

NEMLİ HAVANIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN VE YAŞ HAVA PROSESLERİNİN MODELLENMESİ

M. Turhan Çoban, Halil Atalay
Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Özet:

Su buharının termodinamik özelliklerini irdelleyen steam.java programı, ideal gazların termodinamik özelliklerini hesaplayan idealgaz.java programı, bu iki programı kullanarak yaş havanın termodinamik özelliklerini hesaplayan yashava.java programı ve yashava.java programından yola çıkılarak yashavaprosesleri.java programı geliştirilmiştir. Bu programların oluşturulmasında kullanılan temel denklemler, programların oluşturulması ve kullanılmasına dair temel bilgiler bu çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: psikometri, nemli hava, ısıtma havalandırma, enerji, su buharı, yaş hava prosesleri.

1.Giriş:

Günümüzde enerji sistemlerinin analizlerinde bilgisayar sistemlerinden yoğun olarak faydalanılmaktadır. Enerji sistemlerinin en temel özellikleri gazların termodinamik ve termo-fiziksel özellikleridir. Bu özelliklerin bilgisayar ortamında oluşturulabilmesi için temel gaz denklemlerini ve kullanımlarını, bilgisayar ortamına aktarma yöntemlerini iyi bilerek oluşturmak gerekmektedir. Bu makalede su buharının ve havanın termodinamik özelliklerinin oluşturulması ve bu gazların termodinamik özelliklerinden yola çıkarak su buharı kuru hava karışımı olan nemli havanın özelliklerinin ve yaş hava proseslerinin hesaplanma yöntemlerini inceleyeceğiz. Bu makalede irdelenen nemli havanın termodinamik özellikleri ve yaş hava prosesleri aslında tek başına bir program olmayıp, çeşitli akışkanların termodinamik ve termo-fiziksel özelliklerinin irdelendiği daha sonra çeşitli proseslerin sayısal irdelenmesi için bir ortam oluşturacak olan bir çalışmanın ilk basamaklarından biridir. Java dilinde geliştirilen bu ısı sistem analiz paketi, isteyen tüm araştırmacılarımızın kullanımı için açık olacaktır. Nemli havanın termodinamik özelliklerini irdellemek için önce su buharının termodinamik özellikleri ve kuru havanın termodinamik özelliklerinin nasıl hesaplanacağını irdelenmesi gereklidir. Yaş hava (kuru havayı saf gaz kabul edersek), kuru hava ve su buharı karışımından oluşan bir gaz karışımıdır. Bu yüzden önce kuru havanın ve su buharının termodinamik özellikleri irdelenecek ve daha sonra yaş hava proseslerinin hesaplanması üzerinde durulacaktır.

2.Kuru Havanın Termodinamik Özelliklerinin Hesaplanması

Kuru hava termodinamik denklemlerini oluştururken kuru havanın ideal gaz olduğunu kabul edeceğiz. Bu kavram çok düşük sıcaklıklara inmediğimiz durumlar için genelde doğru olarak kabul edilebilir. Çok soğuk uygulamalarına geçildiğinde ise bu kabul doğru değildir, fakat bu sıcaklıklarda su buharının kısmi basıncı neredeyse yok sayılacağından havayı tamamen kuru hava olarak kabul edebiliriz. Kuru hava için bir çok modelde havanın özgül ısısının sabit olduğu kabulü yapılır. Burada havanın özgül ısısının sıcaklığın fonksiyonu olarak değiştiği ancak basınç veya yoğunluğun fonksiyonu olarak değişmediğini varsayacağız (ideal gaz varsayımı). Ayrıca özgül ısı kısmi devamlı denklemler olarak verilecektir. Bunun sebebi hava entalpi denkleminin tablolarda verilen denklemlerle daha uyumlu olmasının sağlanmasıdır. Kuru hava özgül ısı denklemi :

$$C_{p,i}(T) = A_i + B_i \cdot 10^{-3} \cdot T + C_i \cdot 10^5 / T^2 + D_i \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \quad T_{Li} \leq T < T_{Hi} \quad \text{KJ/kmol K} \quad (1)$$

Şeklinde tanımlanmıştır. Buradaki A_i , B_i , C_i ve D_i denklemin T_{Li} ve T_{Hi} sıcaklık bölgesinde geçerli olan denklemin katsayılarıdır. Çeşitli sıcaklık aralıkları için çeşitli katsayılar tanımlanabilir. Bu katsayılar gerçek tablo değerlerinden eğri uydurma yöntemleri yardımıyla elde edilirler. Eğri uydurmalarda en küçük kareler yöntemi genelde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde ölçümlerden elde edilen değerler ile fonksiyonun aynı noktalarda verdiği değerlerin farkının karelerinin toplam fonksiyonu minimize edilir. Burada verilen özgül ısı denklemini doğrusal olmayan bir eşitlik olduğundan minimize işleminin de doğrusal olmayan bir teknik yapılması gerekir. Bu tür denklemlerin çözümlerinde Nelder-Mead, en dik eğim metodu gibi geometrik ve genetik algoritmalar gibi geometrik olmayan metotlar mevcuttur. Doğrusal olmayan denklemlerin minimizasyonu oldukça geniş bir konu olduğundan buna daha sonra bir yazımızda değinebiliriz. Hava için kullanılan katsayılar tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hava için özgül ısı kısmi devamlı denkleminin katsayıları

A_i KJ/kmol K	B_i $10^3 \cdot \text{KJ}/(\text{kmolK}^2)$	C_i $10^{-5} \cdot \text{KJ}/(\text{kmolK}^2)$	D_i $10^6 \cdot \text{KJ}/(\text{kmolK}^2)$	T_{Li} K	T_{Hi} K
29.04716131384	-0.43371335025	-0.00000234324	1.81771922391	298	300
27.20780497541	2.82769845957	0.65953188644	3.73015894390	300	700
23.15288750543	13.57204518133	1.77125763993	-3.86191395226	700	1200
32.62636562076	2.90565403695	-21.59492884110	-0.42617207916	1200	2000
34.28187299595	1.66394564405	-30.46167281155	-0.16319414802	2000	3000
40.90907696143	-0.88928617682	166.78890105869	0.11814251617	3000	6000

Bu sayıların elde edilmesinde kullanılan minimizasyon prosesinde Nelder-Mead tekniği kullanılmış ve tablo değerleri özgül ısı denkleminin integrasyonundan oluşan entalpi denkleminde alınmıştır. Entalpi denklemi denklem 2 de verildiği gibidir. $C_{p,i}$ denklemi kısmi devamlı olduğu için toplam entalpi integrasyonun yanında kısmi devamlı bölgelerin entalpilerinin toplamından oluşur.

$$h(T) = h_0 + \left(\sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} C_{pi}(T) dT \right) + \int C_{pi}(T) dT \quad (2)$$

bu denklemdeki h_0 entalpi sabiti referans değeri olarak alınan 298 K noktasındaki entalpi olup değeri $h_0=8636.3959339$ KJ/kmol olarak alınmıştır. Entropi formülü de entalpi formülünden çıkarılabilir.

Property	Value	Unit
P, pressure	1.0	bars
T, temperature	300.0	deg K
v, specific volume	24.9435	m³/kmole
h, enthalpy	11539.586775196884	KJ/kmole
u, internal energy	9045.236775196883	KJ/kmole
s, entropy	60.87124713476775	KJ/kmole K
g, gibbs free energy	-6721.77763884615	KJ/kmole
ht, chemical entropy	58.20286901612053	KJ/kmole
gt, chemical gibbs f.e.	-59641.13891218143	KJ/kmole
Cp, specific heat at const P	29.103311578358888	KJ/kmole K
Cv, specific heat at const v	20.788811578358889	KJ/kmole K
Cp/Cv, adiabatic constant	1.3999507123656543	
c, speed of sound	347.2196722445302	m/s
viscosity	1.844698934769573E-5	Nsm²
thermal conductivity	0.026259633891830104	W/m K
M, molecular weight	28.964196998240002	kg/kmol
Prandtl number	0.7058586582794525	
Pr, reduced pressure	1.3875971843318	
vr, reduced volume	620.6296072019534	

Şekil 1-Gas1table. java programı

Property	Value	Unit
P, pressure	1.0134320120674924	bars
T, temperature	100.0	deg C
v, specific volume	1.6728971857030028	m³/kg
h, enthalpy	2676.060482066215	KJ/kg
u, internal energy	2506.5135916571903	KJ/kg
s, entropy	7.354878834896283	KJ/kg
x, quality	1.0	kg vapor/kg mix
density	0.597768447279107	kg/m³
phase	saturated vapor	

Şekil 2-steamtable. java programı

$$s(T,P) = s_0 + \left(\sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} \frac{C_{pi}(T)}{T} dT \right) + \int \frac{C_{pi}(T)}{T} dT + R \ln \frac{P}{P_0} \dots\dots\dots (3)$$

buradaki $s_0=49.101193319821995$ KJ/kmolK dir. Referans basınç $P_0=1$ bar olarak alınmıştır. Havanın formülü $O_{0.419642}N_{1.561756}Ar_{0.009301}C_{0.0003}$ olarak alınmıştır ve bu formülle havanın moleküler ağırlığını $M=28.964197$ kg/kmol olarak hesaplar. Entalpi ve entropi değerleri M değeri kullanılarak KJ/kg bazına dönüştürülür.

Havanın entalpisinin 6000 K'e kadar varan bir bölge için hesaplanmış olması yaş hava uygulamaları için gereksiz görünebilir. Ancak belirtilen denklemler sadece yaş hava uygulamaları için geliştirilmemiştir, havanın kullanıldığı her yerde geçerlidirler. Hatta sadece hava için değil değişik katsayıların kullanımıyla tüm ideal gazlar için kullanılan denklemlerdir. Bu denklem sisteminin programlaması da çeşitli gazlar hesaplayabilecek şekilde oluşturulmuştur. Genel sınıf gaz.java içinde gazın katsayılar matrisini içerir ve gereğinde hesaplar. "gaz" sınıfı hesaplarının sonuçlarını görebilmek için idealgazTablosu.java isimli bir program geliştirilmiştir ve bu program kullanılarak hava veya diğer gazların termodinamik özellikleri yukarıda belirtilen denklemler yardımıyla hesaplanabilir. Bu programın çıktısı şekil 1 de gösterilmektedir.

3.Su Buharının Termodinamik Özellikleri

Su buharının termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında J.H. Keenan, F.G. Keyes , P.G. Hill and J.G. Moore tarafından verilen [referans 1] denklemler kullanılmıştır. Su buharı için yaş havanın bazı hesaplarında ideal gaz kabulü yapılıyorsa da burada su buharı gerçek gaz olarak kabul edilmiştir. Gerçek gazlar genelde hal denklemleri denen ve $P(T,v)$ şeklinde ifade edilebilecek kompleks denklem sistemleriyle ifade edilirler. Burada P basınç, T sıcaklık ve v özgül hacmi ifade etmektedir. Keenan, Keyes,Hill ve Moore denkleminde hal denklemi Helmholtz serbest enerjisi (Ψ) $\Psi(T,\rho)$ formunda verilmiştir.

$$\psi(T, \rho) = \psi_0(T) + RT[\ln(\rho) + \rho Q(\rho, \tau)] \quad (4)$$

$$\psi_0(T) = \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{\tau^{i-1}} + C_7 \ln(T) + C_8 \ln\left(\frac{T}{\tau}\right) \quad (4a)$$

$$Q(\rho, \tau) = (\tau - \tau_c) \sum_{j=1}^7 (\tau - \tau_{aj})^{j-2} \left[\sum_{i=1}^8 A_{ij} (\rho - \rho_{aj})^{i-1} + e^{-E\rho} \sum_{i=9}^{10} A_{ij} \rho^{i-9} \right] \quad (4b)$$

Bu denklemde $\tau=1000/T$, T K cinsinden sıcaklık değeridir, $R=4.6151$ barcm³/gramK gaz sabitidir. A_{ij} ve C_i ve $E = 4.8$ denklem sabitleridir. ρ yoğunluk değeridir. A sabitinin değerleri Tablo 2 de verilmiştir τ_{aj} ve ρ_{aj} tanımları

j=1 için $\tau_{aj} = \tau_c = 1000/T_c$ $\rho_{aj} = 0.634$ (T_c kritik sıcaklık)
j>1 için $\tau_{aj} = 2.5$ $\rho_{aj} = 1.0$ şeklinde verilmiştir.

Tablo 2 : Su buharı Helmholtz serbest enerjisi hal denklemi $\Psi(T,\rho)$ katsayıları

A_{ij}	1	2	3	4	5	6	7
1	29.492937	-5.198586	6.833535	-0.156410	-6.397241	-3.966140	-0.690486
2	-132.139170	7.777918	-26.149751	-0.725461	26.409282	15.453061	2.740742
3	274.646320	-33.301902	65.326396	-9.273429	-47.740374	-29.142470	-5.102807
4	-360.938280	-16.254622	-26.181978	4.312584	56.323130	29.568796	3.963609
5	342.184310	-177.310740	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

6	-244.500420	127.487420	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	155.185350	137.461530	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	5.972849	155.978360	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
9	-410.308480	337.311800	-137.466180	6.787498	136.873170	79.847970	13.041253
10	-416.058600	-209.888660	-733.968480	10.401717	645.818800	399.175700	71.531353

$\Psi_0(T)$ denkleminde geçen C katsayıları ise Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3 : Su buharı Helmholtz serbest enerjisi hal denklemleri $\Psi(T, \rho)$ katsayıları

i	C _i	i	C _i
1	1857.065	5	-20.5516
2	3229.12	6	4.85233
3	-419.465	7	46.0
4	36.6649	8	-1011.249

Bu fonksiyonun klasik P(T,v) formülüne göre avantajı termodinamik fonksiyonların sıfır türevler cinsinden ifade edilmesidir. P(T,v) formundaki hal denklemleri ise integrallere de gerek duyarlar. Türevlerin hesaplanması integrallere göre daha kolaydır. Türevler cinsinden termodinamik fonksiyonlar şu şekilde tanımlanmıştır:

$$P = \rho^2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \right)_\tau \quad (5a)$$

$$u = \rho^2 \left(\frac{\partial (\psi \tau)}{\partial \tau} \right)_\rho \quad (5b)$$

$$s = - \left(\frac{\partial \psi}{\partial T} \right)_\rho \quad (5c)$$

$$h = u + Pv \quad (5d)$$

bu fonksiyonlardaki türev işlemleri açılacak olursa

$$P = \rho RT \left[1 + \rho Q + \rho^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial \rho} \right)_\tau \right] \quad (6a)$$

$$u = \rho RT \tau \left(\frac{\partial Q}{\partial \tau} \right)_\rho + \left(\frac{\partial \psi_0 \tau}{\partial \tau} \right)_\rho \quad (6b)$$

$$s = -R \left[\ln(\rho) + \rho Q - \rho \tau \left(\frac{\partial Q}{\partial \tau} \right)_\rho \right] - \left(\frac{\partial \psi_0}{\partial T} \right) \quad (6c)$$

$$h = RT \left[\rho \tau \left(\frac{\partial Q}{\partial \tau} \right)_\rho + 1 + \rho Q + \rho^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial \rho} \right)_\tau \right] + \left(\frac{\partial \psi_0 \tau}{\partial \tau} \right)_\rho \quad (6d)$$

Doymuş su buharı basınç sıcaklık ilişkisi(kaynama eğrisi) aşağıdaki bağıntıyla aynı kaynakta verilmiştir.:

$$P_s = P_c \cdot \exp \left[\tau \cdot 10^{-5} (t_c - t) \right] \sum_{i=1}^8 F_i (0.65 - 0.01t)^{i-1} \quad (7)$$

Buradaki F_i katsayıları sabittir ve tablo 4 de verilmiştir. T_c and P_c kritik basınç ve sıcaklık değerlerini ifade eder.

Tablo 4 : su buharı buhar doyma eğrisi katsayıları

i	F _i	i	F _i	i	F _i	i	F _i
1	-741.9242	3	-11.55286	5	0.1094098	7	0.2520658
2	-29.721	4	-0.8685635	6	0.439993	8	0.05218684

Bu denklemleri bilgisayar programlarına adapte ederken bilinmeyen setinin sadece T ve v nin fonksiyonu olmayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin h(T,p) gibi bir bilinmeyen veya denklem 7 kullanılarak T(P_s) doyma noktası sıcaklığı fonksiyonunun çözümü gibi bir problem karşımıza çıkabilir. Bu tür işlemlerle karşılaştığımızda doğrusal olmayan denklemler, nümerik kök bulma işlemleri karşımıza çıkar. Kök bulma işlemleri taylor formülünden elde edilen yöntemler ve arama yöntemleri veya bunların kombinasyonlarından oluşur. Taylor formülü kökenli yöntemlerden Newton-Raphson metodu bu tür kök bulma algoritmalarının en bilinen yöntemidir. Belli bir tahmin noktasından başlayarak

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{\left(\frac{df(x_i)}{dx} \right)}$$

formülü kullanır. İterasyon $f(x)$ fonksiyonu isteyen küçüklüğe ulaşınca kadar devam eder. Bu formülde x_{i+1} bilinmeyen kök değeri için (i+1)inci iterasyon, $f(x_i)$ fonksiyonun x_i noktasındaki değeri, $[\delta f(x_i)/\delta x]$ fonksiyonun x_i noktasındaki türevinin değeridir. Bir basit arama metodu olan iki bölge metodu bölgeyi ikiye böler ve kökün hangi bölgede olduğuna bakarak aramaya devam eder. Etkili diğer bir arama kökenli kök bulma yönteminde iki nokta arasında lineer interpolasyonla bir sonraki kök yaklaşımını bulan giriş yöntemidir. Bunların dışında Secant metodu, Ridder metodu, Van Wijngaarden-Dekker Brent metodu gibi çeşitli kök bulma metodları mevcuttur ve bu denklemlerin çözümlerinde yoğun olarak yararlanılmıştır. Tüm bu değişik metodların kullanılması, kök bulmanın kompleks bir işlem olmasından kaynaklanmaktadır, bazı metodlar kısa sürede çözüm getirir ama her zaman çözüme ulaşamaz (Newton metodu gibi), bazı metodlarda her zaman çözüme ulaşır fakat iterasyon prosesi çok zaman alır (iki bölge metodu gibi). Bu yüzden belli bir proses için seçilecek metod önem taşır.

Yukarıda tanımlanan temel denklemler kullanılarak su buharının termodinamik özelliklerini hesaplayan steam.java programı geliştirilmiştir. Bu programın kullanıcı arayüzü olarak geliştirilen steamTable.java programı steam.java programını kullanarak buharın termodinamik özelliklerini hesaplamaktadır. Örnek bir program çıktısı şekil 2’de gösterilmiştir.

4.Yaş havanın Termodinamik Özellikleri

Kuru hava ve su buharının özelliklerinin hesap yöntemlerini inceledik. Şimdi bu programları yaş havanın termodinamik özelliklerini hesaplayacak şekilde bir araya getirelim. Yaş havanın temel termodinamik karışım denklemleri aslında her termodinamik kitabında yer alır ve makine mühendisliği eğitiminde sıkça ısıtma-havalandırma gibi çeşitli derslerinde de kullanılır. Karışım yasalarının temeli iki gazın birlikte bulunduklarında kısmi basınçlarının toplam basıncı oluşturması ilkesine dayanır:

$$P = P_{\text{kuru hava}} + P_{\text{su buharı}} \quad (8)$$

Gazların kütlelerinin toplamı da toplam gaz kütlelerini oluşturur:

$$m = m_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} \quad (9)$$

Su buharı kütlelerinin kuru hava kütlelerine oranı özgül nem olarak adlandırılır:

$$w = m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}} \quad (10)$$

Özgül nemin değeri bu iki bağıntı ve karışımındaki her iki gazın da ideal gaz olduğu kabulü ile hesaplanabilir. Gazların aynı hacmi işgal ettikleri göz önüne alınırsa:

$$P_{\text{kuru hava}} V = m_{\text{kuru hava}} \left(\frac{R}{M_{\text{kuru hava}}} \right) T \quad (11a)$$

$$P_{\text{su buharı}} V = m_{\text{su buharı}} \left(\frac{R}{M_{\text{su buharı}}} \right) T \quad (11b)$$

Burada P basınç, m kütle, T Kelvin cinsinden sıcaklık değeridir. 8 nolu denklemdaki eşitlikler 7 nolu denklemden yerine konursa

$$w = \frac{P_{\text{su buharı}} V / \left[\left(\frac{1}{M_{\text{su buharı}}} \right) T \right]}{P_{\text{kuru hava}} V / \left[\left(\frac{1}{M_{\text{kuru hava}}} \right) T \right]} \quad (12)$$

$$w = \left(\frac{M_{\text{su buharı}}}{M_{\text{kuru hava}}} \right) \frac{P_{\text{su buharı}}}{P_{\text{kuru hava}}} = \left(\frac{M_{\text{su buharı}}}{M_{\text{kuru hava}}} \right) \frac{P_{\text{su buharı}}}{(P - P_{\text{su buharı}})} \quad (13)$$

bağıntısı elde edilir. Su buharının kısmi basıncı ve toplam basınç biliniyorsa havadaki nem miktarı hesaplanabilir. Denklemden molar kütle oranı $(M_{\text{su buharı}}/M_{\text{kuru hava}}) = (18.016/28.964197) = 0.6220093$ sayısına eşittir

Yaş hava hesaplarında kullanılan diğer bir kavram da bağıl nem kavramıdır. Bağıl nem su buharı molar yüzdesinin aynı sıcaklıktaki doymuş su buharı molar yüzdesine oranıdır.

$$\Phi = x_{\text{su buharı}} / x_{\text{doymuş su buharı}} = P_{\text{su buharı}} / P_{\text{doymuş su buharı}} \quad (14)$$

Benzer bir kavramda doyma yüzdesidir. su buharı kütleli yüzdesinin aynı sıcaklıktaki doymuş su buharı kütleli yüzdesine oranıdır.

$$\mu = m_{\text{su buharı}} / m_{\text{doymuş su buharı}} = w_{\text{su buharı}} / w_{\text{doymuş su buharı}} \quad (15)$$

Yaş havanın entalpisi de kuru hava ve su buharının entalpilerinden hesaplanır.

$$H = m_{\text{kuru hava}} h_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} h_{\text{su buharı}} \quad (16)$$

$$H = H / m_{\text{kuru hava}} = h_{\text{kuru hava}} + \left(m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}} \right) h_{\text{su buharı}} = h_{\text{kuru hava}} + w h_{\text{su buharı}} \quad (16a)$$

Entropi fonksiyonu da aynı şekilde hesaplanır.

$$S = m_{\text{kuru hava}} s_{\text{kuru hava}} + m_{\text{su buharı}} s_{\text{su buharı}} \quad (16)$$

$$s = S / m_{\text{kuru hava}} = s_{\text{kuru hava}} + \left(m_{\text{su buharı}} / m_{\text{kuru hava}} \right) s_{\text{su buharı}} = s_{\text{kuru hava}} + w s_{\text{su buharı}} \quad (16a)$$

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

$$h + (w^* - w) h_{\text{su}}^* = h^* \quad (17)$$

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 entalpisidir. Bu denklemin çözümü bize T_{adyabatik doyma} sıcaklığını verir. Adyabatik doyma sıcaklığı termodinamik yaş termometre sıcaklığı olarak da bilinir. Termodinamik yaş termometre sıcaklığının yaş bir termometrede ölçülen sıcaklıktan farklı olduğunu burada belirtmek gerekir. Gerçek termometrenin okuduğu değer ısı transferine bağlı olarak termodinamik yaş termometre sıcaklığından sapacaktır.

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

Yukarıda belirtilen denklemler kullanılarak yashava.java programı geliştirilmiştir. Bu program yardımıyla iki termodinamik veri verildiğinde diğer termodinamik değişkenlerin hesaplanması mümkündür. Programda verilebilecek termodinamik veri çiftleri şunlardır:

“tdb_tw” kuru termometre - yaş termometre sıcaklığı
“tdb_rh” kuru termometre sıcaklığı - bağıl nem
“tdb_w” kuru termometre sıcaklığı - özgül nem
“tdb_tdew” kuru termometre sıcaklığı - çiğ noktası sıcaklığı
“tdb_pv” kuru termometre sıcaklığı - su buharı basıncı
“tdb_dos” kuru termometre sıcaklığı – saturasyon derecesi
“tdb_h” kuru termometre sıcaklığı - entalpi
“tdb_s” kuru termometre sıcaklığı - entropi

"w_rh" özgül nem - bağıl nem
"w_h" özgül nem - entalpi

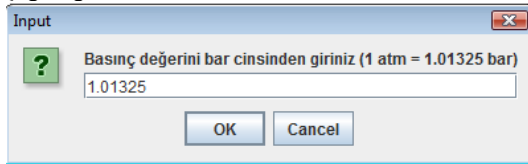
Termodinamik veri çiftini seçtikten sonra bu veri değerlerini girdiğinizde program termodinamik verilerin değerlerini hesaplayarak verecektir.. Örneğin 25 derece kuru termometre sıcaklığı ve 20 derece yaş termometre sıcaklığı,1.01325 bar basınç için kendi java programımızda yaş havanın özelliklerini hesaplamak için

```
yashava y=new yashava();  
double a[]=y.property("tdb_tw",25.0,20.0,1.0132);
```

tanımını girmemiz yeterli olacaktır. Çıktıdaki a vektörüne yaş havanın termodinamik özellikleri yüklenmiş olacaktır. Çıktı vektöründeki değişkenler:

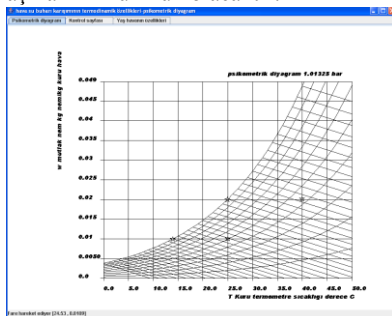
a[0]= P, basınç	a[8]= h entalpi
a[1]= T, kuru termometre sıcaklığı	a[9]= s, entropi
a[2]= v, kuru hava özgül hacim	a[10]= tdew,çiğ noktası sıcaklığı
a[3]= Pv su buharı kısmi basıncı	a[11]= ha, kuru havanın entalpisi
a[4]= Pa hava kısmi basıncı	a[12]= hv, su buharının entalpisi
a[5]= w, özgül nem	a[13]= hv*w, duyulur entalpi
a[6]= rh, bağıl nem	a[14]= T yaş hava sıcaklığı
a[7]= dos, doyumluk derecesi	

şeklinde. Bir çoğumuz için programlama gerekli olmayabilir, sadece bir program kullanarak yaş hava özelliklerinin hesaplanması bizim için yeterli olacaktır. Bu hesaplama sistemi için psT.java programı hazırlanmış arayüzü programı hazırlanmıştır.Programı çağırdığımızda:



Şekil 3 psT.java programı giriş ekranı

önce basınç değerini girdiğimiz bir ekran belirecektir. Şekil 3 de basınç giriş ekranı görülmektedir. Buradan kullanacağımız basınç değerini girebiliriz. Bundan sonra girdiğimiz basınçta çizilmiş bir psikometrik diyagram karşımıza gelecektir. Bu ekran aktif grafik ekranıdır, yaş hava prosesimizi oluşturmak için istediğimiz kuru termometre sıcaklığı – özgül nem çiftini bu ekran yardımıyla istediğimiz noktada farenin tuşuna basarak girebiliriz. Girdiğimiz noktada bir yıldız belirecektir. Farenin aktif koordinatları ekranın alt köşesinde görebiliriz. Şekil 4 te bu ekran görülmektedir. Girdiğimiz değerler sonucunda hesaplanan termodinamik özellikleri görmek için sayfa üzerindeki yaş havanın özellikleri düğmesine basmamız gerekir. Karşımıza şekil 5 te görülen ekran çıkacaktır. Bu ekranda temel olarak 3 kısım mevcuttur. Birinci kısımda bilinen iki termodinamik veri çiftini seçip değerleri girebildiğimiz bir veri giriş kısmı, en son girdiğimiz verinin sonuçlarının bulunduğu bir tablo ve girdiğimiz tüm verilerin listelendiği kopyalanabilir bir yazım bölümü mevcuttur. Giriş kısmından yeni bir değer girdiğimizde, bu değer ilk psikometrik diyagram grafik ekranına da yeni bir yıldız olarak çizilecektir. Kopyalanabilir yazım bölümündeki veri yukarıdaki küçük java program örneğindeki a vektörünü açıklarken verdiğimiz sırada verilmiştir. Bu bölümde veri başlıkları da yer almaktadır. Eğer kopyalanabilir yazım bölümündeki tüm veriyi bir text dosyasına aktarmak istersek bu bölümü fare ile işaretleyip Ctrl-C (kopyala) tuşuna basmamız ve yazacağımız text dosyasını açıp Ctrl-V (Yapıştır) komutunu kullanmamız yeterlidir. Veriyi bir text dosyasına kopyaladıktan sonra istendiğinde excel gibi bir programda da açmamız mümkün olacaktır.



Şekil4-PsT.java programı psikometrik tablo grafik giriş ekranı

Özellik	Değer
P, bar	1.01325
T, °C	25.0
w, kg/kg	0.012
rh, %	70.0
dos, %	100.0
ha, kJ/kg	50.0
hv, kJ/kg	2500.0
h, kJ/kg	50.0
s, kJ/kg.K	0.1
T_yas_hava, °C	20.0

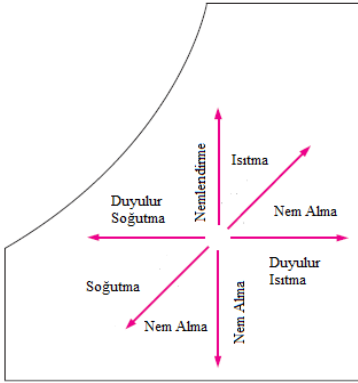
Şekil 5 –psT.java programı tablo veri giriş – tablo veri çıkış ekranı

Kontrol sayfasına bastığımızda psikrometrik diyagram grafiğinin kontrol değerlerine ulaşabiliriz. Bu değerler yardımıyla grafiğimizi değişik bir skalada, değişik ekran çizgi sayılarıyla tekrar oluşturabilir, proses detaylarına daha yakından bakabiliriz.

5.Yaş Hava Prosesleri:

Oturduğumuz veya çalıştığımız bir ortamı istenen sıcaklık ve nemde tutabilmek için iklimlendirme adı verdiğimiz işlemlere gerek duyarız. Bu işlemler duyulur ısıtma(sıcaklığın yükselmesi), duyulur soğutma(sıcaklığın düşürülmesi), nemlendirme(su buharının

eklenmesi),ve nem alma(su buharının havadan ayrılması)'dır. Havayı istenen sıcaklık ve nem düzeyine getirmek için bazı durumlarda bu işlemlerin birkaçı birden uygulanır.



Şekil 6 Yaş hava proseslerinin psikometrik diyagramda tanımlanması

Değişik iklimlendirme işlemleri şekil 6'da, Psikrometrik diyagramda gösterilmektedir. Duyulur ısıtma ve duyulur soğutma işlemleri bu diyagramda yatay birer doğru olarak gösterilmektedir, çünkü bu işlemler sırasında havadaki nem miktarı sabittir ($w = \text{sabit}$). Hava kış aylarında ısıtılır ve nemlendirilir, Yaz aylarında ise soğutulur ve nemi alınır.

İklimlendirme işlemleri genellikle sürekli akışlı açık sistemlerde gerçekleşir. Bu nedenle sürekli akışlı açık sistemler için kütle (hem kuru hava, hem de su için) ve enerjinin korunumu denklemleri uygulanmalıdır:

$$\text{Kuru hava kütlesi: } m_{a,g} = m_{a,\ç} \quad (18)$$

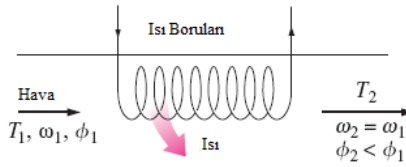
$$\text{Su kütlesi: } m_{a,g} w_g + m_{su,g} = m_{a,\ç} w_{\ç} + m_{su,\ç} \quad (19)$$

$$\text{Enerji: } Q - W = m_{\ç} h_{\ç} - m_g h_g \quad (20)$$

Burada g ve ç indisleri sırasıyla giriş ve çıkış hallerini ifade etmektedir. Enerji denkleminde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.

a. Duyulur Isıtma ve soğutma:

Evlerimizde, işyerlerimizde veya bulunduğumuz ortamlarda soba, radyatör, ısı pompası veya elektrikli ısıtma sistemleri vardır. Bu sistemlerde hava, içinde sıcak bir akışkanın bulunduğu boruların veya direnç tellerinin üzerinden geçirilerek ısıtılır. Bu durum şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7 Yaş havanın ısıtılması

Isıtma işlemi sırasında havadaki nem miktarı değişmez, çünkü nemlendirme veya nem alma söz konusu değildir. Başka bir ifadeyle, nemlendirme veya nem almanın söz konusu olmadığı bir ısıtma veya soğutma işleminde, özgül nem sabit kalır ($w = \text{sabit}$). Bu tür bir ısıtma işlemi, psikrometrik diyagramda yatay bir doğru olarak görünen sabit özgül nem doğrusu üzerinde, artan kuru termometre sıcaklığı yönünde gelişir. Duyulur ısıtma sırasında havanın özgül nemi " w " sabit kalırken bağıl nemi azalmaktadır. Bunun nedeni bağıl nemin havadaki nem miktarının, havada aynı sıcaklıkta bulunabilecek en çok nem miktarına oranı olarak tanımlanması ve havada bulunabilecek nem miktarının sıcaklıkla artmasıdır.

Sabit özgül nemde soğutma (duyulur soğutma) yukarıda açıklanan duyulur ısıtma işlemine benzerdir, fakat bu işlem sırasında kuru termometre sıcaklığı azalır ve bağıl nem artar. Duyulur soğutma, havayı içinden soğutucu akışkan veya soğuk su akan boruların üzerinden geçirerek sağlanabilir. Nemlendirme veya nem almanın olmadığı ısıtma veya soğutma işlemlerinde kütle korunumu denklemi, kuru hava için

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

$$w_1 = w_2$$

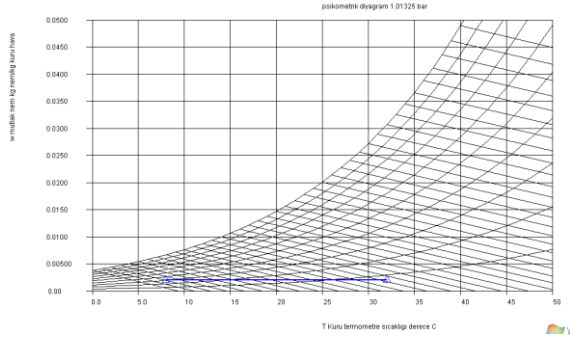
bağıntılarına dönüşür. Fan işi ihmal edilirse, enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki biçimi alır:

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

Burada h_2 ve h_1 havanın sırasıyla giriş ve çıkışta, birim kuru hava kütlesi için verilen entalpi değerleridir.

Yukarıda verilen bağıntılardan yararlanarak duyulur ısıtma ve duyulur soğutma için java programlama dilinde program yazılabilmektedir. Bu programı geliştirilmiştir. Bu programı kullanarak her iki proses için ayrı ayrı vermiş olduğu örnekleri inceleyelim.

Duyulur ısıtma örneğinde, kütleyi 1 kg/s, giriş sıcaklığını 8°C, giriş bağıl nem değerini %30 ve çıkış sıcaklığını 32°C aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplanmış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:

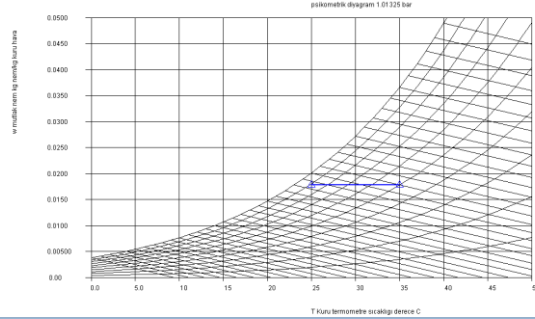


ısıtma prosesi çıktı değerleri	
m kg/s	Q ısıtma KW
1.0	24.17500205427084

Basınç bar	sıcaklık C	γ kh özgül hac.	Pv su buharı	Pa hava kts	w özgül nem	ϕ bağıl nem	dos doygunlu	h enthalpi KJ/	s entropi KJ/	çn çğ noktas	ha kuru havan	hv su buharı	hw duyu
1.01325	8.0	0.799056037	0.003217157	1.010032842	0.001981100	0.3	0.297770359	13.00221778	0.047762229	-8.51825951	8.017168686	2516.302371	4.985049096
1.01325	32.0	0.867266405	0.003217157	1.010032842	0.001981100	0.067610432	0.064640584	37.17721983	0.130273130	-8.51825951	32.10359859	2561.010919	5.073621245

Şekil 8 Duyulur Isıtma Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

Duyulur soğutma örneğinde kütleyi 1 kg/s,giriş sıcaklığını 35°C,giriş bağıl nem değerini %50 ve çıkış sıcaklığını 25°C aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplanmış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:



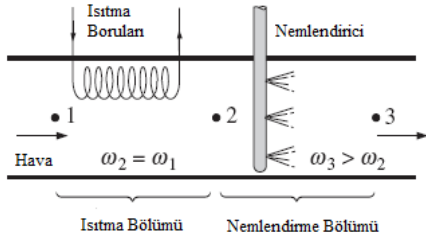
soğutma prosesi çıktı değerleri		
m kg/s	Q soğutma KW	m yoğuşma kg/s
1.0	10.381460192893115	0.0

Basınç bar	sıcaklık C	γ kh özgül hac.	Pv su buharı	Pa hava kts	w özgül nem	ϕ bağıl nem	dos doygunlu	h enthalpi KJ/	s entropi KJ/	çn çğ noktas	ha kuru havan	hv su buharı	hw duyu
1.01325	35.0	0.897948479	0.028138480	0.985111519	0.017765810	0.5	0.485718124	80.70559227	0.275084530	23.02207122	35.11867444	2565.991447	45.58691793
1.01325	25.0	0.868808499	0.028138480	0.985111519	0.017765810	0.887955215	0.884754796	70.32413208	0.240836168	23.02207122	25.06961343	2547.281399	45.25451865
1.01325	23.02207122	0.863044819	0.028138480	0.985111519	0.017765810	1.0	0.999999999	68.27280074	0.233933048	23.02207122	23.08395832	2543.584622	45.18884241

Şekil 9 Duyulur Soğutma Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

b. Isıtma ve Nemlendirme:

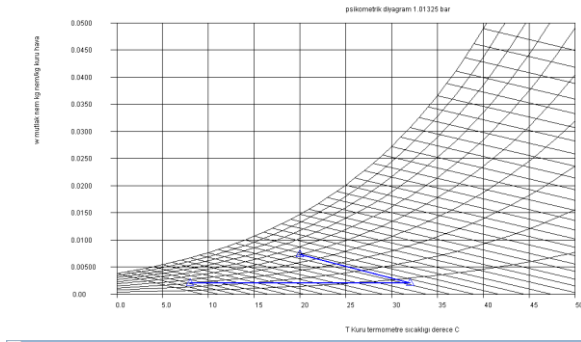
Duyulur ısıtmada bağıl nemin azalmasından dolayı ortaya çıkan sorunlar, ısıtılan havayı nemlendirerek yok edebilir.



Şekil 10

Bu işlem şekil 10'da görüldüğü havayı önce bir ısıtma bölümünden (1-2 hal değişimi) daha sonra da nemlendirme bölümünden (2-3 hal değişimi) geçirerek gerçekleştirilir. 3 hali nemlendirmenin nasıl yapıldığına bağlıdır. Eğer nemlendirme buhar püskürtülürse, nemlendirmenin yanında ısıtma da yapılmış olacaktır ($T_3 > T_2$). Eğer nemlendirme su püskürtülürse, buharlaşma gizli ısıyı havadan sağlayacak, bu nedenle hava sıcaklığı azalacaktır ($T_3 < T_2$). Bu durumda hava, nemlendirme sırasındaki sıcaklık düşmesini karşılamak için, ısıtma bölümünde daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılmalıdır.

Isıtma nemlendirme prosesini ısıtma nemlendirme ve ısıtma adiabatik nemlendirme olarak iki ayrı proseste inceledik. Şimdi bu prosesi geliştirdiğimiz örneklerle inceleyelim. Isıtma nemlendirme prosesi örneğinde, kütleyi 1 kg/s, $T_1=8^\circ\text{C}$, ϕ_1 (bağıl nem)=%30, $T_2=32^\circ\text{C}$, $T_3=20^\circ\text{C}$, ϕ_3 =%50 olarak aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplanmış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:

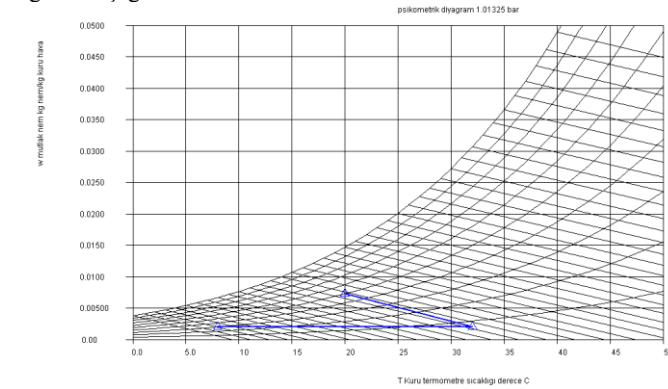


ısıtma ve nemlendirme prosesi çıktı değerleri				
m kg/s	Q1 ısıtma KW	Q2 nemlendir...	Q toplam ısıtma	nemlendirme...
1.0	24.17500205...	1.305512176...	25.48051423...	0.005279659...

ısıtma ve nemlendirme prosesi termodinamik değerler													
Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül hac	Pv su buhan	Pa hava ks	w özgül nem	φ bağıl nem	dos doygunlu	h enthalpi KJ/	s entropi KJ/	tcn çığ noktas	ha kuru havan	hv su buharın	hw w duyulur
1.01325	8.0	0.799056037	0.003217157	1.010032842	0.001981100	0.3	0.297770359	13.00221778	0.047762229	-8.51825951	8.017168686	2516.302371	4.985049096
1.01325	32.0	0.867266405	0.003217157	1.010032842	0.001981100	0.067610432	0.064640584	37.17721983	0.130273130	-8.51825951	32.10359859	2561.010919	5.073621245
1.01325	20.0	0.840211139	0.011691990	1.001558009	0.007260760	0.5	0.494163098	38.48273201	0.136106169	9.275690167	20.05200944	2538.401006	18.43072256

Şekil 11 Isıtma_Nemlendirme Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

Isıtma_adyabatiknemlendirme prosesi örneğinde,kütleyi 1 kg/s, $T_1=8^{\circ}\text{C}$, $f_1(\text{bağıl nem})=\%30$, $T_2=32^{\circ}\text{C}$, $T_3=20^{\circ}\text{C}$, (adyabatik nemlendirmede çıkış bağıl nem değeri $\%100$ 'dür.) olarak aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplanmış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:



ısıtma ve adyabatik nemlendirme prosesi çıktı değerleri		
m kg/s	Q ısıtma KW	nemlendirme kg/s
1.0	24.17500205427084	0.0

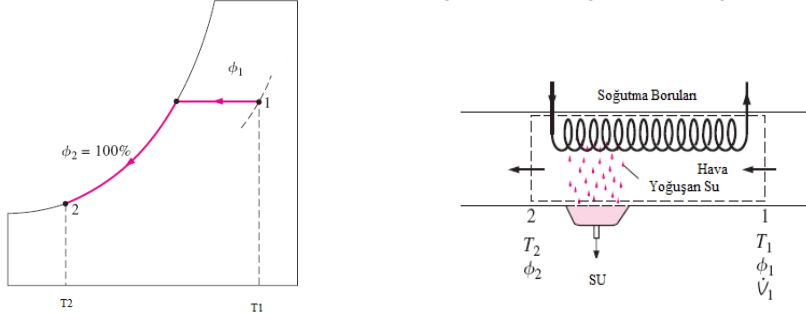
ısıtma ve adyabatik nemlendirme prosesi termodinamik değerler													
Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül hac	Pv su buhan	Pa hava ks	w özgül nem	φ bağıl nem	dos doygunlu	h enthalpi KJ/	s entropi KJ/	tcn çığ noktas	ha kuru havan	hv su buharın	hw w duyulur
1.01325	8.0	0.799056037	0.003217157	1.010032842	0.001981100	0.3	0.297770359	13.00221778	0.047762229	-8.51825951	8.017168686	2516.302371	4.985049096
1.01325	32.0	0.867266405	0.003217157	1.010032842	0.001981100	0.067610432	0.064640584	37.17721983	0.130273130	-8.51825951	32.10359859	2561.010919	5.073621245
1.01325	20.0	0.830515861	0.011044514	1.002205485	0.006854245	0.472311122	0.466495880	37.45095674	0.132632956	8.433390769	20.05200944	2538.419182	17.39894729

Şekil 12 Isıtma_Adyabatiknemlendirme Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

c.Soğutma ve Nem Alma:

Duyulur soğutma sırasında havanın özgül nemi sabit kalır, fakat bağıl nemi artar. Eğer bağıl nem istenmeyen ölçüde artarsa, havadaki su buharı miktarını azaltmak,başka bir deyişle nem almak gerekebilir. Bunu gerçekleştirmek için, havanın çığ noktası sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa soğutulması gerekir.

Nem alma ile birlikte soğutma işleminin nasıl gerçekleştirildiği şekil 13'te gösterilmektedir.



Şekil 13

Ilık ve nemli hava soğutma bölümüne 1 halinde girer.Soğutucu serpantininden geçen havanın,sıcaklığı azalır ve özgül nemi sabit kalırken bağıl nemi artar.Eğer soğutma bölümü yeterince uzunsa,hava çığ noktası sıcaklığına erişir(2 hali,doymuş hava).Havanın daha fazla soğutulması bir miktar su buharının yoğuşmasına neden olur.Yoğuşma devam ederken havanın hali,doymuş hava eğrisi (%100 bağıl nem eğrisi)üzerinde ilerleyerek son hale ulaşır(3 hali).Soğutma ve nem alma işlemleri birlikte ele alınırsa ,kütlenin ve enerjinin korunumu denklemleri aşağıdaki biçime dönüşür:

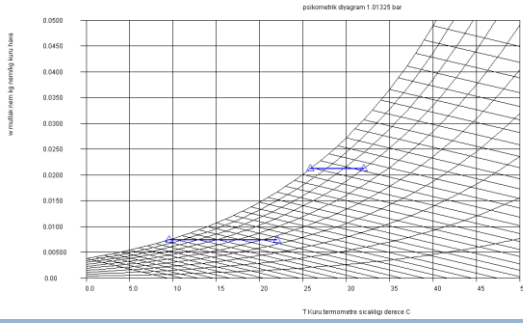
Kuru hava kütlesi: $m_{a1} = m_{a2} = m_a$

Su kütlesi: $m_{a1} w_1 = m_{a2} w_2 + m_{su}$ veya $m_{su} = m_a (w_1 - w_2)$

$W=0$ olduğu için $Q = \sum m_c h_c - \sum m_g h_g$ $Q = m_a (h_2 - h_1) + m_{su} h_{su}$

Bu denklemlerden yararlanarak geliştirdiğimiz java programı ile soğutma_nemalma_ısıtma prosesi ve soğutma_nemalma_karıştırma prosesi için iki ayrı örnek verilmiştir:

Soğutma_nemalma_ısıtma prosesi örneğinde,kütleyi 1 kg/s, $T_1=32^{\circ}\text{C}$, $f_1(\text{bağıl nem})=\%70$, $T_2=22^{\circ}\text{C}$, $\phi_2=\%45$ olarak aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplanmış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:

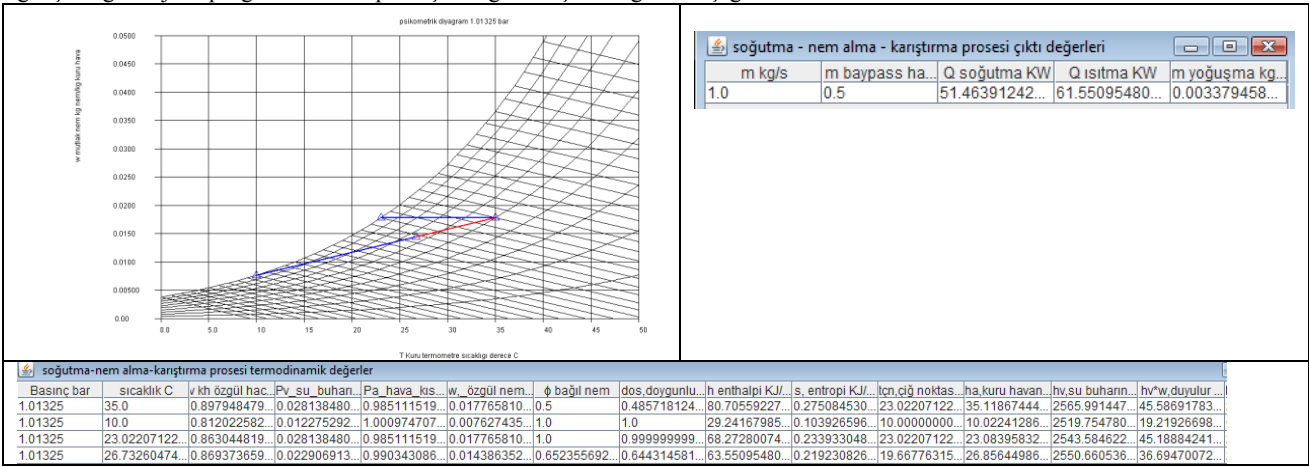


soğutma - nem alma - ısıtma prosesi çıktı değerleri			
m kg/s	Q soğutma KW	Q ısıtma KW	m yoğuşma kg/s
1.0	58.05348466247...	12.6716367598357	0.013749744836...

soğutma - nem alma - ısıtma prosesi termodinamik değerler											
Basınç bar	sıcaklık C	v kh özgül hac.	Pv su buharı	Pa hava kıs.	w özgül nem	φ bağıl nem	dos doygunlu	h enthalpi KJ/Kg	s entropi KJ/Kg	tçn çığ noktası	ha kuru havan
1.01325	32.0	0.893897911...	0.033308620...	0.979941379...	0.021141039...	0.7	0.689802873...	86.22979867...	0.292491351...	25.83860440...	32.10359859...
1.01325	22.0	0.846118925...	0.011899720...	1.001350279...	0.007391294...	0.45	0.443463979...	40.84795077...	0.144133792...	9.537215805...	22.05835793...
1.01325	25.83860440...	0.875848890...	0.033308620...	0.979941379...	0.021141039...	1.0	1.0	79.79459211...	0.271186878...	25.83860440...	25.91221276...
1.01325	9.537215805...	0.810391337...	0.011899720...	1.001350279...	0.007391294...	1.0	0.999999999...	28.17631401...	0.100268189...	9.537215805...	9.558348076...

Şekil 14 Soğutma_nemalma_ısıtma Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

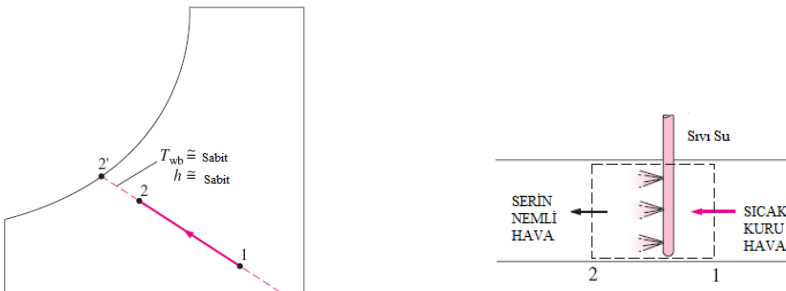
Soğutma_nemalma_karıştırma prosesi örneğinde, $m_1 = 1$ kg/s, $T_1 = 35^\circ\text{C}$, f_1 (bağıl nem)=%50, $T_2 = 10^\circ\text{C}$, $m_2 = 0.5$ kg olarak aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplanmış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:



Şekil 15 Soğutma_nemalma_karıştırma Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

d.Evaporatif(Buharlaştırma)Soğutma:

Günümüzde iklimlendirme sistemlerinin çalışma ilkesi soğutma çevrimine dayanır.Bu sistemler her yerde kullanılabilirler,fakat ilk yatırım ve işletme giderleri yüksektir.Çok sıcak ve kuru yerlerde iklimlendirmenin yüksek maliyeti buharlaştırmalı soğutucular kullanılarak önlenabilir. Evaporatif (buharlaştırmalı) soğutma basit bir ilkeye dayanır:Su buharlaşırken buharlaşma gizli ısı su kütesinden ve çevre havadan sağlanır.Bunun sonucu olarak hem su hem de hava soğur.Bu yöntem yüzyıllardan beri içme suyunu soğutmak için kullanılmıştır. Sıcak,kuru bir günde avlunun sulandığı zaman daha serin olduğu dikkatinizi çekmiştir.Bunun nedeni suyun buharlaşırken çevreden ısı almasıdır.Evaporatif (buharlaştırmalı) soğutucu da aynı ilkeye göre çalışır.Evaporatif (buharlaştırmalı) soğutma sistemi şekil 16'da açıklanmıştır.



Şekil 16

Sıcak ve kuru hava buharlaştırmalı soğutucuya 1 halinde girer ve burada içine su püskürtülür.İşlem sırasında suyun bir bölümü hava akımından ısı çekerek buharlaşır.Bunun sonucu olarak hava akımının sıcaklığı azalır ve nem miktarı artar(2 hali).Hava bu işlemle en çok 2' haline soğutulabilir.2' halinde hava doymuş olup,erişebileceği en düşük sıcaklığa erişmiştir.

Evaporatif (buharlaştırmalı) soğutma işlemi,adyabatik doyma işlemiyle hemen hemen aynıdır,çünkü hava akışıyla çevre arasındaki ısı geçişi genellikle ihmal edilebilir.Bu nedenle,buharlaştırmalı soğutma işlemi psikrometrik diyagramda sabit yaş termometre sıcaklığı doğrusunu izler.Su sıcaklığının havanın son haldeki sıcaklığından farklı olması durumunda,bunun tam olarak böyle gerçekleşmeyeceği not edilmelidir.Sabit yaş termometre sıcaklığı doğrularıya sabit entalpi doğruları hemen hemen çakıştığı için,akış sırasında havanın entalpisinin değişmediği kabul edilebilir.Başka bir deyişle,evaporatif (buharlaştırmalı) soğutma sırasında,

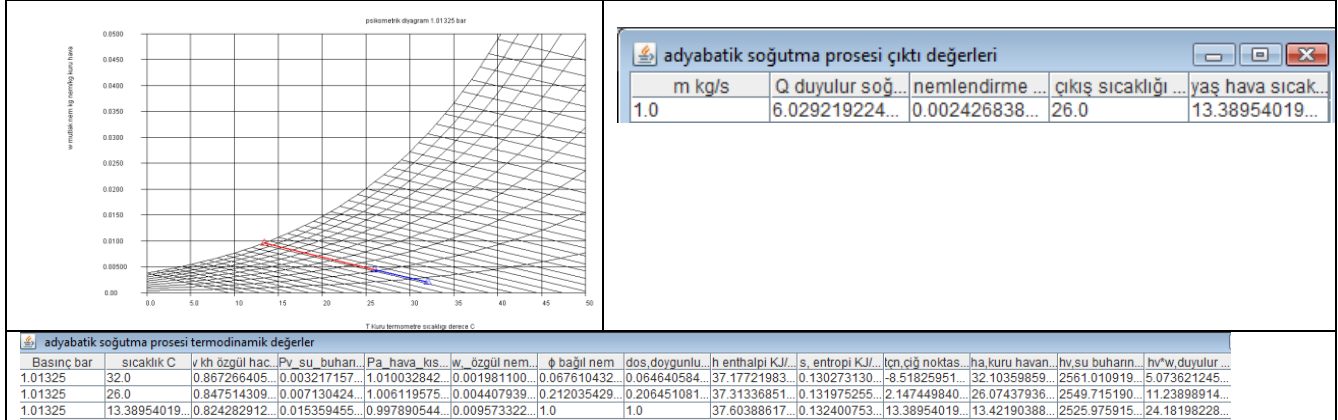
$$T_{y1} = \text{Sabit} \quad (21)$$

$h = \text{Sabit}$ (22)

olur. Bu bağıntılar oldukça hassas sonuçlar verir ve iklimlendirme hesaplarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Evaporatif (buharlaştırılmalı) soğutmayı bir örnekle pekiştirelim: $m_1 = 1 \text{ kg/s}$, $T_1 = 32^\circ\text{C}$, f_1 (bağıl nem) = %6, $T_2 = 26^\circ\text{C}$ olarak aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplamış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:

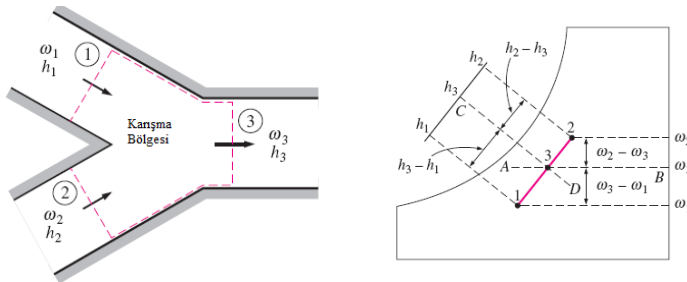
Not: Evaporatif (buharlaştırılmalı) Soğutma prosesi adyabatik soğutma işlemiyle aynı olduğu için program adyabatik soğutma prosesi programı olarak geliştirilmiştir.



Şekil 17 Evaporatif(buharlaştırılmalı) Soğutma Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

e. Hava Akışlarının Adyabatik Olarak Karıştırılması:

İklimlendirme uygulamalarının çoğunda iki hava akışının karıştırılması gerekir. Bu durum özellikle büyük binalarda, fabrika, imalat atölyeleri ve hastanelerde kullanılmaktadır. Bu gibi yerlerde iç havanın istenen koşullara getirilmesinden sonra, temiz dış havayla karıştırılarak odalara veya çalışma yerlerine gönderilmesi gerekir. Karıştırma işlemi şekil 18'de gösterildiği gibi iki hava akışını birleştirerek sağlanır.



Şekil 18

Karıştırma işlemi sırasında çevreye olan ısı geçişi genellikle azdır, bu nedenle işlem adyabatik kabul edilir. Karıştırma işlemi sırasında iş etkileşimi yoktur, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri de ihmal edilebilir. Bu kabullerle, iki hava akışının adyabatik olarak karıştırılması sırasında kütle ve enerjinin korunumu denklemleri aşağıdaki gibi olur:

$$\text{Kuru hava kütlesi: } m_{a3} = m_{a2} + m_{a1} \quad (23)$$

$$\text{Su buharı kütlesi: } m_{a1} w_1 + m_{a2} w_2 = m_{a3} w_3 \quad (24)$$

$$\text{Enerjinin korunumu: } m_{a1} h_1 + m_{a2} h_2 = m_{a3} h_3 \quad (25)$$

Bu denklemlerden m_{a3} yok edilirse,

$$m_{a1} / m_{a2} = (w_2 - w_3) / (w_3 - w_1) = (h_2 - h_3) / (h_3 - h_1) \quad (26)$$

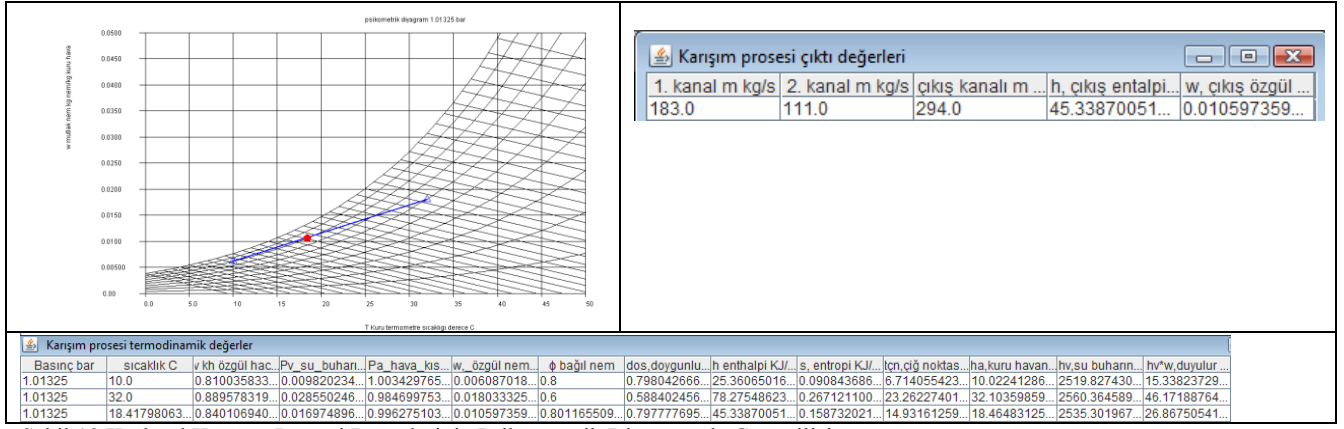
bulunur. Bu denklemin psikrometrik diyagramda geometrik bir yorumu yapılabilir. Denklem,

$(w_2 - w_3) / (w_3 - w_1)$ oranının (m_{a1} / m_{a2}) oranına eşit olduğunu belirtmektedir. Bu koşulu sağlayan haller şekil 19'da AB kesik doğrusuyla gösterilmiştir. $(h_2 - h_3) / (h_3 - h_1)$ oranı da m_{a1} / m_{a2} oranına eşittir. Bu koşulu sağlayan haller de şekil 18'de CD kesik doğrusuyla gösterilmiştir. Her iki koşulu sağlayan hal ise bu iki doğrunun kesişim noktasıdır ve 1 ve 2 hallerini birleştiren doğru üzerindedir. Buradan şu sonuçları çıkarmak mümkündür: Farklı hallerdeki iki hava akışı (1 ve 2 halleri) adyabatik olarak karıştırıldığı zaman, karışımın hali (3 hali), psikrometrik diyagramda 1 ve 2 hallerini birleştiren doğru üzerinde olur; 2-3 uzunluğunun 3-1 uzunluğuna oranı ise, kütle debilerinin oranı m_{a1} / m_{a2} oranına eşittir.

Doyma eğrisinin iç bükey olması ve yukarıdaki sonuç ilginç bir olasılığı belirtmektedir. 1 ve 2 halleri doyma eğrisinin yakınında olduklarında, bu iki hali birleştiren doğru doyma eğrisini kesecek ve 3 hali doyma eğrisinin solunda kalabilecektir. Bu durumda bir miktar su buharı yoğunur.

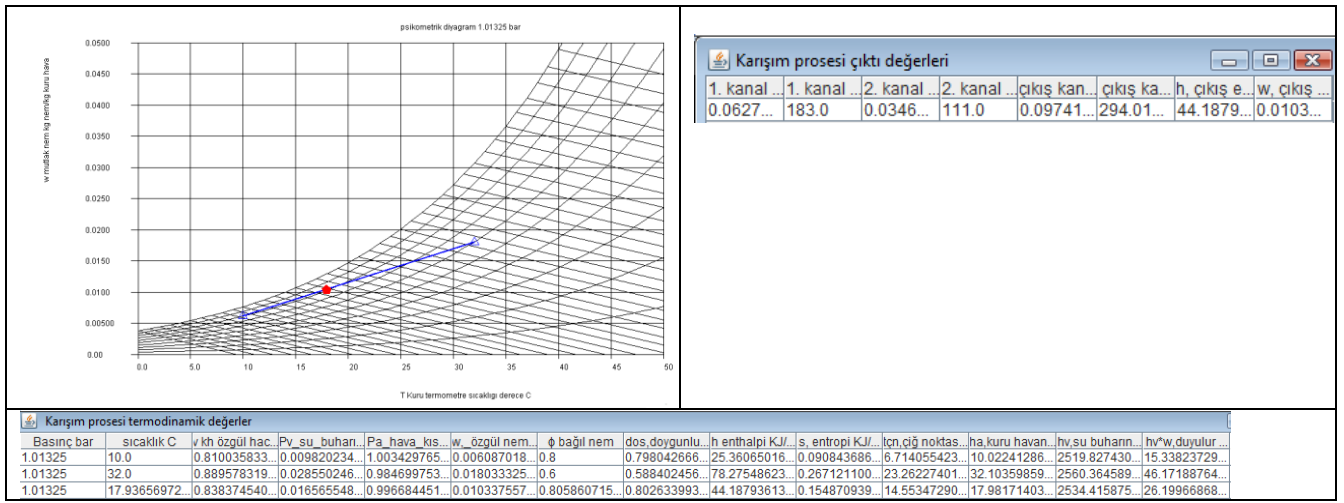
Karıştırma prosesini kütsel karışım ve hacimsel karışım olarak iki ayrı örnekle inceledik.

Kütsel karışım örneğinde ; $m_1 = 183 \text{ kg/s}$, $T_1 = 10^\circ\text{C}$, $f_1 = \%80$, $m_2 = 111 \text{ kg/s}$, $T_2 = 32^\circ\text{C}$, $f_2 = \%60$ olarak aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplamış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:



Şekil 19 Kütleli Karışım Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

Hacimsel karışım örneğinde ; $m_1 = 183 \text{ m}^3/\text{h}$, $T_1 = 10^\circ\text{C}$, $f_1 = \%80$, $m_2 = 111 \text{ m}^3/\text{h}$, $T_2 = 32^\circ\text{C}$, $f_2 = \%60$ olarak aldığımızda geliştirdiğimiz java programı ile hesaplanmış olduğumuz çıktı değerleri aşağıda verilmektedir:



Şekil 20 Hacimsel Karışım Prosesi Değerlerinin Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

Sonuçlar:

Bu çalışmada, kuru hava ve su buharının termodinamik özelliklerinin tanımlanması ve bu özelliklerin hesaplanması, ayrıca yaş hava proseslerinin temel özellikleri ve bu proseslerin hesaplanması hakkında bilgi verilmiştir. Bu proseslerin hesaplanması için java programlama dilinde bir program geliştirdik ve yaş hava proseslerinin hesaplanmasında bu geliştirmiş olduğumuz program sayesinde, iklimlendirme uygulamalarında karşımıza çıkacak olan problemlerin çözümünde biz mühendisler için faydalı bir kaynak olacağına inanıyorum.

Kaynaklar:

- Yunus Çengel, Michael Thermodynamics An Engineering Approach, 5th ed., McGraw-Hill-Chapter 14.
- Air Conditioning and Refrigeration Mechanical Engineering Handbook.
- Handbook of Air Conditioning and Refrigeration-Shan K.Wang.
- Keenan, J; Keyes, F.G; Hill, P.G.; Moore, J.G., Steam Tables, Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid and Solid, Wiley Interscience publication, 1969, ISBN 0-471-04210-2
- M. Turhan Çoban, Java 2 Programlama Kılavuzu, ALFA yayınevi, ticarethane sok no 41/1 34410 cagaloglu Istanbul, ISBN 975-316-631-1
- M. Turhan Çoban, Sayısal Metotların Soğutma Dünyasına uygulanması : Yaş havanın Termodinamik özellikleri, Soğutma Dünyası ISSN 1304-1908 Ekim-Aralık 2006