, \tau)$ ideal gazla gerçek gazın fark terimidir. İdeal gaz kısmının denklemi:

$$\gamma^0(\pi, \tau) = \ln \pi + \sum_{i=1}^9 n_i^0 \tau^{J_i} \quad (1.2.24)$$

Burada $p^*=1$ MPa and $T^*=1000$ K

Tablo 1.2.6 denklem katsayıları. 1.2.24

i	J_i^0	n_i^0	i	J_i^0	n_i^0
1	0	-13.1799836742	4	-2	0.3690153498
2	1	6.8540841634	5	-1	-3.1161318214
3	-3	-0.0248051489	6	2	-0.3296162654

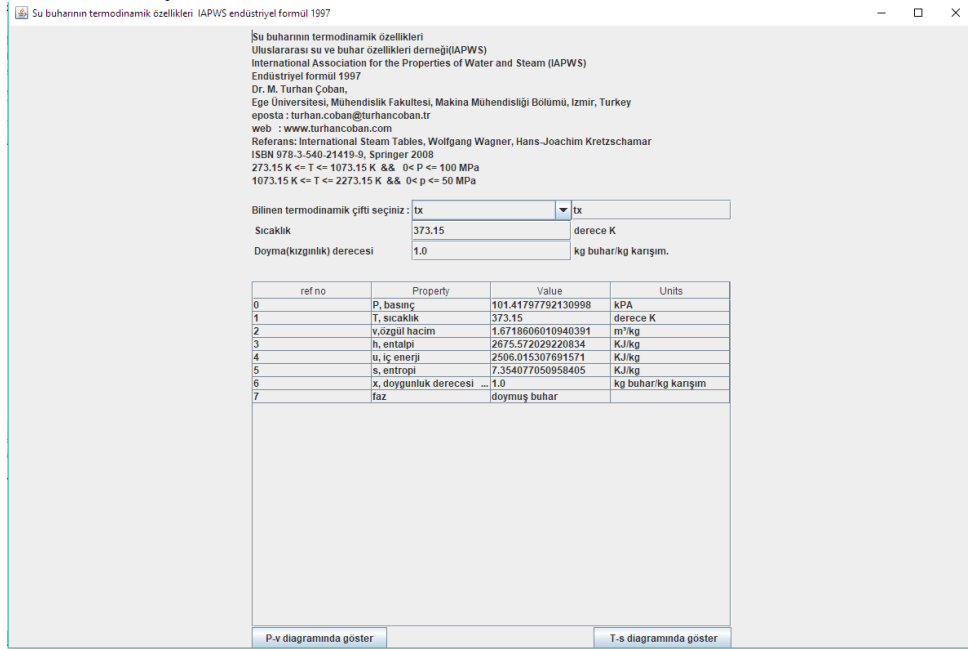
Gerçek gaz ideal gaz fark denklemi:

$$\gamma^r(\pi, \tau) = \sum_{i=1}^{43} n_i \pi^{l_i} \tau^{J_i} \quad (1.2.25)$$

Tablo 1.2.7 denklem katsayıları. 1.2.25

i	l_i	J_i	n_i	i	l_i	J_i	n_i
1	1	1	1.5736404855E-03	4	2	3	2.2440037409E-06
2	1	2	9.0153761674E-04	5	2	9	-4.1163275453E-06
3	1	3	-5.0270077678E-03	6	3	7	3.7919454823E-08

Referans [1] Bu denklemlerin daha detaylı bilgisini sunmaktadır. Java dilinde geliştirilen bir programla bu denklemlerin simülasyonu oluşturulmuştur(steamIAPWS_IF97). Aynı zamanda bir kullanıcı arayüzü programı da hazırlanmıştır.



EK 2.0 NEMLİ HAVANIN TERMODİNAMİK VE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SU WE SU BUHARI DERNEĞİ (THE İNTERNATIONAL ASSOCIATION FOR THE PROPERTIES OF WATER AND STEAM - IAPWS) DENKELEMLERİYLE HESAPLANMASI

Bu bölümde nemli havanın termodinamik hal denklemini gerçek bir gaz karışımı olarak ele alarak nasıl oluşturduğumuzun denklemlerini inceleyeceğiz. İlk önce su buharının hal denklemini sonra kuru havanın hal denklemini sonra da nemli havanın hal denklemini inceleyeceğiz. Burada hal denkleminiz helmholtz serbest enerji denklemi olarak verilmiştir. Denklemimizdeki temel parametreler kuru hava kütlelerinin nemli hava kütlelerine oranı, A(kg kuru hava/kg nemli hava), sıcaklık T(derece Kelvin) ve yoğunluktur ρ (kg nemli hava/m³).

Helmholtz serbest enerji denklemini:

$$f^{AV}(A, T, \rho) = (1 - A)f^V(T, \rho^V) + Af^A(T, \rho^A) + f^{mix}(A, T, \rho) \quad 2.1$$

Bu denklemde kuru havanın yoğunluğu

$$\rho^A = A\rho \quad 2.2$$

ve yaş havanın yoğunluğu

$$\rho^V = (1 - A)\rho \quad 2.3$$

Denklemimizdeki su buharının termodinamik özellikleri IAPWS-95 Helmholtz serbest enerji denkleminde alınmıştır.[56].

Bu denklem aşağıdaki formda verilmiştir:

$$\frac{f^V(T, \rho^V)}{RT} = \phi^V(\delta, \tau) = \phi^{V0}(\delta, \tau) + \phi^{Vr}(\delta, \tau) \quad 2.4$$

Burada $\delta = \rho^V/\rho_c^V$ ve $\tau = T_c^V/T$ su buharı için kritik değerler $T_c^V=647.096$ K, $\rho_c^V=322$ kg/m³ ve $R=0.46151805$ kJ/(kgK).

Helmholtz hal denkleminin ideal gaz kısmı $\phi^{V0}(\delta, \tau)$ aşağıdaki denklemlerle verilir:

$$\phi^{V0}(\delta, \tau) = \ln(\delta) + n_1^0 + n_2^0\tau + n_3^0\ln(\tau) \sum_{i=4}^8 n_i^0 \ln \left[1 - e^{-(\tau_i^0)^2} \right] \quad 2.5$$

Tablo 2.1 Denklem 2.5 Helmholtz hal denkleminin ideal kısmı katsayıları

i	n_i^0	τ_i^0	i	n_i^0	τ_i^0
1	-8.32044648201	-	5	0.97315	3.53734222

2	6.6832105268	-	6	1.27950	7.7473708
3	3.00632	-	7	0.966956	9.24437796
4	0.012436	1.28728967	8	0.24873	27.5075105

Helmholtz denkleminin ideal hal denklemi ile farkı $\phi^{Vr}(\delta, \tau)$ ise aşağıdaki denklemle verilir :

$$\phi^{Vr}(\delta, \tau) = \sum_{i=1}^7 n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} + \sum_{i=8}^{51} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\delta^{c_i}} + \sum_{i=52}^{54} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\alpha_i(\delta-\epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau-\gamma_i)^2} + \sum_{i=55}^{56} n_i \Delta^{b_i} \Psi \quad 2.6$$

$$\text{Burada } \Delta = \theta^2 + B_i [(\delta - 1)^2]^{a_i} \quad 2.7$$

$$\theta = (1 - \tau) + A_i [(\delta - 1)^2]^{1/(2\beta_i)} \quad 2.8$$

$$\Psi = e^{-C_i(\delta-1)^2 - D_i(\tau-1)^2} \quad 2.9$$

Table 2.2 Coefficients of Equation 2.6 Helmholtz denkleminin ideal hal denklemi ile farkı

i	a _i	b _i	B _i	c _i	d _i	t _i	n _i	α _i	β _i	γ _i	ε _i	C _i	D _i	A _i
1	0	0	0	0	1	-0.5	1.25335479355230E-02	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0.875	7.89576347228280E+00	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	1	-8.78032033035610E+00	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	2	0.5	3.18025093454180E-01	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	2	0.75	-2.61455338593580E-01	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	3	0.375	-7.81997516879810E-03	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	4	1	8.80894931021340E-03	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	1	4	-6.68565723079650E-01	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	1	6	2.04338109509650E-01	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	1	12	-6.62126050396870E-05	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	2	1	-1.92327211560020E-01	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	2	5	-2.57090430034380E-01	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	3	4	1.60748684862510E-01	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	4	2	-4.00928289258070E-02	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	1	4	13	3.93434226032540E-07	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	1	5	9	-7.59413770881440E-06	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	1	7	3	5.62509793518880E-04	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	1	9	4	-1.56086522571350E-05	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	1	10	11	1.15379964229510E-09	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	1	11	4	3.65821651442040E-07	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	1	13	13	-1.32511800746680E-12	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	1	15	1	-6.26395869124540E-10	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	2	1	7	-1.07936009089320E-01	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	2	2	1	1.76114910087520E-02	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	2	2	9	2.21322951675460E-01	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	2	2	10	-4.02476697635280E-01	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	2	3	10	5.80833999857590E-01	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	2	4	3	4.99691469908060E-03	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	2	4	7	-3.13587007125490E-02	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	2	4	10	-7.43159297103410E-01	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	2	5	10	4.78073299154800E-01	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	2	6	6	2.05279408959480E-02	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	2	6	10	-1.36364351103430E-01	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	2	7	10	1.41806344006170E-02	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	2	9	1	8.33265048807130E-03	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	2	9	2	-2.90523360095850E-02	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	2	9	3	3.86150855742060E-02	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	2	9	4	-2.03934865137040E-02	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	2	9	8	-1.65540500637340E-03	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	2	10	6	1.99555719795410E-03	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	2	10	9	1.58703083241570E-04	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	2	12	8	-1.63885683425300E-05	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	3	3	16	4.36136157238110E-02	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	3	4	22	3.49940054637650E-02	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	3	4	23	-7.67881978446210E-02	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	3	5	23	2.24462773320060E-02	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	4	14	10	-6.26897104146850E-05	0	0	0	0	0	0	0

48	0	0	0	6	3	50	-5.57111185656450E-10	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	6	6	44	-1.99057183544080E-01	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	6	6	46	3.17774973307380E-01	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	6	6	50	-1.18411824259810E-01	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	3	0	-3.13062603234350E+01	20	150	1.2	1	0	0	0
53	0	0	0	0	3	1	3.15461402377810E+01	20	150	1.2	1	0	0	0
54	0	0	0	0	3	4	-2.52131543416950E+03	20	250	1.3	1	0	0	0
55	3.5	0.9	0.2	0	0	0	-1.48746408567240E-01	0	0.3	0	0	28	700	0.32
56	3.5	1	0.2	0	0	0	3.18061108784440E-01	0	0.3	0	0	32	800	0.32

Bu denklemlerde tüm termodinamik özellikler elde edilebilir. 2.4

$$\text{Basınç (kPa): } \frac{P(\delta, \tau)}{\rho RT} = 1 + \delta \frac{\partial \phi^{Vr}(\delta, \tau)}{\partial \delta} \quad 2.10$$

$$\text{Entropi (kJ/(kgK)) : } \frac{s(\delta, \tau)}{R} = \tau \frac{\partial [\phi^{V0}(\delta, \tau) + \phi^{Vr}(\delta, \tau)]}{\partial \tau} - [\phi^{V0}(\delta, \tau) + \phi^{Vr}(\delta, \tau)] \quad 2.11$$

$$\text{Etalp, (kJ/kg) : } \frac{h(\delta, \tau)}{RT} = 1 + \tau \frac{\partial [\phi^{V0}(\delta, \tau) + \phi^{Vr}(\delta, \tau)]}{\partial \tau} + \delta \frac{\partial \phi^{Vr}(\delta, \tau)}{\partial \delta} \quad 2.12$$

Sabit basınçta özgül ısı C_p (kJ/(kgK)) :

$$\frac{C_p(\delta, \tau)}{R} = -\tau^2 [\phi^{V0}(\delta, \tau) + \phi^{Vr}(\delta, \tau)] + \frac{\left(1 + \delta \frac{\partial \phi^{Vr}(\delta, \tau)}{\partial \delta} - \delta \frac{\partial^2 \phi^{Vr}(\delta, \tau)}{\partial \delta \partial \tau}\right)^2}{1 + 2\delta \frac{\partial \phi^{Vr}(\delta, \tau)}{\partial \delta} + \delta^2 \frac{\partial^2 \phi^{Vr}(\delta, \tau)}{\partial \delta \partial \delta}} \quad 2.13$$

Doyma bölgesi (basınç) için aşağıdaki eşitlikler verilmiştir:

$$\frac{P_\sigma(\delta', \tau)}{\rho' RT} = 1 + \delta' \frac{\partial \phi^{Vr}(\delta', \tau)}{\partial \delta} \quad 2.14$$

$$\frac{P_\sigma(\delta'', \tau)}{\rho'' RT} = 1 + \delta'' \frac{\partial \phi^{Vr}(\delta'', \tau)}{\partial \delta} \quad 2.15$$

$$\frac{P_\sigma(\delta', \tau)}{RT} \left(\frac{1}{\rho''} - \frac{1}{\rho'} \right) - \ln \left(\frac{\rho'}{\rho''} \right) \quad 2.16$$

Bu denklemlerde ρ' doymuş sıvı yoğunluğu and ρ'' doymuş buhar yoğunluğudur.

Doyma bölgesi için ayrıca aşağıdaki ek yaklaşım denklemleri tanımlanmıştır. P_σ , ρ' , ρ'' , h' , h'' , s' , s'' is also given in IAPWS-95 as:

$$\left(\frac{P_\sigma}{P_c} \right) = \exp \left(\frac{T_c}{T} (a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^{1.5} + a_3 \vartheta^3 + a_4 \vartheta^{3.5} + a_5 \vartheta^4 + a_6 \vartheta^{7.5}) \right) \quad 2.17$$

$$\left(\frac{dP_\sigma}{dT} \right) = -\frac{P_\sigma}{T} \left(\ln \left(\frac{P_\sigma}{P_c} \right) + a_1 \vartheta + 1.5a_2 \vartheta^{0.5} + 3a_3 \vartheta^2 + 3.5a_4 \vartheta^{2.5} + 4a_5 \vartheta^3 + 7.5a_6 \vartheta^{6.5} \right) \quad 2.18$$

$$\left(\frac{\rho'}{\rho_c} \right) = (1 + b_1 \vartheta^{1/3} + b_2 \vartheta^{2/3} + b_3 \vartheta^{5/3} + b_4 \vartheta^{16/35} + b_5 \vartheta^{43/3} + b_6 \vartheta^{110/3}) \quad 2.19$$

$$\ln \left(\frac{\rho''}{\rho_c} \right) = \exp(c_1 \vartheta^{2/6} + c_2 \vartheta^{4/6} + c_3 \vartheta^{8/6} + c_4 \vartheta^{18/6} + c_5 \vartheta^{37/6} + c_6 \vartheta^{71/6}) \quad 2.20$$

$$\left(\frac{\alpha}{\alpha_0} \right) = (d_0 + d_1 \theta^{-19} + d_2 \theta + d_3 \theta^{4.5} + d_4 \theta^5 + d_5 \theta^{54.5}) \quad 2.21$$

$$\left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right) = \left(e_0 + \frac{19}{20} d_1 \theta^{-20} + d_2 \ln \theta + \frac{9}{7} d_3 \theta^{3.5} + \frac{5}{4} d_4 \theta^4 + \frac{109}{107} d_5 \theta^{53.5} \right) \quad 2.22$$

$$h' = \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} \right) + \frac{T}{\rho'} \left(\frac{dP_\sigma}{dT} \right) \quad 2.23$$

$$h'' = \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} \right) + \frac{T}{\rho''} \left(\frac{dP_\sigma}{dT} \right) \quad 2.24$$

$$s' = \varphi + \frac{1}{\rho'} \left(\frac{dP_\sigma}{dT} \right) \quad 2.25$$

$$s'' = \varphi + \frac{1}{\rho''} \left(\frac{dP_\sigma}{dT} \right) \quad 2.26$$

Buradaki $\vartheta = \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)$ ve $\theta = \frac{T}{T_c}$ ek denklem değişkenleridir. Katsayılar da aşağıdaki denklemler ile verilmiştir:

Tablo 2.3 ek denklem 2.17-2.20 katsayıları

i	a	b	c
---	---	---	---

1	-7.85951783	1.99274064	-2.0315024
2	1.84408259	1.09965342	-2.68302940
3	-11.7866497	-0.510839303	-5.38626492
4	22.6807411	-1.75493479	-17.2991605
5	-15.9618719	-45.5170352	-44.7586581
6	1.80122502	-6.74694450e5	-63.9201063

Tablo 2.4 ek denklem katsayıları 2.21-2.22

i	d	e
0	-1135.905627715	2319.5246
1	-5.65134998e-8	
2	2690.66631	
3	127.287297	
4	-135.003439	

Kuru hava için helmholtz hal denklemi:

$$f^A(T, \rho^A) = \frac{R^L T}{M_A} \alpha^A(\delta, \tau) = \frac{R^L T}{M_A} [\alpha^{A0}(\delta, \tau) + \alpha^{Ar}(\delta, \tau)] \quad 2.27$$

Burada $R_L=8.31451$ J/(molK) molar gaz sabiti, $M_A=0.02896546$ kg/mol kuru havanın mol kütesidir. $\alpha^{A0}(\delta, \tau)$ Helmholtz serbest enerjisinin ideal gaz kısmı ve $\alpha^{Ar}(\delta, \tau)$ Helmholtz serbest enerjisinin ideal gaz kısmı ile gerçek gaz kısmının fark denklemidir.

$$\alpha^{A0}(\delta, \tau) = \ln(\delta) + \sum_{i=1}^5 n_i^0 \tau^{i-4} + n_6^0 \tau^{1.5} + n_7^0 \ln(\tau) + n_8^0 \ln[1 - \exp(-n_{11}^0 \tau)] + n_9^0 \ln[1 - \exp(-n_{12}^0 \tau)] + n_{10}^0 \ln[2/3 - \exp(-n_{13}^0 \tau)] \quad 2.28$$

$$\alpha^{Ar}(\delta, \tau) = \sum_{k=1}^{10} n_k \delta^{i_k} \tau^{j_k} + \sum_{k=11}^{19} n_k \delta^{i_k} \tau^{j_k} \exp(-n_k \delta^{t_k}) \quad 2.29$$

Bu denklemdeki $\tau = \frac{T_A^*}{T}$ $T_A^* = 132.6312$ K $\delta = \frac{\rho^A}{\rho_A^*}$ $\rho_A^* = 10447.7$ mol/m³

Tablo 2.5 Denklem 2.28 katsayıları (ideal gaz kısmı)

i	n_i^0
1	6.05719400E-08
2	-2.10274769E-05
3	-1.58860716E-04
4	9.74502517E+00
5	1.00986147E+01
6	-1.95363420E-04
7	2.49088803E+00
8	7.91309509E-01
9	2.12236768E-01
10	-1.97938904E-01
11	2.53636500E+01
12	1.69074100E+01
13	8.73127900E+01

Tablo 2.6 Denklem 2.29 (ideal gaz-gerçek gaz farkı)

i	i_k	j_k	l_k	n_k
1	1	0	0	1.181607472290E-01
2	1	0.33	0	7.131163920790E-01
3	1	1.01	0	-1.618241920670E+00
4	2	0	0	7.141401789710E-02
5	3	0	0	-8.654213966460E-02
6	3	0.15	0	1.342111767040E-01
7	4	0	0	1.126267042180E-02
8	4	0.2	0	-4.205332288420E-02
9	4	0.35	0	3.490084319820E-02
10	6	1.35	0	1.649571831860E-04
11	1	1.6	1	-1.013650379120E-01
12	3	0.8	1	-1.738136909700E-01
13	5	0.95	1	-4.721031837310E-02
14	6	1.25	1	-1.225235542530E-02

15	1	3.6	3	-1.466296097130E-01
16	3	6	2	-3.160558798210E-02
17	11	3.25	2	2.335948061420E-04
18	1	3.5	3	1.482878919780E-02
19	3	15	3	-9.387828846670E-03

Bu denklemden kuru havanın tüm termodinamik özellikleri türetilir.

$$\text{Basınç (kPa): } P(T, \rho) = \rho^2 \frac{\partial f^A(T, \rho^A)}{\partial \rho} \quad 2.30$$

$$\text{Entropi (kJ/(kgK)) : } s(T, \rho) = - \frac{\partial f^A(T, \rho^A)}{\partial T} \quad 2.31$$

$$\text{Entalpi (kJ/kg) : } h(T, \rho) = f^A(T, \rho^A) - T \frac{\partial f^A(T, \rho^A)}{\partial T} + \rho \frac{\partial f^A(T, \rho^A)}{\partial \rho} \quad 2.32$$

Sabit basınçta özgül ısı heat C_p (kJ/(kgK)) :

$$C_p(T, \rho) = -T \frac{\partial^2 f^A(T, \rho^A)}{\partial T \partial T} + \frac{T \rho \left[\frac{\partial^2 f^A(T, \rho^A)}{\partial T \partial \rho} \right]^2}{\left(2 \frac{\partial f^A(T, \rho^A)}{\partial \rho} + \rho \frac{\partial^2 f^A(T, \rho^A)}{\partial \rho \partial \rho} \right)} \quad 2.33$$

Nemli havanın gerçek gaz denklemini oluştururken su molekülleri ile hava molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinin oluşturduğu ek etkileri de göz önüne almamız gerekir. Bu etkiler karşımıza ek bir hal denklemi olarak çıkar. Hava su karışımının karışım etkilerinin helmholtz serbest enerji denklemi aşağıdadır

$$f^{mix}(A, T, \rho) = \frac{2A(1-A)\rho RT}{M_A M_W} \left\{ B^{AW}(T) + \frac{3}{4} \rho \left[\frac{A}{M_A} C^{AAW}(T) + \frac{(1-A)}{M_W} C^{AWW}(T) \right] \right\} \quad 2.34$$

$$B^{AW}(T) = b^* \sum_{i=1}^3 c_i \bar{T}^{d_i} \quad 2.35$$

$$C^{AAW}(T) = c^* \sum_{i=0}^4 a_i \bar{T}^{-i} \quad 2.36$$

$$C^{AWW}(T) = -c^* \exp \left[\sum_{i=0}^4 b_i \bar{T}^{-i} \right] \quad 2.37$$

Burada $\bar{T} = \frac{T}{100}$ Denklem katsayıları Tablo 2.7 de verilmiştir.

Tablo 2.7 Denklem 2.35-2.37 katsayıları

i	a _i	b _i	c _i	d _i
0	4.827370E-04	-1.072888E+01	0.000000E+00	0.000000E+00
1	1.056780E-03	3.478020E+01	6.656870E+01	-2.370000E-01
2	-6.563940E-03	-3.833830E+01	-2.388340E+02	-1.048000E+00
3	2.944420E-02	3.340600E+01	-1.767550E+02	-3.183000E+00
4	-3.193170E-02	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

Bu denkleminde girdi fonksiyonlarından birisinin A(kuru hava kütlesi/yaş hava kütlesi- kg kuru hava/kg yaş hava) olduğunu tekrar belirtelim. Şimdi bu üç denklemin birleştirilmesiyle oluşan nemli havanın termodinamik hal denklemini inceleyebiliriz. Her bir denklemden olduğu gibi bu denklemden termodinamik özellikleri elde etmek için türevleri kullanıyoruz.

$$\text{Basınç (kPa): } P(A, T, \rho) = \rho^2 \frac{\partial f^{AV}(A, T, \rho)}{\partial \rho} \quad 2.38$$

$$\text{Entropi (kJ/(kgK)) : } s(T, \rho) = - \frac{\partial f^{AV}(A, T, \rho)}{\partial T} \quad 2.39$$

$$\text{Entalpi (kJ/kg) : } h(T, \rho) = f^{AV}(A, T, \rho) - T \frac{\partial f^{AV}(A, T, \rho)}{\partial T} + \rho \frac{\partial f^{AV}(A, T, \rho)}{\partial \rho} \quad 2.40$$

Sabit basınçta özgül ısı heat C_p (kJ/(kgK)) :

$$C_p(T, \rho) = -T \frac{\partial^2 f^{AV}(A, T, \rho)}{\partial T \partial T} + \frac{T \rho \left[\frac{\partial^2 f^{AV}(A, T, \rho)}{\partial T \partial \rho} \right]^2}{\left(2 \frac{\partial f^{AV}(A, T, \rho)}{\partial \rho} + \rho \frac{\partial^2 f^{AV}(A, T, \rho)}{\partial \rho \partial \rho} \right)} \quad 2.41$$

EK 3. NEMLİ HAVANIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Nemli hava için vizkozite ve ısı iletkenlik katsayıları hesapları için (ısı değiştiricilerin hesaplarında yoğun olarak kullanılırlar) gerekli olan denklemler bu bölümde verilmiştir.

Kuru havanın termofiziksel özellikleri için Kadoya [55] denklemi kullanılmıştır. Bu denklem aşağıdaki formdadır :

$$\eta_0(T_r) = A_0 T_r + A_1 T_r^{0.5} + A_2 + \frac{A_3}{T_r} + \frac{A_4}{T_r^2} + \frac{A_5}{T_r^3} + \frac{A_6}{T_r^4} \quad 3.14$$

$$\Delta\eta(\rho_r) = \sum_{i=1}^4 B_i \rho_r^i \quad 3.15$$

$$\eta(T_r, \rho_r) = H[\eta_0(T_r) + \Delta\eta(\rho_r)] \quad 3.16$$

$$k_0(T_r) = C_0 T_r + C_1 T_r^{0.5} + C_2 + \frac{C_3}{T_r} + \frac{C_4}{T_r^2} + \frac{C_5}{T_r^3} + \frac{C_6}{T_r^4} \quad 3.17$$

$$\Delta k(\rho_r) = \sum_{i=1}^4 D_i \rho_r^i \quad 3.18$$

$$k(T_r, \rho_r) = \Lambda[k_0(T_r) + \Delta k(\rho_r)] \quad 3.19$$

$$\text{Burada } \rho_r = \rho/\rho^* \quad T_r = T/T^* \quad 3.20$$

Denklemin katsayıları Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 denklem 3.14-3.19 katsayıları

$T^* = 132.5 \text{ K}$	$\rho^* = 314.3 \text{ kg/m}^3$	$\Lambda = 25.9778 (10^{-3} \text{ W/(mK)})$	$H=6.1609 (10^{-6} \text{ Pas})$	
i	A_i	B_i	C_i	D_i
0	0.128517	0.465601	0.239503	0.402287
1	2.60661	1.26469	0.00649768	0.356603
2	-1	-0.511425	1	-0.163159
3	-0.709661	0.2746	-1.92615	0.138059
4	0.662534		2.00383	-0.0201725
5	-0.197846		-1.07553	
6	0.00770147		0.229414	

Su buharının vizkozite ve ısı iletim katsayıları için gereken denklemler IAPWS Industrial Formulation 1997[15] referansından alınmıştır Bu denklemler ve katsayıları aşağıda verilmiştir.

Viskozite denklemleri:

$$\eta(\rho, T) = \psi(\delta, \theta) = \eta^* [\psi_0(\theta) \psi_1(\delta, \theta)] \quad 3.21$$

$$\text{Burada } \eta^* = 10^{-6} \text{ Pas} \quad \delta = \frac{\rho}{\rho^*} \quad \theta = T/T^*$$

$$T^* = T_c = 647.096 \text{ K} \quad \rho^* = \rho_c = 322 \text{ kg/m}^3$$

$$\psi_0(\theta) = \theta^{0.5} [\sum_{i=1}^4 n_i^0 \theta^{1-i}]^{-1} \quad 3.22 \text{ Denklem katsayıları aşağıdaki tablodadır:}$$

Tablo 3.2 Denklem 3.22 katsayıları

i	n_i^0
1	0.167752e-1
2	0.220462e-1

3	0.6366564e-2
4	-0.241605e-2

$$\psi_1(\delta, \theta) = \exp \left[\delta \sum_{i=1}^{21} n_i (\delta - 1)^{J_i} \left(\frac{1}{\theta} - 1 \right)^{J_i} \right] \quad 3.23$$

Tablo 3.3 Denklem 3.23 katsayıları

i	l _i	J _i	N _i	i	l _i	J _i	N _i
1	0	0	5.200940E-01	12	2	2	-7.724790E-01
2	0	1	8.508950E-02	13	2	3	-4.898370E-01
3	0	2	-1.083740E+00	14	2	4	-2.570400E-01
4	0	3	-2.895550E-01	15	3	0	1.619130E-01
5	1	0	2.225310E-01	16	3	1	2.573990E-01
6	1	1	9.991150E-01	17	4	0	-3.253720E-02
7	1	2	1.887970E+00	18	4	3	6.984520E-02
8	1	3	1.266130E+00	19	5	4	8.721020E-03
9	1	5	1.205730E-01	20	6	3	-4.356730E-03
10	2	0	-2.813780E-01	21	6	5	-5.932640E-04
11	2	1	-9.068510E-01				

Isıl iletkenlik kasayısı denklemleri:

$$\frac{k(\rho, T)}{\lambda^*} = \Lambda(\delta, \theta) = \Lambda_0(\theta) + \Lambda_1(\delta) + \Lambda_2(\delta, \theta) \quad 3.24$$

$$\Lambda_0(\theta) = \theta^{0.5} \sum_{i=1}^4 n_i^0 \theta^{i-1} \quad 3.25$$

Tablo 3.4 Denklem 3.25 katsayıları

i	n _i ⁰
1	0.102811e-1
2	0.299621e-1
3	0.156146e-1
4	-0.422464e-2

$$\Lambda_1(\delta) = n_1 + n_2 \delta + n_3 \exp[n_4(\delta + n_5)^2] \quad 3.26$$

Tablo 3.5 Denklem 3.26 katsayıları

i	n _i
1	0.39707
2	0.400302
3	-0.171587e4
4	-0.239219e1

$$\Lambda_2(\delta, \theta) = (n_1 \theta^{-10} + n_2) \delta^{1.8} \exp[n_2(1 - \delta^{2.8})] + n_4 A \delta^B \exp \left[\left(\frac{B}{1+B} \right) (1 - \delta^{1+B}) \right] + n_5 \exp[n_6 \theta^{1.5} + n_7 \delta^{-5}] \quad 3.27$$

$$A(\theta) = 2 + n_8 (\Delta \theta)^{-0.6} \quad 3.27a$$

$$B(\theta) = \begin{cases} (\Delta \theta)^{-1} & \text{for } \theta \geq 1 \\ n_9 (\Delta \theta)^{-0.6} & \text{for } \theta < 1 \end{cases} \quad 3.27b \text{ with } \Delta \theta = |\theta - 1| + n_{10}$$

Tablo 3.6 Denklem 3.27 katsayıları

i	n _i	i	n _i
1	7.013090E-02	6	-4.117170E+00
2	1.185200E-02	7	-6.179370E+00
3	6.428570E-01	8	8.229940E-02
4	1.699370E-03	9	1.009320E+01

5	-1.020000E+00	10	3.089760E-03
---	---------------	----	--------------

Kuru hava ve su buharı vizkozite ve ısı iletim katsayısı denklemlerini karıştırmak için Wilke [6] denkleminde yararlandık:

$$\eta_{mix} = \frac{x_A \eta_A}{x_A + \eta_A \phi_{AV}} + \frac{(1-x_A) \eta_V}{(1-x_A) + \eta_V \phi_{VA}} \quad 3.28 \text{ burada}$$

$$\phi_{AV} = \frac{[1 + (\eta_A/\eta_V)^{1/2} (M_V/M_A)^{1/4}]}{\{8[1 + (M_A/M_V)]\}^{1/2}} \quad 3.28a$$

$$\phi_{VA} = \phi_{AV} \eta_V/\eta_A (M_A/M_V) \quad 3.28b$$

Isıl iletim katsayısı için benzer denklem kullanılacaktır.

$$k_{mix} = \frac{x_A k_A}{x_A + k_A \phi_{AV}} + \frac{(1-x_A) k_V}{(1-x_A) + k_V \phi_{VA}} \quad 3.29 \text{ Burada}$$

$$\phi_{AV} = \frac{[1 + (k_A/k_V)^{1/2} (M_V/M_A)^{1/4}]}{\{8[1 + (M_A/M_V)]\}^{1/2}} \quad 3.29a$$

$$\phi_{VA} = \phi_{AV} k_V/k_A (M_A/M_V) \quad 3.29b$$

EK 4. PROGRAM LİSTESİ

Kullanılan bazı programların listesi bu bölümde verilmiştir. Tüm programlar ve daha fazlası www.turhancoban.com sitesindeki SCO1.jar dosyasında mevcuttur.

Table 4.1 Program listesi

Sınıf/interface ismi	kaynak
Interface if_x	Temel bir bilinmeyenli fonksiyon interface'if(x)
Interface if_x	Temel çok boyutlu fonksiyon interface'i f0(x0,x1,x2..) f1(x0,x1,x2,..) ...
steam	Su buharının termodinamik özellikleri Keenan, Keys,Hill, Moore 1969
steamIAPWS_IF97	Su buharının termodinamik özellikleri :International Steam Tables, Wolfgang Wagner, Hans-Joachim Kretschamar ISBN 978-3-540-21419-9
steam_IAPWS95	Su buharının termodinamik özellikleri : The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use W. Wagner and A. PruB J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 31, No. 2, 2002
air_IAPWS	Kuru havanın termodinamik özellikleri: Dry air EOS. Guideline on an Equation of State for Humid Air in Contact with Seawater and Ice, Consistent with the IAPWS Formulation 2008 for the Thermodynamic Properties of Seawater
air_PR	Kuru havanın termodinamik özellikleri: Peng Robinson karışım hal denklemi The properties of Gases & Liquids Robert C. Reid et al., Janaf Tables (NIST data https://janaf.nist.gov/)
air-PR1	Kuru havanın termodinamik özellikleri: Peng Robinson tek gaz hal denklemi: The properties of Gases & Liquids Robert C. Reid et al., Janaf Tables (NIST data https://janaf.nist.gov/)
Air_PG	Kuru havanın termodinamik özellikleri: ideal gaz hal denklemi
humid_air_IAPWS	Nemli havanın termodinamik özellikleri: Guideline on an Equation of State for Humid Air in Contact with Seawater and Ice, Consistent with the IAPWS Formulation 2008 for the Thermodynamic Properties of Seawater
humid_air_PR	Nemli havanın termodinamik özellikleri: Peng Robinson gaz karışımı hal denklemi: The properties of Gases & Liquids Robert C. Reid et al., Janaf Tables The properties of Gases & Liquids Robert C. Reid et al., Janaf Tables (NIST data https://janaf.nist.gov/), www.turhancoban.com
humid_air_PR1	Nemli havanın termodinamik özellikleri: Peng Robinson gaz karışımı hal denklemi: The properties of Gases & Liquids Robert C. Reid et al., Janaf Tables (NIST data https://janaf.nist.gov/), www.turhancoban.com
humid_air_PG	Nemli havanın termodinamik özellikleri: İdeal gaz hal denklemi The properties of Gases & Liquids Robert C. Reid et al., Janaf Tables (NIST data https://janaf.nist.gov/), www.turhancoban.com
Gas	Saf ideal gaz hal denklemleri (Çeşitli gazlar için) www.turhancoban.com SCO1.jar

Plot	Grafik çizme programı www.turhancoban.com SCOL.jar
GasTable	Gas sınıfı için grafik formatında kullanıcı arayüzü programı (Graphic user interface – GUI)
Wetair	İdeal gaz nemli hava hal denklemi
psT	İdeal gaz nemli hava hal denklemi wetair için grafik formatında insdan arayüzü programı (Kullanıcı Ara Yüzü KGA-Graphic user interface – GUI)
steamTable	GUI steam sınıfı için
steamTableIF97	GUI steamIAPWS_IF97 sınıfı için
steamTableIAPWS95	GUI steam_IAPWS95 sınıfı için
pool	Kapalı yüzme havuzlarındaki su buharlaşma miktarı
yashavaprosesleri	Nemli havanın çeşitli temel proseslerini hesaplar
yashavaprosesleriTable	Nemli havanın çeşitli temel proseslerini hesaplayan yashavaprosesleri programının kullanıcı grafik arayüzü (KGA-GUI)
Gas_GEN_Data	Gas programındaki kısmi devamlı Cp için eğri uydurma programı
SCO11B4	En küçük kareler eğri uydurma programı
NA49	Küçük şerit interpolasyonu

EK 5 TÜRKİYE ŞEHİRLERİ AYLIK HAVA DURUMU

EK 5.1 İLLERİN AYLIK SICAKLIK DAĞILIMI

ADANA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	9.5	10.5	13.4	17.5	21.7	25.6	28.2	28.7	26.1	21.6	15.8	11.2	19.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.8	16.1	19.4	23.7	28.2	31.7	33.9	34.7	33.1	29	22.6	16.7	25.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.2	6	8.2	11.8	15.7	19.7	22.9	23.3	20.1	15.7	10.7	6.9	13.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.6	5.3	6.1	7.2	9.1	10.6	10.8	10.4	9.1	7.5	5.9	4.4	91
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.6	10.1	9.6	8.6	6.3	2.9	0.9	0.7	2.6	5.4	6.9	10.2	74.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	110	89.7	65.1	51.1	47.1	20.5	6.2	5.5	17.6	42.4	71.1	121.2	647.5
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	26.5	28.5	32	37.5	41.3	42.8	44.4	45.6	43.2	41.5	34.3	30.2	45.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8.1	-6.6	-4.9	-1.3	5.6	9.2	11.5	14.8	9.3	3.5	-4.3	-4.4	-8.1
ADIYAMAN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1963 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.6	5.9	10.1	15.2	20.6	26.8	31.1	30.6	25.8	19	11.6	6.5	17.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.6	10.4	15	20.7	26.6	33.2	37.6	37.5	33	25.5	17	10.7	23
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.3	2.3	5.6	9.9	14.3	19.7	23.7	23.4	19	13.6	7.5	3.3	12
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.8	4.6	5.8	7.3	9.4	11.7	12.2	11.4	9.7	7.2	5.4	3.8	92.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.5	11.9	12	11.3	8.6	2.6	0.6	0.4	1.4	6.7	8.9	11.9	88.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	136.7	101.8	89.4	65.4	43.3	8.2	1	0.7	6	46.5	76.2	135.7	710.9
Ölçüm Periyodu (1963 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.9	23.8	28.3	34.5	39	41.4	45.3	44.5	42.2	36.1	29.4	25.8	45.3
En Düşük Sıcaklık (°C)	-14.4	-10	-7	-2	3.4	10.6	15	15.8	10	2.2	-3.5	-8.4	-14.4
AFYONKARAHISAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.3	1.7	5.2	10.4	15	18.9	22.1	22.1	17.8	12.4	6.9	2.3	11.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.5	6.4	10.9	16.4	21.3	25.7	29.5	29.6	25.3	19.3	12.7	6.5	17.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.5	-2.5	0.1	4.2	8.1	11.2	13.7	13.6	9.8	5.7	1.7	-1.4	5.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3	4.1	5.2	6.5	8.2	10	11.2	10.7	8.8	6.5	4.8	2.8	81.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.5	12	12	11.5	12.2	7.8	3.7	3.2	4.4	7.4	8.5	12.4	107.6

Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	43.9	39.6	45.1	46.1	55.2	39.7	20.5	12.2	20.3	35.5	33.8	47	438.9
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18	21.8	26.4	30.2	33	35.8	39.8	38	36.1	31.3	25.3	21	39.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-27	-25.3	-17	-7.6	-3.1	1	4	2.4	-3.2	-7.9	-23.1	-27.2	-27.2
AGRI	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-10.6	-9.2	-3.1	6.1	12.1	16.6	21.2	21.2	16.2	9.1	1.6	-6.5	6.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-5.5	-3.5	2	11.7	18.6	24.1	29.3	30.1	25.3	17.2	7.8	-1.8	12.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-15.6	-14.5	-8	0.6	5.3	8.2	12.1	11.8	6.8	1.9	-3.5	-10.8	-0.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.1	3.1	4.4	5.9	7.7	9.8	10.4	10.1	9.1	6.6	4.3	2.1	75.6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.9	11.3	12.2	14.2	15.8	10.2	5.6	3.9	4.4	9	8.5	10.9	117.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	44.3	47.7	51	69	69.7	43.9	21	11.7	17.5	56.3	45.9	44	522
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.6	13	21.5	27.2	32.7	39.8	39.8	39.9	36.2	29.2	19.8	16	39.9
En Düşük Sıcaklık (°C)	-45.6	-42.8	-39.6	-25.6	-9	-3	1.7	1.2	-4.1	-20.1	-31.6	-39.8	-45.6
AMASYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.7	4.7	8.6	13.6	18	21.7	24.2	24.1	20.2	14.7	8.6	4.6	13.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.9	9.7	14.6	20.4	25	28.7	31.1	31.4	27.9	21.8	14.5	8.7	20.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.8	0.2	3.1	7.2	11.1	14.4	16.7	16.7	12.9	8.6	3.8	1.2	7.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.1	3.3	4.5	5.9	7.3	8.7	9.5	9.2	7.5	4.8	3.3	2	68.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.2	11.1	12.6	13.1	13	8.9	3.3	2.6	4.7	8.1	9.3	12.6	111.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	49.5	37.1	48.6	54.9	53.2	38.2	14.5	8.9	20	35.9	44	56	460.8
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	21.3	25	31.2	35.8	37.5	41.8	45	42.2	40.3	36	29.7	22.9	45
En Düşük Sıcaklık (°C)	-21	-20.4	-15.3	-5.1	-0.1	4.8	8.5	8.8	3	-2.9	-9.5	-12.7	-21
ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.2	1.7	5.8	11.3	16.1	20.1	23.5	23.4	18.8	13	7.1	2.5	12
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.2	6.4	11.5	17.4	22.4	26.6	30.3	30.4	26	19.9	13	6.4	17.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.3	-2.4	0.6	5.3	9.6	12.9	15.8	15.9	11.8	7	2.5	-0.9	6.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.7	3.9	5.2	6.6	8.5	10.2	11.4	10.8	9.2	6.7	4.6	2.6	82.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.2	11.3	10.7	11.1	12.3	8.6	3.5	2.7	4	6.9	8.2	11.7	103.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	39.7	35.1	39.1	41.9	51.8	34.3	13.5	11.4	17.6	27.9	31.7	44.1	388.1
Ölçüm Periyodu (1927 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	16.6	21.3	27.8	31.6	34.4	37	41	40	37.7	33.3	24.7	20.4	41
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24.9	-24.2	-19.2	-7.2	-1.6	3.8	4.5	5.5	-1.5	-9.8	-17.5	-24.2	-24.9
ANTALYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	10	10.7	12.9	16.4	20.6	25.3	28.4	28.4	25.2	20.5	15.4	11.6	18.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.9	15.6	18	21.4	25.6	30.7	34.1	34	31.1	26.5	21.2	16.7	24.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	6	6.4	8	11.2	15.2	19.6	22.7	22.7	19.4	15.2	10.8	7.6	13.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	5.1	5.8	6.7	7.9	9.7	11.3	11.7	11.2	9.7	7.8	6.3	4.8	98
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.5	10.6	8.6	6.6	5.3	2.5	0.6	0.6	1.7	5.6	7.5	11.9	74

Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	234.2	154.5	97	51.8	31.9	10	2.5	2.6	14.3	71.3	129.7	258.5	1058.3
--	-------	-------	----	------	------	----	-----	-----	------	------	-------	-------	--------

Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)

En Yüksek Sıcaklık (°C)	23.9	26.7	28.8	36.4	38.7	44.8	45.4	44.6	42.5	38.7	33	25.4	45.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.3	-4.6	-1.6	1.4	6.7	11.1	14.8	13.6	10.3	0.9	0	-1.9	-4.6

ARTVIN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
---------------	------	-------	------	-------	-------	---------	--------	---------	-------	------	-------	--------	--------

Ölçüm Periyodu (1949 - 2018)

Ortalama Sıcaklık (°C)	2.8	4	7.1	12	15.9	18.8	20.9	21.1	18.2	14	9.1	4.5	12.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.2	8.3	12.4	17.9	21.9	24.2	25.8	26.3	23.9	19.6	13.3	7.8	17.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.2	0.4	2.9	7.2	11.2	14.3	16.9	17.1	14.2	10.2	5.7	1.7	8.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	3.4	4.4	5.3	6.4	7.1	6.8	6.9	6.4	4.7	3.2	2.1	5.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.2	12.8	13.3	12.8	14.3	12.7	8.2	8.2	8.6	11.1	11	11.9	138.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	85.5	71.9	60	53.2	53.2	49.7	30.6	29	36.4	61.6	76	87.7	694.8

Ölçüm Periyodu (1949 - 2018)

En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.9	21.5	28.4	34.4	36.4	39	42	43	38.4	33.9	27.9	20.9	43
En Düşük Sıcaklık (°C)	-16.1	-11.9	-9.8	-7.1	-0.6	3.7	9.5	9.5	4.6	-1.6	-8.2	-10.8	-16.1

AYDIN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
--------------	------	-------	------	-------	-------	---------	--------	---------	-------	------	-------	--------	--------

Ölçüm Periyodu (1941 - 2018)

Ortalama Sıcaklık (°C)	8.1	9.4	11.8	15.9	20.9	25.8	28.4	27.6	23.5	18.4	13.4	9.5	17.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	13	14.7	17.8	22.7	28.2	33.3	36	35.7	32	26.2	19.8	14.4	24.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.3	5	6.7	10.1	14.2	18.1	20.5	20.3	16.7	12.7	8.8	5.7	11.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.1	4.6	5.9	7.2	8.5	10.1	10.8	10.3	9	6.9	5	4.1	86.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.8	10.5	9.7	8.3	6.2	2.4	0.7	0.6	2	5.6	8.2	12.8	79.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	116.5	93.8	71.1	48.2	35.7	13.9	3.7	2.5	12.8	43.8	83.3	121.7	647

Ölçüm Periyodu (1941 - 2018)

En Yüksek Sıcaklık (°C)	23.2	27.4	32.4	35.4	41.5	44.4	44.8	43.8	43.3	38	30.7	25.9	44.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-11	-5.4	-5	-0.8	4.6	8.4	13.4	11.8	7.6	1.6	-4.7	-5.3	-11

BALIKESİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
------------------	------	-------	------	-------	-------	---------	--------	---------	-------	------	-------	--------	--------

Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)

Ortalama Sıcaklık (°C)	4.8	5.9	8.2	12.9	17.8	22.4	24.8	24.6	20.7	15.7	10.5	6.6	14.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.8	10.5	13.6	19.3	24.5	29.2	31.2	31.2	27.7	22	15.9	10.6	20.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.3	1.9	3.3	6.9	11	15	17.7	17.9	14.1	10.2	6	3.1	9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.9	3.9	5.1	6.5	8.7	10.3	11.4	10.4	8.1	6	4.1	2.8	80.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14	11.9	11.4	9.5	7.5	4.8	1.4	1.4	3.8	7.1	9.1	13.2	95.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	84.4	69	61.3	49.7	41.1	25.3	8.6	5.9	21.8	45.4	75.5	95.2	583.2

Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)

En Yüksek Sıcaklık (°C)	23.5	25.2	30.7	35.2	38.5	42.5	43.2	43.7	40.3	36.4	29	26.1	43.7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-21.8	-18.8	-8	-4	0.6	4	9.1	6	4	-2.3	-7.9	-12.9	-21.8

BANDIRMA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
-----------------	------	-------	------	-------	-------	---------	--------	---------	-------	------	-------	--------	--------

Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)

Ortalama Sıcaklık (°C)	4.8	5.9	8.2	12.9	17.8	22.4	24.8	24.6	20.7	15.7	10.5	6.6	14.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.8	10.5	13.6	19.3	24.5	29.2	31.2	31.2	27.7	22	15.9	10.6	20.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.3	1.9	3.3	6.9	11	15	17.7	17.9	14.1	10.2	6	3.1	9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.9	3.9	5.1	6.5	8.7	10.3	11.4	10.4	8.1	6	4.1	2.8	80.2

Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14	11.9	11.4	9.5	7.5	4.8	1.4	1.4	3.8	7.1	9.1	13.2	95.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	84.4	69	61.3	49.7	41.1	25.3	8.6	5.9	21.8	45.4	75.5	95.2	583.2
Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	23.5	25.2	30.7	35.2	38.5	42.5	43.2	43.7	40.3	36.4	29	26.1	43.7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-21.8	-18.8	-8	-4	0.6	4	9.1	6	4	-2.3	-7.9	-12.9	-21.8
BILECIK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.5	3.7	6.5	11.6	16.2	19.9	22.1	22	18.4	13.8	9.1	4.6	12.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5.9	7.8	11.4	17.1	21.9	25.8	28.3	28.5	24.8	19.3	13.5	7.9	17.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.4	0.4	2.4	6.7	10.9	14.2	16.2	16.4	13.1	9.5	5.6	1.8	8.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	3.9	4.8	6.3	8	9.7	10.5	10	8.3	5.7	4.2	3	77.6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.3	13	13.1	10.8	10.4	7.8	4	3.4	5.1	8.5	9.8	13.3	113.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	50.1	42	47.2	41.8	47.7	39.3	17.9	11.9	22.3	40.5	37.2	56	453.9
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22	24.6	30.2	33.3	35.8	38.2	41	40.6	38.4	34.3	27.4	25	41
En Düşük Sıcaklık (°C)	-16	-14.3	-11.6	-6	1	6	7.7	8.2	3.2	-0.8	-9.2	-14.5	-16
BINGOL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-2.4	-1.2	4.1	10.7	16.1	21.9	26.6	26.4	21.2	14.2	6.7	0.5	12.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2.2	3.7	9.4	16.6	22.8	29.3	34.5	34.7	29.7	21.4	12.5	5	18.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-6	-5	-0.2	5.7	10.1	14.7	19	18.6	13.6	8.2	2.2	-2.9	6.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.3	4.3	4.9	5.6	7.1	9.2	9.5	9	8.2	6	4.4	3.1	74.6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.8	12.4	13.8	14.9	14	5.5	1.7	1.3	2.6	8.5	9.3	12.8	109.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	138.4	131.9	127.5	116.5	75.9	21.3	5.6	3.1	11.5	66.7	107.3	137.6	943.3
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	13.6	16.1	22.3	30.3	33.4	37.2	42	41.3	37.8	32.1	25.5	20	42
En Düşük Sıcaklık (°C)	-23.2	-21.6	-20.3	-9.2	1	3.5	8.8	7.8	4.2	-2.4	-15	-25.1	-25.1
BİTLİS	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3.1	-2.2	1.7	7.6	13.1	18.4	22.8	22.4	17.7	11.2	4.5	-0.9	9.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	1.1	2.2	6.1	12.9	19.2	25.3	30.4	30.7	26.2	18.5	10.1	3.2	15.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.6	-5.8	-2	3.2	7.4	11.5	15.6	15.1	10.7	6.3	0.9	-4.3	4.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.4	3.3	5	5.9	7.4	9.3	9.8	9.7	9.2	5.4	2.9	2	72.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.5	13.3	15.5	15.7	14.2	5.6	1.7	1.4	2.7	9.8	11	13.2	117.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	155.4	167.8	171.8	161.9	105.3	24.2	5.9	4.2	17.5	99.9	143.5	159.6	1217
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	15.1	21.9	23	27.8	29.4	34	38	37.4	35.2	30.2	22	15.6	38
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24.1	-22	-20.3	-15.6	-2.5	1	7	7	1.8	-6	-17	-21.9	-24.1
BOLU	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.6	1.9	4.8	9.6	14.1	17.4	19.8	19.9	16.1	11.8	6.9	2.8	10.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5.2	7.1	11	16.7	21.4	24.7	27.4	27.9	24.3	19.2	13.2	7.4	17.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.6	-2.7	-0.5	3.5	7.6	10.3	12.4	12.6	9.4	6.1	2.1	-1.3	4.7

Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.1	3	4.2	5.6	7	8.3	9.2	8.8	7	4.9	3.5	2.1	65.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.6	14.5	14.7	13.2	14	11.6	6.2	5.2	7.2	10.7	12	14.8	139.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	57.6	48.1	50.4	50.8	59.6	55.3	27.8	22.3	28.6	41.2	45.7	59.4	546.8
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.8	24	29.3	31.8	34.4	37	39.3	39.8	37.3	34.4	27	22.7	39.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-31.5	-34	-19.8	-11.5	-2.3	0	2.8	1.4	-2.5	-5.8	-24.8	-29.1	-34

BURDUR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1932 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.6	3.8	6.9	11.7	16.5	21.2	24.7	24.5	20	14.2	8.7	4.3	13.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.7	8.7	12.6	17.8	23	28	31.9	32.1	27.8	21.4	14.3	8.4	19.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1	-0.3	1.9	6	10.2	13.9	17	16.9	12.8	8.4	4	0.8	7.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.8	4.9	5.9	7.1	8.9	10.9	11.8	11	9.2	7.2	5.5	3.3	89.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.3	9.8	10	9.5	9.7	5.9	2.8	2.2	3.1	6.1	7.1	11.2	88.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	57	41.7	45.3	43.3	45.3	27.8	11.9	8.2	14.9	32.4	36.9	62.2	426.9
Ölçüm Periyodu (1932 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	16.8	23.4	27.8	30.7	34.5	38.7	41	41	39	32.4	25.6	19.9	41
En Düşük Sıcaklık (°C)	-16.7	-15	-11.6	-7	-0.4	3.8	9	8.8	3.4	-2.4	-12	-15.3	-16.7

BURSA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1928 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.3	6.2	8.3	12.9	17.7	22.1	24.5	24.3	20.1	15.4	10.9	7.3	14.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.5	10.8	13.8	18.9	23.8	28.3	30.8	31	27.1	21.9	16.5	11.5	20.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.7	2.2	3.6	7.2	11.4	14.9	17.2	17.2	13.6	10.1	6.4	3.5	9.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.9	3.4	4.2	5.8	7.8	9.9	10.8	10.1	7.9	5.6	4.1	2.9	75.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.9	13.5	12.6	11.2	9	6	3.1	2.9	5.1	9.1	11.2	14.3	112.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	89.1	76	70.3	62.4	50.1	34.1	21.4	16.3	41.7	67	77.8	101.4	707.6
Ölçüm Periyodu (1928 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.2	26.9	32.5	36.2	37	41.3	43.8	42.6	40.3	37.3	31	27.2	43.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-20.5	-25.7	-10.5	-4.2	0.8	4	8.3	7.6	3.3	-1	-8.4	-17.9	-25.7

ÇANAKKALE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.2	6.6	8.3	12.6	17.5	22.3	25.1	24.9	20.9	16.1	11.9	8.3	15.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.5	10.2	12.4	17.2	22.6	27.7	30.7	30.6	26.3	20.7	15.9	11.6	19.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.1	3.3	4.7	8.3	12.7	16.5	19.2	19.5	15.9	12.1	8.4	5.2	10.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.5	4.3	5.4	7.3	9.5	11.1	11.8	11.2	8.9	6.4	4.4	3.2	87
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.3	10.4	9.8	7.8	5.6	4	1.7	1.3	3.3	6.5	8.9	12.4	84
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	91.7	72.1	66.1	44.7	30.1	23.8	10.9	6.3	23.4	53.6	87.3	106.7	616.7
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20	21.3	27.3	30.8	39	36.8	39	39.1	35.8	31.7	26.2	22.6	39.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-11	-11.5	-8.5	-1.6	2.3	6.6	11.2	9.4	5.9	0.4	-7	-10.5	-11.5

ÇANKIRI	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.5	1.2	5.7	11.3	15.8	19.9	23.2	22.7	17.8	11.9	5.7	1.5	11.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	3.5	6.1	11.8	18	22.9	27.1	31	31.2	26.6	20.1	12.2	5.5	18
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4	-3.2	-0.1	4.5	8.7	11.8	14.2	13.9	9.6	5.1	0.5	-1.9	4.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.1	3.4	5	6.2	7.8	9.5	10.6	9.9	8.4	6.1	3.8	1.9	74.7

Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12	10.3	9.9	11.5	13.7	10.2	4.4	3.6	4.6	7	7.7	11.2	106.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	44.4	34.9	38.5	44.1	58.5	43.1	17.7	17.8	17.3	26.5	26.2	45.2	414.2
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	15.4	22	29	31	34.8	39.6	42.4	41.8	37.9	34.2	24.4	18.2	42.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-25	-24	-20.5	-8.9	-3	1.6	4.3	4.6	-2	-6.3	-19.4	-18.8	-25
ÇORUM	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.4	1.1	4.9	10.5	15.1	18.6	21.3	21.3	17.2	11.9	6.1	1.7	10.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.1	6.3	11.3	17.4	22.1	25.9	29	29.4	25.5	19.8	12.8	6.2	17.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.4	-3.5	-0.8	3.6	7.4	10.2	12.4	12.5	9.1	5.1	0.8	-2.1	4.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	3.5	4.8	6.2	7.4	8.9	10.1	9.9	8.2	5.5	3.6	2	72.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.4	11.1	11.5	11.9	13.4	9.9	4	3	4.5	7.1	8.3	11.9	109
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	38.9	29.4	38.6	47.4	61.8	52.6	18.8	13.6	21.7	27.3	33.7	43.3	427.1
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	17.5	20.4	28.6	30.4	35.1	37.5	42.6	40.2	38.7	33.6	25.6	19.2	42.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-25.6	-27.2	-23.3	-9.4	-4.3	0.2	3.4	3	-3	-6.3	-15.7	-21.6	-27.2
DENİZLİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1957 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.9	7.1	10.2	14.8	19.8	24.7	27.6	27	22.5	16.9	11.5	7.6	16.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.5	12.3	16	20.9	26.3	31.3	34.5	34.4	30	23.8	17.3	12.1	22.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2.3	3	5.3	9.1	13.2	17.4	20.2	19.8	15.8	11.4	7	4	10.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.7	4.5	5.6	7	9.1	11	11.8	10.9	9.3	6.8	5	3.5	88.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.9	10.8	11.2	10.2	9	5	2.1	2	3	5.9	7.6	12.3	91
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	91.1	71.9	63.7	52.6	43.3	27	13	8.4	14.1	35.3	55.9	88.7	565
Ölçüm Periyodu (1957 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.6	25.9	30.8	35.8	37	42.4	43.9	44.4	41.6	34.4	29.9	26.6	44.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-10.5	-11.4	-7	-2	2.7	7.9	12.6	11.6	6.6	-0.8	-4.5	-10.4	-11.4
DIYARBAKIR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	1.7	3.6	8.4	13.8	19.2	26.2	31.1	30.4	24.9	17.3	9.5	3.9	15.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.6	9	14.4	20.3	26.6	33.5	38.3	38.2	33.2	25.3	16.2	9.1	22.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-2.3	-1.1	2.3	6.9	11.2	16.5	21.6	21	15.9	9.9	4	-0.3	8.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.8	4.8	5.6	7.1	9.6	12.2	12.4	11.7	10	7.5	5.6	3.9	94.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.4	11.5	11.9	11.4	8.8	2.7	0.4	0.2	1	5.7	8.2	11.5	85.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	70.3	68	65.1	68.3	44.1	8.1	0.7	0.4	3.9	32.2	54.2	71.4	486.7
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	16.9	21.8	28.3	35.3	39.8	42	46.2	45.9	42	35.7	28.4	22.5	46.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24.2	-21	-14	-6.1	0.8	3.5	9.9	11.4	4	-1.8	-12.9	-23.4	-24.2
EDİRNE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.7	4.6	7.7	13	18.2	22.4	24.8	24.4	19.9	14.2	9.1	4.6	13.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.5	9.2	13.2	19.3	24.7	29.1	31.8	31.8	27.3	20.6	14	8.4	19.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.6	0.4	2.8	7.1	11.7	15.4	17.3	17.1	13.4	9.2	5.1	1.2	8.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.7	4.7	6.6	8.6	9.9	11	10.5	8.1	5.5	3.4	2.4	76.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.4	9.7	10	10	10.2	8.5	5.6	3.9	4.8	7.7	10.5	13.1	106.4

Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	66.5	53.2	53.1	46.6	52.9	47.4	32.8	22.2	36.8	57.5	69.7	69.4	608.1
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.5	23.3	28	33.5	37.1	42.6	44.1	41.9	37.8	35.8	28	21.5	44.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19.5	-19	-12	-4.1	0.7	6	8	8.9	0.2	-3.7	-9.4	-14.9	-19.5
ELAZIĞ													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.9	0.6	5.5	11.9	17.2	22.7	27.1	26.9	22	14.8	7.4	1.8	13.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2.9	5	10.8	17.8	23.6	29.7	34.2	34.2	29.4	21.4	12.6	5.6	18.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4	-3.1	0.9	6.4	10.9	15.3	19.4	19.2	14.6	8.9	3.1	-1.3	7.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.6	5	6.5	8.7	11	11.7	11	9.2	6.7	4.5	2.3	82.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.1	11.5	12.4	12.2	10.9	4.1	1.1	0.7	2.2	7.2	9.1	11.7	95.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40.8	42.3	53.5	63.3	51.8	12	2.2	0.7	7.8	40.5	48.7	44.6	408.2
Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.4	18.6	26.4	32.2	34.4	38.6	42.2	41.3	37.8	32.1	24.3	24.6	42.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-22.6	-21.4	-17	-7	0	4	6.7	10.2	1	-2.2	-15.2	-22.6	-22.6
ERZİNCAN													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3	-1.3	4	10.7	15.6	20	24	24.1	19.1	12.3	5.5	-0.2	10.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	1.6	3.6	9.5	16.7	22.2	27	31.5	32	27.4	19.9	11.6	4.3	17.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-7	-5.5	-0.8	4.7	8.8	12.1	15.5	15.3	10.8	5.8	0.7	-4.1	4.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3	4	5.1	6	7.6	9.8	10.9	10.3	8.8	6.4	4.5	2.8	79.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.6	9.1	11.6	12.8	14.1	8.9	3.3	2.4	4.3	8.3	8.6	9.5	102.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	27.1	30.2	41.9	52.3	53.4	30.7	10.9	6.4	14.7	40.3	35.7	28.5	372.1
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14	17.2	25.2	30	33.8	37	40.6	40.5	36.6	31.4	24.9	19	40.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-32.5	-32.4	-22.4	-11.1	-4.2	2	5	5.9	0.3	-6.8	-17.4	-25.9	-32.5
ERZURUM													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-9.2	-7.7	-2.4	5.4	10.7	14.9	19.3	19.5	14.7	8.1	1	-5.9	5.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-4	-2.4	2.6	10.9	16.8	21.7	26.5	27.2	22.6	15.1	6.8	-1	11.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-14	-12.6	-7.1	0	4.4	7.3	11.2	11.2	6.5	1.8	-3.7	-10.3	-0.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.4	5.1	6.3	7.9	10.2	11.2	10.7	9	6.8	4.8	3.1	82.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.3	11.1	12.4	13.7	16.2	11	6.7	5.2	5.2	9.7	9.3	10.7	122.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	22.5	26.8	34.9	53	73.8	49	26.6	17.7	23.5	48.3	33.1	22.8	432
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	8	10.6	21.4	26.5	29.6	32.2	35.6	36.5	33.3	27	20.7	14	36.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-36	-37	-33.2	-22.4	-7.1	-5.6	-1.8	-1.1	-6.8	-14.1	-34.3	-37.2	-37.2
ESKİŞEHİR													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1928 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.2	1.4	5	10.2	15	18.8	21.5	21.4	17.2	11.9	6.4	2	10.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	3.8	6.2	11.3	17.2	22	25.9	29	29.3	25.4	19.4	12.7	6.1	17.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.4	-2.4	0	4.2	8.5	11.8	14.2	14.1	10.2	5.8	1.9	-1.2	5.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.8	5.3	6.4	8.5	10.2	11.2	10.7	8.7	6.2	4.3	2.3	80.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.1	9.9	8.9	8.2	8.7	5.8	2.7	1.9	2.8	5.2	7.3	10.5	83
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40	32.7	35.3	38.3	44.8	33.3	13.1	8.7	15.7	28.1	30.1	46	366.1

GAZİANTEP													
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.2	22.3	29.1	31.2	34.3	36.8	40.6	39	36.4	33	25.6	21.4	40.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-27.8	-23.8	-16.5	-10.4	-2.2	0.5	5	2.2	-3.7	-7.1	-16.7	-26.3	-27.8
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık	
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	3	4.3	8	13.2	18.6	24	27.7	27.4	22.8	16.1	9.4	4.8	14.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7.5	9.4	13.9	19.7	25.4	31.2	35.1	35.1	31.1	24.1	16.2	9.7	21.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.7	0.1	3	7.3	11.9	17.1	21.1	20.9	16.2	10	4.5	1	9.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.7	4.5	5.7	7.2	8.7	10.6	10.8	10.2	8.9	7.1	5.4	3.6	86.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.2	12	11.9	9.9	7.2	2.1	0.5	0.5	1.5	6.2	8.3	12.1	85.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	102.1	82.6	71.3	52.6	31.3	6.9	2.7	1.8	5.7	36.4	61.8	97.6	552.8
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19	24.3	28.1	34	37.8	39.6	44	42.8	40.8	36.4	27.3	24.4	44
En Düşük Sıcaklık (°C)	-17.5	-15.6	-11	-4.3	0.4	4.5	9	10.8	3.4	-3.9	-9.7	-15	-17.5
GİRESUN													
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.2	7.1	8.1	11.3	15.6	20.1	22.8	23.1	20	16.3	12.6	9.4	14.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.6	10.6	11.8	15.1	18.9	23.4	26.1	26.6	23.6	19.9	16.3	12.8	18
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.6	4.3	5.2	8.4	12.8	17	19.8	20.3	17.3	13.7	10	6.7	11.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	1.3	1.8	1.7	2.4	2.9	3.8	3.4	2.9	2.3	1.6	2	1.3	27.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.7	14.2	15.8	14.7	14.1	12	10.6	10.8	12.4	14	13.3	14.3	160.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	128.3	100.9	97.9	75.5	68	77	78.5	89.6	129.5	163.4	151.6	127.8	1288
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.5	29.5	34.9	36	35.4	36.2	35.3	35.2	32.9	37.3	32.8	28	37.3
En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.2	-9.8	-5.8	-1.4	4	6.8	12.1	12.1	4.8	4.2	-4.7	-2.4	-9.8
GÜMÜŞHANE													
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.6	-0.3	3.9	9.5	13.7	17.3	20.3	20.4	16.8	11.4	5.1	0.5	9.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2.9	5.2	9.9	16.3	21.1	24.9	28.2	28.8	25.3	18.8	10.6	4.7	16.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-5.6	-4.9	-1.1	3.8	7.7	10.7	13.8	13.8	10.1	5.9	0.8	-3.2	4.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	1.3	3.8	5	6.1	7.4	9	10.1	9.7	7.9	5.5	2.3	0.9	69
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.3	10.6	12.7	13.7	15.8	10.4	4	3.7	5.5	9.6	10.2	11.6	119.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	35.8	31.8	44	59.4	69.3	47.6	12.2	12.7	21.8	45.2	41.8	42.1	463.7
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.8	18	24	29	32.5	36.2	41	41.1	37	32	22.1	18.9	41.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-23.6	-25.7	-22.6	-11	-2.8	1.8	4.5	4.9	-1	-4.8	-15	-21	-25.7
HAKKARİ													
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-4.6	-3.1	2.2	8.3	14.3	20.4	25	24.9	20.3	13	5.3	-1.5	10.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-0.3	1.3	6.7	13	19.4	25.9	30.9	31	26.5	18.6	9.9	2.5	15.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-8	-6.8	-1.8	4	9.2	14	18.3	18.1	13.9	7.8	1.2	-4.8	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.1	5.3	5.9	6.7	8.9	11.8	12.2	11.5	10.1	7.3	5.3	3.9	93
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.2	10.9	13.2	13.4	12.2	4.1	1.5	1.1	2	8.6	8.6	10.1	96.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	89.3	104.9	119.7	125.9	66.6	15.8	4	2.8	7	63.2	87.3	96.4	782.9
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	11.8	12.9	19.7	25	28.7	34.4	38.8	38	34.6	29.3	20.8	17.8	38.8

En Düşük Sıcaklık (°C)	-23.4	-22.7	-19	-8.3	-0.8	5	10	2.1	4.3	-5.8	-15	-21.3	-23.4
HATAY (İSKENDERUN)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	8.2	9.9	13.1	17.2	21.2	24.8	27.1	27.8	25.6	20.6	14.2	9.5	18.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12	14.4	18.1	22.6	26.5	29.2	31.1	32	31	27.3	20.1	13.7	23.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.6	5.8	8.5	12.2	16.4	20.8	23.9	24.6	21.1	15.2	9.5	5.9	14
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.3	4.5	6	7.4	9.1	10.6	11.1	10.4	9.3	6.9	4.9	3.2	86.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.2	13.4	13.2	9.2	5.7	2.1	0.6	0.6	3.4	7.3	8.9	13.6	93.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	193	167.6	142.3	102.7	80.1	24.2	6.7	6.6	38.5	78	101.6	183.7	1125
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.7	26.6	30.5	37.5	42.5	43.2	44.6	43.9	42.6	39.2	32.5	24	44.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-14.6	-6.8	-4.2	1.5	7.7	11.6	15.9	15.4	7.9	2.3	-3	-6.6	-14.6
ISPARTA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	1.8	2.9	6	10.8	15.5	20	23.5	23.2	18.7	13.1	7.6	3.5	12.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.2	7.7	11.6	16.7	21.8	26.5	30.3	30.6	26.4	20.5	13.9	8.1	18.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-2	-1.2	0.9	4.8	8.6	12.3	15.3	15.1	10.9	6.7	2.6	-0.3	6.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.8	4.7	5.7	6.8	8.3	10.3	11.2	10.7	9.4	7	5.3	3.3	86.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.1	11.5	11	10.2	10.9	6.6	2.9	2.3	3.7	6.5	7.9	12.5	99.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	80.8	67.7	59.2	52.4	56.8	33.6	13.5	12.1	18.3	37.7	45.2	86.7	564
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	17.6	22.5	26.8	29.5	33	36.2	42.3	41.2	37.1	32.2	25.4	20	42.3
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19.2	-21	-18.5	-7.7	-1.2	4.3	4.9	7	-0.8	-4.2	-11.5	-15.4	-21
İÇEL (MERSİN)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	10.2	11.1	13.8	17.5	21.3	25	27.8	28.3	25.8	21.4	16.1	11.8	19.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.6	15.5	18.1	21.6	24.9	28.1	30.7	31.5	30	26.7	21.5	16.5	23.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	6.3	6.9	9.2	12.9	16.8	20.9	24	24.3	20.9	16.3	11.5	7.8	14.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.8	5.6	6.8	7.6	8.5	9.8	10	9.8	9.1	7.6	5.8	4.7	90.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.6	9.2	7.6	6.6	5.1	2.2	0.9	0.8	1.7	4.9	6.6	10.4	66.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	116.7	85.1	55.2	34.7	23.4	9	6.8	4.1	8.8	38.5	78.4	136.6	597.3
Ölçüm Periyodu (1940 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.2	26.5	29.8	34.7	36	40	38.1	39.8	39	37.5	31	27	40
En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.3	-6.6	-2.2	0.6	7	12	16.1	15	11	2.7	-3.3	-3	-6.6
İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6	6.1	7.7	12	16.7	21.4	23.8	23.8	20.1	15.7	11.7	8.2	14.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.5	9	11	15.5	20.1	24.7	26.7	26.9	23.8	19.2	14.9	10.9	17.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.2	3.1	4.3	7.7	12.2	16.6	19.5	20.2	16.9	13	9	5.5	10.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.9	3.6	4.6	6.4	8.7	10.5	11.4	10.5	8.2	5.6	4	2.7	79.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17.3	15	13.7	10.2	8	6.2	4.3	5	7.7	11.2	12.9	16.9	128.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	105.5	77.8	71.9	45.6	34.4	36.3	34.1	39.6	64.6	87.1	102.2	123.9	823
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22	24.7	29.3	33.6	34.5	40.2	41.5	40.5	39.5	34.2	27.8	25.5	41.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-13.9	-16.1	-11.1	-2	1.4	7.1	10.5	10.2	6	0.6	-7.2	-11.5	-16.1

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	8.7	9.5	11.6	15.8	20.8	25.5	28	27.6	23.6	18.7	14.1	10.4	17.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.4	13.6	16.2	20.9	26.1	30.7	33.2	32.9	29.1	23.9	18.5	14	22.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.7	6.2	7.6	11.1	15.4	19.8	22.4	22.3	18.6	14.5	10.7	7.5	13.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.3	5.2	6.4	7.9	9.8	11.6	12.3	11.9	10.1	7.6	5.6	4.2	96.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.6	10.8	9.3	7.9	5.4	2.2	0.4	0.5	2	5.4	8.8	12.7	78
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	132.7	102.2	76.1	45.4	31.1	9.9	1.7	2.9	13.6	43.8	92.9	143.1	695.4
Ölçüm Periyodu (1938 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.4	27	30.5	32.5	37.6	41.3	42.6	43	40.1	36	30.3	25.2	43
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8.2	-5.2	-3.8	0.6	4.3	9.5	15.4	11.5	10	3.6	-2.9	-4.7	-8.2
KARS	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1931 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-10.3	-8.6	-2	5.5	10.3	14	17.6	17.7	13.5	7.3	0.4	-6.5	4.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-5	-2.9	2.8	11.3	16.8	21	25.5	26.3	22.2	15	6.7	-1.5	11.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-16.4	-15	-8.4	-0.7	3.9	6.6	9.9	9.7	5.3	0.5	-4.8	-12	-1.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.3	5.2	6	7.3	9.3	10.4	10.2	8.5	6.4	4.6	3.2	78.6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.7	10.3	11.5	13.2	18.1	14.7	10.4	8.7	7.1	9.6	8.6	10.1	133
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	21.3	22.1	29.7	50.8	81	77.6	58.1	43.4	28.5	41.4	26	22.8	502.7
Ölçüm Periyodu (1931 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.4	12	19.1	25	27	31.6	35.4	35.4	32.6	26.8	21.2	15.9	35.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-36.7	-37	-31.5	-23	-7	-4	0.1	-1.9	-4.4	-17.5	-30	-35	-37
KASTAMONU	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1	0.7	4.3	9.6	14.2	17.6	20.3	20	15.7	10.7	5.1	0.8	9.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	3.1	6	10.9	16.6	21.2	24.7	27.8	28.1	23.9	18.1	10.9	4.8	16.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.6	-3.5	-0.9	3.4	7.6	10.4	12.3	12.2	8.9	5.2	0.9	-2.5	4.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.4	3.7	4.6	5.8	7.3	8.6	9.9	9.6	7.4	5.6	3.8	2.1	70.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.4	11.4	12.1	12.9	14.6	11.9	6.4	5.7	6.6	9.1	9.7	12	124.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	29.8	27.1	35.3	51.4	74.6	71.4	32.4	30.9	30.6	35.4	29.1	33.9	481.9
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	17.3	21.1	27.8	31.4	35.1	37.5	42.2	40.2	36.5	32.5	24.7	21.1	42.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-26.9	-22.3	-19.7	-8.5	-3.6	0.2	3.8	0.9	-1.5	-7.5	-19.3	-23.7	-26.9
KAYSERİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1931 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.7	0.2	4.8	10.6	15.1	19	22.3	22	17.4	11.8	5.5	0.6	10.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.1	6.2	11.5	17.7	22.5	26.9	30.7	30.8	26.6	20.4	13	6.4	18.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.8	-5.2	-1.4	3.2	6.8	9.8	12	11.5	7.4	3.5	-0.9	-4.4	3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.1	4	4.8	6.2	8.3	10.4	11.9	11.4	9.1	6.7	4.8	3	83.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.7	11.6	13	12.6	13.1	8.5	2.2	1.8	3.7	7.5	8.9	12.1	107.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	35.7	35.9	42.6	51.5	51.9	40.1	9.3	6.6	13.6	28	32.3	37.5	385
Ölçüm Periyodu (1931 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18	22.6	28.6	31.2	33.6	37.6	40.7	40.6	36	33.6	26	21	40.7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-32.5	-31.2	-28.1	-11.6	-6.9	-0.6	2.9	1.4	-3.8	-12.2	-20.7	-28.4	-32.5

KIRKLARELİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.9	4.2	7	12.2	17.4	21.6	24	23.5	19.3	13.9	9.1	5	13.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.7	8.4	12.1	18	23.5	28	30.6	30.6	26.1	19.8	13.7	8.6	18.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	0	0.9	3	7.2	11.6	15.5	17.7	17.6	14	9.7	5.7	2.1	8.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.3	4.6	6.2	8.1	8.7	9.6	9.4	7	4.9	3.4	2.3	70.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.1	9.2	9.5	10.2	10	8.6	4.9	3.7	4.9	7.1	8.6	11.3	99.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	61.9	51.2	49.1	44.8	49.4	49	26.6	20.8	33.7	54	67	70	577.5
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.6	23.1	25.7	31.5	36	40.4	42.5	40.4	37.2	37.4	33.4	21.3	42.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-15.8	-15	-11.8	-3	1.4	5.8	8.8	8.7	3	-3.4	-7.2	-11.1	-15.8
KIRŞEHİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.2	1.4	5.3	10.7	15.5	19.7	23.1	23	18.5	12.6	6.5	2	11.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.5	6.6	11.3	17.2	22	26.2	29.8	30	26	20	13	6.8	17.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.3	-3.2	-0.2	4.4	8.6	12.3	15.6	15.5	11	6	1.1	-2	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.1	4.1	5.1	6.6	8.6	10.6	11.8	11.2	9.3	6.9	5.1	3.1	85.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.9	10.3	10.7	10.4	11.4	7	1.9	1.4	3	6.3	8	11.8	94.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	48.5	35.1	39.6	41.6	45.1	34	8.3	7.1	12.6	27	36.5	48.3	383.7
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19	20.6	28	30.9	34.5	36.2	40.2	39.4	37.8	33.6	26.2	19.9	40.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-28	-25.3	-21.8	-8.2	-1.4	2.6	5.1	5	-1.2	-6.6	-21.5	-24.3	
KOCAELİ(İZMİT)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.2	6.9	8.8	13.2	17.7	21.9	23.9	23.8	20.4	16.1	12	8.3	14.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.6	10.5	13.2	18.5	23.3	27.4	29.5	29.7	26.1	20.9	16.4	11.7	19.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.1	3.4	4.8	8.5	12.8	16.5	18.9	19.1	15.9	12.4	8.6	5.3	10.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3	4	5.7	7.3	8.9	9.6	9.1	7.1	4.8	3.6	2.6	68.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17.1	14.9	13.8	11.3	9.8	8.2	5.7	5.1	7.2	11.5	12.3	16.3	133.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	93.7	71.7	72.6	53.7	49.3	54	38.5	44.4	54	89.4	81.6	114	816.9
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24.9	26.7	30.8	35	37.2	40.7	44.1	42.9	40.2	36.2	29.1	26	44.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-13.1	-18	-6.5	-1	1.8	4	10.1	10.9	4.9	2.4	-3.4	-8.8	
KONYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.2	1.4	5.6	11.1	15.8	20.1	23.5	23.2	18.5	12.5	6.3	1.7	11.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.6	7	11.8	17.5	22.3	26.6	30.1	30.2	26	20	13	6.6	18
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.2	-3.3	-0.2	4.3	8.6	12.6	15.8	15.6	10.9	5.9	0.8	-2.4	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.3	4.7	5.9	7.1	8.9	10.6	11.6	11.2	9.5	7.2	5.3	3.2	88.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.9	8.4	8.8	9	10.6	6.6	2.2	1.5	3.1	6.1	6.6	10	82.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	37.6	28.5	28.9	31.9	43.6	25.5	6.3	4.6	12.3	30	32	42.1	323.3
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	17.6	23.8	28.9	31.5	34.4	37.2	40.6	39	36.1	31.6	25.4	21.8	40.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-28.2	-26.5	-16.4	-8.6	-1.2	1.8	6	5.3	-3	-8.4	-20	-26	-2
KÜTAHYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık

Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.3	1.7	5	10	14.5	18.2	20.8	20.7	16.7	11.8	6.8	2.4	10.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.6	6.6	10.8	16.3	21.2	25	28.1	28.4	24.5	19	12.7	6.6	17
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.3	-2.4	-0.2	3.9	7.8	10.8	13.1	13	9.1	5.6	1.9	-1.2	4.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.4	3.4	4.6	6.2	7.6	9.4	10.4	9.7	7.7	5.2	3.6	2.2	72.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.6	13.2	13.1	11.5	12.1	8.1	3.9	3.3	4.7	8.3	10	14.2	117
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	71.8	59.2	57.5	50.5	56.2	38.4	18.6	16.1	23	40.8	49.5	78.2	559.8
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	17.1	24.2	27	30.2	33.8	36.2	39.5	38.8	36.1	31.6	25.4	21.7	39.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-26.3	-27.4	-16.6	-7.8	-2.8	0.5	2.6	-0.2	-3.9	-6.9	-11	-28.1	

MALATYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.3	1.4	6.7	12.9	17.9	23	27	27	22.4	15.5	7.9	2.1	13.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	3.1	5.4	11.6	18.4	23.9	29.5	33.9	33.8	29.1	21.3	12.5	5.4	19
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.4	-2.1	2.2	7.5	11.9	16.2	19.9	19.9	15.5	9.9	3.9	-0.8	8.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.4	4.4	5.6	7.2	9.3	11.6	12.6	11.9	10.1	7.5	5.3	3.1	92
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.8	10.5	10.9	10.6	10.1	4.7	1	0.8	2.1	6.7	8.6	10.8	87.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	42.1	40.1	48.8	54.3	45.2	17.2	2.2	1.8	6.6	35.7	41.7	40.3	376
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	15.4	20.3	27.2	33.7	36	40	42.5	41.9	38.8	34.4	25	18	42.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19.5	-21.2	-13.9	-6.6	0.1	4.9	10	9.3	3.2	-1.2	-12	-22.2	

MANİSA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.6	7.8	10.5	15.1	20.3	25.1	27.9	27.6	23.3	17.8	12.1	8	16.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.8	12.6	16.2	21.4	27	32.1	34.9	34.8	30.6	24.3	17.5	12.2	22.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2.9	3.7	5.3	8.9	13.3	17.5	20.3	20.3	16.1	11.7	7.4	4.4	11
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.8	3.8	5.4	6.6	8.5	10.6	11.3	10.7	9	6.6	4.2	2.5	82
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.2	11.1	10	9	6.8	3.3	1	0.8	2.3	5.8	9.4	13.7	86.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	124.6	107.2	78.5	55.6	39.7	17.6	5.9	5.4	16.4	50.9	89.4	136.7	727.9
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24	26.4	33.5	34.7	39.5	42.4	45.5	44.5	40.3	37.3	29.9	26.4	45.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-17.5	-10.9	-6.7	-2.7	2	7.4	10.5	8.5	3.3	-0.9	-7.3	-9.9	

K.MARAŞ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.9	6.6	10.8	15.5	20.3	25.2	28.4	28.5	25.3	19.1	11.7	6.8	16.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.2	11	15.9	21.2	26.7	31.9	35.5	35.9	32.5	26	17.8	11.1	22.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.3	2.4	5.7	9.8	13.9	18.6	21.9	22	18.2	12.8	7	3.2	11.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.3	4.1	5.5	6.7	8.1	10	10.5	9.8	8.7	6.6	4.6	3.3	81.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.1	11.3	11.1	9.9	7.4	2.2	0.4	0.4	1.9	5.9	7.6	10.8	80
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	129.6	109.9	96.3	72.8	41.9	7.4	1.1	0.9	8.9	47.9	81.7	127	725.4
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.7	25.3	29.8	36	38	42	45.2	44.4	42.5	37.2	29.6	23.1	45.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-9	-9.6	-7.6	-1.8	4.7	4.9	4.8	7	2.4	0	-4.4	-7.6	

MARDİN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1941 - 2018)													

Ortalama Sıcaklık (°C)	3.1	4.2	8	13.5	19.5	25.7	30	29.7	25.2	18.4	10.9	5.3	16.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5.7	7.3	11.6	17.3	23.9	30.5	35	34.7	30	22.8	14.4	8	20.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	0.5	1.3	4.6	9.7	15	20.2	24.5	24.6	20.7	14.5	8	2.8	12.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.5	5.1	6	7.3	9.7	12.2	12.4	11.5	10.3	7.7	5.9	4.3	96.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12	10.6	11.5	10.3	7.3	1.5	0.5	0.2	0.7	5.1	7.6	10.8	78.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	116.7	103.7	96.4	82	45.8	4.5	1.3	0.5	1.9	33.2	71.1	110.7	667.8
Ölçüm Periyodu (1941 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.4	19.5	27.5	33.6	35.4	40	42.5	42	39.3	35.6	26.1	24.1	42.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-13.4	-14	-11.7	-5.3	2.6	5	11.8	12.8	8	-2.5	-9.5	-11.9	-1

MUĞLA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1928 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.4	6.2	8.5	12.6	17.6	22.8	26.2	26	21.6	16	10.7	7	15
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.8	10.9	14.1	18.8	24.2	29.5	33.4	33.5	29.2	23	16.6	11.5	21.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.6	1.9	3.5	7	11.4	16.1	19.6	19.6	15.2	10.2	5.9	3.2	9.6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.6	4.6	5.9	7.4	8.8	10.7	11.5	11	9.6	7	4.9	3.4	88.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.8	12.4	10.5	8.7	7.5	3.4	1.5	1.4	2.6	6.4	9.7	14.5	93.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	241.9	178.5	124.4	64.1	50.8	22	8.4	9.1	18.9	73.4	138.7	265.4	1195.6
Ölçüm Periyodu (1928 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.9	25.5	28.8	31.2	36	40.8	42.1	41.2	38.8	36.1	29	21	42.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-12.6	-9.9	-8.5	-3.6	1	6.7	10.5	9	5.6	0.1	-7	-9	

MUŞ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1964 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-7.3	-5.8	1	9	14.7	20	25	24.9	20	12.7	4.6	-2.8	9.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-3.1	-1.2	5.9	14.7	21.2	27.4	33	33.1	28.3	19.8	9.8	0.9	15.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-10.8	-9.6	-2.9	4.2	8.8	12.6	17	16.9	12.2	6.8	0.5	-6	4.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2	3	4.6	6.4	8.7	11.3	12	11.5	10	6.8	3.9	1.9	82.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.6	12.3	14.2	14.5	14.2	6.4	2	1.5	3.1	9.4	10	12.6	113.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	90.3	98.7	103.7	104.5	68.8	27.5	6.5	3.6	14	64.8	89.1	91	762.5
Ölçüm Periyodu (1964 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.2	15	22.8	30	31.2	37.4	41.6	41.2	37	30.6	21.6	16	41.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-32.6	-34.4	-31.4	-10.2	-2.4	2.2	3.6	8	2	-3	-25.8	-32	

NEVŞEHİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.3	1	5	10.1	14.4	18.2	21.3	21.2	17.3	12.1	6.4	1.8	10.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	3.8	5.4	10.2	15.9	20.5	24.8	28.4	28.5	24.4	18.2	11.7	6	16.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.8	-2.7	0.6	5	8.7	11.5	13.5	13.3	10.2	6.6	2.3	-1.6	5.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.1	5.3	6.7	8.4	10.6	11.9	11.4	9.5	6.5	4.7	3.1	85.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.5	12.3	13.1	12.7	13.1	7.9	2.4	1.7	3.4	7.3	8.9	12.4	107.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	43.3	40.9	47	49.5	57.8	34.1	8.3	4.5	12.1	30.4	35.1	49.8	412.8
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.6	19.6	28	31.6	32.6	35	39.5	38.2	35.7	32	27.6	23	39.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-21.2	-23.6	-18	-12.5	-2.3	1.3	3.8	3.1	-1.2	-7.6	-14	-19.5	

NİĞDE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1935 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.4	1.1	5.1	10.6	15.2	19.4	22.7	22.5	18	12.2	6.2	1.7	11.2

Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.8	6.4	10.9	16.7	21.4	25.7	29.4	29.6	25.6	19.6	12.9	7	17.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.6	-3.4	-0.2	4.4	8.4	11.9	14.8	14.5	10.4	5.9	1.1	-2.6	5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.7	4.9	5.9	7.1	8.6	10.6	11.7	11.4	9.9	7.4	5.4	3.7	90.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.9	10.4	11.3	11.1	11.9	6.9	1.8	1.5	2.9	6.6	7.5	10.8	93.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	35.2	33	35.8	42	49	27.4	4.4	5.4	9.8	27	31.1	41.3	341.4
Ölçüm Periyodu (1935 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.6	20.5	26.4	30.8	33	35	38.5	37.8	35.1	32	25	21.2	38.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-25.6	-24.2	-23.9	-6.9	-2.6	3.5	6.6	6.5	-0.7	-6.2	-19.5	-24	-25

ORDU	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.8	6.9	8.1	11.5	15.8	20.4	23.1	23.3	20	16	11.9	8.8	14.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.8	11	12.2	15.2	19.2	24.1	26.8	27.4	24.3	20.2	16.4	13	18.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.9	3.9	5.2	8.3	12.5	16.6	19.5	19.9	16.8	12.9	8.7	5.8	11.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.1	3.4	4.4	5.6	7.1	6.3	6.1	5.2	4.1	3.5	2.5	53.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.3	13.9	15.3	14.4	13.4	11.1	9.7	9.8	11.9	14.3	13	14.5	155.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	98.7	78.5	79.6	68.2	56.2	74.4	64.5	67.1	80.2	131.8	125	114.2	1038.4
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.8	28.3	32.8	36.8	35.6	37.3	37.1	36.3	36.4	34.2	32.4	29.7	37.3
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.2	-6.7	-4.7	-1.4	3.4	8.4	12.6	13	8.2	2.5	-1.5	-3.2	

RİZE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1928 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.7	6.6	8	11.6	16.1	20.2	22.8	23.1	20	16.1	12	8.7	14.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.6	10.7	11.9	15.4	19.4	23.5	25.9	26.4	23.9	20.3	16.4	12.8	18.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.8	3.6	4.9	8.3	12.7	16.6	19.6	20	16.9	13	9	5.7	11.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	3.1	3.7	4.6	5.6	6.7	5.4	5.3	5	4.2	3.1	2.2	51.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.8	14.2	15.6	14.6	14.2	13.9	13.6	14.2	14.6	14.9	13.5	14.2	172.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	234.1	185.8	161.3	95.9	96.3	133.1	152.1	194.6	253.1	294	256.9	238.9	2296.1
Ölçüm Periyodu (1928 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24	28.1	32.6	35.8	38.2	36.1	35.4	35.6	34.6	33.8	30.4	26.7	38.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.5	-6.6	-7	-2.8	4	7.8	12	13.4	4.6	2.5	-2.6	-4	

SAKARYA(ADAPAZAR I)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1951 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.1	6.7	8.6	13	17.4	21.6	23.5	23.3	19.6	15.4	11.5	8.2	14.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.7	11.1	13.8	19	23.5	27.6	29.4	29.4	26.3	21.3	16.7	11.8	20
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2.9	3.3	4.6	8.1	12.3	15.8	17.9	17.9	14.4	11	7.5	4.9	10.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.1	3.9	5.3	6.5	8.2	8.9	8.4	6.9	4.6	3.3	2.5	64.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.6	14	13.7	11.4	10.1	8.4	5.8	5.8	7.5	11	11.8	15.5	130.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	93.9	75.1	76.1	58.6	52.4	70.7	49.1	45.4	53.6	79	77.5	108.9	840.3
Ölçüm Periyodu (1951 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.8	28.7	31.9	35.8	38	40.4	44	41.8	40.7	38.6	30.2	28.5	44
En Düşük Sıcaklık (°C)	-14.5	-13.5	-7.3	-2.4	2	6.1	8.7	7.8	5.4	-0.2	-6.6	-9.1	-1

SAMSUN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													

Ortalama Sıcaklık (°C)	7	7	7.9	11.2	15.6	20.3	23.3	23.6	20.1	16.2	12.5	9.3	14.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.7	11	12.1	15.3	19.1	23.6	26.5	27.1	23.9	20.3	16.7	13	18.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4	3.9	4.6	7.8	12.1	16.1	19.1	19.6	16.5	12.9	9.3	6.3	11
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.7	3.2	3.6	4.7	6.2	8.3	8.8	8.2	6.3	4.6	3.7	2.7	63
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.5	13.6	15.2	13.5	12.6	9.2	5.9	6.3	9.6	12	12	13	136.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	71.6	58.7	66.4	57	48.3	45.2	34.4	37.3	54	78.7	83.5	82	717.1
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24.2	26.5	33.6	37	37.4	37.4	37.5	39	38.3	38.4	32.4	28.9	39
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8.1	-9.8	-7	-2.4	2.7	7.8	13.4	12.4	6.8	1.5	-2.8	-5	

ŞİİRT	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.7	4.2	8.3	13.8	19.3	26	30.6	30.1	25.1	18	10.4	4.8	16.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.6	8.8	13.3	19.2	25.2	32.2	37.1	37	32.2	24.4	15.4	8.7	21.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.6	0.5	4.1	8.9	13.6	19	23.4	23.2	18.7	12.7	6.3	1.6	11
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.6	4.5	5.5	6.5	8.9	11.6	12.1	11.4	9.9	7.2	5.2	3.6	90
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.4	12	14	13.1	10.3	3.3	0.6	0.6	1.6	7.2	9	11.5	95.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	96.3	97.2	110.3	104.2	63.1	8.6	1.6	0.9	4.8	50.1	81.6	95.6	714.3
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.7	20.6	28.5	32.9	36.2	40.2	44.4	46	39.9	36.6	25.8	24.3	46
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19.3	-16.5	-13.3	-4.1	2	8.2	13.1	14.4	8.5	0.3	-6.6	-14.6	

SİNOP	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1936 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	7	6.7	7.4	10.5	14.9	19.7	22.8	23.2	20	16.2	12.5	9.2	14.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.7	9.6	10.5	14	18.2	23	25.9	26.3	23.1	19.2	15.5	12	17.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.5	4.1	4.9	7.9	12.1	16.7	19.8	20.3	17.3	13.6	9.9	6.7	11.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	3	3.9	5.4	6.8	9	9.8	8.9	6.9	4.8	3.4	2.3	66.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.3	13.4	13.6	11.1	10.1	7.7	5.2	6.1	8.9	12.3	12.6	15.4	131.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	72.8	51.6	52.7	38.2	34.9	34.6	32.6	40.7	67.4	86.9	83.7	90.5	686.6
Ölçüm Periyodu (1936 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.8	25	29.3	32	33.6	33.2	34.5	35.1	34	34	27.9	27.3	35.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.2	-7.5	-8.4	-0.4	-0.7	8.8	13.5	13.2	6.5	0.7	-1.2	-4.1	

SİVAS	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Son İklim Periyodu (1981 - 2010)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3	-2.2	3.1	9.2	13.6	17.4	20.4	20.5	16.5	11	4.3	-0.5	9.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	1.2	2.4	8.4	15.4	20	24.2	28.1	28.8	24.9	18.4	9.9	3.6	15.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.7	-6.3	-1.6	3.6	7.3	10.4	12.7	12.6	8.9	5	-0.3	-4	3.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.4	5	6.3	8.2	10.6	11.9	11.6	9.7	6.4	3.7	2.2	81.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.3	11.7	13.3	14.3	13.8	8.7	2.8	2.4	4.3	8.6	10.3	12.2	114.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40.2	40.9	47	64.2	58.8	34.8	10.3	5.9	16.7	41	48	44	451.8
Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.6	18.1	25.2	29	32	35.5	40	39.4	35.7	30.5	24	19.4	40
En Düşük Sıcaklık (°C)	-31.2	-34.4	-27.6	-11	-5.5	-0.6	3	3.2	-3.8	-9	-24.4	-30.2	

TEKİRDAĞ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.7	5.4	7.3	11.8	16.8	21.3	23.8	23.8	20	15.4	11	7.1	14

Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8	8.9	11	15.8	20.6	25.3	28	28.2	24.4	19.5	14.7	10.3	17.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.9	2.4	4.1	8.1	12.7	16.6	19	19.3	16	12	8.1	4.2	10.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.7	3.3	4.2	5.8	7.6	8.9	9.8	8.9	7.3	4.8	3.3	2.5	69.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.4	10.6	10.8	9.3	8.2	7.1	3.7	2.4	4.6	7.6	9.5	12	98.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	68.9	54.6	54.7	40.5	36.5	38.3	23.7	13.1	33.4	62.2	75	82	582.9
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	23.9	24.7	28.1	34.3	33.8	36.9	38.4	37.5	39.7	35.1	27.9	23.5	39.7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-13.5	-13.3	-10.4	-1.2	2.7	8.6	10.9	11	3.7	-1.8	-7.8	-10.9	

TOKAT	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	1.9	3.6	7.6	12.5	16.5	20	22.4	22.5	18.9	13.7	7.9	3.8	12.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.1	8.4	13.2	19.1	23.5	26.9	29.1	29.8	26.6	20.7	13.7	7.8	18.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.7	-0.6	2.5	6.6	10.1	13.1	15.5	15.7	12.2	8.2	3.4	0.3	7.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.7	3.7	4.8	6.3	7.3	8.2	8.7	9.3	8.4	5.9	4.2	2.4	71.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.8	10.2	11.8	12	13.2	8.5	2.8	2.3	4.7	7.8	9	11.3	104.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40.9	33	41.2	53.3	59.3	39	11	5.4	17.9	39.2	43.3	47.1	430.6
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.2	22.8	31.1	35.1	36.4	39.8	45	40.8	38.9	35.3	30.8	23	45
En Düşük Sıcaklık (°C)	-23.4	-22.1	-21.2	-6.3	0	2.7	6.1	6.7	2.4	-3.2	-11.8	-21	

TRABZON	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.3	7.3	8.4	11.7	16	20.3	23.1	23.5	20.3	16.6	12.8	9.5	14.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.7	10.8	11.9	15.5	19.1	23.1	25.9	26.5	23.7	20	16.5	12.9	18.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.6	4.3	5.4	8.7	12.9	17	19.9	20.4	17.3	13.6	10	6.7	11.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.7	3.3	3.4	4.4	5.5	7.1	5.9	5.6	4.9	4.5	3.7	2.7	53.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.5	12.4	13.3	12.9	12.8	10.8	8	8.8	11.2	12.6	12.1	12.7	140.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	82.4	63.7	58.7	56.8	51.8	50.1	35.4	44.9	79.5	115	98.9	83.5	820.7
Ölçüm Periyodu (1927 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.9	30.1	35.2	37.6	38.2	36.7	37	38.2	37.9	33.8	32.8	27	38.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7	-7.4	-5.8	-2	4.2	9.2	11	13.5	7.3	3.4	-1.6	-3.3	

TUNÇELİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1960 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.9	-0.1	5.7	11.9	16.9	22.4	27.2	27	21.8	14.7	6.9	1	12.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2.9	5	11.3	18.1	23.9	30	35.1	35.4	30.6	22.7	13.5	5.6	19.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-5.6	-4.2	1	6.2	10.2	14.5	18.9	18.5	13.3	8.2	2	-2.4	6.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.4	4.3	5.4	6.6	8.4	10.8	11.5	10.8	9.2	6.6	5	3.1	85.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.9	11.9	13.1	13.6	12.5	5.2	1.5	1.2	2.7	8.4	9.5	11.8	103.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	125.6	107.4	111.9	105.8	72.4	18.6	3.2	2.7	14.4	64.4	100.7	130.8	857.9
Ölçüm Periyodu (1960 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.2	19.4	26	32.2	36.6	39	43.5	43.5	40.3	35.6	27	21.7	43.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-30.3	-29	-24.7	-7.1	-0.1	1	9.2	7.7	2.6	-4	-16.4	-25.6	

ŞANLIURFA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.5	7	10.8	16.1	22.1	28.1	31.9	31.3	26.8	20.2	12.8	7.5	18.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.9	11.9	16.4	22.3	28.6	34.6	38.7	38.3	33.9	27	18.7	12	24.4

Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2	2.9	5.8	10.3	15.2	20.5	24.2	23.9	19.9	14.5	8.4	3.9	12.6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.1	5.1	6.4	7.8	10	12.1	12.3	11.4	10	7.9	5.9	4	97
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12	10.6	10.3	8.8	6.1	1.4	0.3	0.2	0.8	4.8	7.5	10.7	73.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	87.7	69.2	62.1	49.4	26.1	3.5	0.6	0.6	2.5	24.6	44.9	80.1	451.3
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	21.6	25.5	29.5	36.4	40	44	46.8	46.2	42.1	37.8	30.8	26	46.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-10.6	-12.4	-7.3	-3.2	2.5	8.3	15	16	10	1.9	-6	-6.4	

UŞAK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.3	3.3	6.1	10.9	15.6	19.9	23.4	23.4	19.1	13.6	8.2	4.1	12.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.8	8.2	11.7	16.8	21.8	26.5	30.3	30.5	26.2	20.2	14	8.7	18.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.3	-0.6	1.3	5.2	9.2	12.6	15.4	15.6	11.9	7.9	3.8	0.6	6.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.8	4.4	5.4	6.7	8.7	10.8	11.6	11.1	9.4	7.2	5.2	3.6	87.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12	10.7	10.5	10	9.5	5.2	2.5	1.8	3.1	6.4	7.9	12.3	91.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	74.3	65	58.5	50.1	49	27.8	14.9	10.6	16.7	40.7	58.4	81.3	547.3
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.3	23.6	27	30	32.1	36.6	40.2	38.2	36.5	32.6	26	21.8	40.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19.9	-15	-12.5	-6.2	-1	2.9	7.4	6.8	2	-4.8	-11.8	-18.9	

VAN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3.1	-2.6	1.6	7.7	13.1	18.2	22.3	22.2	17.8	11.3	4.9	-0.5	9.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	1.9	2.6	6.5	12.8	18.5	23.9	28.2	28.5	24.3	17.3	10.2	4.4	14.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.6	-7.2	-2.9	2.6	7	10.8	14.6	14.6	10.7	5.6	0.3	-4.7	3.6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.6	5.4	6	7.3	9.3	11.7	12.1	11.4	9.8	7.1	5.5	4.2	94.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.1	9.9	12.2	12.3	11.1	5.2	2	1.3	2.4	8.4	9	9.8	93.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	34.6	33.5	46.6	55.7	46.3	18.1	5.3	3.7	13.4	47.1	46.8	36.6	387.7
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.6	14.3	22.7	27.2	28.3	33.5	37.5	36.7	34	28.8	20.1	15.4	37.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-28.7	-28.2	-22.7	-17.5	-3.5	-2.6	3.6	5	0.9	-14	-20.5	-21.3	-28

YOZGAT	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.9	-0.8	2.9	8.4	13.1	16.8	19.6	19.7	15.6	10.4	4.8	0.5	9.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2	3.6	8	14	18.8	22.6	25.9	26.3	22.6	16.9	10.3	4.4	14.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-5.4	-4.6	-1.5	3.2	7.4	10.4	12.9	13	9.4	5.3	0.7	-2.8	4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3	4.2	5.3	6.5	8.1	9.9	11	10.7	8.9	6.6	4.8	3	82
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.6	12.7	13.3	12.8	13.5	8.9	3	2.3	3.9	7.3	8.9	13.3	113.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	67.1	59.7	66	58.8	67.8	43.3	11.8	7.9	16.5	34.8	53.5	75.3	562.5
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	15.4	18.5	25	29.5	30.9	33.1	38.8	37.2	34.6	30.1	22.9	18.2	38.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-23.7	-24.4	-20.6	-12.6	-3	-0.4	3	3.7	-2.4	-6.8	-18.5	-20.2	

ZONGULDAK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.1	6.2	7.4	11.2	15.4	19.6	21.9	21.9	18.7	15.1	11.6	8.3	13.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.2	9.5	10.9	14.9	18.8	23	25.1	25.3	22.4	18.6	15.2	11.5	17
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.4	3.4	4.5	8	12.1	15.8	18	18.2	15.4	12.2	8.8	5.6	10.5

Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.2	2.8	3.9	5.4	6.9	9.4	10.2	9.5	7.4	5	3.4	2.3	68.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	18.1	15.9	15.3	12.1	10.8	8.7	6.7	6.9	8.5	12.4	13.8	17.5	146.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	137.5	97.4	98	63.9	53.6	71.3	67.8	83.7	103.8	145.8	142.2	152.8	1217.8
Ölçüm Periyodu (1939 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24.1	26.7	31.7	33.6	36.7	40.5	39.5	39.8	36.2	35.9	29.9	28.1	40.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.7	-8	-6.4	-2.1	3	8.8	11.2	10	5.9	1.8	-3.2	-7.4	
AKSARAY													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.4	2.2	6.6	11.6	16.1	20.2	23.6	23.3	19	13.3	7.1	2.4	12.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5.4	7.4	12.5	18	23	27.1	30.6	30.7	26.6	20.9	13.7	7.6	18.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.7	-2.3	1.3	5.5	9.6	13	16.1	15.8	11.2	6.7	1.9	-1.5	6.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.5	5.8	7.2	9.1	11.2	12.2	11.7	9.9	7.1	5.1	3.2	90.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.9	10	10.6	10.6	10.5	6.1	1.5	1.4	2.7	5.7	7.3	10.6	86.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	39.2	33.1	40.9	45.4	41.9	25.6	5.8	3.9	8.2	25.9	32.1	44.5	346.5
Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.2	21.8	29	31.8	33.8	36.9	40	38.4	37.3	34.5	35	21.6	40
En Düşük Sıcaklık (°C)	-26.4	-29	-19	-7.5	-0.2	2.9	6.8	5.9	1	-6	-14	-21.9	
BAYBURT													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-6.3	-4.9	0.4	7.1	11.8	15.5	19.2	19	14.8	9.3	2.6	-3.2	7.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-1	0.5	5.8	13.1	18.2	22.7	27.1	27.6	23.5	16.7	8.7	1.7	13.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-10.6	-9.4	-4.2	1.7	5.7	8.3	11.2	11	7.3	3.5	-1.8	-7.1	1.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	NaN
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.3	10.8	12.7	13.8	16	10.7	5	4.4	5	8.9	9	11	118.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	27.3	27.2	40.8	61.8	71.8	50.5	20.2	13.9	20.5	44.3	33.6	29.9	441.8
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.5	13.9	21.2	25.3	29.6	32.9	37	37.2	33.7	28.8	20	18.2	37.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-31.3	-27.6	-28.3	-12.7	-4.4	-1.6	0.2	2.4	-2.1	-10.6	-23.6	-29	
KARAMAN													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1951 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.5	1.9	6.3	11.5	16	20.2	23.4	22.9	18.7	12.9	6.9	2.5	12
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5.5	7.3	12.5	18.2	23.2	27.7	31.1	31	27.1	20.6	13.6	7.5	18.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.8	-2.7	0.5	5	8.8	12.4	15.2	14.6	10.3	5.7	1.1	-1.8	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.5	4.7	6.4	8	9.9	11.8	12.8	12.1	10.3	7.6	5.5	3.5	96.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.2	9.4	9.1	8	8.6	5.2	1.5	1.1	1.9	5.6	6.6	10.1	77.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	41.4	34.7	37	36.1	36.5	22.4	4.3	3.9	7.5	28	33.4	46.5	331.7
Ölçüm Periyodu (1951 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	21.2	22.1	28.7	32.3	34.4	37.5	40.4	39	37.9	33.2	25.8	22.2	40.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-26.8	-28	-20.2	-8.3	-3.1	3.1	6.4	3.6	-1	-8.5	-21.2	-26.1	
KIRIKKALE													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1963 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.4	2.4	7	12.2	16.9	21.3	24.7	24.3	19.7	13.6	7	2.5	12.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.2	7.1	12.7	18.3	23.1	27.6	31	31	27	20.6	12.7	6.1	18.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-2.9	-1.7	1.6	6.1	10.2	13.8	16.8	16.5	12.2	7.4	2.2	-0.7	6.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.7	4.3	5.6	7.1	8.6	10.5	11.6	11	9.1	6.6	4.4	2.4	83.9

Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.8	10.5	10.5	11.5	11.8	8.3	3.1	2.8	3.7	6.8	8.3	10.7	99.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	43.8	31.3	36.4	44	53.5	36.7	10.5	10.1	13.6	28.9	32	44.4	385.2
Ölçüm Periyodu (1963 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	17	21.4	30.4	32	34.4	37.6	41.8	40.3	38.2	33	24.8	19	41.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-22.4	-21.6	-19.8	-6.8	0.4	4.6	7.4	7.2	2.7	-5	-9.7	-18	
BATMAN													
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.6	5	9.6	14.6	19.8	26.6	31.2	30.2	24.9	17.7	9.8	4.6	16.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7.6	10.6	15.9	21.7	27.7	34.9	39.2	39.2	34.5	26.6	17	9.6	23.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.5	0	3.7	7.9	11.5	16	20.3	19.8	15.1	10.1	4.1	0.4	8.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.6	5.6	7.3	9	11.5	11.9	11.2	9.8	6.9	5.2	3	89.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.1	10.4	11.7	11.5	8.5	2.3	0.4	0.4	1.1	5.9	7.6	10.2	81.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	61.2	66.8	75	72.8	47.3	7.1	0.6	0.6	3.7	33.3	55	66	489.4
Ölçüm Periyodu (1959 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.6	24.6	30.6	35.8	42	45.1	48.8	46.2	43.8	37	36.6	23	48.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24	-22.2	-17	-9	0.9	5	11.8	11.5	4.1	-3	-7.6	-23	
ŞIRNAK													
Ölçüm Periyodu (1970 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.3	3.5	7.4	12.4	17.9	24.4	28.9	28.7	24.3	17.1	9.6	4.4	15.1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5.9	7.2	11.3	16.4	22.3	29	33.6	33.4	29.1	21.3	13.4	7.9	19.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1	0.1	3.6	8.1	13.2	19.2	23.6	23.5	19.3	12.7	5.7	1.1	10.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.1	4.6	6	7.8	8.7	11.1	11.6	11.5	10.2	7.2	5.1	2.8	89.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.4	10	10.9	10.7	7.8	1.8	0.5	0.2	0.9	6	7.6	9.5	75.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	86.4	102.9	107.6	105.9	55.5	4.5	1.7	0.1	5	46.1	78.7	93	687.4
Ölçüm Periyodu (1970 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.1	17.3	24.8	29	31.4	36.8	40.4	39.5	37.1	31.3	22.6	22.5	40.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-14.5	-13.2	-11.2	-4.7	0.8	9.2	13.1	15	3.2	-0.5	-5	-10.8	
ARDAHAN													
Ölçüm Periyodu (1958 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-11.2	-9.8	-3.3	4.6	9.5	13	16.4	16.3	12.3	6.7	-0.1	-7.6	3.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-5	-3.3	2.7	10.8	16.1	20.1	23.9	24.6	20.7	14.3	6.3	-2	10.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-16.8	-15.9	-8.9	-1.2	3.2	5.8	8.8	8.5	4.3	-0.1	-5.5	-12.7	-2.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.4	4.7	5.1	6.3	7.9	8.3	8	7.1	5.1	3.7	2.4	64.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.6	9.8	11.6	13.7	17.1	15.5	11.5	11	7.7	9.8	9	9.8	136.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	19.8	20.5	31	51.2	83.6	93.7	69.9	62.6	35.3	37.5	27.9	22.8	555.8
Ölçüm Periyodu (1958 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	11	11	18.4	25	26.4	29.1	34.3	35	31.3	26	18.2	14	35
En Düşük Sıcaklık (°C)	-39.8	-38.7	-33.2	-22.2	-8.5	-4.5	-2.2	-2.8	-5.8	-15	-28.9	-36.3	
BARTIN													
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.1	4.9	7.2	11.3	15.7	19.9	22.1	21.8	17.8	13.7	9.2	5.9	12.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.1	10.5	13.3	18	22.2	26.1	28.2	28.3	25	20.5	15.8	11.1	19
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	0.3	0.6	2.5	6	10	13.5	15.7	15.7	12.2	8.8	4.6	2	7.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.2	3.2	4.2	5.8	7.2	9	9.8	9.3	7.4	5.1	3.5	2.3	69
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	16.3	14.6	14.1	11.9	10.4	8.9	6.9	6.4	8.7	12	13.1	17.3	140.6

Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	115.5	84.2	77.6	59	54	71.2	59.6	77.2	86.3	113.5	113.9	134.2	1046.2
Ölçüm Periyodu (1961 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	23.2	27.2	31.6	34.1	39.1	38	42.8	41.3	40.5	37.1	29	27.4	42.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-15.4	-18.6	-13.1	-4.5	-1.3	5.3	8	6.7	1.5	-3.2	-5.6	-10.6	

EK 5.2 İLLERİN VE BAZI İLÇELERİN AYLIK BAĞIL NEM DAĞILIMI %

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
ABANA	77	76	77	79	80	77	76	76	78	80	77	77
ADANA	66	64	65	68	67	68	71	71	65	62	66	68
ADİYAMAN	69	66	62	59	50	35	31	34	36	50	64	72
AFŞİN	79	75	69	61	59	52	46	48	53	64	74	79
AFYON	78	73	67	63	61	57	54	54	56	65	73	79
AĞRI	82	82	81	75	70	64	59	57	59	70	79	83
AKSARAY	70	66	61	58	56	51	47	46	49	58	66	71
AMASYA	68	62	58	58	57	55	54	55	57	62	67	70
ANKARA	76	71	65	62	59	55	49	48	52	62	72	78
ANTALYA	65	64	67	70	67	60	58	61	62	60	66	68
ARDAHAN	77	76	75	70	70	71	69	67	65	71	75	79
ARHAVİ	72	70	71	74	77	79	82	82	82	81	78	74
ARTVİN	64	63	61	60	63	66	70	71	67	66	64	65
AYDIN	70	67	65	63	57	49	51	56	57	62	68	73
AYVALIK	77	76	75	74	69	64	63	65	68	74	79	79
BALIKESİR	81	78	75	71	68	61	61	63	64	72	79	82
BARTIN	84	81	79	79	78	77	78	80	82	84	84	85
BATMAN	78	71	67	64	57	42	35	36	41	58	72	79
BAYBURT	72	71	67	61	60	58	54	54	53	62	69	73
BİLECİK	78	75	71	68	67	65	65	66	66	72	75	78
BİNGÖL	71	69	65	60	54	43	37	37	42	59	68	73
BİTLİS	77	77	75	70	64	55	51	53	55	67	75	79
BODRUM	64	63	63	63	59	52	50	54	56	61	65	67
BOLU	80	76	73	71	72	73	72	72	72	77	78	82
BOZKURT	80	80	80	80	81	80	79	79	80	82	79	80
BURDUR	74	69	65	62	58	51	46	46	51	59	70	77
BURSA	71	70	69	68	64	60	58	61	65	71	73	73
CİDE	74	72	72	75	76	74	75	76	77	77	74	72
ÇANAKKALE	84	81	81	81	78	73	69	70	74	78	83	84
ÇANKIRI	80	74	67	67	66	62	58	59	62	69	77	80
ÇATALZEYTİN	77	76	77	79	80	77	76	76	78	80	77	77
ÇORUM	78	73	68	67	67	64	61	62	63	69	75	79
DALAMAN	73	72	75	76	73	65	66	69	69	71	75	76
DATCA	65	63	64	63	60	54	52	53	54	61	66	68
DENİZLİ	73	70	67	63	57	49	48	50	54	63	70	76
DİYARBAKIR	75	70	67	65	56	38	29	30	35	52	68	76
DOĞANYURT	71	72	72	66	74	71	75	73	74	77	72	69

DURSUNBEY	74	72	69	66	64	60	59	61	61	68	73	76
DUZCE	81	75	72	71	71	70	72	73	74	78	79	81
EDİRNE	82	75	73	69	65	61	57	58	63	73	80	83
ELAZIĞ	75	72	66	60	55	43	36	36	41	59	72	76
ELBİSTAN	74	70	66	63	61	58	55	55	57	65	72	74
ERZURUM	78	77	75	67	63	59	54	51	54	66	75	79
ESKİŞEHİR	79	75	69	66	64	61	57	58	61	68	74	80
FETHİYE	66	63	64	65	62	57	57	59	60	63	67	68
GAZİ ANTEP	75	72	68	66	59	50	47	50	53	62	73	77
GİRESUN	71	71	74	79	80	79	79	77	78	77	72	70
GÖKOVA	73	71	73	73	68	59	57	60	62	68	74	76
GÖKSUN	79	76	73	69	66	59	54	56	61	69	76	81
GÜMÜŞHANE	71	68	65	63	64	64	64	64	63	68	71	72
HAKKARİ	71	71	67	60	54	44	39	37	38	54	64	72
HATAY	75	71	70	71	70	71	73	73	69	66	71	76
HOPA	66	67	72	75	79	78	80	80	78	76	69	63
İĞDIR	66	59	50	48	49	45	43	45	50	62	65	68
İNEBOLU	77	76	77	79	80	77	76	76	78	80	77	77
ISPARTA	71	68	65	63	59	53	49	51	56	62	69	75
İSTANBUL	79	76	75	74	74	70	71	74	75	80	79	80
İZMİR	71	69	67	64	60	53	51	54	58	64	70	73
K.MARAŞ	70	66	62	60	56	53	54	55	53	58	68	73
KARABÜK	73	68	64	64	59	58	59	61	61	65	71	75
KARAMAN	76	73	67	59	57	51	46	47	51	61	71	77
KARS	82	81	81	74	73	72	72	69	67	73	80	83
KASTAMONU	75	71	66	66	65	64	60	61	65	71	76	78
KAYSERİ	77	74	68	63	63	58	52	52	55	64	72	77
KELEŞ	69	67	64	63	59	57	55	54	56	62	66	71
KIĞI	66	64	62	59	54	49	45	44	46	57	65	68
KİLİS	68	64	61	57	49	46	50	51	48	49	60	70
KIRIKKALE	79	74	67	65	62	58	54	53	56	65	75	80
KIRKLARELİ	79	75	73	69	66	64	60	63	66	73	78	80
KİRŞEHİR	79	75	69	67	63	58	53	53	56	65	75	80
KOCAELİ	78	75	74	72	71	69	71	73	73	78	78	78
KONYA	76	71	63	58	56	48	42	43	46	58	71	78
KORKUTELİ	68	66	63	61	58	50	46	48	51	58	67	71
KÖYCEĞİZ	68	66	66	65	59	50	50	54	56	62	69	72
KÜTAHYA	71	68	63	60	58	57	56	57	58	63	68	73
MALATYA	73	68	61	55	51	41	35	35	40	56	70	75
MANİSA	75	70	67	64	56	47	45	48	53	63	73	78
MARDİN	66	63	60	54	43	34	29	30	33	47	58	68
MARMARİS	73	71	73	73	68	59	57	60	62	68	74	76
MERSİN	68	68	70	73	75	77	78	76	69	65	66	68
MERZİFON	77	73	69	66	67	67	64	65	65	69	74	77
MESUDİYE	77	74	72	69	70	70	68	71	71	73	76	78

MÍLAS	70	67	67	66	61	52	51	56	60	64	70	73
MUĞLA	76	73	71	69	63	53	49	51	56	65	75	80

REFERANSLAR

- [1] CHASE, M. W. Jr; DAVIES, C.A.; DOWNEY J. R.; FRUIP D. J. ; McDONALD R. A.; SYVERUD A.N., JANAF Thermochemical Tablos, Third edition, J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol 14, Suppl. 1, 1985
- [2] Ihsan Barin, Thermochemical Data of Pure Substances, VCH publishing, 1989, ISBN 3-527 27812-5
- [3] N.B. Vargaftick, Tablo of Thermophysical Properties of Liquids and Gases, 1975, Hemisphere Publishing
- [4] Robert C. Reid , John M. Prausnitz ; The Properties of Gases & Liquids , Mc-Graw Hill, Fourth edition, ISBN 0-07-0511799-1
- [5] LEMMON, E.W., MCLINDEN, M.O. and HUBER, M.L, NIST Standard Reference Database 23, NIST
- [6] MARX, V., PRUß, A. and WAGNER, W., *Neue Zustandsgleichungen für R 12, R 22, R 11 und R 113*, Beschreibung des thermodynamischen Zustandsverhaltens bei Temperaturen bis 525 K und Drücken bis 200 MPa, VDI-Fortschritt-Ber. Series, **19**(1992), No. 57, Düsseldorf: VDI Verlag
- [7] MCLINDEN, M.O. and WATANABE, K., *International collaboration on the thermophysical properties of alternative refrigerants*, Results of IEA Annex 18. 20th International Congress of Refrigeration, Sydney, Australia, September 19-24, 1999, International Institute of Refrigeration, pp 678-687
- [8] OUTCALT, S.L. and MCLINDEN, M.O., *A modified Benedict–Webb–Rubin equation of state for the thermodynamic properties of R152a (1,1-difluoroethane)*, J. Phys. Chem. Ref. Data, **25**(1996), pp. 605-636
- [9] SPAN, R. and WAGNER, W., *A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple–point temperature to 1 100 K at pressures up to 800 MPa*, J. Phys. Chem. Ref. Data, **26**(1996), pp. 1509-1596
- [10] TILLNER-ROTH, R. and BAEHR, H.D., *An international standard formulation of the thermodynamic properties of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (HFC-134a) covering temperatures from 170 K to 455 K at pressures up to 70 MPa*, J. Phys. Chem. Ref. Data, **23**(1994), pp. 657-729
- [11] TILLNER-ROTH, R., HARMS–WATZENBERG, F. and BAEHR, H.D., *Eine neue Fundamentalgleichung für Ammoniak*, DKV-Tagungsbericht **20**, II(1993), pp. 167-181
- [12] TILLNER-ROTH, R., LI, J., YOKOZEKI, A., SATO, H. and WATANABE, K., *Thermodynamic Properties of Pure and Blended Hydrofluorocarbon (HFC) Refrigerants*, Tokyo: Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, (1998)

- [13] TILLNER-ROTH, R. and YOKOZEKI, A., *An international standard equation of state for difluoromethane(R-32) for temperatures from the triple point at 136.34 K to 435 K and pressures up to 70 MPa*, J. Phys.Chem. Ref. Data, **26**(1997), pp. 1273-1328
- [14] YOUNGLOVE, B.A. and MCLINDEN, M.O., *An international standard equation-of-state formulation of the thermodynamic properties of refrigerant 123 (2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane)*, J. Phys. Chem. Ref.Data, **23**(1994), pp. 731-779
- [15] INTERNATIONAL STANDART ISO 17584 Refrigerant Properties, Reference numarası ISO 17584:2005(E)
- [16] A.C. Bryant, Refrigeration Equipment, ISBN: 0750636882, Elsevier Science & Technology Books, Ağustos 1998
- [17] W. P. Jones, Air Conditioning Engineering, ISBN: 0750650745, January 2001[18] ASHRAE 2000 HVAC Systems and Equipment Handbook
- [17] M. Turhan Çoban, Soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri, Martin-Hou hal denklemi, III. Ege Enerji Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Muğla Üniversitesi, Muğla, sayfa 521-528
- [18] M. Turhan Çoban, "Kübik şerit ve b şerit interpolasyon yöntemi kullanarak soğutucu akışkanların doyma termodinamik özelliklerinin hassas olarak oluşturulması", I Soğutma Teknolojileri Sempozyumu bildiri kitabı, 6-12 Ekim 2008, ISBN : 978-605-5771-00-3
- [19] M. Turhan Çoban, "Kısmi devamlı fonksiyonlar kullanarak soğutucu akışkanların doyma basınç eğrilerinin hassas olarak oluşturulması", I Soğutma Teknolojileri Sempozyumu bildiri kitabı, 6-12 Ekim 2008, ISBN : 978-605-5771-00-3
- [20] M. Turhan Çoban, "İdeal gazların termodinamik ve termodinamik özelliklerinin modellenmesi", 17. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24-27 Haziran 2009, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas
- [21] M. Turhan Çoban, "Gerçek gazların termodinamik ve termodinamik özelliklerinin Lee-Kesler hal denklemi kullanılarak modellenmesi", 17. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24-27 Haziran 2009, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas
- [22] M. Turhan Çoban, Sayısal Metodların Soğutma Dünyasına uygulanması :Soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri, Martin-Hou hal denklemi. Soğutma Dünyası ISSN 1304-1908
- [23] M. Turhan Çoban, Sayısal Metodların Soğutma Dünyasına uygulanması :Soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri, değiştirilmiş Benedict- Webb-Rubin hal denklemi. Soğutma Dünyası ISSN 1304-1908
- [24] M. Turhan Çoban, Halil Atalay, Soğutucu akışkanların gerçek gaz denklemlerinin tanımlanması ve Peng-Robinson-Stryjek-Vera (PRSV) denkleminin java programlama dili ile hesaplanmasına yönelik örnek çalışma, Tesisat Kongresi (Teskon), 13 Nisan 2011, Tepekule kongre merkezi, İZMİR

[25] Herbert B. Callen, Thermodynamics

[26] M. Turhan Çoban, Java 2 Programlama Kılavuzu, ALFA yayınevi, ticarethane sok no 41/1 34410 cagaloglu Istanbul, ISBN 975-316-631-1

[27] Kenneth Wark, Jr. Thermodynamics, Mc-Graw Hill International Editions, 5inci baskı, 1989, ISBN 0-07-068286-0

[28] Thomas H. Kuehn, Jams W. Ramsey, James L. Threlkeld, Thermal Environmental Engineering, Prentice Hall, 3rd edition, 1998, ISBN 0-13-917220-3 [34] Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, version 7.0. Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology (2002)

[29] Wolfrang Wagner, Hans-Joachim Kretzchmar, International Steam Tablos, Prentice Hall, 3rd edition, 1998, ISBN 0-13-917220-3 [34] Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, version 7.0. Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology (2002)

[30] Richard B. Stewart, Richard T. Jacobsen, Steven G. Penoncello, ASHRAE Thermodynamic Properties of Refrigerants, Center of Applied Thermodynamics Studies, University of Idaho.

[31] Martin J. J. And Hou, Y. C., Development of an Equation of State for Gases, Aiche Journal, 1, No 2, 142-155 (1955)

[32] Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones, Refrigeration & Air Conditioning, Second Edition, McGraw-Hill publication, ISBN 0-07-066591-5

[33] J. Patek, J. Klomfar, A computationally effective formulation of the thermodynamic properties of LiBr-H₂O solutions from 273 to 500 K over full composition range. International Journal Of Refrigeration 29(2006) 566-578

[34] K. Kadoya, N. Matsunaga, and A. Nagashima, Viscosity and Thermal Conductivity of Dry Air in the Gaseous Phase, Journal of Physical and Chemical Reference Data 14, 947 (1985)

[35] E. W. Lemmon & R. T. Javobsen, Viscosity and Thermal Conductivity Equations for Nitrogen, Oxygen, Argon, and Air, International Journal of Thermophysics, Vol. 25, No. 1, January 2004

[36] The International Association for the Properties of Water and Steam, Revised Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use, Prague, Check Republic 2018, IAPWS R6-95(2018)

[37] The International Association for the Properties of Water and Steam, Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam, Lucerne, Switzerland, August 2007, IAPWS R7(2012)

- [38] J.R. Cooper, R. B. Dooley, The International Association for the Properties of Water and Steam, Guideline on an Equation of State for Humid Air in Contact with SeaWater and Ice, Consistent with the IAPWS Formulation 2008 for the Thermodynamic Properties of SeaWater
- [39] Robert C. Reid, John M. Prausnitz, Bruce E. Poling, The Properties of Gases & Liquids, Fourth Edition, McGraw-Hill ISBN 0-07-051799-1
- [40] Bruce E. Poling, John M Prausnitz, John P. O'connel, The Properties of Gases & Liquids, 5th edition, 2004, McGraw-Hill ISBN 0-07-051799-1, ISBN-10: 0070116822
- [41] Numerical Thermodynamics, M. Turhan Coban, www.turhancoban.com
- [42] Ian H. Bell, Jorrit Wronski, Sylvain Quailin, and Vincent Lemort, Pure and Pseudo-pure Fluid
- [43] Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp, Ind Eng Chem Res 2014 Feb 12;53(6) 2498-2508 DOI 10.1021/ie4033999
- [44] S. G. S. Beirao, A.P.C. Ribeiro, M.J.V. Lourenço, F.J.V. Santos, C.A. Nieto de Castro, Thermal Conductivity of Humid Air, Int J Thermophys (2012) 33:1686-1703, DOI 10.1007/s10765-012-1245-5
- [45] Xiaoyan Ji, Thermodynamic properties of Humid air and their application in advanced power generation cycles, Doctoral Thesis in Chemical Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Energy Processes, SE-100 44 Stockholm, Sweden, ISBN 91-7178-437-3
- [46] R. Feistel, D.G. Wright, D.R. Jackett, K.Miyagawa, J.H. Reissmann, W. Wagner, U. Overhoff, C. Guder, A. Feistel, G.M. Marion, Numerical implementation and oceanographic application of the thermodynamic potentials of liquid water, water vapor, ice, seawater and humid air- Part 1: Background and equations, Ocean Sci., 6, 663-677,2010 DOI 10.5194/os-6-633-2010
- [47] R. Feistel, D.G. Wright, D.R. Jackett, K.Miyagawa, J.H. Reissmann, W. Wagner, U. Overhoff, C. Guder, A. Feistel, G.M. Marion, Numerical implementation and oceanographic application of the thermodynamic potentials of liquid water, water vapor, ice, seawater and humid air- Part 2: The library routines, Ocean Sci., 6, 695-718,2010 DOI 10.5194/os-6-695-2010
- [48] Simeen Sattar, Thermodynamics of Mixing Real Gases, Journal of Chemical Education Vol. 77 No 10 October 2000

[49] Wolfgang Wagner, Hans-Joachim Kretzschmar, International Steam Tables, Properties of water and steam based on industrial formulation IAPWS-IF97, Springer, ISBN 978-3-540-21419-9, DOI 10.1007/978-3-540-74234-0

[50] Joseph H. Keenan, Frederick G. Keyes, Philip G. Hill, Joan G. Moore, Steam Tables Thermodynamic properties of Water including vapor, liquid and solid phases, Wiley-Interscience, ISBN 0-471-04210-2

[51] E. W. Lemmon¹, and R. T Jacobsen , "Viscosity and Thermal Conductivity Equations for Nitrogen, Oxygen, Argon, and Air", International Journal of Thermophysics, Vol. 25, No. 1, January 2004 (© 2004)

[51] Thomas H. Kuehn, James W. Ramsey, James L. Threlkeld Thermal Environmental Engineering, Third edition, Prentice Hill Inc. ISBN 0-13-917220-3

[52] Shan K. Wang, Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, Second Edition McGrawHill, 2000, ISBN 0-07-068167-8

[53] , Mira Mohammed Shah, Methods for Calculation of Evaporation from Swimming Pools and Other Water Surfaces SE-14-001, ASHRAE Transactions, Volume 120, Part 2

[54] K. Kadoya, N. Matsunaga, and A. Nagashima, Viscosity and Thermal Conductivity of Dry Air in the Gaseous Phase, Journal of Physical and Chemical Reference Data 14, 947 (1985)

[55] E. W. Lemmon & R. T. Javobsen, Viscosity and Thermal Conductivity Equations for Nitrogen, Oxygen, Argon, and Air, International Journal of Thermophysics, Vol. 25, No. 1, January 2004

[56] The International Association for the Properties of Water and Steam, Revised Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use, Prague, Check Republic 2018, IAPWS R6-95(2018)

[57] The International Association for the Properties of Water and Steam, Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam, Lucerne, Switzerland, August 2007, IAPWS R7(2012)

[58] J.R. Cooper, R. B. Dooley, The International Association for the Properties of Water and Steam, Guideline on an Equation of State for Humid Air in Contact with SeaWater and Ice, Consistent with the IAPWS Formulation 2008 for the Thermodynamic Properties of SeaWater

- [59] Robert C. Reid, John M. Prausnitz, Bruce E. Poling, The Properties of Gases & Liquids, Fourth Edition, McGraw-Hill ISBN 0-07-051799-1
- [60] Bruce E. Poling, John M Prausnitz, John P. O'Connell, The Properties of Gases & Liquids, 5th edition, 2004, McGraw-Hill ISBN 0-07-051799-1, ISBN-10: 0070116822
- [61] Ian H. Bell, Jorrit Wronski, Sylvain Quailin, and Vincent Lemort, Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp, Ind Eng Chem Res 2014 Feb 12;53(6) 2498-2508 DOI 10.1021/ie4033999
- [62] S. G. S. Beirao, A.P.C. Ribeiro, M.J.V. Lourenço, F.J.V. Santos, C.A. Nieto de Castro, Thermal Conductivity of Humid Air, Int J Thermophys (2012) 33:1686-1703, DOI 10.1007/s10765-012-1245-5
- [63] Xiaoyan Ji, Thermodynamic properties of Humid air and their application in advanced power generation cycles, Doctoral Thesis in Chemical Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Energy Processes, SE-100 44 Stockholm, Sweden, ISBN 91-7178-437-3
- [64] R. Feistel, D.G. Wright, D.R. Jackett, K.Miyagawa, J.H. Reissmann, W. Wagner, U. Overhoff, C. Guder, A. Feistel, G.M. Marion, Numerical implementation and oceanographic application of the thermodynamic potentials of liquid water, water vapor, ice, seawater and humid air- Part 1: Background and equations, Ocean Sci., 6, 663-677,2010 DOI 10.5194/os-6-633-2010
- [65] R. Feistel, D.G. Wright, D.R. Jackett, K.Miyagawa, J.H. Reissmann, W. Wagner, U. Overhoff, C. Guder, A. Feistel, G.M. Marion, Numerical implementation and oceanographic application of the thermodynamic potentials of liquid water, water vapor, ice, seawater and humid air- Part 2: The library routines, Ocean Sci., 6, 695-718,2010 DOI 10.5194/os-6-695-2010
- [66] Simeen Sattar, Thermodynamics of Mixing Real Gases, Journal of Chemical Education Vol. 77 No 10 October 2000
- [67] Wolfgang Wagner, Hans-Joachim Kretzschmar, International Steam Tables, Properties of water and steam based on industrial formulation IAPWS-IF97, Springer, ISBN 978-3-540-21419-9, DOI 10.1007/978-3-540-74234-0

- [68] Joseph H. Keenan, Frederick G. Keyes, Philip G. Hill, Joan G. Moore, Steam Tables
Thermodynamic properties of Water including vapor, liquid and solid phases, Wiley-Interscience,
ISBN 0-471-04210-2
- [69] E. W. Lemmon¹, and R. T Jacobsen , "Viscosity and Thermal Conductivity Equations for
Nitrogen, Oxygen, Argon, and Air", International Journal of Thermophysics, Vol. 25, No. 1, January
2004 (© 2004)
- [70] Biasin, K., and W. Krumme. 1974. Die wasserverdunstung in einem innenschwimmbad.
Electrowaerme International 32(A3):A115—A129.
- [71] Heimann and Rink. 1970. Quoted in Biasin & Krumme (1974)
- [72] Doering, E. 1979. Zur auslegung von luftungsanlagen fur hallenschwimmbaeder. HLH
30(6):211–16.
- [73] Hanssen, S.A.,and Mathisen, H.M. 1990 Evaporation from swimming pools. Roomvent 90:2nd
International Conference, Oslo, Norway
- [74] Hyldgaard, C.E. 1990. Water evaporation in swimming baths.: Roomvent 90, International
Conference on Engineering Aero- and Thermodynamics of Ventilated Rooms, Oslo, Norway
- [75] Anton TenWolde, The effect of indoor humidity on water vapor release in homes, 2007 AHSRAE
- [76] Hite, S.C., and J.L. Bray. 1949. Research in home humidity control. Research Series No. 106,
Engineering Experiment Station, Purdue University, Lafayette, IN.
- [77] Angell, W.J., and Olson W.W, 1988, Moisture sources associated with potential damage in cold
climate housing. CD-F0-3405-1988, Cold Climate Housing Information Center, Minnesota Extension
Service, University of Minnesota, St. Paul, MN.
- [78] H. Hens, E. Senave, IAE Annex 14: The Zolder Case Study, Indorr Air, 3, 213-228(1991)