İKLİMLEMDİRME HAVALANDIRMA UYGULAMALARI

DERS NOTLARI

BÖLÜM 1

İKLİMLENDİRME

Isıtma, soğutma, havalandırma ve iklimlendirme/klima konularında ana hedef insanlar için daha iyi, daha rahat, huzurlu, sağlıklı ve emniyetli bir yaşam sağlamaktır. Diğer yandan, bugünkü teknolojinin ve çeşitli endüstriyel işlemlerin yapılması sırasında da çalışılan ortamın belirli ve yapılan işlere uygun olan şartlara getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, havanın şartlandırılması ihtiyacı sadece insanlar için değil, çeşitli amaçlarla beslenen evcil hayvanlar, hatta bitkiler için de gerekmektedir. Bu uygun şartlar; ortamın sıcaklığı, bağıl nem seviyesi, içindeki oksijen miktarı, toz-duman/koku gibi zararlı maddelerden arındırılıp temizlenmesi ve ortam havasının tüm hacimdeki homojen dağılımının yani hava hareketinin sağlanması şeklinde özetlenebilir. Bu amaçla uygulanan işlemlere "Havanın Şartlandırılması" veya "İklimlendirme" adı verilmekte olup dilimize Almancadan girmiş olan "Klima" ve İngilizceden girmiş olan "Air conditioning" deyimleri de sık sık kullanılmaktadır.

Bütün bunları sağlarken de beklenen en önemli husus, ekonomiklik ve çevreye en az zarar verecek tarzda tesis edilmiş olmasıdır (çevre kirliliği, gürültü, dış estetik görünüm). Dolayısıyla, ihtiyaçları yeterli derecede iyi sağlayan ve aynı zamanda da kuruluş ve işletme masrafları yönünden mümkün olduğunca ekonomik olan bir iklimlendirme sistemi beklenir. Tek tek münferit elemanları bu esaslara göre standartlaştırılmış ve imal edilmiş, ayrıca iyi projelendirilip cihaz-ekipman seçimleri de doğru ve titizlikle yapılmış ve en önemlisi sistemin çalıştırılacağı yapıya, amaçlara uygun şekilde yerleştirilmiş, testleri-ayarları-balansları düzgün yapılarak devreye alınmış olması yanında iyi eğitilmiş işleticilerin eline teslim edilmiş bir iklimlendirme sistemi bekleneni vererek uzun yıllar çalışmaya devam edecektir.

1.1. İKLİMLENDİRMENİN ÖNEMİ

Dünyada kabul edilmiş araştırmalara göre, insanlar belli bir sıcaklık ve nem aralığında ve temiz havalı ortamlarda rahat etmektedirler. Bu aralık **konfor bölgesi** olarak tanımlanmıştır (nem %30 ile %60, sıcaklık 20-270C). Sıcaklığın gereğinden fazla veya az olmasının rahatsız edici olduğu açıktır. Nem düzeyinin az olması boğaz kuruluğu, gözlerde yanma gibi rahatsızlıklara yol açmasının yanında, fazla nem de terlemeye ve bunaltıcı bir sıcaklık hissine neden olur. Ayrıca ortamın havası temiz ve taze olmalıdır, toz, duman, polen ve diğer zararlı maddelerin filtre edilmesi ve insanın fark etmeyeceği ama temiz havayı getirip kirli havayı götürecek bir hava dolaşımı gereklidir.

Günümüzde pek çok insanın yaşamının önemli bir bölümü kapalı mekânlarda geçmektedir. Bu mekânlar gerek hacim, gerekse barındırdıkları insan sayısı olarak büyük boyutlara ulaşmışlardır. Fuar, konferans, tiyatro, sinema salonlarının, alışveriş merkezlerinin, diskotek ve gazinoların, pencereleri açılmayan yüksek binaların vb. yaşanabilir hâlde tutulması için iklimlendirme (**klima**) şarttır. Oteller, hastaneler, gıda, tekstil, elektronik, kâğıt, tütün, vb. endüstrileri de iklimlendirmeye tam anlamıyla muhtaçtırlar.

Küçük işyerleri ve konutlarda da klima kullanımının yararları tartışılmazdır. Fazla sıcak, fazla soğuk, rutubetli, fazla kuru, oksijeni az-karbondioksiti fazla, tozlu, dumanlı, kokulu ortamlarda yaşamayı, çalışmayı, hatta mal ve eşyalarını bulundurmayı elbette ki hiç kimse istemez. Yazın seyahat ederken bindiğiniz taşıtın camlarını sıcaktan bunalmamak için açamayacağınız, açsanız da fayda etmeyeceği durumlarda ise araç klimanız imdadınıza koşacaktır.

İklimlendirilmiş ortamlar, iş gücü veriminde artış ve sağlıklı bir yaşam sağlar. Yukarıda sayılan zararlardan kurtulmak ve yararları elde etmek için iklimlendirme gereklidir. Bu bilgilerin ışığında klima bir lüks değil, insanca yaşamak için bir ihtiyaç hâline gelmiştir.

İklimlendirme soğutma değildir. İklimlendirme, kapalı mekânın havasının istenen sıcaklık, nem, hava dolaşımı, temizlik ve tazelikte tutulmasıdır. Bunların hepsinin olmasa da, birkaçının kontrol altında tutulması da iklimlendirme olarak tanımlanabilir.

Bir iklimlendirme cihazı yazın içerideki fazla ısıyı dışarıya atarak içerisini serinletir. Bu sırada havanın fazla nemi alınır, içeride gerekli hızda hava dolaşımı sağlanır ve hava filtre edilir. Cihazın ısı pompası özelliği de varsa, kışın yaz çalışmasının tersine çalışarak dışarıdan aldığı ısıyı içeriye vererek ısıtma da sağlar. Isı, soğutulan ortamdan evaporatör (buharlaştırıcı) vasıtası ile çekilir, kondenser vasıtası ile ısıtılan ortama verilir.

Sıcaklık ve bağıl nem seviyelerinin muhafazası, oksijen ihtiyacı, toz-duman ve kokudan arındırma, hava hareketini sağlama şeklinde özetlenen iklimlendirmenin altı ana unsuru aşağıdaki şekilde sağlanır:

1. **Sıcaklık seviyesinin muhafazası:** İnsan veya imalat kontrolü için ortam sıcaklığı konfor veya tasarım şartlarını sağlanmalıdır. Bu şartlar insan konforu için 18-27 ºC arasında değişmektedir. İklimlendirilen hacmin ısı kaybı (kış konumu) veya ısı kazancı (yaz konumu) durumuna göre ısıtma veya soğutma işlemleri ile sıcaklık seviyesi muhafaza edilir.
    a. Isıtma: Merkezi bir mahalde üretilen sıcak su, kızgın su, buhar ile elektrikli ısıtıcılarla, direkt yakıcılara sahip cihazlarla, ısı pompaları ile, atık ışılan geri kazanma cihazları ile, güneş enerjisinden yararlanma usulleri ile sağlanır.
    b. Soğutma: Mekanik soğutma usulleri, evaporatif soğutma, soğutma enerjisinin depolanması gibi uygulamalarla sağlanır.

2. **Nem seviyesinin sağlanması:** Burada da hacmin nem kaybı veya kazancı durumuna göre nemin alınması veya ilave edilmesi gerekecektir. Özellikle kışın nem oranı düşük olan dış havanın ısıtılarak iklimlendirilen hacme verilmesi işleminde çok düşük seviyelere düşen hava bağıl nem yüzdesinin, hacmin kullanma amaçlarına uygun seviyelere çıkartılması gerekir. İnsan konforu için bağıl nem %30 - %60 arasında tutulmalıdır.
    a. Bağıl nemin yükseltilmesi, nemlendiricilerle sğlanır (buharlı, püskürtmeli)
    b. Bağıl nemin düşürülmesi ise hava sıcaklığının çiğ nokta değerinin altına indirilip tekrar ısıtılması veya kimyasal usullerle sağlanır.

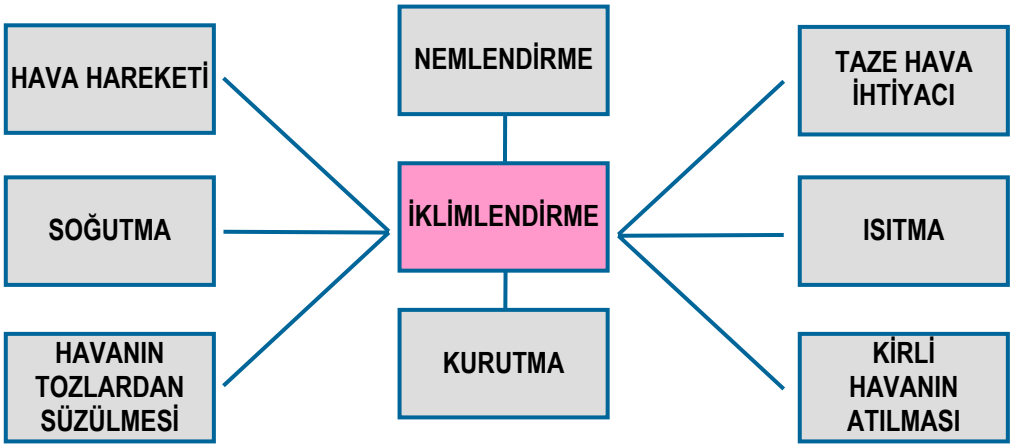
3. **Oksijen ihtiyacının sağlanması:** Doğada bol miktarda bulunan ve yaşayan tüm varlıkların vazgeçilmez ihtiyacı olan oksijen, pratik olarak sadece dış havadan sağlanabilmektedir. Bu amaçla iklimlendirilen hacme ulaştırılmak üzere iklimlendirme sistemine hesaplanan belirli oranlarda dış havanın alınması gerekecektir.

4. **İklimlendirilen hacmin havasının kir, toz, koku, sigara dumanı gibi zararlı ve rahatsız edici maddelerden arındırılması:** Havanın değişik tür ve verim değerlerine sahip filtrelerden geçirilmesi ile sağlanır. Koku ve sigara dumanının atılması en etkin şekilde dış taze hava ile sağlanmakta olup aktif karbon filtreler, bazı özel yıkayıcılar, absorban maddelerle temas ettirme gibi usullerde uygulanma gereksinimine göre kullanılmaktadır.

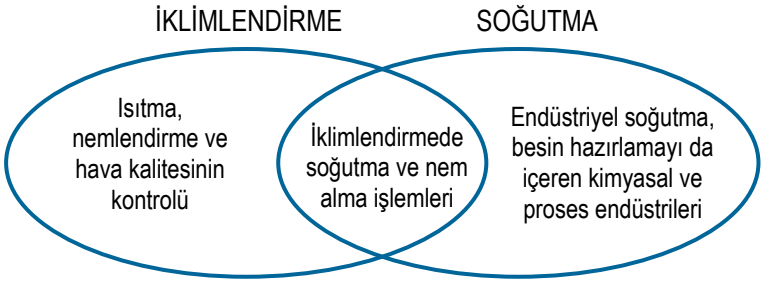
5. **Havanın harekete geçirilmesi:** İklimlendirilen hacmin gerek sıcaklık ve nem seviyesi, gerekse kirlenme durumu her noktada aynı olmayacaktır. Isı kayıp ve kazançları, başta cam olmak üzere dış yüzeylerde daha fazladır. Kirlenme durumu ise kirlenme kaynağının yoğunlaştığı noktalarda fazla olacaktır. Ayrıca konfor için yaz aylarında daha fazla, kış aylarında nispeten daha düşük hava hareketi gereklidir. İklimlendirme sistemlerinde hava hareketini sağlayan elemanlar vantilatör veya fan diye adlandırılır, radyal ve aksiyal diye iki grupta toplanır.

6. **Temizlik:** Havanın içindeki partikül madde (PM) ve zararlı gazların (SO_2, CO_2 vb.) filtrelenmesi gerekir.

İklimlendirme sisteminin bütün bu sayılan işlemlerini Şekil 1.1'de ve iklimlendirme soğutma ilişkisini Şekil 1.2.'de göstermek mümkündür.



Şekil 1.1. İklimlendirme sisteminden beklenen işlemler



Şekil 1.2. İklimlendirme ile soğutma ilişkisi

Bir iklimlendirme sistemi, yukarıda sayılan özellikleri ile bir bütün teşkil edecek tarzda tasarlanıp uygulanacaktır. Ancak, her uygulamanın ayrı özelliklerinin olacağı ve belirli ihtiyaçları karşılamasının bekleneceği muhakkaktır. Bu da, söz konusu işlemlerden tümüne ihtiyaç olmayabileceği (örneğin nemlendirme gibi), bazı işlemlerin daha basit veya daha komplike şekilde (örneğin bir ameliyathane iklimlendirme cihazının HEPA filtresi gibi) yapılmasının gerekebileceği anlamını taşımaktadır. Sistem, belirli bir yapıya oturtulma amacını taşıdığına göre bu yapının bağımsız hacimlerinin ayrı ayrı tüm ihtiyaçlarını karşılaması beklenecektir.

Klima sisteminin tasarımında yukarıda sayılan işlemleri yapması beklenirken bunu en ekonomik ve çevreye en az zarar verecek tarzda yapması esastır, iklimlendirilen hacimden uzaklaştırılması istenen ısı, nem ve hava kirlilikleri, mümkün olduğunca kaynağında yakalanıp hacme yayılmadan uzaklaştırılmalıdır. Bu surette hedeflenen değerlere daha kolay erişilebilecektir.

Görüldüğü gibi, iklimlendirme işlemlerinin temelinde “Hava” esas unsuru teşkil etmektedir. Havanın iklimlendirme işlemindeki görevleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

a. Isı ve nemi taşır (iklimlendirilen hacme veya dışarıya)
b. Oksijeni taze havadan sağlar.
c. Koku, toz, duman v.s. dışarıya taşır.

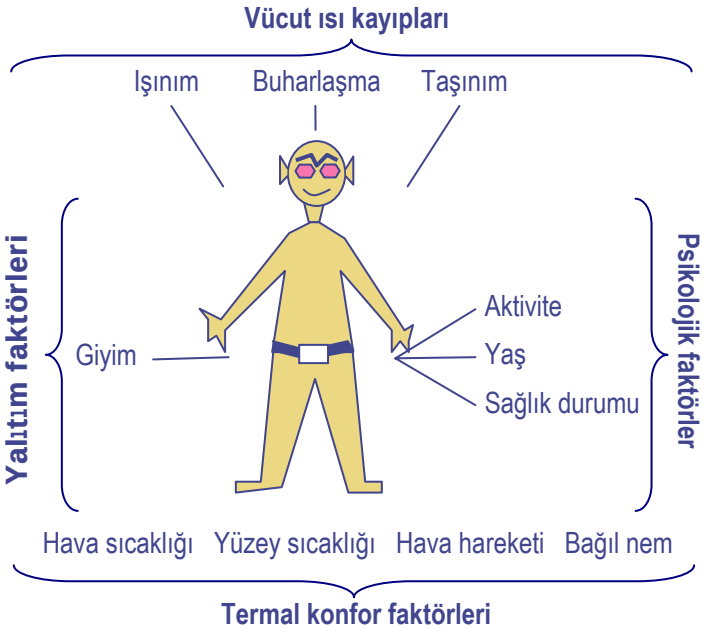
Bu da hava unsuru çok iyi tanımamızı ve fiziksel özelliklerini iyi kavramamızı gerektirir. Bu konuda fizik, termodinamik, ısı transferi ve akışkanlar mekaniği temel bilgilerine sık sık ihtiyaç duyulur.

1.2. FİZYOLOJİK ESASLAR VE KONFOR

İnsan ve diğer canlılar vücutlarında sürekli enerji üretirler. Bu enerjinin büyük bir kısmı ısıl enerji olup insanlarda bu, aktivitesine göre 100 ila 1000 W arasında olmaktadır. Vücut sıcaklığının dar bir sınır içinde kalması, gerek konfor ve rahatlık hissi gerekse sağlık için gereklidir. Bundan aşırı sapmalar sıcak veya soğuktan rahatsızlık hatta tepki şeklinde ve hayat kaybına kadar varabilen sonuçlara neden olabilmektedir. Bu nedenle vücut ısısının, insanın rahatça dayanabileceği sıcaklıkların sınırı içinde kalacak şekilde kontrollü tarzda vücuttan çevreye verilmesi gerekmektedir.

Vücut tarafından üretilen metabolik enerjinin bir kısmı vücut adaleleri ile işe dönüşecek, kalan kısmı ise çevreye verilecek ve kalanı vücut sıcaklığının artmasına neden olacaktır. Ancak, vücut sıcaklığının artması ile kontrol mekanizması bunu düşürmek üzere bir yandan terleme hızını arttırıp çevreye gizli ısı vermek sureti ile diğer yandan da insanın şelf kontrolü ile giysilerini çıkartmak, serin bir ortama geçmek, mümkün olabiliyorsa aktivitesini azaltarak metabolik enerji seviyesi büyük ölçüde değişir. Birim vücut yüzeyinden uyurken 40 W/m^2 civarında iken güreş müsabakası gibi çok ağır spor sırasında 500 W/m^2 seviyelerine çıkmaktadır. Ortalama 1.8 m^2 olan insan vücudu yüzeyinde bu rakam 900 W seviyesinde olacaktır. Buna bağlı olarak insanın oksijen ihtiyacı da değişecek ve uyurken 0.5 lt/dak iken çok ağır iş yapma durumunda 2 lt/dak ya yükselmektedir. Kalp atışları da aktivite arttıkça artmakta ve 150-170 l/dak ya kadar çıkmaktadır.

Şekil 1.3’te termal konforu etkileyen faktörleri göstermektedir. İlk olarak vücut, vücut sıcaklığını sağlamak için metabolik işlemlerle ısı üretir. Metabolik işlemler yaş, sağlık ve aktivite seviyesi gibi faktörlerden etkilenir. Örnek olarak verilen bir çevre koşulları ortamdaki bir kişi için yeterince uyumlu olabilirken diğerinin hastalanmasına neden olabilir. Mevsimler değiştiğinde bir kişi giydiği elbiseleri ile ayarlamak isteyebilir. Onlar çevre şartlarını arzu ettiklerinden daha geniş kademede konforlu bulabilirler.



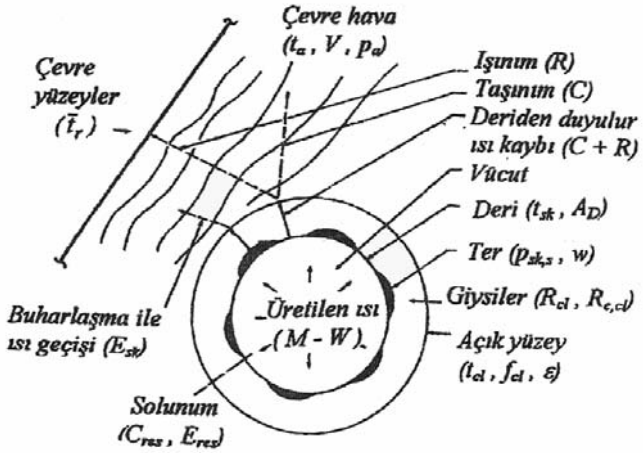
Şekil 1.3. Termal konforu etkileyen faktörleri göstermektedir

Fanger tarafından geliştirilen sürekli rejim modelleri, vücudun ısıl dengede olduğunu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceğini kabul eder. Vücut içi ve deri tek bir bölme olarak ele alındığı için, titreme ve kan akışı ile denetim göz önüne alınmaz ve sıcaklık zaman göre sabit kabul edilir. Sürekli rejimde üretilen enerji, ısı kaybına eşit olur ve enerji dengesi;

$$M - W = Q_{sk} - Q_{res}$$
$$= (C + R + E_{sk}) + (C_{res} - E_{res})$$

bağıntısı ile verilir. Bu bağıntıdaki değerler aşağıda tanımlanmıştır.

M = Metabolik ısıl enerji üretimi, W/m^2
W = Yapılan mekanik iş, W/m^2
Q_{res} = Solunum ile olan toplam ısı kaybı, W/m^2
Q_{Sk} = Deriden olan ısı kaybı, W/m^2
C_{res} = Solunumla ilgili taşınım kaybı, W/m^2
E_{res} = Solunumla ilgili buharlaşma kaybı, W/m^2
C + R = Deriden duyulur ısı kaybı, W/m^2
E_{sk} = Deriden toplam buharlaşma kaybı, W/m*

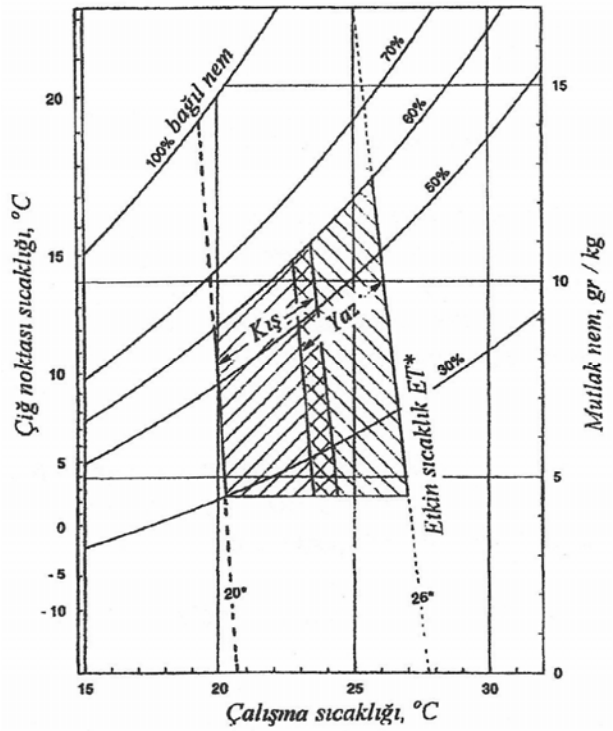


Şekil 1.3. İnsan vücudu ve çevrenin ısıl etkileşiminin silindirik modeli

Dört çevresel faktör vücudun ısı dağıtma kabiliyetini etkilemektedir. Bunlar, hava sıcaklığı, çevre yüzeylerin sıcaklığı, nem ve hava hızıdır. Giyimin miktarı ve tipi ve sakinlerin eylem seviyeleri de bu faktörleri etkilemektedir. Bir iklimlendirme sisteminde bu dört faktörü kontrol edilerek tasarımında kolaylık sağlanır. Şayet bir kimse uygun giyimliyse aşağıdaki kademeler genellikle kullanışlı olabilecektir.

Etkili sıcaklık	18 ile 27 ºC
Nem	2 ile 17 ºC çiğ noktası sıcaklığında
Ortalama hava hızı	0.25 m/s'den yukarıda

Isının çevreye verilmesinde, giyimin tecrit özellikleri ve teri geçirgenliği, çevre havası sıcaklığı ve bağıl nem seviyesi ile hava hareketlerinin durumu, çevredeki yüzeylerin sıcaklık-konum ve absorptivite-emissivite özellikleri yani radyasyonla ısı alış veriş şartları önemli etkenler olarak sayılabilir. Buradan gidilerek, etken sıcaklık deyimi ortaya çıkmış ve çevre konfor şartları için bir ölçü olmuştur. Sıcaklık ile beraber bağıl nem ve hava hızını da dikkate alarak yeni bir sıcaklık ölçeği tarif etmek gerekmiştir. Bu sıcaklığa etken sıcaklık (ET) adı verilmiş olup fizyolojik olarak hissedilen sıcaklığı temsil eder. Aşağıdaki şekilde (ET) ve konfor bölgeleri görülmektedir.



Şekil 1.4. Standart etkin sıcaklık ve ASHRAE konfor bölgeleri

Belirli bir sıcaklık ve nem seviyesindeki bir ortamda vücuttan atılan ısıya eşdeğer ısı atılan ve bağıl nemi % 50 olan bir başka ortamın sıcaklığı etken sıcaklık olarak tarif edilmektedir. Ancak, etken sıcaklığın giyim ve aktiviteye bağlı bir değer olması ve bu değerlerin hesaplanmasının, değişken sayısının çokluğu nedeni ile ve bunların sürekli değişmesinin söz konusu olduğundan basit bir tabloda toplanması çok zor ve yanıltıcı olmaktadır. Gelişen bilgisayar teknolojisi bunların hesapla çözümünü mümkün hale getirmiştir. Konfor şartlarının tespiti bu şekilde yapılabilmektedir.

1.3. İÇ HAVA KALİTESİ

Tipik bir insanın ömrünün büyük bir çoğunluğu yapıların iç hacimlerinde geçmektedir. Bununla birlikte 1970'li yıllarda petrol bunalımından sonra daha fazla önem kazanan enerji tasarrufuna yönelik bina yapımı özellikle dış atmosferden daha sıkı şekilde tecrit edilmiş iç hacimlere sahip yapıların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu tür yapılarda ise, yapılan istatistikler, iç hava kirliliğinin öncekilere göre daha yüksek seviyelere çıkmış olduğunu göstermektedir. Dış ortama göre iyi yalıtılmış bu hacimlerde bu defa kirli havanın atılması ve taze havanın iç ortama alınma ihtiyacı belirmiştir.

Unutulmaması gereken hedef öncelikle insan sağlığı ve onun ihtiyaçları olduğuna göre ve insan ömrünün ortalama %90'ı bu iç hacimlerde geçtiğine göre iç hava kalitesi bugün iklimlendirme-havalandırma konularının en önemli unsurunu teşkil etmelidir ve etmektedir de. İç hacimlerin kirlenmesine neden olan mikron mertebesinde büyüklükteki zerreler ile birçok kimyasal buharlar ve gazlar ve insan sağlığına zararlı etkileri şöylece özetlenebilir:

1. Karbon Monoksit
2. Azot Dioksit
3. Hidrokarbonlar ve Karbon Dioksit
4. Formaldehitler (HCHO - Bina inşaat ve izole malzemeleri ile mefruşat ve bazı giyim eşyalarında)
5. Radon gazı (Uranyum ve diğer radyoaktif madde karışımlı çevre, taş, toprak, bazı kuyu suları ve bazı doğalgaz)

6. Asbest (İnşaat malzemelerinde)
7. Ev eşyalarında bulunan toksik maddeler (Boya, cila, sentetik kumaş v.b.)
8. Solunum yollarına ulaşır türden havada asılı toz ve zerreler ile uçucu organik bileşimler (%98'i mikrondan daha küçük boyutlu olup özel yüksek verimli filtrelerle tutulabilmektedir).
9. Sigara dumanı
10. Alerjen maddeler (Polen, mantar v.b.)
11. Patojenler (Bakteri, virüs ve çeşitli mikroorganizmalar)

Gerçek olan husus, iç havanın kirlenmesinden en çok etkilenen ve zarar gören insan, iç hacim havasının kirletilmesinde de yine en başta gelen etkendir. Örneğin, insan solunum yolu ile CO_2 ve su buharı neşreder, ayrıca vücut kokusu, birçok hastalık mikroplan ile sigara içimi, evde yapılan boya-cila-temizlik, yemek pişirme gibi işler insanın neden olduğu hava kirlilikleridir. Özetle, iç hacimlerdeki hava kirliliğinin istatistiksel olarak artmasının dört ana sebebi vardır:

a. Enerji tasarrufu amacı ile iç hacimlerin tabii havalandırılmasının aşırı derecede azaltılması
b. Sentetik malzeme kullanımının çok fazla artması
c. İç hacimlerde havayı kirletici unsurların, havalandırma yetersizliği ile daha etken hale gelmesi
d. İç hava kirliliğine yönelen dikkatler sonucu bu konunun daha etraflı şekilde ortaya çıkmış olması

İç hava kirliliğinin artmasını önlemenin ilk ve en etkin şekli hava kirliliğine neden olan kaynağın kurutulmasına çalışmaktır. Ancak, bunun her zaman tümüyle mümkün olmayacağı açıktır. Bu nedenle, en etkin önlem olarak "iç hacimlerde üreyen hava kirletici maddeleri ürediği hızdan daha hızlı şekilde söz konusu iç ortamdan atmak" gerekmektedir. Bunun için ise iyi bir havalandırma ve filtreleme sistemi ile iç havayı kirleten kaynakların hemen yanında tesis edilecek emici ağızlarla kirliliğin yayılmasına meydan vermeden yakalayıp dışarıya atmak etkin bir çözüm yolu olmaktadır. Diğer yandan, bina içinde meydana gelen hava kirliliğinin bir kısmı da gene büro içi elemanlar tarafından absorbe veya adsorbe edilmektedir. İç hava kirliğinin insan sağlığı ve konforuna etkileri üç safha olarak gruplanabilir:

1. Rahatsız edici, sıkıntı verici ortam
2. Kısa süreli rahatsızlıklar, solunum zorluklan, alerjik reaksiyonlar, gözlerde yanma ve kaşıntı, dikkat dağılması ve düşünme zorlaşması
3. Uzun süreli, kronik hastalıklar

Bunlardan en ciddi ve en önemli olanı şüphesiz Akciğer kanseri olup, kronik solunum yolları ve akciğer hastalıkları da insan sağlığı yönünden önemlidir. İç hava kirliliğinden etkilenme derecesi ve şekli insanların kalıtımsal yapısı, genel sağlık seviyesi, yaşı, cinsiyeti ve daha pek çok başka etkenlere bağlı olarak değişmektedir. İç hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki önemli etkilerinden bir olan, dikkatin dağılması, isteksizlik, halsizlik olayı çalışma verimini azaltıcı sonuçlar doğurmaktadır. Aynı zamanda iç hava kalitesi eğer mahal bir üretim tesisi ise, üretilen malın kalitesine de direk etki eder. Dolayısıyla iç ortamın istenilen değerler mertebesinde şartlandırılması pek çok açıdan önem arz etmektedir.

Havalandırma, ısıtma ve soğutma cihazlarında önemli bir yükü oluşturur ve böylelikle enerji kullanımında önemli bir katılımcıdır. Ortamın kullanım şekli ve havalandırma seviyeleri dikkatlice düşünülmelidir. Örnek olarak binanın bir bölümünde sigaraya izin verilmesi binanın diğer kısmını etkileyeceğinden sigara için havalandırma debileri düzgün olarak kabul edilmemelidir. Ayrıca geri dolaşım için havanın temizlenmesi ve filtreleme araştırması dikkatlice incelenmelidir. Geri dolaşım havasının kullanımı dış hava sıcaklığı son derece yüksek veya düşük olduğunda enerji tasarrufu sağlayacaktır. ASHRAE standardı [2] geri dolaşım havası için izin verilebilir seviyelerini belirlemesi için aşağıdaki prosedür vermektedir.

$$\dot{V} = \dot{V}_r + \dot{V}_m$$

$\dot{V}$ = havalandırma amaçları için besleme havası debisi, l/s

$\dot{V}_r$ = geri dolaşım havası debisi, l/s

$\dot{V}_m$ = ortamın kullanım durumu için minimum dış hava debisi,

Örneğin olarak Tablo 1.1'de verilen havalandırma için dış hava ihtiyacı için sigarasız değer alınacak olursa dış hava ihtiyacı kişi başına 2.5 l/s'den az olmamalıdır. Ayrıca;

$$\dot{V}_r = \frac{\dot{V}_0 + \dot{V}_m}{E}$$

$\dot{V}_0$ = belirli ortamlar için dış hava debisi (sigaralı veya sigarasız, yaklaşık olarak), L/s (Tablo 1.1)
E = hava temizleme cihazının kirletici uzaklaştırma verimi.

Verim uzaklaştırılacak kirletici için bağıl olarak belirlenmelidir. Tablo 1.2'de ASHRAE tarafından 1μm partikülün uzaklaştırılması için yaklaşık değerleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Havalandırma için dış hava ihtiyacı

İşlev	Her 100 m² alan için hesaplanan kişi sayısı	Kişi başına dış hava ihtiyacı, l/s	
		Sigaralı	Sigarasız
Bürolar	7	10	2,5
Toplantı ve bekleme ortamları	60	17,5	3,5
Lobiler	30	7,5	2,5

Tablo 1.2. ASHRAE toz leke verimleri (1- μ m parçacıkta)

Filtre Tipi	Verim Kademesi, %	Uygulama
Yapışkan(viskoz) çarpma	5-25	Toz ve lif uzaklaştırma
Kuru ortam		
Cam yükü, çok kademeli selüloz, yün keçesi	25-40	Yukarıdakine benzer ve bazı endüstriyel uygulamalar için
3-10 μm'a uygun 6-20mm kalınlığında lif	40-80	Bina geri dönüş ve taze hava sistemleri
0.5 - 4 μm'a uygun lif(genellikle cam lifi)	80-98	Hastane ameliyathaneleri, temiz odalar, özel uygulamalar
Elektrostatik(tipine bağlı olarak)	20-90	Polen ve havada uçan parçacıklar

Örnek Problem 1.1.
Bir büro binasının toplantı odası için şayet sigaraya izin verilirse havalandırma debisini, dış hava seviyesini ve geri dönüş havası debisini hesaplayınız. (Hava temizleme cihazı tütün dumanını E = %60 uzaklaştırabilmektedir.)

Çözüm
Tablo 1.1'den herhangi bir geri dolaşım ve temizleme olmaksızın havalandırma kişi başına gerekli dış hava miktarı 17.5 l/s bulunur. Ayrıca tablodan sigara içilen ortamda kişi başına en az 3.5 l/s dış hava debisi gerekmektedir. Bu tasarım problemi için iki çözüm mevcuttur:

Besleme havası kişi başına 17.5 l/s veya
Uygun geri dönüş havası ve gerekli havalandırma debisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\dot{V}_r = \frac{\dot{V}_0 - \dot{V}_m}{E} = \frac{17.5 - 3.5}{60} = 23.3 \text{ l/s}$$

$$\dot{V} = \dot{V}_r + \dot{V}_m = 23.3 + 3.5 = 26.8 \text{ l/s kişi başı}$$

Yukarıdaki örnekteki ikinci yaklaşımdaki toplam havalandırma debisi daha yüksek ölçüden, enerji gereksiniminin daha az olmasını sağlamak için dış hava debisi azaltılır. Şayet kirlenme, tütün dumanından, vücut kokusundan, nemden veya insanlardan kaynaklanan yüksek CO_2'den kaynaklanıyorsa ortamda insanlar olmadığı zaman havalandırma gerekmez. Bununla birlikte ekipman ve işlemler gibi malzemelerden çıkan gaz, doğal radon üretimi varsa ortam boş bile olsa uygun seviye havalandırma sağlanmalıdır.

BÖLÜM 2

İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

İklimlendirme sistemleri kullanım alanlarına göre iki gruba ayrılabilir:

1. Konfor iklimlendirmesi
   Evler, otel, motel, konaklama tesislerinde insan konforu için kullanılır.

2. Endüstriyel iklimlendirme
   Tekstil, kimya, ilaç, gıda, vb. iş kollarında ürün veya prosesin gerektirdiği özel ortamların sağlanması amacıyla kullanılır.

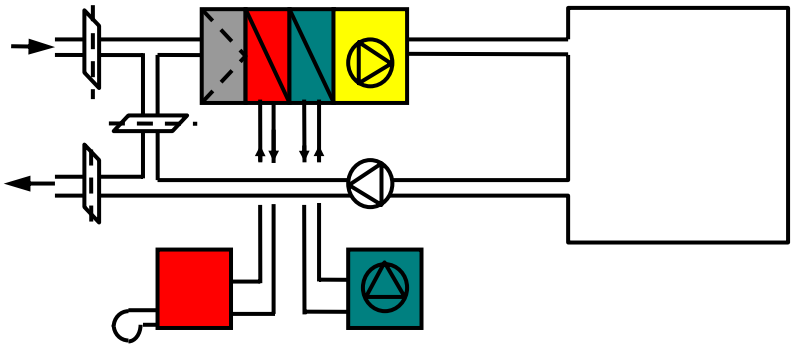
2.1. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

2.1.1. Merkezi Sistemler

Bu tür sistemler daha çok büyük binaların iklimlendirilmesi için kullanılır. Bir kazan ve radyatörlerden oluşan bir kalorifer tesisatına benzetilebilir. Kazan yerine bir klima santrali, radyatörler yerine de havalandırma kanalları, menfezleri ve/veya fanlı serpantin üniteleri (fan-coil unit) vb. cihazlar bulunmaktadır. Sistemin boru veya kanalları içerisinde su, hava veya bir soğutucu akışkan dolaştırılarak ısıtma-soğutma-havalandırma ve nem kontrolü sağlanır. Merkezi sistemler tamamen havalı, tamamen sulu ve sulu-havalı sistemler olarak üç ana sisteme ayrılabilir.

Tamamen havalı sistemler

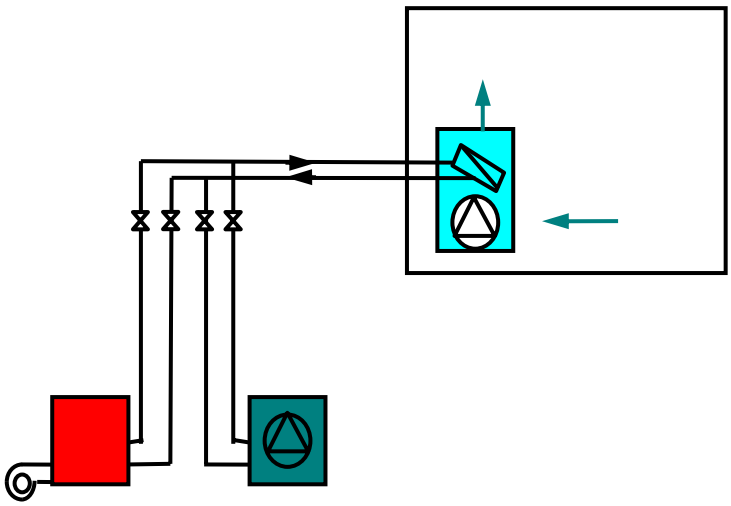
Merkezi bir klima santralinde şartlandırılan havanın kanallar yardımıyla iklimlendirilecek ortama gönderilmesidir. Özellikle büyük mahallerin iklimlendirilmesinde kullanılır. Merkezi klima santrali karışım hücresi, filtre, aspiratör, vantilâtör, ısıtıcı batarya, soğutucu batarya ve nemlendirici hücrelerden meydana gelir. Havanın soğutulması, serpantinde soğuk su veya doğrudan soğutucu akışkan dolaştırılarak sağlanır. Tamamen havalı sistemler kendi aralarında, yeniden ısıtma terminalli, iki kanallı ve değişken hava debili olmak üzere alt gruplara ayrılmaktadır.



Şekil 2.1. Tamamen havalı sistem şeması

Tamamen sulu sistemler

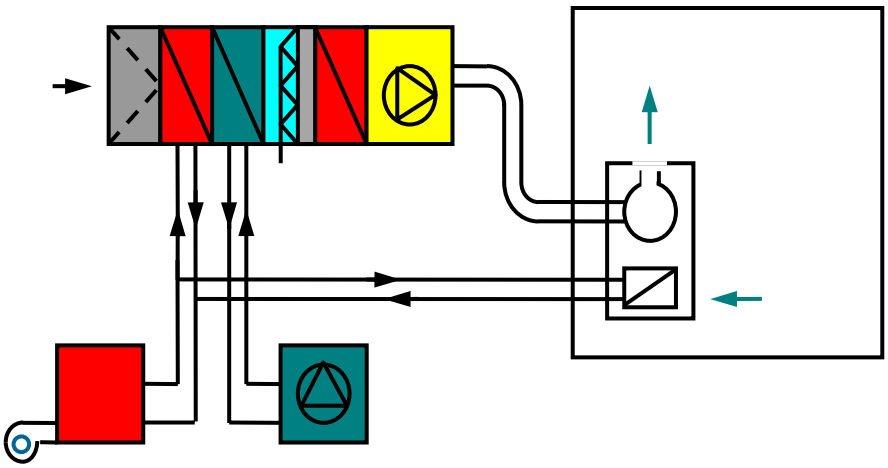
Çok odalı binalarda, ofis binaları, otel, motel, hastane ve apartmanlarda yaygın olarak kullanılır. Her bir odaya yerleştirilen hava şartlandırma cihazı (fan coil) ile odaların soğutulması sağlanır. Fanlı serpantinlerde dolaşan su, merkezi bir soğutma grubunda (chiller) pompalar yardımıyla tesisata gönderilir. Her bir odanın sıcaklığı bir termostat yardımıyla kontrol edilebilir. Sulu sistemler de kendi aralarında aşağıdaki şekilde sınıflandırılır: İki borulu, üç borulu, dört borulu



Şekil 2.2. Tamamen sulu sistem şeması

Sulu ve havalı sistemler

Bir merkezde şartlandırılan temiz havanın ve merkezi bir soğutma grubunda soğutulan suyun, fanlı serpantin birimlerine gönderilerek mahallerin, insanların temiz hava ihtiyaçlarını da karşılayarak soğutulması işlemidir. Sulu-havalı sistemler de kendi aralarında şu tiplere ayrılırlar: İndüksiyonlu tip, fanlı-serpantinli tip

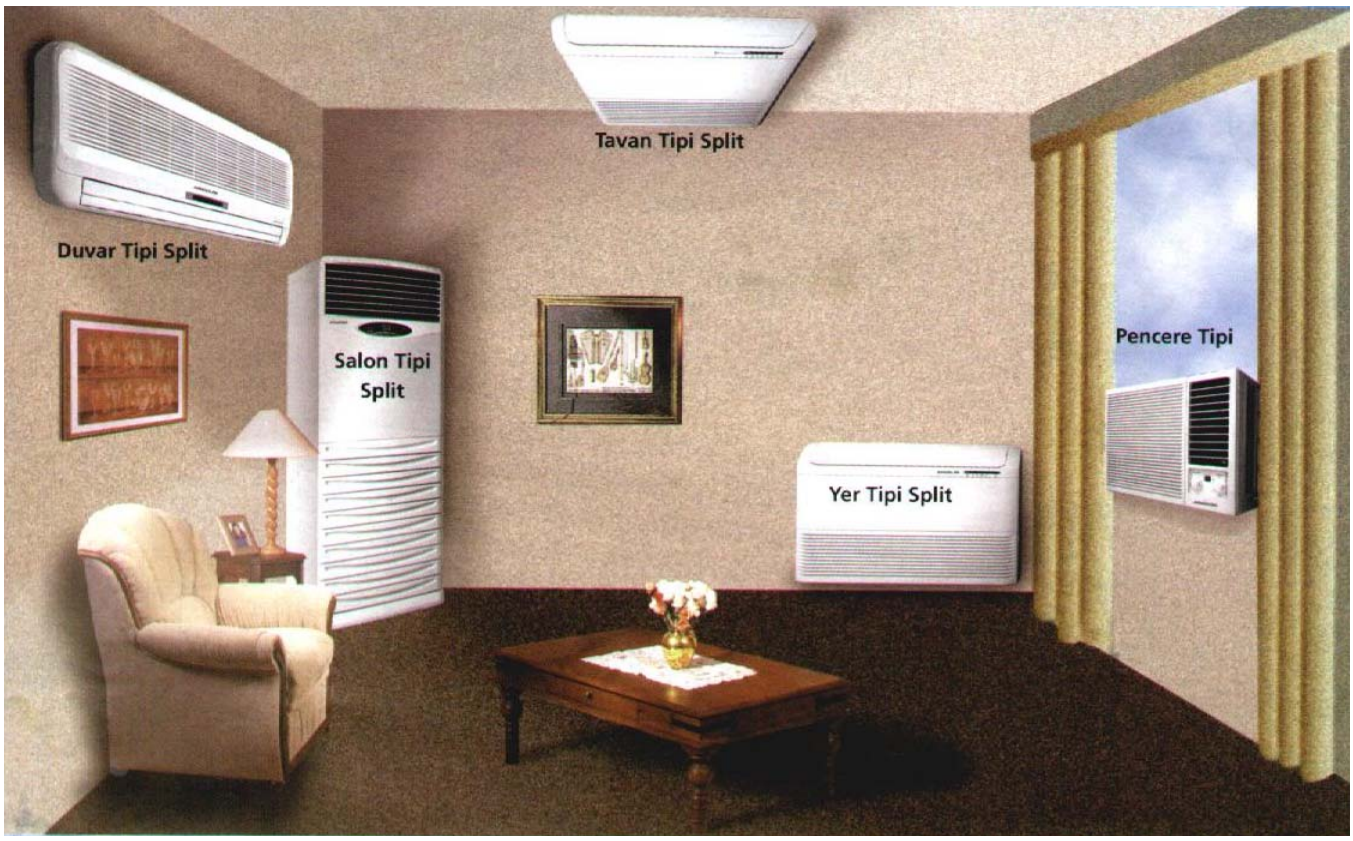


Şekil 2.3. Sulu-havalı sistem şeması

2.1.2. Bağımsız (Yerel) Sistemler

Bağımsız iklimlendirme sistemleri paket cihazlar ve ayrık (split) tip klimalar olmak üzere ikiye ayrılır. Ayrık (Split) tip klimalar da kendi aralarında sınıflandırılmaktadır.

1. Paket cihazlar
    a. Salon tipi
    b. Döşeme=konsol tipi
    c. Çatı tipi
    d. Pencere tipi
2. Ayrık (Split) tip klimalar
    a. Duvar tipi
    b. Döşeme tipi
    c. Salon tipi
    d. Kanal tipi
    e. Tavan tipi
    f. Gizli tavan (kaset) tipi
    g. Portatif Klimalar



Şekil 2.4. Yerel iklimlendirme cihazları

BÖLÜM 3

PSİKROMETRİ

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

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

3.1. KURU VE NEMLİ HAVANIN BİLEŞİMİ

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

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

R_H = 8314.41 J/mol K / 28. 965 kg/mol
= 287.055 J/kgK = 0.287 kJ/kgK

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

R_{H_2O} =8314.41 J/mol K / 18.01534 kg/mol
= 461.52 J/kgK = 0.461 kJ/kgK

3.2. STANDART ATMOSFER

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

Deniz seviyesinde standart havanın sıcaklığı 15 °C, standart barometrik basıncı ise 101.325 kPa değerindedir. Troposfere (Atmosferin alt katmanına) kadar havanın sıcaklığının, yükseklik ile doğrusal değiştiği ve stratosferde sabit değere ulaştığı kabul edilir. Atmosferin alt kısımlarında kuru havanın bileşeninin sabit olduğu ve ideal gaz davranışı gösterdiği kabul edilir. Standart yer çekimi 9.807 m/s değerindedir. Deniz seviyesinden olan yüksekliklere göre standart atmosferik havanın sıcaklık ve basıncının değişimleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Standart atmosferik havanın özelliklerinin deniz seviyesinden olan yükseklikle değişimi

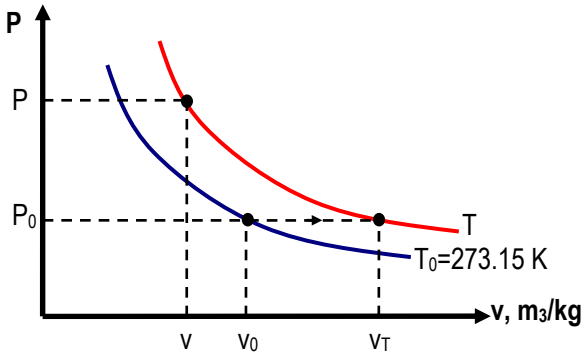
Yükseklik, m	Sıcaklık, ºC	Basınç, kPa
-500	18.2	107.478
0	15.0	101.325
500	11.8	95.461
1000	8.5	89.874
2000	2.0	79.495
3000	-4.5	70.108
4000	-11.5	61.640
5000	-17.5	54.020
6000	-24.0	47.181
7000	-30.5	41.061
8000	-37.0	35.600
9000	-43.5	30.742
10000	-50.0	20.436

3.3. İDEAL GAZLARIN DURUM DENKLEMİ

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

P.V = sabit

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



Şekil 3.1. İzotermlerin P-V diyagramında gösterilişi

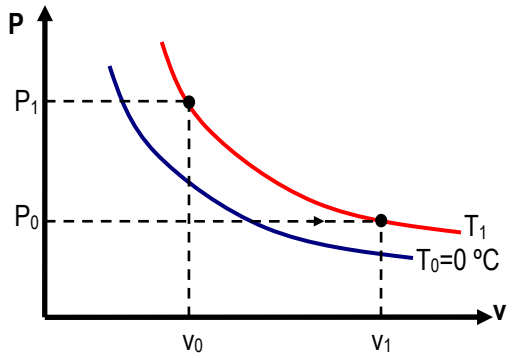
19. y.y. başlarında J. L. Gay - Lussac ve J. Dalton sabit basınçta hacim ile sıcaklık arasındaki bağıntıyı araştırdılar. Sonuç olarak hacimsel genleşme katsayısının bütün ideal gazlar için aynı değerde olduğu tespit edilmiştir.

$$v_T = v_0(1+\beta T)$$

$$v_T = v_0\left(1+\frac{T}{273.15}\right)$$

Burada v_T ve v_0 gazın sabit basınçta T ve 0 °C sıcaklıklarındaki hacimleridir. Bu ifadeye **1. Gay - Lussac** yasası denilir.

Basıncın, sabit hacimde sıcaklığa bağımlılığını Boyle - Mariotte ve Gay - Lussac yasalarından türetmek mümkündür. Şekil 3.2'deki gibi bir gaz P_0 basıncında ısıtılarak v_0 hacminden v_1 hacmine genleştiriliyor ve T_1 = sabit sıcaklığında izoterm sıkıştırılarak v_0 hacmine isabet eden P_1 basıncına getiriliyor. T_1 = sabit için Böyle - Mariotte yazılacak olursa,



Şekil 3.2. Charles yasasının türetilişi

$P_0 \cdot v_1 = P_1 \cdot v_0$

ve P_0 sabit için

$$v_1 = v_0\left(1+\frac{T_1}{273.15}\right)$$

ifadesi geçerli olduğundan;

$$P_1 = P_0\left(1+\frac{T_1}{273.15}\right)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade Charles yasası olarak bilinmektedir.

$P_1 = 0$ için $T_1 = -273.5$ ºC elde edilir ki, bu mutlak sıfır noktasıdır.

Bu yasalar her durum değişiminde bir büyüklüğün sabit tutulmasını şart koşmaktadır. Basıncın, hacmin ve sıcaklığın aynı zamanda değiştiği durum değişiklikleri için geçerli ideal gaz durum denklemi Boyle - Mariotte ve Gay - Lussac, yasalarından türetilebilir. Bunun için Gay - Lussac yasasını mutlak sıcaklık cinsinden ifade etmek gerekir.

$$v = v_0\frac{T}{T_0}$$

Burada T = 273.15 K'dir.

Şekilde belirtildiği üzere P_0 basıncında bir gaz, v_0 özgül hacminden v_1'e ısıtılarak izobar olarak genişletilmekte ve T sıcaklığına getirilmektedir. Daha sonra bu noktadan izoterm olarak P basıncına sıkıştırılmaktadır.

$$v_1 = v_0\frac{T}{T_0}$$

$$P_0\ v_1 = P\ v$$

Bu iki ifadeden;

$$P_0\ v_0\frac{T}{T_0} = P\ v$$

şeklinde ideal gaz denklemi yazılabilir.

$\frac{P_0\ v_0}{T_0}$ terimi her gaz için aynı değer taşımakta olup, özel gaz sabiti adını almaktadır.

$$\frac{P_0 v_0}{T_0} = R \qquad \Rightarrow \qquad Pv = RT$$

$$v = \frac{V}{m} \qquad \Rightarrow \qquad P\,V = m\,R\,T$$

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \Rightarrow \qquad P = \rho\,R\,T$$

Bir gazın bir molünün kütlesine mol kütlesi denir ve M hatfi ile gösterilir. Buna göre kütlesi m olan gaz;

$$n = \frac{m}{M}$$

adet moldür.

$$m = n.M \qquad \Rightarrow \qquad P\,V = n\,M\,R\,T$$

Mol hacmi aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$v_M = \frac{V}{n} \qquad \Rightarrow \qquad P\,v_M = M\,R\,T$$

Genel gaz sabiti;

$$\bar{R} = R.M \qquad \Rightarrow \qquad P\,v_M = \bar{R}\,T$$

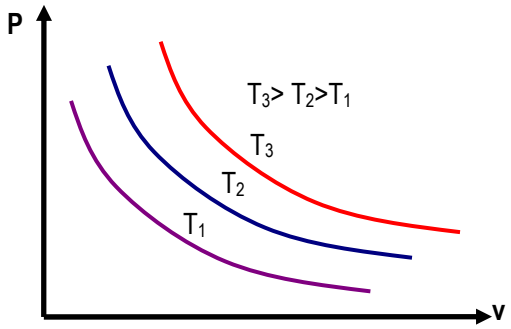
ifadesi elde edilir. Avagadro yasasına göre bütün gazların mol hacmi P_0 = 1 atm ve T_0 = 273.15 K ile belirli normal şartlarda 22.414 l/mol'dür. Bu değerler genel gaz sabiti için yerleştirilirse;

$$\bar{R} = \frac{P_0\ v_M}{T_0}$$

$$\bar{R} = \frac{1atm \times 22.414 l/mol}{273.15K}$$

$$\bar{R} = 0.08205\ \ l\ atm/molK$$

$$\bar{R} = 8.31441\,J/molK = 1.987\ cal/molK$$



Şekil 3.3 İdeal gaz durum denklemi

3.4. İKLİMLENDİRME İLE İLGİLİ TANIMLAR

Kuru termometre sıcaklığı (T)

Havanın, içindeki su buharı ve radyasyonun tesiri altında kalmaksızın herhangi bir şekilde ölçülen sıcaklığa kuru termometre sıcaklığı denir. Bildiğimiz termometrelerden okunan sıcaklıktır.

Yaş termometre sıcaklığı ($T_{yaş}$)

Belirli bir su kütlesinin doygun olmayan hava tarafından etkilendiğini varsayalım. Suyun sıcaklığı doygun olmayan havanın sıcaklığından daha büyük olursa sudan havaya ısı akımı başlar ve su yavaş yavaş buharlaşarak sıcaklığı düşer. Suyun sıcaklığı havanın sıcaklığına eşit olunca sudan havaya ısı akımı son bulur. Ancak hava doygunlaşmadığı için buharlaşma devam eder ve buharlaşmanın devam etmesi, suyun sıcaklığının havanın sıcaklığının altına düşmesine neden olur. Bu durumda havadan suya doğru bir ısı akımı başlar. Buharlaşan suyun kaybettiği ısı miktarı havadan suya iletilen ısı miktarından büyük olursa suyun sıcaklığı düşmeye devanı eder ve bir süre sonra öyle bir noktaya gelinir ki, artık buharlaşan suyun kaybettiği ısı miktarı, havadan suya iletilen ısı miktarına eşit olur. İşte bu sıcaklığa yaş termometre sıcaklığı denir.

Bu sıcaklığı ölçmek için özel termometreler kullanılır. Pratikte haznesi ıslak pamuk ile sarılmış bir termometrenin üzerinden 5 m/s hızındaki hava akımı geçirilmesi durumunda termometrenin gösterdiği sıcaklık yaş termometre sıcaklığına çok yakındır. Üzerinden hava akımı geçirilen su ancak yaş termometre sıcaklığına kadar soğutulabilir. Bu sıcaklık öyle bir sıcaklıktır ki su buharlaşmak suretiyle havayı aynı sıcaklıkta adyabatik olarak doymuş hale getirir.

Yoğuşma noktası sıcaklığı (Çiğ Noktası Sıcaklığı) ($T_{yoğ}$)

Bir nemli havanın yoğuşma noktası, su buharına doymuş hale gelene kadar soğutulması gerekli sıcaklık derecesidir. Ancak bu soğutmada havanın bileşiminin ve basıncının sabit kalması koşulu vardır.

Bir başka deyişle şartları verilmiş olan bir havanın aynı barometrik şartlar altında bulunan ve aynı miktar su buharı ihtiva eden doymuş hava sıcaklığına o havanın yoğuşma noktası sıcaklığı denir.

Nemli hava içindeki su buharının kısmi basıncı (P_{H_2O})

Su buharının nemli hava içindeki kısmi basıncıdır.

$$P = P_H + P_{H_2O} \qquad \Rightarrow \qquad P_{H_2O} = P - P_H$$

P_H : Kuru havanın kısmi basıncı
P_{H_2O}: Su buharının kısmi basıncı

Mutlak nem (d_v, gr/m^3)

1 m^3 nemli havanın içerdiği su buharı kütlesine mutlak nem denir. Bir başka deyişle birim hacim içindeki su buharının kütlesine mutlak nem denir.

$d_v = m_{H2O} / V$

Mutlak nemi belirlemek için 1 m^3 nemli hava, nem tutucu bir madde olan $CaCl_2$ üzerinden geçirilir. $CaCl_2$ nemli havanın içerdiği su buharını tutar. $CaCl_2$'nin nemli hava geçirilmeden önceki ağırlığı ile nemli hava geçirildikten sonraki ağırlığı arasındaki fark, nemli havanın içerdiği su buharı miktarını yani mutlak nemi ifade eder.

Özgül nem (x, kg_{nem} / $kg_{kuru\ hava}$)

Nemli hava içindeki su buharı kütlesinin kuru hava kütlesine oranı özgül nem olarak ifade edilir. Birim ağırlıktaki kuru hava içinde bulunan su buharının ağırlığıdır.

$x = m_{H2O} / m_H$

Bağıl nem (φ)

Nemli havanın içindeki su buharı ağırlığının aynı şartlardaki havanın içinde bulunması mümkün olan maksimum su buharı ağırlığına oranıdır. Bir başka deyişle havanın içindeki su buharının kısmi basıncının o havanın çiğ noktasındaki nemin doyma basıncına oranıdır.

$\varphi = m_{H_2O} / m_D$
$\varphi = P_{H_2O} / P_D$

m_{H_2O} : Nemli hava içindeki su buharının ağırlığı, kg
m_D : Havanın içinde bulunması mümkün olan maksimum su buharı ağırlığı, kg
P_{H_2O} : Herhangi bir sıcaklık ve nemdeki havanın içindeki su buharının kısmi basıncı, Pa
P_D : Mevcut havadaki doyma noktasındaki (çiğ noktası) suyun kısmi basıncı, Pa

Doyma derecesi (μ)

Nemli havanın özgül neminin o havanın doymuş haldeki özgül nemine oranıdır.

$\mu = x / x_D$

Duyulur ısı

Herhangi bir cismin sıcaklığını yükseltmek için verilmesi gereken lüzumlu ısı miktarına duyulur ısı denir. Burada sıcaklık değişikliği söz konusu olduğundan, bu ısıyı duyularımızla anlayabiliriz. Herhangi bir cismin duyulur ısı miktarındaki değişme; kuru termometre sıcaklıklarındaki fark ile bu cisme ait ortalama özgül ısı biliniyorsa aşağıdaki şekilde tayin edilebilir.

$Q_D = m\ C_P\ (\Delta T)$

Q_D: Duyulur ısı, kcal/kg
m : Kütle, kg
C_P : Ortalama özgül ısı, kcal/kg°C
ΔT : Kuru termometre sıcaklıkları farkı (°C)

Gizli Isı

Herhangi bir cismin sıcaklığı değişmeksizin faz durumunu değiştirmek için verilen veya alınan ısı miktarına gizli ısı denir. Gizli ısı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Bir açık kapta kaynayan su, 760 mmHg basınç altında 100 °C de buharlaşmaya başlar. Bütün kaptaki su tamamen buharlaşana kadar sıcaklığı sabit ve 100 °C de kalır. Buharlaşmak için gerekli ısı ise, kabı kaynatan ısı kaynağından alınır. 1 kg suyun 100 °C de buhar olması için gerekli gizli ısı r = 538.9 kcal/kg'dir. Aynı şekilde, kaynama noktası altında normal sıcaklıklarda, hava içersinde buharlaşmada da bu ısıya ihtiyaç vardır. Mesela, yaş termometre sıcaklığının ölçümünde keçe sathından buharlaşan su, gerekli ısıyı havadan almıştır ve hava bu ısıyı vererek kendisi soğumuştur. Havanın soğutmak suretiyle verdiği duyulur ısı, suyun buharlaşması için gerekli gizli ısıya dönüşmüştür ve bu işlemde gizli ısı duyulur ısıya eşittir, dolayısıyla işlem adyabatiktir. Suyun 760 mmHg basınç altında 0 °C de buharlaşma gizli ısısı r_0 = 597.2 kcal/kg'dir.

Özgül Hacim (v)

Hava ve su buharı karışımı bakımından 1 kg havanın işgal ettiği hacimdir Birimi m^3 / kg'dır.

Yoğunluk (ρ)

1 m^3 maddenin kütle miktarıdır. Birimi kg/m^3'tür. Yoğunluk ile özgül hacim birbirlerinin tersidir (ρ=1/v).

Entalpi (h)

Hava ve nem karışımının ısıtılırken verilmesi gereken veya soğutulurken alınması gereken ısı miktarıdır (kj/kg). Gizli ve duyulur ısıların toplamından oluşur.

3.5. PSİKROMETRİK BAĞINTILAR

İdeal Gaz Kanunu ve Kısmi Basınçlar

$$PV = mRT \qquad \Rightarrow \qquad m = \frac{PV}{RT}$$

$$P = P_H + P_{H_2O} \quad \Rightarrow \quad P_H = P - P_{H_2O} \quad \text{ve} \quad P_{H_2O} = \varphi P_D \quad \Rightarrow \quad P_H = P - \varphi P_D$$

$$m = m_H + m_{H_2O} \quad \Rightarrow \quad m_H = m - m_{H_2O} \quad \text{ve} \quad m_{H_2O} = \varphi m_D \quad \Rightarrow \quad m_H = m - \varphi m_D$$

$$R_H = \frac{\bar{R}}{M_H} \qquad \text{ve} \qquad R_{H_2O} = \frac{\bar{R}}{M_{H_2O}}$$

$$\left.\begin{aligned} M_H &= 28.964\ \text{kg/kmol} = 0.028964\ \text{kg/mol} \\ M_{H_2O} &= 18.02\ \text{kg/kmol} = 0.01802\ \text{kg/mol} \\ \bar{R} &= 8.31441\ \text{J/molK} \end{aligned}\right\} \text{yerine konursa;}$$

$$R_H = \frac{8.31441 \frac{\text{J}}{\text{molK}}}{0.028964 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = 287.0601 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \qquad \text{ve} \qquad R_{H_2O} = \frac{8.31441 \frac{\text{J}}{\text{molK}}}{0.01802 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = 461.3990 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 0.461 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Kuru Hava Kütlesi

$$m_H = \frac{P_H V}{R_H T}$$

$$\frac{1}{R_H} = \frac{1}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}} = 3.484 \frac{\text{kgK}}{\text{kJ}} \qquad \Rightarrow \qquad m_H = \frac{V}{T}(P - \varphi P_D)3.484$$

Su buharı Kütlesi

$$m_{H_2O} = \frac{P_{H_2O} V}{R_{H_2O} T}$$

$$\frac{1}{R_{H_2O}} = \frac{1}{0.461 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}} = 2.169 \frac{\text{kgK}}{\text{kJ}} \qquad \Rightarrow \qquad m_{H_2O} = \frac{V}{T}(\varphi P_D)2.169$$

Doyma Durumunda Su Buharı Kütlesi

$$\varphi = 1 \qquad \Rightarrow \qquad m_D = \frac{V}{T} 2.169 P_D$$

Nemli Havanın Kütlesi

$$m = m_H + m_{H_2O}$$

$$m = \frac{V}{T}(P - \varphi P_D)3.484 + \frac{V}{T}(\varphi P_D)2.169 \qquad \Rightarrow \qquad m = \frac{V}{T}(3.484P - 1.315\varphi P_D)$$

Nemli Havanın Yoğunluğu

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{\frac{V}{T}(3.484P - 1.315\varphi P_D)}{V} \qquad \Rightarrow \qquad \rho = \frac{3.484P}{T} - \frac{1.315\varphi P_D}{T}$$

Özgül Nem

$$x = \frac{m_{H_2O}}{m_H} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\frac{V}{T}(\varphi P_D)2.169}{\frac{V}{T}(P - \varphi P_D)3.484}$$

$$x = 0.622\frac{\varphi P_D}{P - \varphi P_D}$$

$$\varphi = 1 \quad \Rightarrow \quad x = x_D \quad \Rightarrow \quad x_D = 0.622\frac{P_D}{P - P_D}$$

Nemli Havanın Özgül Hacmi

Nemli havanın özgül hacmi, nemli hava hacminin kuru hava miktarına oranı olarak belirlenir.

$$v_{1+x} = \frac{V}{m_H} \ m^3/kg_{\text{kuru hava}}$$

Diğer taraftan özgül hacim;

$$v = \frac{V}{m} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{V}{m_H + m_{H_2O}}$$

$$V = v\,(m_H + m_{H_2O})$$

Her iki tarafı m_H'a bölersek;

$$\frac{V}{m_H} = \frac{v\,(m_H + m_{H_2O})}{m_H}$$

$$v_{1+x} = v(1+x)$$

$$PV = (m_H + m_{H_2O})R_K T$$

Her iki tarafı V'ye bölersek;

$$P = \frac{R_K T}{v} \qquad \Rightarrow \qquad v = \frac{R_K T}{P}$$

$$R_K = y_{H_2O}R_{H_2O} + y_H R_H$$

$$R_K = \frac{m_{H_2O}}{m_H + m_{H_2O}} R_{H_2O} + \frac{m_H}{m_H + m_{H_2O}} R_H \quad \Rightarrow \quad \frac{\frac{m_{H_2O}}{m_H}}{\frac{m_H + m_{H_2O}}{m_H}} R_{H_2O} + \frac{\frac{m_H}{m_H}}{\frac{m_H + m_{H_2O}}{m_H}} R_H \quad \Rightarrow \quad R_K = \frac{xR_{H_2O}}{1+x} + \frac{R_H}{1+x}$$

$$v = \frac{R_K T}{P} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{T}{P}\left(\frac{xR_{H_2O}}{1+x} + \frac{R_H}{1+x}\right)$$

$$v_{1+x} = v(1+x) \quad \Rightarrow \quad v_{1+x} = \frac{T}{P}\left(xR_{H_2O} + R_H\right) \quad \Rightarrow \quad v_{1+x} = \frac{T}{P} R_{H_2O}\left(x + \frac{R_H}{R_{H_2O}}\right)$$

Nemli havanın Özgül Entalpisi

$$H = m_H h_H + m_{H_2O} h_{H_2O}$$

h_H : Kuru havanın özgül entalpisi
h_{H2O} : Su buharının havanın özgül entalpisi

Karışımın Özgül Entalpisi

$h_{1+x} = \frac{H}{m_H}$ şeklinde tanımlanır.

$$h_{1+x} = h_H + x h_{H_2O}$$

h_{1+x}, x kadar nemi olan nemli havanın özgül entalpisidir.

0ºC'deki entegrasyon sabitini ihmal ederek, kuru havanın özgül entalpisi için;

$$h_H = C_{P,H}\Big|_0^T T \qquad C_{P,H} = \left(\frac{\partial h_H}{dT}\right)_P$$

$$h_H = C_{P,H} T + h_H\ (0^\circ C)$$

$$h_H = C_{P,H} T$$

Su buharının özgül entalpisi için ise;

$$h_{H_2O} = \Delta h_B + C_{P,H_2O} T$$

Burada Δh_B, su buharının buharlaşma entalpisidir. Kuru havanın ve su buharının entalpisi h_{1+x} eşitliğinde yerine konursa;

$$h_{1+x} = C_{P,H} T + x\left(\Delta h_B + C_{P,H_2O} T\right)$$

Burada özgül ısılar ortalama olarak aşağıdaki şekilde alınabilir.

$$C_{P,H} = 1.006 \frac{kJ}{kg\,grad} \qquad C_{P,H_2O} = 1.805 \frac{kJ}{kg\,grad}$$

Örnek Problem 3.1.
15 m^3 hacmindeki kapalı bir kapta 35 ºC sıcaklık ve 100 kPa basınçta ve % 90 bağıl nemde hava bulunmaktadır. ,

- **a.** Kapta bulunan kuru hava kütlesini
- **b.** Havanın özgül nemini
- **c.** Birim kuru hava kütlesi için havanın entalpisini hesaplayınız.($C_{P,H}$ = 1.006 kJ/kgºC)

Çözüm

V=15 m^3
T=35 °C
P=100 kPa
φ=% 90

35 ºC için doyma basıncı EK 2.'den $P_{D,@35\,^\circ C}$ = 5.6278 kPa

$P_{H2O} = \varphi P_D \quad \Rightarrow \quad P_{H2O} = 0.90 \times 5.6278 = 5.065$ kPa

$P_H = P - P_{H2O} \quad \Rightarrow \quad P_H = 100 - 5.065 = 94.935$ kPa

a) $m_H = \dfrac{P_H V}{R_H T} = \dfrac{94.935 \text{kPa} \times 15 \text{m}^3}{0.287 \dfrac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times (35 + 273.15)\,\text{K}} = 16.101\ \text{kg}$

b) $x = 0.622 \dfrac{\varphi P_D}{P - \varphi P_D} = 0.622 \dfrac{P_{H_2O}}{P - P_{H_2O}} = 0.622 \dfrac{P_{H_2O}}{P_H} = 0.622 \dfrac{5.065}{94.935} = 0.0331\,\text{kg}_{\text{nem}} / \text{kg}_{\text{kuru hava}}$

c) $h_{1+x} = h_H + x h_{H_2O}$

$$\left.\begin{aligned} h_H &= C_{P,H} T \\ h_{H_2O} &= \Delta h_B + C_{P,H_2O} T \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad h_{1+x} = C_{P,H} T + x\left(\Delta h_B + C_{P,H_2O} T\right)$$

EK 2.'den 35 ºC için doymuş buhar entalpisi; Δh_B = 2564.53 kJ/kg

$$h_{1+x} = \left[1.006 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times 35^\circ\text{C}\right] + 0.033 \times \left[2564.53 \frac{\text{kj}}{\text{kg}} + 1.805 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times 35\right] = 121.92\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

BÖLÜM 4

PSİKROMETRİK DİYAGRAM VE TABLOLAR

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

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

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

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

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

Aşağıdaki Tablo 4.1'de, deniz seviyesindeki (1 nolu diyagram) özellikler ile deniz seviyesinden 1500 m (6 nolu diyagram) yükseklikteki özelliklerin bir karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 4.1. 1 nolu diyagram ile 6 nolu diyagramın karşılaştırılması

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

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

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

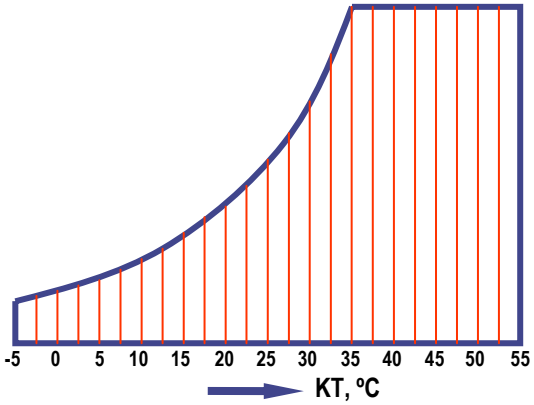
Doyma eğrisinin üstünde kalan dar bir bölge, nemli havanın sisli bölgesi olarak tanımlanır. İki fazı temsil eden bu bölgede, sıvı su zerrecikleri ile doymuş nemli havanın bir karışımı görülmekte olup bunlar ısıl dengededir. Sisli bölgedeki sabit sıcaklık doğruları, nemli hava bölgesindeki termodinamik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

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

4.1. PSİKROMETRİK DİYAGRAMIN KULLANILMASI

4.1.1. Kuru Termometre Sıcaklığı (KT)

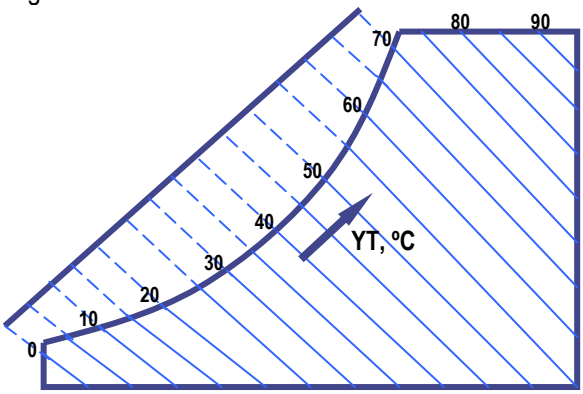
Psikrometrik diyagramın alt kısmındaki yatay doğru kuru termometre sıcaklığını gösterir. Kuru termometre sıcaklıkları ile termodinamik yaş termometre sıcaklıkları, doyma eğrisi (φ =1) üzerinde aynı değere sahiptir.



Şekil 4.1. Kuru termometre sıcaklığı (KT)

4.1.2. Yaş Termometre Sıcaklığı (YT)

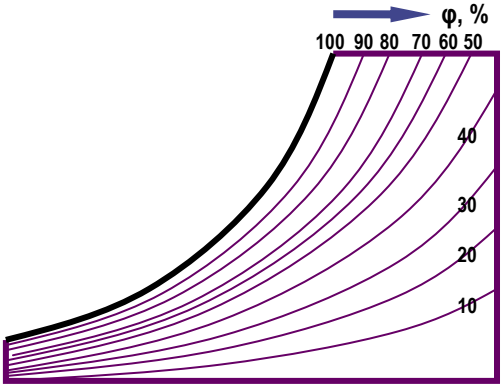
Yaş termometre değişimleri de Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Psikrometrik diyagramda eğik çizgiler halindedir ve tam olarak doğru olmasına rağmen birbirlerine paralel değildir.



Şekil 4.2. Yaş termometre sıcaklığı (YT)

4.1.3. Bağıl Nem (φ)

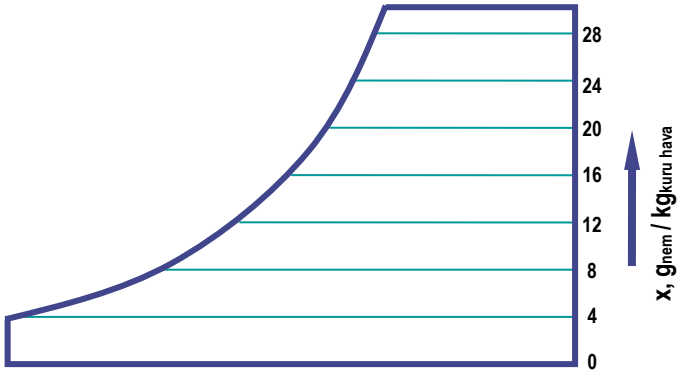
Bağıl nem (φ) eğrileri, bu diyagramda %10 aralıklarla çizilmiştir. Doyma eğrisi %100 bağıl neme karşı gelirken, x = 0 yatay doğrusu %100 kuru havaya karşı gelmektedir.



Şekil 4.3. Bağıl nem (φ)

4.1.4. Özgül Nem (x)

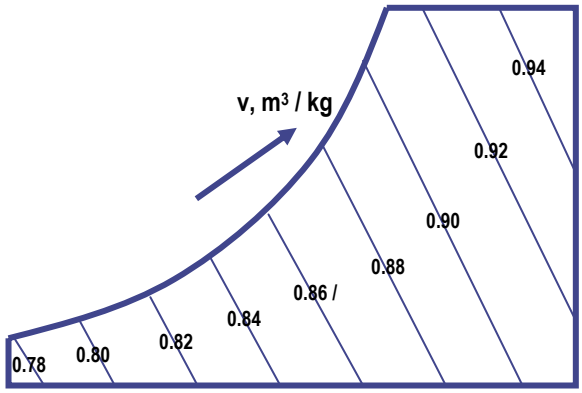
Psikrometrik diyagramın sol kısmındaki dikey doğru özgül nemi göstermektedir. Dikkat edilmesi gereken bir husus da burada değerler $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$ cinsindedir.



Şekil 4.4. Özgül nem (x)

4.1.5. Özgül Hacim (v)

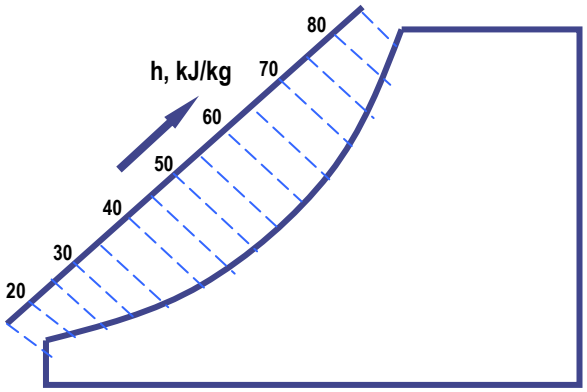
Özgül hacim doğruları düz olmalarına rağmen bunlar da birbirlerine tam olarak paralel değildir. Bunlar diyagramda 0.01 $m^3/kg_{kuru\ hava}$ hassasiyetle belirtilmiştir.



Şekil 4.5. Özgül hacim (v)

4.1.6. Entalpi (h)

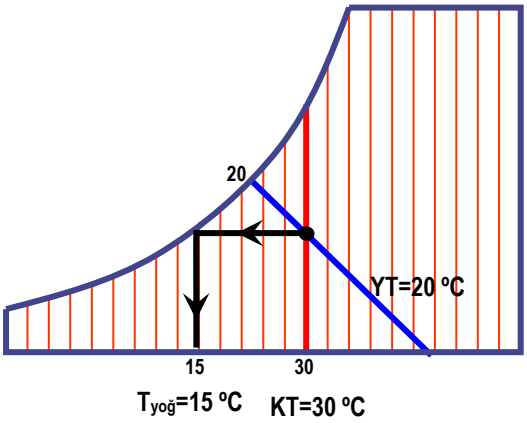
Entalpi değişimleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Birimi kj/kg'dır.



Şekil 4.6. Entalpi (h)

4.1.7. Çiğ Noktası Sıcaklığı (Yoğuşma Noktası Sıcaklığı) ($T_{yoğ}$)

Çiğ noktası veya yoğuşma noktası sıcaklığını bir örnekle açıklanacaktır. Örneğin kuru termometre sıcaklığı 30 °C, yaş termometre sıcaklığı 20 °C olan bir ortamdaki havayı ele alınsın. Bu havanın çiğ noktası sıcaklığını belirlemek için öncelikle bu iki noktayı çakıştırılır. Kesişme noktasından % 100 bağıl nem eğrisine kuru termometre sıcaklığına paralel bir doğru çizilir. % 100 bağıl nem eğrisiyle birleşim noktasından aşağıya inilerek kuru termometre sıcaklığına karşılık gelen değer okunur. Bu örnekte okunan değer yaklaşık 15 °C'dir. Bu değer çiğ noktası (yoğuşma noktası) sıcaklığıdır.

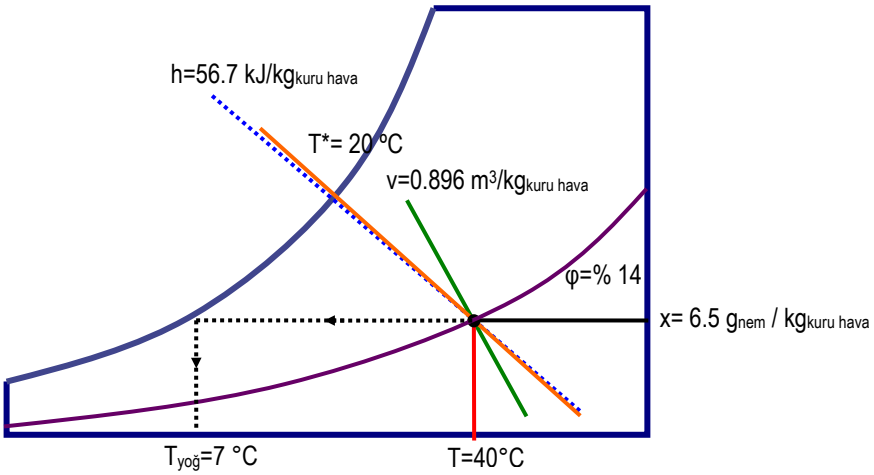


Şekil 4.7. Çiğ noktası sıcaklığı ($T_{yoğ}$)

Örnek Problem 4.1.
Kuru termometre sıcaklığı 40 °C, termodinamik yaş termometre sıcaklığı 20 °C ve atmosfer basıncının 101.325 kPa olduğu bir ortamdaki nemli havanın özgül nemini, entalpisini, çiğ noktası sıcaklığını, bağıl nemini ve özgül hacmini bulunuz.

Çözüm
40 °C sıcaklıktaki kuru termometre doğrusu ile 20 °C sıcaklıktaki yaş termometre doğrusunun kesim noktasından, istenen termodinamik özellikler gerektiğinde enterpolasyon yapılarak aşağıdaki şekilde bulunabilir:

Özgül nem, x = 6.5 $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$
Entalpi, h = 56.7 kJ/ $kg_{kuru\ hava}$
Bağıl nem, φ = %14
Çiğ noktası, $T_{yoğ}$ = 7 °C
Özgül hacim, v = 0.896 m^3/ $kg_{kuru\ hava}$



Şekil 4.8. Örnek Problem 4.1'in psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

4.2. PSİKROMETRİK TABLOLARIN KULLANILMASI

Psikrometrik Tablolar, nemli havanın fiziksel özelliklerini sayısal değerler halinde veren tablolardır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ile sıcaklığa bağlı olarak termodinamik özellikler için yeni bağıntılar bulunmuştur. Bu yeni formüllere göre nemli havaya ve suya ait termodinamik özellikler EK 1 ve EK 2'deki tablolarda sunulmuştur. Termodinamik olarak nemli havaya ait birçok problemin çözümünde psikrometrik diyagram dışında tablolar da kullanılabilir. EK 1 de verilen nemli havanın termodinamik özellikleri (Standart atmosfer basıncı, 101.325 kPa) tablosunda satır ve sütunlardaki değerler yardımı ile nemli havanın özellikleri belirlenebilir.

Psikrometrik Tablo kullanılarak verilen bir nemli havanın özelliklerinin belirlenmesi aşağıdaki örnek ile anlatılmıştır.

Örnek Problem 4.2.

Kuru termometre sıcaklığı 20 °C ve bağıl nemi (φ) % 40 olan hnemli havanın özgül nemini, entalpisini, çiğ noktası sıcaklığını, ve özgül hacmini bulunuz.

Çözüm
Problemin çözümünde 3 adım izlenecektir.

1. Adım
Öncelikle su buharının kısmi basıncı belirlenecektir. Bunun için;

$$\varphi = \frac{P_{H_2O}}{P_D} \qquad \Rightarrow \qquad P_{H_2O} = \varphi P_D$$

Bu formüldeki P_D basıncı için EK 1'den 20 ºC'deki doyma basıncı okunur (Yoğuşmuş su sütunundan, P_{su}).

P_D=2.3389

Yerine konursa;

$$P_{H_2O} = 0.40 \times 2.3389 = 0.93556 \text{ kPa}$$

Hesaplanan bu değer EK 1'deki nemli havanın termodinamik özellikleri (Standart atmosfer basıncı, 101.325 kPa) tablosundan bulunur ve yaklaşık olarak 0.9353 alınabilir. Bu basınca karşılık gelen sıcaklık 6 ºC'dir. Bu sıcaklık verilen şartlardaki nemli havanın **YOĞUŞMA NOKTASI SICAKLIĞIDIR ($T_{Yoğ}$)**. Ayrıca bu sıcaklığa karşılık gelen özgül nem değeri de verilen şartlardaki nemli havanın **ÖZGÜL NEMİDİR (x)** ve **0.005818** kg_{nem} / $kg_{kuruhava}$ değerindedir.

x_D kg_{nem} / $kg_{kuruhava}$	P_{su} kPa,	T ºC
0.005818	0.9353	6

2. Adım

6 ºC'de % 100 bağıl nemdeki havayı, 20 ºC'de % 40 bağıl nemli hava şartlarına getirebilmek için ısıtma işlemi gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki formül uygulanırsa;

$h = h_D + (C_{P,H}\ \Delta T) + (x\ C_{P,H_2O} \Delta T)$ ve EK 1'den h_D = 20.644 kJ/kg

$$\Rightarrow \qquad h = 20.644 \frac{kJ}{kg} + \left(1.006 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (20-6)^{\circ}C\right) + \left(0.005818 \times 1.805 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (20-6)^{\circ}C\right)$$

$$\Rightarrow \qquad h = 20.644 + 14.084 + 0.147$$

$$\Rightarrow \qquad h = 34.875\ \frac{kj}{kg}$$

Hesaplanan bu entalpi EK 1'deki tablodan aranır ve bu entalpiye karşılık gelen sıcaklık yaş termometre sıcaklığını verir.

T ºC	h_D
12	34.179
x	*34.875*
13	36.726

Tablo incelendiğinde hesaplanan entalpi değeri 12 ila 13 ºC arasında kalmaktadır. Hesaplamalarda az da olsa hata payı olmaması için iterasyon yapılacaktır.

$$\frac{13-x}{13-12}=\frac{36.726-34.875}{36.726-34.179} \quad \Rightarrow \quad \frac{13-x}{1}=\frac{1.851}{2.547} \quad \Rightarrow \quad 13-x=0.726 \quad \Rightarrow \quad x=12.27^{\circ}C$$

YT= 12.27 ºC

3. Adım

Özgül hacim v için daha önce belirlenen aşağıdaki formül kullanılacaktır.

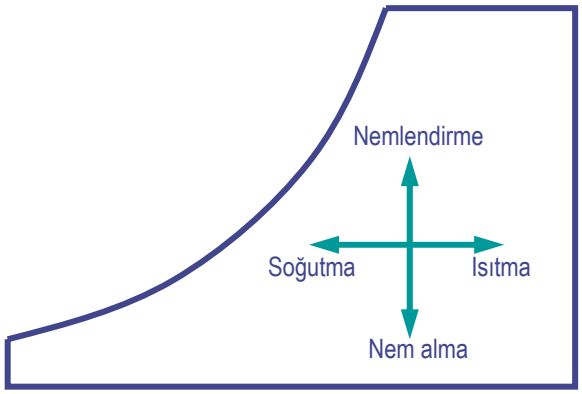
$$v_{1+x}=v\ (1+x) \quad \Rightarrow \quad v_{1+x}=\frac{T}{P}\left(x\,R_{H_2O}+R_H\right) \quad \Rightarrow \quad v_{1+x}=\frac{20+273.15}{101.325}\left(0.005818\times 0.461+0.287\right)$$

$$v_{1+x}=2.893\times\left(0.001+0.287\right)=0.833\ m^3/kg$$

BÖLÜM 5

PSİKROMETRİK İŞLEMLER

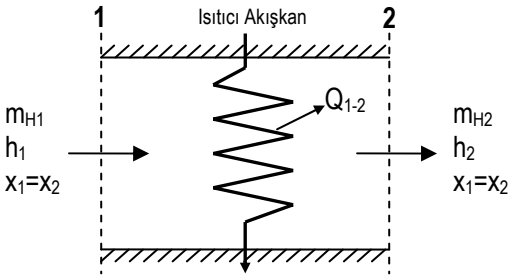
Nemli hava ile ilgili birçok problem, psikrometrik diyagram kullanılarak kolayca çözülebilir. Bu konu, aşağıdaki tipik örnekler ile kolayca açıklanabilir. Burada verilen örneklerin hepsinde standart atmosfer basıncı, 101.325 kPa olarak göz önüne alınmıştır. Nemli hava ile yapılan bütün işlemlerde, özgül değerlerin ifadesinde değişmeyen tek değer olan kuru havanın kütlesi esas alınır. Özgül entalpi, özgül hacim vs. her şey kuru hava kütlesine göre ifade edilir. Nemli hava ile ilgili temel işlemler Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Nemli hava ile ilgili temel işlemler

5.1. NEMLİ HAVANIN DUYULUR OLARAK ISITILMASI

Serpantin yüzeylerinde havanın ısıtılması bu işleme tipik bir örnektir. Özgül nemin sabit olması nedeniyle, nemli havaya duyulur ısı ilave etme işlemi, psikrometrik diyagramda, soldan sağa doğru giden yatay bir doğru ile belirlenir. Şekil 5.2'e nemli havaya duyulur ısı verilmesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Nemli havanın duyulur olarak ısıtılması

Sürekli rejimde sisteme verilen ısı:

$$Q_{1-2} = m_H (h_2 - h_1)$$

$$Q_{1-2} = m_H \left[C_{P,H} (T_2 - T_1) + C_{P,H_2O} (T_2 - T_1)\, x \right]$$

$$m = m_H + m_{H_2O} \qquad m_{a1} = m_{a2} \qquad m_{H,1} = m_{H,2} \qquad m_{H_2O,1} = m_{H_2O,2}$$

$$x = \frac{m_{H_2O}}{m_H} \qquad x_1 = \frac{m_{H_2O,1}}{m_{H,1}} \qquad x_2 = \frac{m_{H_2O,2}}{m_{H,2}} \qquad x_1 = x_2 \text{ (Isıtma ön şartı)}$$

Örnek Problem 5.1.
3000 m^3/h debisinde, 2 °C sıcaklıktaki doymuş hava ısıtıcı bir serpantin yardımı ile 40 °C sıcaklığına kadar duyulur olarak ısıtılmaktadır. Serpantine verilmesi gereken ısı miktarını bulunuz.

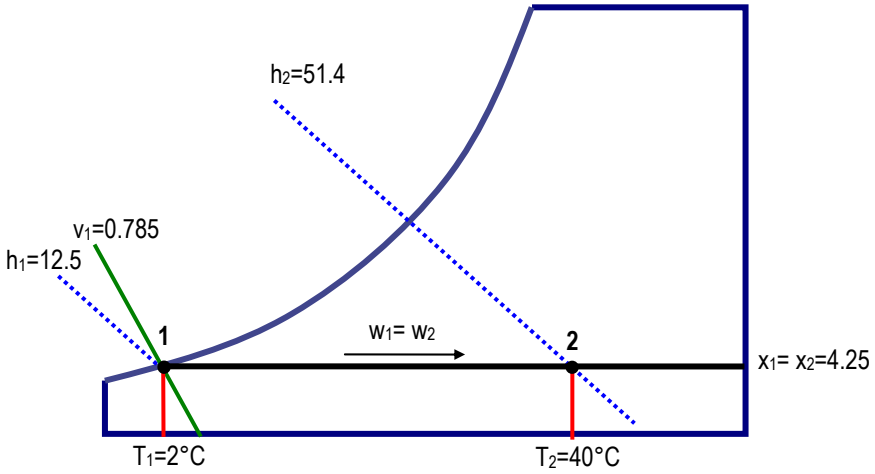
Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramdaki çözümü Şekil 5.3'te görülmektedir. 1 şartlarında 2 °C sıcaklıkta ısıtıcı serpantine giren havanın;
Entalpisi, h_1 = 12.5 $kJ/kg_{kuru\ hava}$
Özgül nemi, x_1 = 4.25 $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$
Özgül hacmi, v_1= 0.785 $m^3/kg_{kuru\ hava}$

2 şartlarında 40 °C sıcaklıkta ve aynı özgül nemde ($x_2 = x_1$) ısıtıcı serpantinden çıkan havanın;
Entalpisi, h_2 = 51.4 $kJ/kg_{kuru\ hava}$
Özgül nemi, $x_2 = x_1$ = 4.25 $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$

Sistemdeki kuru hava miktarı:

$$m_a = \frac{V}{v} = \frac{3000\ m^3/h}{0.785 m^3/kg} = 3822 kg_{kuru\ hava}/h$$

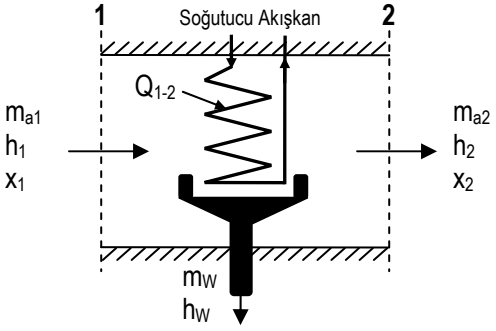
$Q_{1-2} = m_a(h_2 - h_1)$ = 3822 (51.4 -12.5) = 148676 kJ/h = 41.3 kW elde edilir.



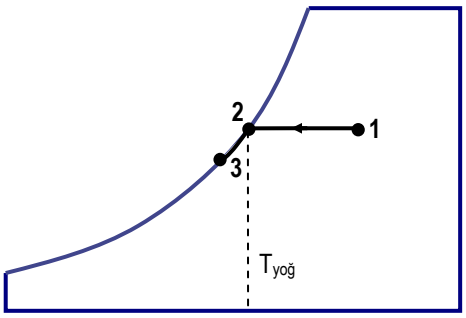
Şekil 5.3. Örnek Problem 5.1'in psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

5.2. NEMLİ HAVANIN SOĞUTULMASI

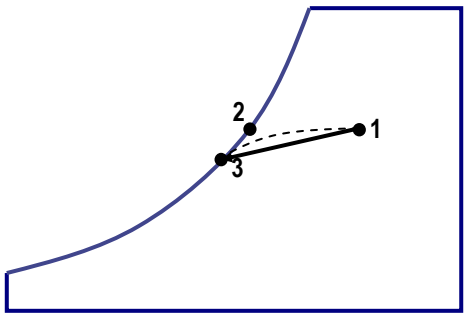
Soğutma işlemi soğutucuya giren nemli havanın yoğuşma noktası sıcaklığına kadar sabit özgül nemde (ısıtma işleminde olduğu gibi, x_1=x_2) devam eder. Bu noktadan itibaren nemli hava içindeki su buharı yoğuşmaya başlar. Yoğuşan su, soğutucunun altından drenaj edilir. Soğutucu bir serpantin ile nemli havanın çiğ noktası altındaki bir sıcaklığa kadar soğutulması, şematik olarak Şekil 5.4'te görülmektedir. Ayrıca soğutma işleminin Psikrometrik diyagramda gösterimi Şekil 5.5.a'da verilmiştir. Soğutma işlemi sırasında 2 noktasına kadar duyulur ısı, 2 ile 3 noktası arasında gizli ısı çekilir. Soğutma işlemi gerçekte Psikrometrik diyagramda bir eğri gibidir (Şekil 5.5.b). Ancak soğutma prosesini biz doğru şeklinde gösteririz.



Şekil 5.4. Nemli havanın çiğ noktası altındaki bir sıcaklıkta soğutulması



Şekil 5.5.a. Gerçekte soğutma işlemi



Şekil 5.5.b. Teorik soğutma işlemi

Sistemdeki kütle ve enerji dengesinden aşağıdaki bağıntılar bulunabilir.

$$m_{a1} = m_{a2} = m_a$$

$$m_{H_2O,1} = m_w + m_{H_2O,2} \quad \Rightarrow \quad m_a x_1 = m_w + m_a x_2$$

$$m_w = m_a (x_1 - x_2)$$

$$m_a h_1 = m_a h_2 + Q_{1-2} + m_w h_w$$

Yukarıda bulunan m_w değeri sonraki formülde yerine konur ve düzenlenirse;

$$m_a h_1 = m_a h_2 + Q_{1-2} + m_a (x_1 - x_2) h_w \quad \Rightarrow \quad Q_{1-2} = m_a \left[(h_1 - h_2) - (x_1 - x_2) h_w \right]$$

Burada yoğuşan suyun taşıdığı ısı ihmal edilirse;

$$Q_{1-2} = m_a (h_1 - h_2)$$

Örnek Problem 5.2.
17000 m^3/h debisinde, %50 bağıl neminde ve 30 °C kuru termometre sıcaklığındaki nemli hava, 10 °C sıcaklığında doymuş hale getirilene kadar bir soğutucu serpantin üzerinden geçiriliyor. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için gerekli olan soğutma kapasitesini ve sistemden ayrılan su miktarını bulunuz.

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramdaki çözümü Şekil 5.6'te görülmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi 1 ile 2 arasındaki gerçek değişim bir eğridir. Ancak bu eğrinin çizimi çok güç olduğundan ve sonucu fazla etkilemediğinden, psikrometri çalışmalarında değişimin 1 ile 2'yi birleştiren doğru boyunca olduğu kabul edilir.

1 şartlarında 30 °C sıcaklıkta ve φ = %50 bağıl neminde, soğutucu serpantine giren havanın özellikleri,
h_1 = 64.3 $kJ/kg_{kuru\ hava}$
x_1 = 13.3 $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$
v_1 = 0.877 $m^3/kg_{kuru\ hava}$

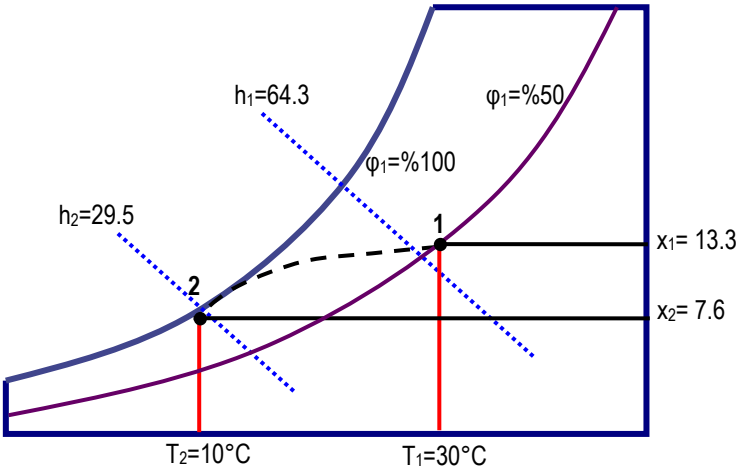
2 şartlarında 10 °C sıcaklıkta soğutucu serpantinden çıkan doymuş havanın özellikleri,
h_2 = 29.5 $kJ/kg_{kuru\ hava}$
x_2 = 7.6 $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$

Sistemdeki kuru hava miktarı;

$$m_a = \frac{V}{v} = \frac{17000\ m^3/h}{0.877\ m^3/kg} = 19384\ kg_{kuru\ hava}/h$$

$Q_{1-2} = m_a (h_1 - h_2)$ = 19384 (64.3 – 29.5) = 674563.2 kJ/h = 187 kW

$m_w = m_a (x_1 - x_2)$ = 19384 $kg_{kuru\ hava}$ / h × (13.3 – 7.6) g_{nem} / $kg_{kuru\ hava}$ = 110488.8 g_{nem} / h = 110.4888 kg_{nem} / h



Şekil 5.6. Örnek problem 5.2'nin psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

Soğutucu serpantin çıkışında hava, bu problemde olduğu gibi doymuş hale getirilebiliyorsa; 2 noktasındaki sıcaklığa **Cihaz Çiğ Noktası (CÇN)** sıcaklığı adı verilir. Şekil 5.6'daki 2 noktası ideal bir noktadır. Sonsuz büyüklükte serpantin kullanıldığında hava 2 şartlarında doymuş olarak serpantini terk eder. CÇN sıcaklığı kullanılan serpantin konstrüksiyonuna, havanın serpantin boyunca akış biçimine ve soğutucu akışkanın cins ve sıcaklığına bağlıdır. Bu değer serpantin üreticileri tarafından tablo halinde verilir. Ters akışlı bir serpantinde CÇN soğutucu akışkan giriş sıcaklığına çok yakındır. Pratik olarak CÇN sıcaklığını soğutucu akışkan sıcaklığı veya onun birkaç derece üstü almak mümkündür. Yukarıdaki örnekte soğutucu akışkan sıcaklığının 8 veya 9 °C olması beklenir.

Öte yandan pratik serpantinlerde 2 noktasına ulaşılamaz. Bir serpantin verimi tarif edildiğinde, 2 noktasına ulaşma halinde verim %100 değerindedir. Pratikteki serpantinlerde ise verim %85 - 90 mertebelerine ulaşabilir. Serpantinlerde verim tarifi yerine **by-pass oranı** tarifi daha yaygındır. Verimi %85 olan serpantinin by-pass oranı %15 değerindedir. Yani bu oranda hava şartlanamadan serpantini terk etmektedir. Cihaz üreticileri aynı zamanda by-pass oranını da verirler. CÇN sıcaklığı ve by-pass oranı değerleri verilen bir serpantindeki değişimi göstermek için giriş şartlarını CÇN'na birleştiren doğruyu çizip bunu verim (veya by-pass) oranında bölmek yeterlidir.

Örnek Problem 5.3.
17000 m^3/h debisinde, %50 bağıl neminde ve 30 °C kuru termometre sıcaklığındaki nemli hava, CÇN sıcaklığı 10 °C ve by-pass oranı %15 olan bir serpantinde soğutulduğunda gerçekleştirilebilecek soğutmayı bulunuz.

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramındaki çözümü Şekil 5.7'da görülmektedir. 1 noktası bağıl nem ve 30 °C kuru termometre değerleri ile belirlenir. 2 noktası ise doyma eğrisi üzerinde CÇN sıcaklığı ile belirlenir. 1 ve 2 noktalarını birleştiren doğru %15 oranında bölünür. Bunun için örneğin kuru termometre sıcaklığından yararlanılabilinir.

$$\frac{T_1 - T_2'}{T_1 - T_2} = 0.85 \quad \Rightarrow \quad \frac{30 - T_2'}{30 - 10} = 0.85 \quad \Rightarrow T_2' = 13\,^{o}C$$

Buna göre, 1 noktasında;
h_1 = 64.3 $kJ/kg_{kuru\ hava}$
x_1 = 1.,3 $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$
v_1 = 0.877 $m^3/kg_{kuru\ hava}$

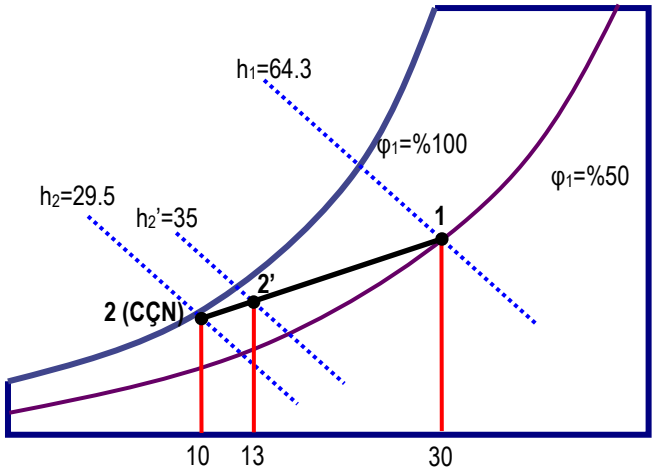
2' noktasında,
T_2' = 13°C
h_2' = 35 $kJ/kg_{kuru\ hava}$
x_2' = 8.5 $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$

Sistemdeki kuru hava miktarı;

$$m_a = \frac{V}{v} = \frac{17000\ m^3/h}{0.877\,m^3/kg} = 19384\,kg_{kuru\ hava}/h$$

Gerçekleşen soğutma;

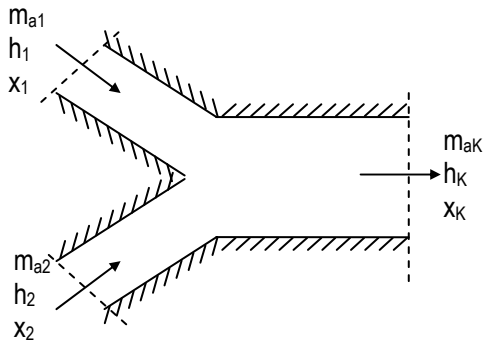
$Q_{1\text{-}2}' = m_a (h_1 - h_2') = 19384 (64.3 - 35) = 567951.2$ kJ/h = 158 kW



Şekil 5.7. Örnek problem 5.3'ün psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

5.3. İKİ NEMLİ HAVANIN ADYABATİK KARIŞIMI

İklimlendirme sistemlerinde çok karşılaşılan bir olay, farklı iki özellikteki nemli havanın adyabatik karıştırılmasıdır. Şekil 5.8 bu olayı şematik olarak açıklamaktadır.



Şekil 5.8. Farklı şartlarda iki nemli havanın adyabatik karıştırılma işlemi

Adyabatik karışım olayında aşağıdaki üç temel denklem yazılabilir.

$m_{a1} h_1 + m_{a2} h_2 = m_{aK} h_K$
$m_{a1} + m_{a2} = m_{aK}$
$m_{a1} x_1 + m_{a2} x_2 = m_{aK} x_K$

Bu denklemlerde, karışımdan sonraki havanın kütlesel debisini gösteren m_{aK} teriminin yok edilmesi halinde;

$$\frac{m_{a1}}{m_{a2}} = \frac{h_2 - h_K}{h_K - h_1} = \frac{x_2 - x_K}{x_K - x_1} = \frac{T_2 - T_K}{T_K - T_1}$$

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

Örnek Problem 5.4.
8000 m^3/h debisinde, 4°C kuru termometre ve 2°C termodinamik yaş termometre sıcaklığındaki dış hava ile 25000 m^3/h debisinde, 25 °C kuru termometre ve %50 bağıl nemindeki iç hava adyabatik olarak karıştırılmaktadır. Karışım havasının kuru termometre ve termodinamik yaş termometre sıcaklıklarını bulunuz.

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramdaki çözümü Şekil 5.9'de görülmektedir. Bu diyagramda 1 ve 2 şartlarındaki nemli havanın özgül hacimleri sırayla;

$v_1 = 0.789\ m^3/kg_{kuru\ nava}$
$v_2 = 0.858\ m^3/kg_{kuru\ hava}$

Kütlesel debiler için;

$$m_{a1} = \frac{V_1}{v_1} = \frac{8000\ m^3/h}{0.789\,m^3/kg} = 10140\,kg_{kuru\ hava}/h$$

$$m_{a2} = \frac{V_2}{v_2} = \frac{25000\ m^3/h}{0.858\,m^3/kg} = 29140\,kg_{kuru\ hava}/h$$

3-2 doğrusunun 1-3 doğrusuna oranı;

$$\frac{|3-2|}{|1-3|} = \frac{m_{a1}}{m_{a2}} = \frac{10140}{29140} = 0.348$$

veya 1-K doğrusunun 1-2 doğrusuna oranı;

$$\frac{|1-3|}{|1-2|} = \frac{m_{a2}}{m_{aK}} = \frac{29140}{29280} = 0.742$$

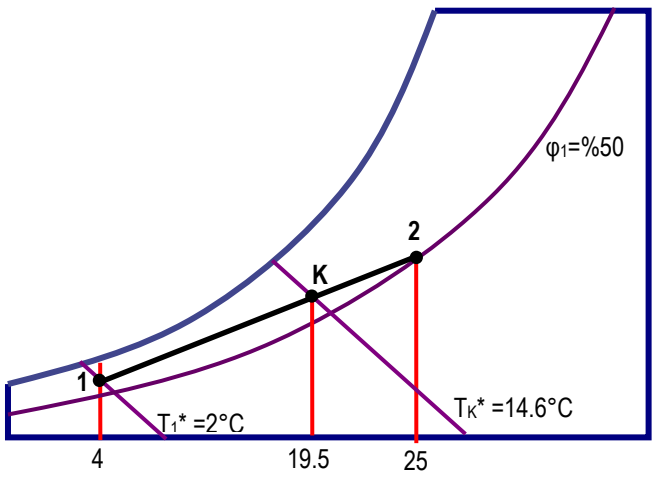
elde edilir. Psikrometrik diyagramdaki 1-2 doğrusu bir cetvel ile yukarıda verilen oranı gerçekleştirecek şekilde bölünürse, karışımı gösteren K noktası kolayca tespit edilebilir. Elde edilen noktaya ait değerler;

Kuru termometre sıcaklığı, $T_K = 19.5$ °C
Termodinamik yaş termometre sıcaklığı, $T_K^* = 14.6$ °C, olarak bulunur.

veya;

$$\frac{m_{a1}}{m_{a2}} = \frac{T_2 - T_K}{T_K - T_1} = \frac{25 - T_K}{T_K - 4} = 0.348 \quad \Rightarrow \quad 25 - T_K = 0.348T_K - 1.392 \quad \Rightarrow \quad T_K = 19.57^{\circ}C$$

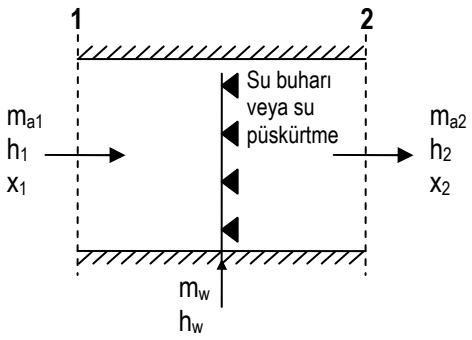
Bu sıcaklık ile 1-2 doğrusu çakıştırılırsa termodinamik yaş termometre sıcaklığı yine $T_K^* = 14.6$ °C, olarak bulunur.



Şekil 5.9. Örnek problem 5.4'ün psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

5.4. NEMLİ HAVA İÇİNE ADYABATİK SU VEYA BUHAR PÜSKÜRTME

Nemli hava içine su buharı veya sıvı su püskürtülerek bu havanın içindeki nem artırılabilir. Bu işleme ait şematik bir düzenleme Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10. Nemli hava içine su veya buhar püskürtmesi işlemi

Yapılan işlemin adyabatik olduğu kabul edilirse;

$m_{a1}\, h_1 + m_w\, hw = m_{a2}\, h_2$
$m_{a1}\, x_1 + m_w = m_{a2}\, x_2$ ($x_w = 1$, su)

$m_{a1} = m_{a2} = m_a$

$m_a\, h_1 + m_w\, hw = m_a\, h_2$
$m_a\, x_1 + m_w = m_a\, x_2 \quad \Rightarrow \quad m_w = m_a\,(x_2 - x_1)$

$\Rightarrow m_a\, h_1 + m_a\,(x_2 - x_1)\, hw = m_a\, h_2$

$$\Rightarrow h_w = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1}$$

Psikrometrik diyagramda bu bağıntı, bu olaydaki değişimin havanın cihaza giriş noktasından itibaren doyma eğrisine doğru, doğrusal bir değişim gösterdiğini vermektedir. Bu doğrunun eğimi de püskürtülen suyun veya buharın h_w entalpisine eşittir.

Örnek Problem 5.5.

Kuru hava kütlesel debisi 100 kg/dak., kuru termometre sıcaklığı 20 °C, termodinamik yaş termometre sıcaklığı 8 °C olan hava Şekil 5.9'daki bir cihaza benzer bir tesisatta 110 °C sıcaklıktaki doymuş buhar ile nemlendiriliyor. Nemlendirici çıkışındaki havanın çiğ noktası 13 °C olması istendiğine göre, bu işlem için gerekli buhar debisini bulunuz.

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramdaki çözümü Şekil 5.11.'de görülmektedir. EK 2'den bu şartlardaki doymuş su buharının entalpisi;

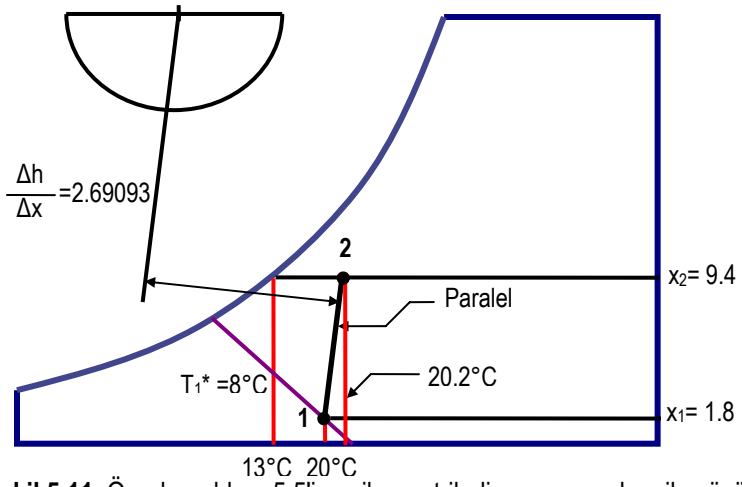
$h_g = 2690.93$ kJ/kg_{nem}

Psikrometrik diyagramda 1 ile 2 noktası arasındaki doğrunun eğimi için,

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = 2.69093 \text{ kJ/g}_{nem}$$

Bu eğimdeki doğru, psikrometrik diyagramdaki yarım daire üzerindeki ölçek yardımı ile çizilebilir. İlk olarak bu yarım dairede bu eğimdeki doğru çizilir, sonra havanın nemlendirici cihaza girişini gösteren 1 noktasından bu doğruya paralel bir doğru çizilir. Bu doğru çiğ noktası sıcaklığı $T_{2,yoğ}$ = 13 °C olan noktaya kadar uzatılarak 2 noktasının yeri bulunur. Bu işlem için gerekli olan buhar miktarı giriş ve çıkıştaki özgül nemler yardımı ile;

$m_w = m_a\,(x_2 - x_1)$ = (100 kg/dak) (60dak/h) (0.0094 – 0.0018) $kg_{nem}/kg_{kuru\ hava}$ = 45.6 $kg_{kuru\ hava}$/h



Şekil 5.11. Örnek problem 5.5'in psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

Örnek Problem 5.6.
Su ile nemlendirmeye örnek olarak kuru hava kütlesel debisi 6000 kg/h kuru termometre sıcaklığı 30 °C, bağıl nemi %50 olan havanın, bu havanın yaş termometre sıcaklığına eşit olan 22 °C'de su ile nemlendirilmesi incelensin. Şekil 5.9'a benzer sistemle nemlendirme yapıldığı ve havanın doymuş şartlarda nemlendiriciyi terk ettiği kabul edildiğinde harcanan (nemlendiriciye gönderilen) su miktarını ve havanın çıkış şartlarını belirleyiniz.

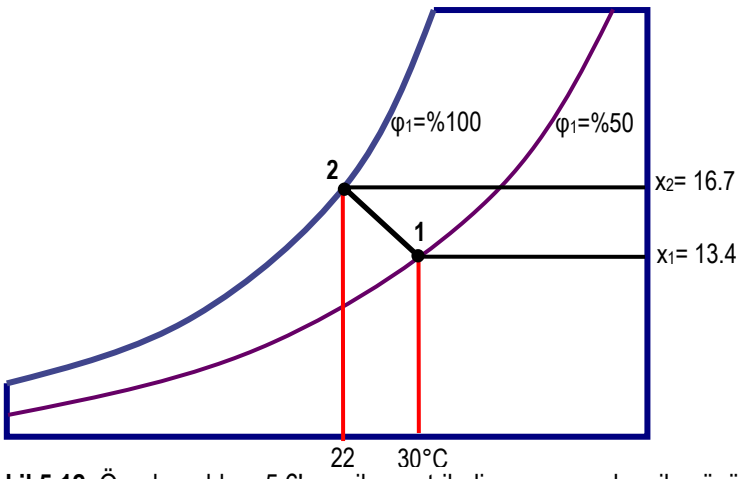
Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramda çözümü Şekil 5.12'de görülmektedir. EK 2'den 22 °C'de suyun entalpisi 92.27 kJ/kg olarak okunur. Psikrometrik diyagramda 1 ile 2 noktası arasındaki doğrunun eğimi;

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = 0.09227\ \text{kJ/g}_{\text{nem}}$$

Bu eğimdeki doğru yaş termometre doğrusudur (Ayrıca psikrometrik diyagramdaki yarım dairedeki ölçekten de yararlanılabilir). 1 noktasından geçen yaş termometre doğrusunun doyma eğrisini kestiği nokta 2 noktasıdır ve havanın çıkış şartlarını verir.

2 noktasında;
T_2 = 22 °C
x_2 = 16.7 g $_{nem}$/ $kg_{kuru\ hava}$
φ = 1.0
1 noktasında;
x_1 = 13.4 $g_{nem}/kg_{kuru\ hava}$

Bu işlem için gerekli su miktarı;
$m_w = m_a (x_2 - x_1) = 6000\ (16.7 - 13.4)$
m_w = 19.8 kg $_{nem}$/h



Şekil 5.12. Örnek problem 5.6'ın psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

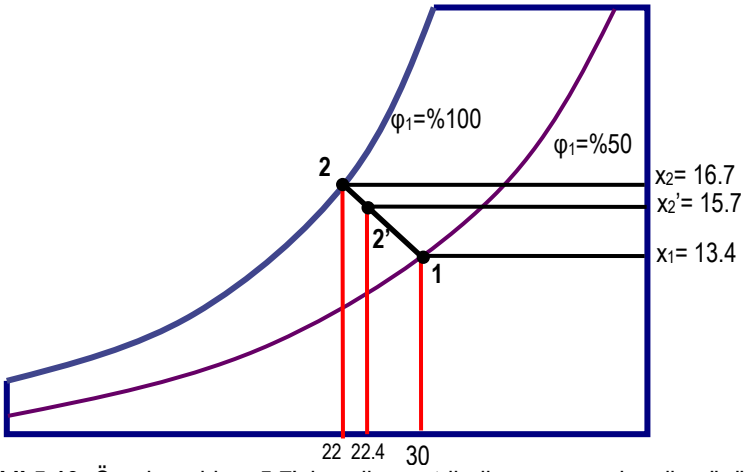
Yukarıdaki örnekte nemlendirme sonucunda doymuş şartlara ulaşıldığı kabul edilmiştir. Gerçekte hiçbir yıkama ile nemlendirme işleminde verim %100 değildir ve hava doymuş şartlara ulaştırılamaz. Aynen soğutma işleminde olduğu gibi yıkama işleminde de bir verim tarifi vardır. Bu durumda 1-2 doğrusu, verim oranında bölünerek gerçek yıkayıcıdan çıkış şartları belirlenir.

Örnek Problem 5.7.
Yukarıdaki örnek problem 5.6'da yıkama veriminin %70 olması halinde harcanan su miktarını ve havanın nemlendiriciden çıkış şartlarını bulunuz.

Çözüm
Aynen yukarıdaki örnekte olduğu gibi hareket edilerek 1 ve 2 noktaları bulunur (Şekil 5.13). Daha sonra 1-2 doğrusu %70 oranında bölünerek 2' noktası bulunur. Bunun için yine sıcaklıktan veya özgül nemden yararlanılabilir.

$$\frac{T_1 - T_2'}{T_1 - T_2} = \frac{x_1 - x_2'}{x_1 - x_2} = 0.70\ (\%70) \quad \Rightarrow \quad \frac{30 - T_2'}{30 - 22} = \frac{13.4 - x_2'}{13.4 - 16.7} = 0.70$$

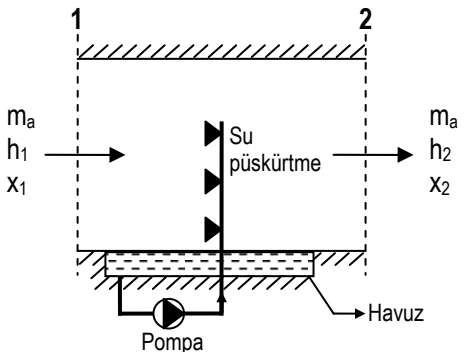
Buna göre havanın çıkış şartları (2');
T_2' = 24.4 °C
x_2' = 15.7 g/kg



Şekil 5.13. Örnek problem 5.7'nin psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

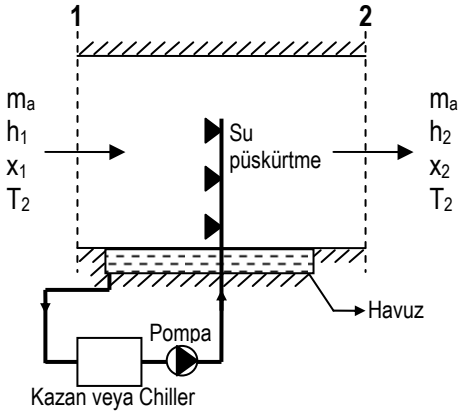
5.5. HAVANIN SICAK VEYA SOĞUK SU İLE YIKANMASI

Pratikte yıkama ile nemlendirmede yukarıda hesaplanan m_w su miktarından çok fazla miktarda su kullanılır. Fıskiyeden püskürtülen sudan ancak m_w kadarı buharlaşarak havaya karışır. Geri kalanı havuza dökülür ve aynı su sirküle edilmeye devam eder. Pratikteki su ile yıkama Şekil 5.14'de şematik olarak verilmiştir. Burada eğer yıkama yapılan suyun sıcaklığı, havanın yaş termometre sıcaklığında ise proses yine adyabatik nemlendirmedir ve aynen örnek problem 5.7'deki gibi hesaplanır. Eğer püskürtülen suyun sıcaklığı, havanın yaş termometre sıcaklığında değilse, işlem artık adyabatik değildir. Ancak aynı su sirküle ediliyorsa, bir süre sonra havuzdaki su havanın yaş termometre sıcaklığına düşer ve işlem yine adyabatik nemlendirmeye dönüşür. Bu nedenle yıkama işlemleri adyabatik nemlendirme olarak ele alınır.



Şekil 5.14. Pratikte su ile yıkama

Eğer yıkama Şekil 5.15'de görüldüğü gibi sıcak veya soğuk su ile yapılırsa, bu durumda işlemde su ile ısı verilir veya ısı çekilir. Yani adyabatik olmayan bir işlem söz konusudur. Sıcak su ile veya soğuk su ile yıkama yapıldığında havanın değişimi psikrometrik diyagramda bir eğri oluşturur. Yıkamanın paralel veya ters akışlı olmasına göre bu değişim farklıdır. Bu değişimin belirlenebilmesi karmaşık bir hesabı gerektirir.



Şekil 5.15. Sıcak veya soğuk su ile yıkama

Pratik amaçlarla değişimi doğrusal kabul etmek, psikrometride çok kullanılan bir yaklaşımdır. Ters yıkama halinde, püskürtülen suyun sıcaklığı bir nevi CÇN sıcaklığı olarak kabul edilebilir. Dolayısı ile değişim havanın giriş şartlarından (1 noktası) püskürtülen su sıcaklığındaki doymuş hava şartlarına (2 noktası) doğru olacak ve bu iki noktayı birleştiren doğru ile ifade edilebilecektir. Çıkışta hava yine hiçbir zaman doyma şartlarına ulaşamayacağından, bir yıkama verimi bu işlemde de geçerlidir. Dolayısı ile hava yıkayıcıdan 1-2 doğrusu üzerinde 2' şartlarında çıkar.

Örnek Problem 5.8.
Kuru hava kütlesel debisi 10000 kg/h, kuru termometre sıcaklığı 30 °C, bağıl nemi %50 olan hava 15 °C sıcaklıkta su ile ters akımlı olarak, verimi %80 olan bir yıkayıcıda yıkandığında, havanın yıkayıcıdan çıkış şartlarını ve yıkayıcının soğutma kapasitesini bulunuz.

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramda çözümü Şekil 5.16'da görülmektedir.

1 noktasının şartları;
T_1 = 30 °C
φ_1 = %50
h_1 = 64 kJ/kg
x_1 = 13.4 g/kg

15 °C sıcaklıkta doymuş havaya karşı gelen 2 noktası şartları;
T_2 = 15 °C
φ_2 = %100
h_2 = 42 kJ/kg
x_2 = 10.6 g/kg

Bu iki noktayı birleştiren doğru %80 oranında bölünürse, Örneğin,

$$\frac{|1-2'|}{|1-2|} = \frac{T_1 - T_2'}{T_1 - T_2} = 0.80 \ (\%80)$$

ve buradan T_2' = 18°C bulunur. T_2'=18 °C kuru termometre doğrusu ile kesim noktası yardımı ile 2 noktası bulunur. Bu noktadaki şartları;

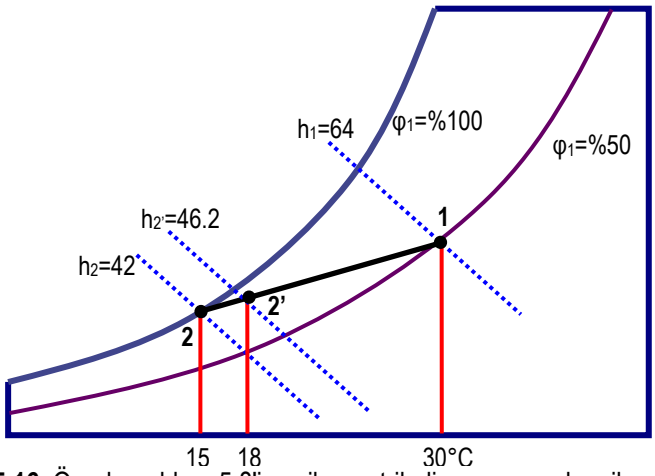
T_2' = 18 °C
φ_2' = %86
h_2' = 46.2kJ/kg
x_2' =11. 2 g/kg

Doğruyu bölmek yerine aşağıdaki orandan T_2' değerini çekerek de sıcaklık bulunabilir.

$$\frac{|1-2'|}{|1-2|}=\frac{T_1-T_2'}{T_1-T_2}=0.80\ (\%80) \quad \Rightarrow \quad \frac{30-T_2'}{30-15}=0.80 \quad \Rightarrow T_2'=18^{\circ}C$$

Görüldüğü gibi burada yıkama yapılmasına karşın hava nem kaybetmiştir. Soğuk su ile yıkama yapıldığında, su sıcaklığına bağlı olarak nemlendirme veya nem alma gerçekleştirilebilir. Buna göre soğutma kapasitesi;

$Q_2 = m_a.(h_1 - h_2') = 10000\ (64 - 46.2) = 178000\ kJ/h = 49.4\ kW$



Şekil 5.16. Örnek problem 5.8'in psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

Örnek Problem 5.9.
Kuru hava kütlesel debisi 1000 kg/h, kuru termometre sıcaklığı 17 °C, bağıl nemi %50 olan hava, 30 °C sıcaklıkta su ile ters akımlı olarak, verimi %80 olan bir yıkayıcıda yıkandığında, havanın yıkayıcıdan çıkış şartlarını ve ısıtıcının gücünü bulunuz.

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramda çözümü Şekil 5.17'da görülmektedir.

1 noktasının şartları;
T_1 = 17 °C
φ_1 = %50
h_1 = 32.5 kJ/kg
x_1 = 6 g/kg

30 °C sıcaklıkta doymuş havaya karşı gelen 2 noktası şartları;
T_2 = 30 °C
φ_2 = %100
h_2 = 100 kJ/kg
x_2 = 27.3 g/kg

Bu iki noktayı birleştiren doğru %80 oranında bölünürse;

$$\frac{|1-2'|}{|1-2|}=0.80\ (\%80) \quad \Rightarrow \quad T_2' = 27.4^{\circ}C$$

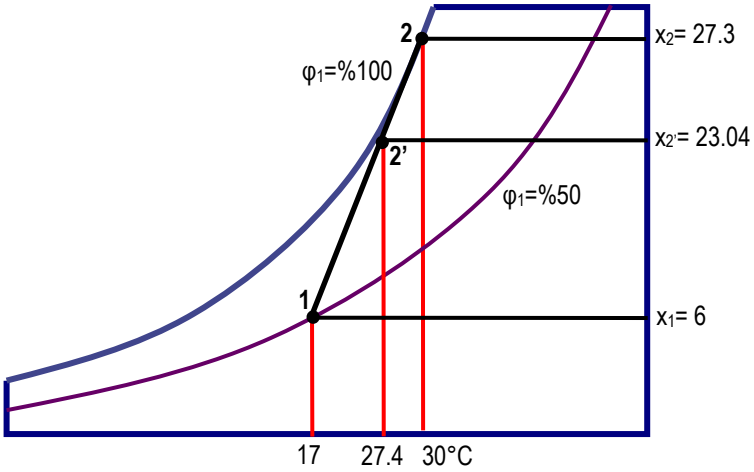
bulunur. T_2' =27.4 °C sıcaklığı ile 1-2 noktalarını birleştiren doğrunun kesim noktası 2' şartlarını verir. Böylece diğer değerlerde bu noktadan belirlenebilir. Veya;

$$\frac{T_1-T_2'}{T_1-T_2}=\frac{x_1-x_2'}{x_1-x_2}=0.80\ (\%80) \quad \Rightarrow \frac{17-T_2'}{17-30}=\frac{6-x_2'}{6-27.3}=0.80 \quad \Rightarrow \quad T_2'=27.4 \text{ ve } x_2'=23.04$$

T_2' = 27.4 °C
φ_2'= %95
h_2' = 84.2 kJ/kg
x_2' = 23.04 g/kg

Buna göre gerekli ısıtıcı kapasitesi;

$Q_{1\text{-}2}' = m_a (h_2' - h_1) = 10000 (84.2 - 32.5) = 517000$ kJ/h = 143.6 kW

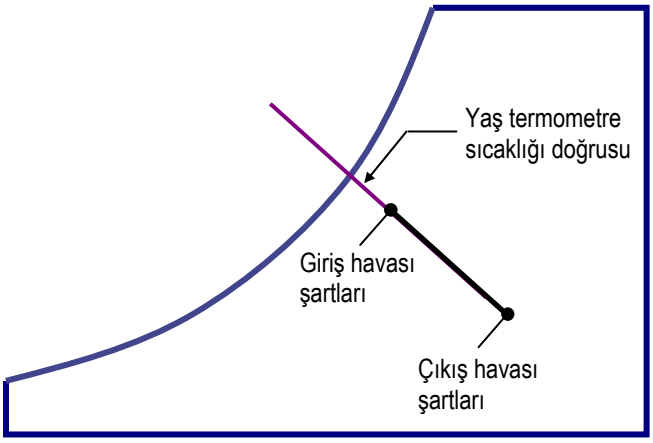


Şekil 5.17. Örnek problem 5.9'un psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

5.6. HAVADAN HİGROSKOPİK MADDELERLE NEM ALINMASI

Bazı kimyasal maddeler nemi absorbe ederler. Bunlara nem alıcı (Higroskopik) maddeler denir. Nemli hava, nem alıcı madde (örneğin silika jel) yatağından geçirilirse, nemini bu yatakta kaybederek kuruyacaktır. Nem alıcı maddeler zamanla neme doyarlar. Bu durumda nem alıcı yatak ısıtılarak (sıcak hava ile) rejenere edilir ve tekrar kullanıma hazır hale getirilir.

Nem alıcı maddelerle nem alınması adyabatik bir işlem olarak kabul edilebilir. Bu durumda kurutucu yatak boyunca ilerleyen havanın değişimi, yaklaşık olarak sabit yaş termometre doğrusu boyunca aşağı yönde bir değişim olarak kabul edilebilir. Şekil 5.18.'de bu değişim görülmektedir.

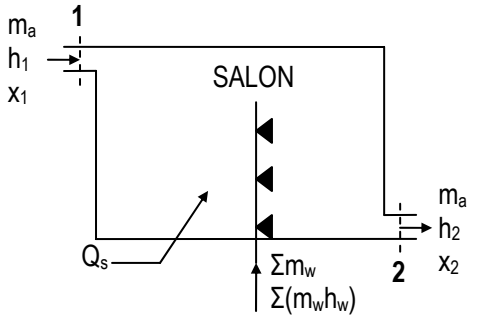


Şekil 5.18. Nem alıcı maddelerle havanın neminin alınması

Buna göre çıkışta hava daha sıcak ve daha kurudur. Bir başka anlatımla bu işlem adyabatik nemlendirmenin tersi yönündedir. Kurutucudan çıkıştaki 2 noktasının yeri nem alıcının konstrüksiyonu ve karakteristiğine bağlıdır.

5.7. BİR SALONDAKİ ISI VE NEM KAZANCININ NEMLİ HAVA İLE ALINMASI

Bir salonun iklimlendirmesi ile ilgili problemlerde çoğunlukla, gönderilen nemli havanın debisinin ve hava şartlarının belirlenmesi gerekir. Şekil 5.19'de ısı ve nem kazancının olduğu, iklimlendirilen bir salon, şematik olarak görülmektedir. Salonun cidarlarından içeri giren ısı ile salon içinde üretilen net ısıların toplamı Q_s ile gösterilmektedir. Göz önüne alınan durumda, su buharının neden olduğu buharlaşma ısısı, bu ısı içinde düşünülmediğinden Q_s ısısı, duyulur ısı olarak tanımlanır.



Şekil 5.19. Bir salondaki ısı ve nem kazancının nemli hava ile alınmasına ait şema

Diğer taraftan, salonun cidarlarından giren ve çıkan ile salon içinde, çeşitli kaynaklardan üretilen net su buharı miktarı Σm_w olsun. Salona ilave edilen bu su buharı, kütlesi ile entalpisinin çarpımı kadar bir gizli ısıyı, salona ilave edecektir. Devamlı rejim halinde bu salon için;

$m_a.h_1 + Q_s + \Sigma(m_w.h_w) = m_a.h_2 \quad \Rightarrow \quad Q_s + \Sigma(m_w.h_w) = m_a.\,(h_2-h_1)$

$m_a.x_1 + \Sigma m_w = m_a.\,x_2 \quad \Rightarrow \quad \Sigma m_w = m_a.(x_2-x_1)$

bağıntıları yazılabilir. İlk denklemin sol tarafı, bu salonda bütün kaynaklardan açığa çıkan, hem duyulur hem de gizli ısı miktarlarının toplamını göstermektedir. İki denklemin birleştirilmesi ile;

$$\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{Q_s + \sum(m_w h_w)}{\sum m_w}$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik de, (sağ taraftaki terimler sabit olduğundan) psikrometrik diyagramda doğrusal bir değişim göstermekte olup bu doğrunun eğiminin sayısal $[Q_s + \Sigma(\, m_w.h_w)] / \Sigma m_w$ şeklindedir. Buna göre salonu istenilen iç şartlarda (2 şartlarında) tutmak için, salona gönderilmesi gerekli besleme havasının şartları (1 noktası), iç şartları temsil eden noktadan (2 noktası) geçen yukarıdaki eğimdeki doğru üzerinde olmalıdır.

Bu tarife göre 1 noktası yukarıdaki doğru üzerindeki her nokta olabilir. Besleme havası şartlarını belirleyen bu doğruya "Duyulur Isı Oranı Doğrusu" denir. Bu doğru üzerinde 1 noktası yer değiştirdikçe sadece besleme havasının gerekli olan miktarı (m_a) değişir. Buna göre 1 noktası 2 noktasına ne kadar yakınsa, besleme havası miktarı o kadar fazla olacaktır.

Genellikle psikrometrik hesaplarda üfleme havası (besleme havası) sıcaklığı veya iç sıcaklıkla üfleme havası sıcaklığı arasındaki fark verilir. Bu durumda Duyulur Isı Oranı doğrusu çizilerek üfleme havası şartları ve üfleme havası miktarı belirlenebilir.

Duyulur Isı Oranı doğrusu eğiminin yukarıdaki denklem ile belirlenmesi en sağlıklı yoldur. Çoğu zaman, bu eğimin bulunmasında Duyulur Isı Oranı (DIO) değerinden yararlanılır. (DIO) duyulur ısı kazancının, toplam ısı kazancına oranıdır. Psikrometrik diyagramdaki yarım dairenin içinde (DIO) değerleri, $\Delta h_s / \Delta T$ ile gösterilmiştir. Bu değer,

$$\text{DIO} = \frac{\Delta h_s}{\Delta T} = \frac{Q_s}{Q_s + \sum(m_w h_w)}$$

ifadesi ile bulunur ve eğim yarım daire üzerinde işaretlenen DIO noktası ile daire merkezini birleştiren doğrunun eğimi olarak belirlenir. Ancak hesaplarda eğim için $(h_2-h_1) / (x_2-x_1) = [Q_s + \Sigma(\, m_w.h_w)] / \Sigma m_w$ denkleminin kullanılmasını öneriyoruz.

Örnek Problem 5.10.
Bir salondan emilen havanın (salon iç hava şartları) kuru termometre sıcaklığı 25 °C, termodinamik yaş termometre sıcaklığı ise 19 °C değerlerindedir. Bu salonun duyulur ısı kazancının 30000 kJ/h ve salondaki insanlardan olan nem kazancının 5 kg/h olduğu bilinmektedir. Üretilen nem doymuş ve 30 °C sıcaklıktadır. Salona gönderilen temiz havanın kuru termometre sıcaklığının 15 °C olduğu bilindiğine göre, salona gönderilmesi gereken temiz havanın hacimsel debisi ile termodinamik yaş termometre sıcaklığını bulunuz.

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramdaki çözümü Şekil 5.20'da görülmektedir. Havanın salondan çıkış şartı psikrometrik diyagramda 2 noktası ile gösterilmiştir. EK 2 yardımı ile salona ilave edilen nemin entalpisi (üretilen nem doymuş ve 30 °C için);

h_w = 2555.52 kJ/kg

$$\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{Q_s + \sum(m_w h_w)}{\sum m_w} \quad \Rightarrow \quad \frac{30000 + (5 \times 2555.52)}{5} = 8555 \text{ kJ/kg}_{nem} = 8.555 \text{ kJ/g}_{nem}$$

Psikrometrik diyagramdaki yarım dairenin $\Delta h/\Delta x$ ölçeğinden yararlanılarak 2 noktasından geçen ve eğimi 8.555 kJ/g_{nem} olan bir doğru çizilebilir. Bu doğrunun, kuru termometre sıcaklığı 15 °C olan doğruyu kestiği nokta 1 noktasıdır. Bu şekilde, 1 noktasının termodinamik yaş termometre sıcaklığı T_1^* = 13.8 °C elde edilir.

DIO doğrusunun eğimi için $\Delta h_s/\Delta h_T$ ölçeğinden de yararlanılabilirdi. Bu ikinci yöntemde, psikrometrik diyagramdaki $\Delta h/\Delta x$ ölçeği yerine, salondaki duyulur ısı kazancının toplam ısı kazancına oranı olan $\Delta h_s/\Delta h_T$ ölçeğinden yararlanılır. Bu örnekte, bu oran;

$$\frac{\Delta h_s}{\Delta T} = \frac{Q_s}{Q_s + \sum(m_w h_w)} = \frac{30000}{30000 + (5 \times 2555.52)} = 0.701$$

İstenirse psikrometrik diyagramda, 2 noktasından geçen bu eğimdeki doğru yardımıyla 1 noktası bulunabilir.

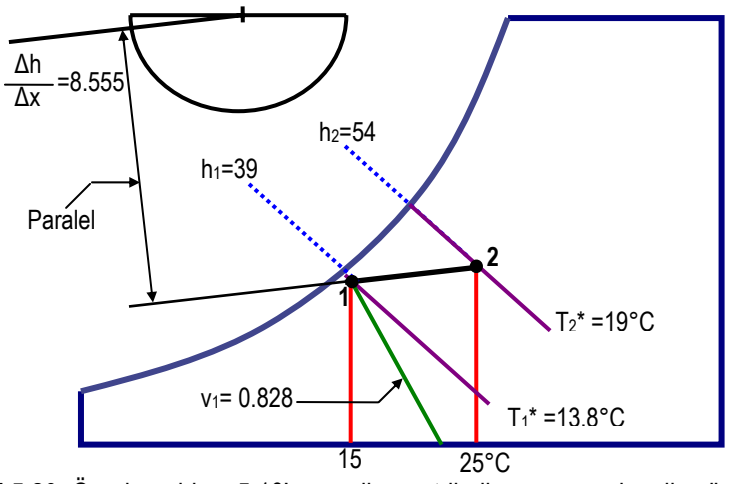
Dikkat edilirse psikrometrik diyagramdaki yarım dairenin ölçeklerinde $\Delta h_s/\Delta h_T$ = 0.701 değeri ile $\Delta h/\Delta x$ = 8555 kJ/kg_{nem} değeri üst üste çalışmaktadır. Salona gönderilmesi gereken temiz hava $Q_s + \Sigma(m_w.h_w) = m_a.(h_2-h_1)$ denklemi kullanılarak bulunabilir.

$Q_s + \Sigma(m_w.h_w) = m_a.(h_2-h_1)$

$$m_a = \frac{Q_s + \sum(m_w h_w)}{h_2 - h_1} = \frac{30000 + (5 \times 2555.52)}{54.0 - 39.0} = 2851.8 \text{ kg}_{\text{kuru hava}}/\text{h}$$

1 noktasında v_1 = 0.828 m^3/ $kg_{kuru\ hava}$ olduğundan, salona gönderilmesi gereken temiz hava;

Hacimsel debi = $m_a.v_1$ = (2851.8) (0.828) = 2361.3 m^3/h
olarak bulunabilir.



Şekil 5.20. Örnek problem 5.10'nun psikrometrik diyagram yardımı ile çözümü

Örnek Problem 5.11.
Bir salonda kışın iç şartlar kuru termometre sıcaklığı 20 °C, bağıl nem %50 değerlerinde tutulmak istenmektedir. Salonun duyulur ısı kaybı 30000 kJ/h ve nem kazancı 5 kg/h olarak bilinmektedir. Nemin entalpisi, h_w = 2555.52 kJ/kg alınabilir. Salona üflenen sıcak hava ile salon havası arasındaki fark 10 °C istendiğine göre, salona gönderilmesi gereken üfleme havası miktarı ve şartlarını belirleyiniz.

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramdaki çözümü Şekil 5.21'de görülmektedir. Salon iç şartları diyagramda 2 noktası ile gösterilmiştir.

$$\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{Q_s + \sum(m_w h_w)}{\sum m_w} \quad \Rightarrow \quad \frac{-30000 + (5 \times 2555.52)}{5} = -3445 \text{ kJ /kg}_{nem} = -3.445 \text{ kJ /g}_{nem}$$

Burada ısı kaybının (-) işaretle göz önüne alınacağı unutulmamalıdır. Psikrometrik diyagramdaki yarım dairenin Δh/Δx ölçeğinden yararlanılarak 2 noktasından geçen ve eğimi -3.445 olan doğru çizilir. Bu doğrunun;

$T_1 = T_2 + 10 = 20 + 10 = 30$ °C

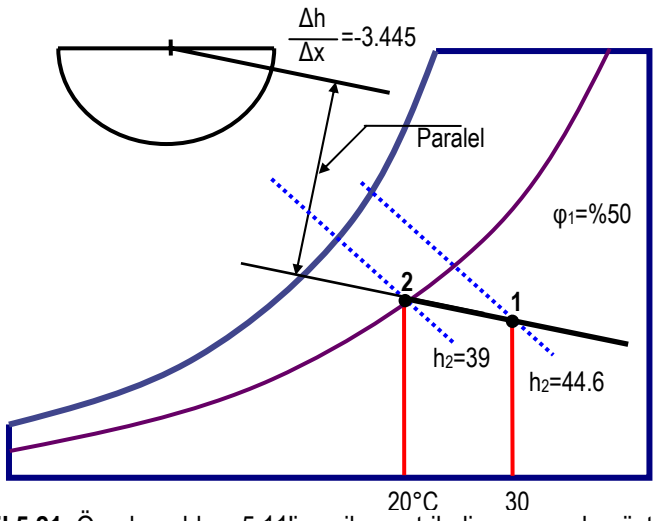
kuru termometre sıcaklığı doğrusunu kestiği (1) noktası üfleme şartlarını verir.

T_1 = 30 °C
h_1 = 44.6 kJ/kg
x_1 = 5.6 g/kg

Salona gönderilmesi gerekli üfleme havası,

$Q_s + \Sigma(m_w.h_w) = m_a.(h_2-h_1)$

$$m_a = \frac{Q_s + \sum(m_w h_w)}{h_2 - h_1} = \frac{-30000 + (5 \times 2555.52)}{39.0 - 44.6} = 3075 \text{ kg}_{\text{kuru hava}}/\text{h}$$



Şekil 5.21. Örnek problem 5.11'in psikrometrik diyagramında gösterimi

5.8. KONFOR KLİMASI

Çeşitli klima uygulamalarında psikrometri çalışması yapılarak santral seçilmesi gerekir. Farklı uygulamalarda, içeride istenen şartların sağlanması için klima santralinde iç ve dış hava karışımı farklı işlemlerden geçirilir. Bu işlem kombinasyonlarını geniş bir biçimde ele almak buradaki amaçlara uygun değildir. Klima santralinde amaç, karışım havasını bir veya bir dizi uygun işlemle istenen üfleme şartlarına getirmektir. Burada sadece yaz ve kış kliması olmak üzere iki klasik konfor uygulaması örneği verilecektir.

Örnek Problem 5.12.
Yaz kliması yaz hesap şartları kuru termometre sıcaklığı 33 °C ve yaş termometre sıcaklığı 25 °C olan bir iklimde, iç şartlar kuru termometre 25 °C ve bağıl nem %50 olarak istenmektedir. Göz önüne alınan salonun duyulur ısı kazancı, Q_s = 30000 kJ/h, nem kazancı 5 kg/h olarak bilinmektedir. Santralde 1 kısım dış hava, 3 kısım iç hava ile karıştırılmaktadır.

- **a.** Üfleme sıcaklığının 15 °C olabilmesi için soğutucu serpantin cihaz çiğ noktası sıcaklığı (CÇN) ve by-pass faktörü (BF) ne olmalıdır?
- **b.** Soğutucu serpantinin kapasitesi ne olmalıdır?

Çözüm
Problemin psikrometrik diyagramdaki çözümü, Şekil 5.22'de görülmektedir. Klasik yaz klimasında istenilen üfleme şartlarına ulaşabilmek için sadece serpantin yüzeylerinde havanın soğutulması çoğunlukla yeterlidir. Psikrometrik diyagramda iç şartlar kuru termometre 25 °C ve bağıl nem %50 ile dış şartlar kuru termometre sıcaklığı 33 °C ve yaş termometre sıcaklığı 25 °C değerleri işaretlendikten sonra bu ikisini birleştiren doğru 1/4 oranında bölünerek, K karışım noktası şartları bulunur.

$$\frac{T_{İÇ} - T_K}{T_{İÇ} - T_{DIŞ}} = \frac{1}{1+3} \Rightarrow \qquad \frac{25 - T_K}{25 - 33} = \frac{1}{4} \qquad \Rightarrow \qquad T_K = 27\,^{o}C$$

T_K = 27 °C kuru termometre doğrusu ile İÇ ve DIŞ noktalarını birleştiren doğrunun kesim noktasında karışım havası şartları;

T_K = 27 °C
h_K = 57 kJ/kg
x_K = 11.7 g/kg

Üfleme havasının 1 noktası ile gösterilen şartları ise aynen örnek problem 5.10'da anlatıldığı gibi üretilen nem doymuş ve 30 °C sıcaklıkta alınarak EK 2'den doymuş buhar entalpisi;

h_w = 2555.52 kJ/kg

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{Q_s + \sum (m_w h_w)}{\sum m_w} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{30000 + (5 \times 2555.52)}{5} = 8555 \text{ kJ/kg}_{nem} = 8.555 \text{ kJ/g}_{nem}$$

Psikrometrik diyagramdaki yarım dairenin Δh/Δx ölçeğinden yararlanılarak İç noktasından geçen ve eğimi 8.555 kJ/g_{nem} olan bir doğru çizilebilir. Bu doğrunun, kuru termometre sıcaklığı 15 °C olan doğruyu kestiği nokta 1 noktasıdır. Bu şekilde, 1 noktasının termodinamik yaş termometre sıcaklığı T_1* = 13.8 °C elde edilir.

T_1 = 15 °C
T_1* = 13.8 °C
h_1 = 39 kJ/kg
v_1 = 0.328 $m^3$7kg

olarak bulunur. K ve 1 noktaları birleştirilerek uzatılır ve doyma eğrisini kestiği nokta CÇN olarak belirlenir. Soğutucu serpantinden 1 noktasında çıkabilmek için serpantinin CÇN sıcaklığı, $T_{CÇN}$ = 12 °C olmak zorundadır. By-pass faktörü (BF) ise;

$$BF = \frac{T_1 - T_{CÇN}}{T_K - T_{CÇN}} = \frac{15 - 12}{27 - 12} = 0.2\ (\%\,20)$$

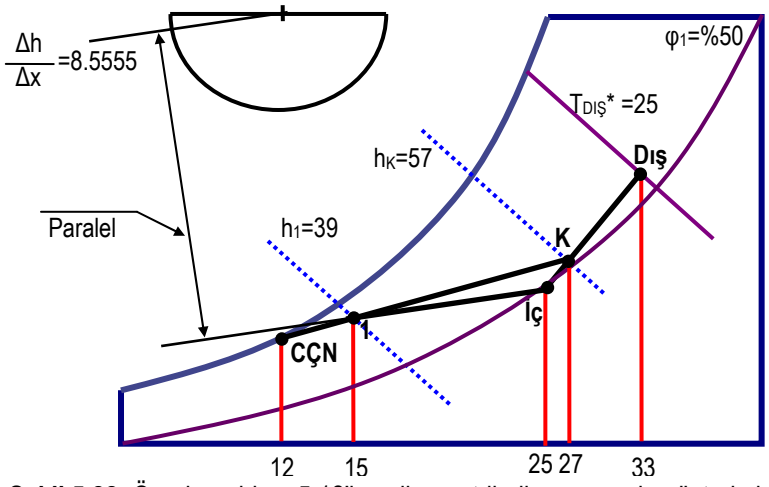
Soğutucu serpantin kapasitesi için önce kütlesel debi belirlenmelidir;

$Q_s + \Sigma(m_w.h_w) = m_a.\ (h_{İÇ}-h_1)$

$$m_a = \frac{Q_s + \sum (m_w h_w)}{h_{İÇ} - h_1} = \frac{30000 + (5 \times 2555.52)}{54.0 - 39.0} = 2851.8 \text{ kg}_{\text{kuru hava}}/\text{h}$$

Soğutucu serpantin kapasitesi;

$Q_{1\text{-}2} = m_a.\ (h_K - h_1) \qquad \Rightarrow \qquad Q_{1\text{-}2}$ =2851.8 (57 - 39) = 51332 kJ/h = 14.2 kW



Şekil 5.22. Örnek problem 5.12'in psikrometrik diyagramında gösterimi

Örnek Problem 5.13.

Kış kliması kış hesap şartları kuru termometre sıcaklığı 0 °C ve bağıl nemi %60 olan bir iklimde iç şartlar kuru termometre 20 °C, bağıl nem %50 değerlerinde istenmektedir. Salonun duyulur ısı kaybı 30000 kJ/h ve nem kazancı 5 kg/h olarak bilinmektedir. Salona üflenen sıcak hava, salon iç havasından 10 °C daha sıcaktır. Klima santralinde 1 kısım dış hava I kısım iç hava ile karıştırılmaktadır.

a. Santralde gerekli işlemleri belirleyiniz.
b. Gerekli ısıtma kapasitesini belirleyiniz.

Çözüm

Problemin psikrometrik diyagramda çözümü Şekil 5.23'de görülmektedir. Klasik kış klimasında karışım havasının istenilen üfleme şartlarına ulaştırılabilmesi için önce ısıtılması, sonra yıkayıcıda adyabatik nemlendirme ile nemlendirilmesi ve tekrar ısıtılması gerekir. Bunun yerine günümüzde hijyen nedenleri ile buharla nemlendirme daha çok tercih edilmektedir. Bu durumda karışım havasını sadece ısıtmak ve buharla nemlendirmek yeterli olmaktadır. Bu ikinci yol problemin çözümünde tercih edilecektir.

Kullanılan buharın sıcaklığı 100 °C kabul edilsin. Buna göre, psikrometrik diyagramda iç ve dış şartlar işaretlendikten sonra, bu iki noktayı birleştiren doğru 1/2 oranında bölünerek K karışım noktası şartları bulunur.

$$\frac{T_{İÇ}-T_K}{T_{İÇ}-T_{DIŞ}}=\frac{1}{1+1} \Rightarrow \quad \frac{20-T_K}{20-0}=\frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad T_K=10\,^{\circ}C$$

T_K = 10 °C kuru termometre doğrusu ile İç ve Dış noktalarını birleştiren doğrunun kesim noktası karışım şartlarını verir.

T_K = 10 °C
h_K = 22.1 kJ/kg
x_K = 4.8 g/kg

Üfleme havasının 1 noktası ile gösterilen şartlarının bulunması aynen örnek problem 5.11'de olduğu gibi;

$$\frac{h_{İÇ}-h_1}{x_{İÇ}-x_1}=\frac{\Delta h}{\Delta x}=\frac{Q_s+\sum(m_w h_w)}{\sum m_w} \quad \Rightarrow \quad \frac{-30000+(5\times 2555.52)}{5}=-3445 \text{ kJ/kg}_{nem} = \text{-3.445 kJ/g}_{nem}$$

Örnek problem 5.11'de olduğu gibi burada da ısı kaybının (-) işaretle göz önüne alınacağı unutulmamalıdır. Psikrometrik diyagramdaki yarım dairenin Δh/Δx ölçeğinden yararlanılarak İÇ noktasından geçen ve eğimi -3.445 olan doğru çizilir. Bu doğrunun;

$T_1 = T_{İÇ} + 10 = 20 + 10 = 30$ °C

kuru termometre sıcaklığı doğrusunu kestiği (1) noktası üfleme şartlarını verir.

T_1 = 30 °C
h_1 = 44.6 kJ/kg
x_1 = 5.6 g/kg

Buharla nem verme işleminde Δh/Δx eğimi 100 °C'deki doymuş buharın entalpisine eşit olacaktır. EK 2'den 100 °C'deki doymuş buharın entalpisi;

h_w = 2675.44 kJ/kg = 2.67544 kJ/g

Bu değer yardımı ile psikrometrik diyagramdaki yarım daireden eğim bulunur. Daha sonra bu eğime 1 noktasından çizilen paralel buharla nemlendirme işlemini göstermektedir. Aynı zamanda ısıtma işleminde x = sabit olan yatay doğru ile temsil edilir. Buna göre K noktasından geçen yatay doğru ısıtma işlemi olup, bu doğrunun yukarıda bulunan buharla nemlendirme doğrusunu kestiği A noktası havanın ısıtıcıdan çıktığı, nemlendiriciye girdiği noktadır. A noktası şartları;

T_A = 29.9 °C
h_A = 42.8 kJ/kg
x_A= 4.8 g/kg

Buna göre ısıtıcı kapasitesi

$Q_{1\text{-}2} = m_a . (h_A - h_K)$

olup, m_a değerini bulmak için, örnek problem 5.11'de olduğu gibi üfleme havasının giriş ve çıkış şartları olan İÇ ve 1 noktaları göz önüne alınarak salona gönderilmesi gerekli üfleme havası;

$Q_s + \Sigma(m_w.h_w) = m_a . (h_{İÇ}-h_1)$

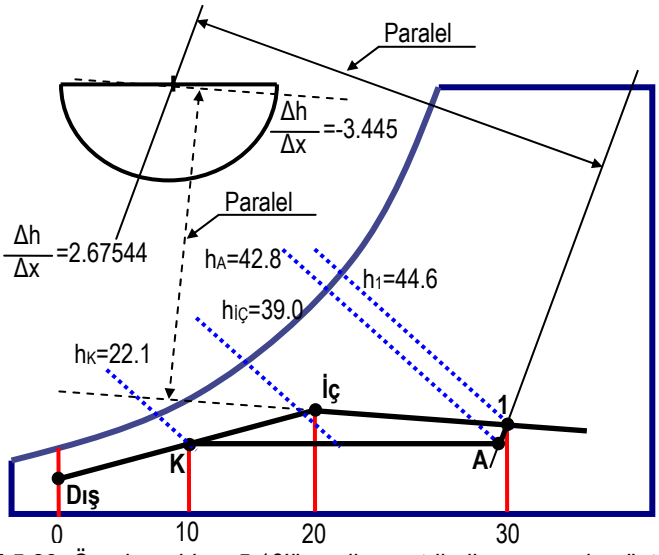
$$m_a = \frac{Q_s + \sum(m_w h_w)}{h_{İÇ} - h_1} = \frac{-30000 + (5 \times 2555.52)}{39.0 - 44.6} = 3075\ kg_{kuru\ hava}/h$$

Bu değer yardımı ile;

$Q_{1\text{-}2}$ = 3075.(42.8 – 22.1) = 63650 kJ/h = 17.7 kW

ısıtıcı serpantin kapasitesi belirlenir. Havaya verilen buhar miktarı ise;

$m_b = m_a.(x_1 - x_A)$ ⇒ m_b = 3075 (5.6 – 4.8) ⇒ m_b = 2460 g/h = 2.46 kg/h



Şekil 5.23. Örnek problem 5.13'ün psikrometrik diyagramında gösterimi

EK 1.

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

Sıcaklık °C	Özgül nem kg_{nem} / $kg_{kuruhava}$	Özgül hacim m^3 / $kg_{kuru\ hava}$			Entalpi kJ / $kg_{kuru\ hava}$			Entropi kJ / $kg_{kuru\ hava}K$			Yoğuşmuş su			Sıcaklık °C
T	x_D	v_H	v_{HD} (v_D-v_H)	v_D	h_H	h_{HD} (h_D-h_H)	h_D	s_H	s_{HD} (s_D-s_H)	s_D	h_{su} kJ / kg	s_{su} kJ / kgK	P_{su} kPa,	T
-60	0.0000067	0.6027	0.0000	0.6027	-60.351	0.017	-60.334	-0.2495	0.0001	-0.2494	-446.29	-1.6854	0.00108	-60
-59	0.0000076	0.6056	0.0000	0.6056	-59.344	0.018	-59.326	-0.2448	0.0001	-0.2447	-444.63	-1.6776	0.00124	-59
-58	0.0000087	0.6084	0.0000	0.6084	-58.338	0.021	-58.317	-0.2401	0.0001	-0.2400	-442.95	-1.6698	0.00141	-58
-57	0.0000100	0.6113	0.0000	0.6113	-57.332	0.024	-57.308	-0.2354	0.0001	-0.2353	-441.27	-1.6620	0.00161	-57
-56	0.0000114	0.6141	0.0000	0.6141	-56.326	0.028	-56.298	-0.2308	0.0001	-0.2306	-439.58	-1.6542	0.00184	-56
-55	0.0000129	0.6170	0.0000	0.6170	-55.319	0.031	-55.288	-0.2261	0.0002	-0.2260	-437.89	-1.6464	0.00209	-55
-54	0.0000147	0.6198	0.0000	0.6198	-54.313	0.036	-54.278	-0.2215	0.0002	-0.2214	-436.19	-1.6386	0.00238	-54
-53	0.0000167	0.6226	0.0000	0.6227	-53.307	0.041	-53.267	-0.2170	0.0002	-0.2168	-434.48	-1.6308	0.00271	-53
-52	0.0000190	0.6255	0.0000	0.6255	-52.301	0.046	-52.255	-0.2124	0.0002	-0.2122	-432.76	-1.6230	0.00307	-52
-51	0.0000215	0.6283	0.0000	0.6284	-51.295	0.052	-51.243	-0.2079	0.0002	-0.2076	-431.03	-1.6153	0.00348	-51
-50	0.0000243	0.6312	0.0000	0.6312	-50.289	0.059	-50.230	-0.2033	0.0003	-0.2031	-429.30	-1.6075	0.00394	-50
-49	0.0000275	0.6340	0.0000	0.6341	-49.283	0.067	-49.216	-0.1988	0.0003	-0.1985	-427.56	-1.5997	0.00445	-49
-48	0.0000311	0.6369	0.0000	0.6369	-48.277	0.075	-48.202	-0.1944	0.0004	-0.1940	-425.82	-1.5919	0.00503	-48
-47	0.0000350	0.6397	0.0000	0.6398	-47.271	0.085	-47.186	-0.1899	0.0004	-0.1895	-424.06	-1.5842	0.00568	-47
-46	0.0000395	0.6426	0.0000	0.6426	-46.265	0.095	-46.170	-0.1855	0.0004	-0.1850	-422.30	-1.5764	0.00640	-46
-45	0.0000445	0.6454	0.0000	0.6455	-45.259	0.108	-45.151	-0.1811	0.0005	-0.1805	-420.54	-1.5686	0.00721	-45
-44	0.0000500	0.6483	0.0001	0.6483	-44.253	0.121	-44.132	-0.1767	0.0006	-0.1761	-418.76	1.5609	0.00811	-44
-43	0.0000562	0.6511	0.0001	0.6512	-43.247	0.137	-43.111	-0.1723	0.0006	-0.1716	-416.98	1.5531	0.00911	-43
-42	0.0000631	0.6540	0.0001	0.6540	-42.241	0.153	-42.088	-0.1679	0.0007	-0.1672	-415.19	1.5453	0.01022	-42
-41	0.0000708	0.6568	0.0001	0.6569	-41.235	0.172	-41.063	-0.1636	0.0008	-0.1628	-413.39	1.5376	0.01147	-41
-40	0.0000793	0.6597	0.0001	0.6597	-40.229	0.192	-40.037	-0.1592	0.0009	-0.1584	-411.59	1.5298	0.01285	-40
-39	0.0000887	0.6625	0.0001	0.6626	-39.224	0.216	-39.007	-0.1549	0.0010	-0.1540	-409.77	1.5221	0.01438	-39
-38	0.0000992	0.6653	0.0001	0.6654	-38.218	0.241	-37.976	-0.1507	0.0011	-0.1496	-407.96	1.5143	0.01608	-38
-37	0.0001108	0.6682	0.0001	0.6683	-37.212	0.270	-36.942	-0.1464	0.0012	-0.1452	-406.13	1.5066	0.01796	-37
-36	0.0001237	0.6710	0.0001	0.6712	-36.206	0.302	-35.905	-0.1421	0.0014	-0.1408	-404.29	1.4988	0.02005	-36
-35	0.0001379	0.6739	0.0001	0.6740	-35.200	0.336	-34.864	-0.1379	0.0015	-0.1364	-402.45	1.4911	0.02235	-35
-34	0.0001536	0.6767	0.0002	0.6769	-34.195	0.375	-33.820	-0.1337	0.0017	-0.1320	-400.60	1.4833	0.02490	-34
-33	0.0001710	0.6796	0.0002	0.6798	-33.189	0.417	-32.772	-0.1295	0.0018	-0.1276	-398.75	1.4756	0.02772	-33
-32	0.0001902	0.6824	0.0002	0.6826	-32.183	0.464	-31.718	-0.1253	0.0020	-0.1233	-396.89	1.4678	0.03082	-32
-31	0.0002113	0.6853	0.0002	0.6855	-31.178	0.517	-30.661	-0.1212	0.0023	-0.1189	-395.01	1.4601	0.03425	-31
-30	0.0002346	0.6881	0.0003	0.6884	-30.171	0.574	-29.597	-0.1170	0.0025	-0.1145	-393.14	1.4524	0.03802	-30
-29	0.0002602	0.6909	0.0003	0.6912	-29.166	0.636	-28.529	-0.1129	0.0028	-0.1101	-391.25	1.4446	0.04217	-29
-28	0.0002883	0.6938	0.0003	0.6941	-28.160	0.707	-27.454	-0.1088	0.0031	-0.1057	-389.36	1.4369	0.04673	-28
-27	0.0003193	0.6966	0.0004	0.6970	-27.154	0.782	-26.372	-0.1047	0.0034	-0.1013	-387.46	1.4291	0.05175	-27
-26	0.0003533	0.6995	0.0004	0.6999	-26.149	0.867	-25.282	-0.1006	0.0037	-0.0969	-385.55	1.4214	0.05725	-26
-25	0.0003905	0.7023	0.0004	0.7028	-25.143	0.959	-24.184	-0.0965	0.0041	-0.0924	-383.63	-1.4137	0.06329	-25
-24	0.0004314	0.7052	0.0005	0.7057	-24.137	1.059	-23.078	-0.0925	0.0045	-0.0880	-381.71	-1.4059	0.06991	-24
-23	0.0004762	0.7080	0.0005	0.7086	-23.132	1.171	-21.961	-0.0885	0.0050	-0.0835	-379.78	-1.3982	0.07716	-23
-22	0.0005251	0.7109	0.0006	0.7115	-22.126	1.292	-20.834	-0.0845	0.0054	-0.0790	-377.84	-1.3905	0.08510	-22
-21	0.0005787	0.7137	0.0007	0.7144	-21.120	1.425	-19.695	-0.0805	0.0060	-0.0745	-375.90	-1.3828	0.09378	-21
-20	0.0006373	0.7165	0.0007	0.7173	-20.115	1.570	-18.545	-0.0765	0.0066	-0.0699	-373.95	-1.3750	0.10326	-20
-19	0.0007013	0.7194	0.0008	0.7202	-19.109	1.729	-17.380	-0.0725	0.0072	-0.0653	-371.99	-1.3673	0.11362	-19
-18	0.0007711	0.7222	0.0009	0.7231	-18.103	1.902	-16.201	-0.0686	0.0079	-0.0607	-370.02	-1.3596	0.12492	-18
-17	0.0008473	0.7251	0.0010	0.7261	-17.098	2.092	-15.006	-0.0646	0.0086	-0.0560	-368.04	-1.3518	0.13725	-17
=16	0.0009303	0.7279	0.0011	0.7290	-16.092	2.299	-13.793	-0.0607	0.0094	-0.0513	-366.06	-1.3441	0.15068	-16
=15	0.0010207	0.7308	0.0012	0.7320	-15.086	2.524	-12.562	-0.0568	0.0103	-0.0465	-364.07	-1.3364	0.16530	-15
-14	0.0011191	0.7336	0.0013	0.7349	-14.080	2.769	-11.311	-0.0529	0.0113	-0.0416	-362.07	-1.3287	0.18122	-14
-13	0.0012262	0.7364	0.0014	0.7379	-13.075	3.036	-10.039	-0.0490	0.0123	-0.0367	-360.07	-1.3210	0.19852	-13
-12	0.0013425	0.7393	0.0016	0.7409	-12.069	3.327	-8.742	-0.0452	0.0134	-0.0318	-358.06	-1.3132	0.21732	-12
-11	0.0014690	0.7421	0.0017	0.7439	-11.063	3.642	-7.421	-0.0413	0.0146	-0.0267	-356.04	-1.3055	0.23775	-11
-10	0.0016062	0.7450	0.0019	0.7469	-10.057	3.986	-6.072	-0.0375	0.0160	-0.0215	-354.01	-1.2978	0.25991	-10
-9	0.0017551	0.7478	0.0021	0.7499	-9.052	4.358	-4.693	-0.0337	0.0174	-0.0163	-351.97	-1.2901	0.28395	-9
-8	0.0019166	0.7507	0.0023	0.7530	-8.046	4.764	-3.283	-0.0299	0.0189	-0.0110	-349.93	-1.2824	0.30999	-8
-7	0.0020916	0.7535	0.0025	0.7560	-7.040	5.202	-1.838	-0.0261	0.0206	-0.0055	-347.88	-1.2746	0.33821	-7
-6	0.0022811	0.7563	0.0028	0.7591	-6.035	5.677	-0.357	-0.0223	0.0224	0.0000	-345.82	-1.2669	0.36874	-6
-5	0.0024862	0.7592	0.0030	0.7622	-5.029	6.192	1.164	-0.0186	0.0243	0.0057	-343.76	-1.2592	0.40178	-5
-4	0.0027081	0.7620	0.0033	0.7653	-4.023	6.751	2.728	-0.0148	0.0264	0.0115	-341.69	-1.2515	0.43748	-4
-3	0.0029480	0.7649	0.0036	0.7685	-3.017	7.353	4.336	-0.0111	0.0286	0.0175	-339.61	-1.2438	0.47606	-3
-2	0.0032074	0.7677	0.0039	0.7717	-2.011	8.007	5.995	-0.0074	0.0310	0.0236	-337.52	-1.2361	0.51773	-2
-1	0.0034874	0.7705	0.0043	0.7749	-1.006	8.712	7.706	-0.0037	0.0336	0.0299	-335.42	-1.2284	0.56268	-1
0	0.0037895	0.7734	0.0047	0.7781	-0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	-333.32	-1.2206	0.61117	0
0*	0.003789	0.7734	0.0047	0.7781	-0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	-0.06	-0.0001	0.6112	0
1	0.004076	0.7762	0.0051	0.7813	1.006	10.197	11.203	0.0037	0.0391	0.0427	-4.28	0.0153	0.6571	1
2	0.004381	0.7791	0.0055	0.7845	2.012	10.970	12.982	0.0073	0.0419	0.0492	-8.49	0.0306	0.7060	2
3	0.004707	0.7819	0.0059	0.7878	3.018	11.793	14.811	0.0110	0.0449	0.0559	-12.70	0.0459	0.7581	3
4	0.005054	0.7848	0.0064	0.7911	4.024	12.672	16.696	0.0146	0.0480	0.0627	-16.91	0.0611	0.8135	4
5	0.005424	0.7876	0.0068	0.7944	5.029	13.610	18.639	0.0182	0.0514	0.0697	-21.12	0.0762	0.8725	5
6	0.005818	0.7904	0.0074	0.7978	6.036	14.608	20.644	0.0219	0.0550	0.0769	-25.32	0.0913	0.9353	6
7	0.006237	0.7933	0.0079	0.8012	7.041	15.671	22.713	0.0255	0.0588	0.0843	-29.52	0.1064	1.0020	7
8	0.006683	0.7961	0.0085	0.8046	8.047	16.805	24.852	0.0290	0.0628	0.0919	-33.72	0.1213	1.0729	8
9	0.007157	0.7990	0.0092	0.8081	9.053	18.010	27.064	0.0326	0.0671	0.0997	-37.92	0.1362	1.1481	9
10	0.007661	0.8018	0.0098	0.8116	10.059	19.293	29.352	0.0362	0.0717	0.1078	-42.11	0.1511	1.2280	10
11	0.008197	0.8046	0.0106	0.8152	11.065	20.658	31.724	0.0397	0.0765	0.1162	-46.31	0.1659	1.3128	11
12	0.008766	0.8075	0.0113	0.8188	12.071	22.108	34.179	0.0433	0.0816	0.1248	-50.50	0.1806	1.4026	12
13	0.009370	0.8103	0.0122	0.8225	13.077	23.649	36.726	0.0468	0.0870	0.1337	-54.69	0.1953	1.4979	13

* Aşırı soğutulmuş sıvılı yarı kararlı dengedeki durumu belirlemek için ekstropole edilmiştir.

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

Sıcaklık °C	Özgül nem kg_{nem} / $kg_{kuruhava}$	Özgül hacim m^3 / $kg_{kuru\ hava}$			Entalpi kJ / $kg_{kuru\ hava}$			Entropi kJ / $kg_{kuru\ hava}$K			Yoğuşmuş su			Sıcaklık °C
T	x_D	v_H	v_{HD} (v_D-v_H)	v_D	h_H	h_{HD} (h_D-h_H)	h_D	s_H	s_{HD} (s_D-s_H)	s_D	h_{su} kJ / kg	s_{su} kJ / kgK	P_{su} kPa,	T
14	0.010012	0.8132	0.0131	0.8262	14.084	25.286	39.370	0.0503	0.0927	0.1430	58.88	0.2099	1.5987	14
15	0.010692	0.8160	0.0140	0.8300	15.090	27.023	42.113	0.0538	0.0987	0.1525	63.07	0.2244	1.7055	15
16	0.011413	0.8188	0.0150	0.8338	16.096	28.867	44.963	0.0573	0.1051	0.1624	67.26	0.2389	1.8185	16
17	0.012178	0.8217	0.0160	0.8377	17.102	30.824	47.926	0.0607	0.1119	0.1726	71.44	0.2534	1.9380	17
18	0.012989	0.8245	0.0172	0.8417	18.108	32.900	51.008	0.0642	0.1190	0.1832	75.63	0.2678	2.0643	18
19	0.013848	0.8274	0.0184	0.8457	19.114	35.101	54.216	0.0677	0.1266	0.1942	79.81	0.2821	2.1979	19
20	0.014758	0.8302	0.0196	0.8498	20.121	37.434	57.555	0.0711	0.1346	0.2057	84.00	0.2965	2.3389	20
21	0.015721	0.8330	0.0210	0.8540	21.127	39.908	61.035	0.0745	0.1430	0.2175	88.18	0.3107	2.4878	21
22	0.016741	0.8359	0.0224	0.8583	22.133	42.527	64.660	0.0779	0.1519	0.2298	92.36	0.3249	2.6448	22
23	0.017821	0.8387	0.0240	0.8627	23.140	45.301	68.440	0.0813	0.1613	0.2426	96.55	0.3390	2.8105	23
24	0.018963	0.8416	0.0256	0.8671	24.146	48.239	72.385	0.0847	0.1712	0.2559	100.73	0.3531	2.9852	24
25	0.020170	0.8444	0.0273	0.8717	25.153	51.347	76.500	0.1881	0.1817	0.2698	104.91	0.3672	3.1693	25
26	0.021448	0.8472	0.0291	0.8764	26.159	54.638	80.798	0.0915	0.1927	0.2842	109.09	0.3812	3.3633	26
27	0.022798	0.8501	0.0311	0.8811	27.165	58.120	85.285	0.0948	0.2044	0.2992	113.27	0.3951	3.5674	27
28	0.024226	0.8529	0.0331	0.8860	28.172	61.804	89.976	0.0982	0.2166	0.3148	117.45	0.4090	3.7823	28
29	0.025735	0.8558	0.0353	0.8910	29.179	65.699	94.878	0.1015	0.2296	0.3311	121.63	0.4229	4.0084	29
30	0.027329	0.8586	0.0376	0.8962	30.185	69.820	100.006	0.1048	0.2432	0.3481	125.81	0.4367	4.2462	30
31	0.029014	0.8614	0.0400	0.9015	31.192	74.177	105.369	0.1082	0.2576	0.3658	129.99	0.4505	4.4961	31
32	0.030793	0.8643	0.0426	0.9069	32.198	78.780	110.979	0.1115	0.2728	0.3842	134.17	0.4642	4.7586	32
33	0.032674	0.8671	0.0454	0.9125	33.205	83.652	116.857	0.1148	0.2887	0.4035	138.35	0.4779	5.0345	33
34	0.034660	0.8700	0.0483	0.9183	34.212	88.799	123.011	0.1180	0.3056	0.4236	142.53	0.4915	5.3242	34
35	0.036756	0.8728	0.0514	0.9242	35.219	94.236	129.455	0.1213	0.3233	0.4446	146.71	0.5051	5.6280	35
36	0.038971	0.8756	0.0546	0.9303	36.226	99.983	136.209	0.1246	0.3420	0.4666	150.89	0.5186	5.9468	36
37	0.041309	0.8785	0.0581	0.9366	37.233	106.058	143.290	0.1278	0.3617	0.4895	155.07	0.5321	6.2812	37
28	0.043778	0.8813	0.0618	0.9431	38.239	112.474	150.713	0.1311	0.3824	0.5135	159.25	0.5456	6.6315	38
39	0.046386	0.8842	0.0657	0.9498	39.246	119.258	158.504	0.1343	0.4043	0.5386	163.43	0.5590	6.9988	39
40	0.049141	0.8870	0.0698	0.9568	40.253	126.430	166.683	0.1375	0.4273	0.5649	167.61	0.5724	7.3838	40
41	0.052049	0.8898	0.0741	0.9640	41.261	134.005	175.265	0.1407	0.4516	0.5923	171.79	0.5857	7.7866	41
42	0.055119	0.8927	0.0788	0.9714	42.268	142.007	184.275	0.1439	0.4771	0.6211	175.97	0.5990	8.2081	42
43	0.058365	0.8955	0.0837	0.9792	43.275	150.475	193.749	0.1471	0.5041	0.6512	180.15	0.6122	8.6495	43
44	0.061791	0.8983	0.0888	0.9872	44.282	159.417	203.699	0.1503	0.5325	0.6828	184.33	0.6254	9.1110	44
45	0.065411	0.9012	0.0943	0.9955	45.289	168.874	214.164	0.1535	0.5624	0.7159	188.51	0.6386	9.5935	45
46	0.069239	0.9040	0.1002	1.0042	46.296	178.882	225.179	0.1566	0.5940	0.7507	192.69	0.6517	10.0982	46
47	0.073282	0.9069	0.1063	1.0132	47.304	189.455	236.759	0.1598	0.6273	0.7871	196.88	0.6648	10.6250	47
48	0.077556	0.9097	0.1129	1.0226	48.311	200.644	248.955	0.1629	0.6624	0.8253	201.06	0.6778	11.1754	48
49	0.082077	0.9125	0.1198	1.0323	49.319	212.485	261.803	0.1661	0.6994	0.8655	205.24	0.6908	11.7502	49
50	0.086858	0.9154	0.1272	1.0425	50.326	225.019	275.345	0.1692	0.7385	0.9077	209.42	0.7038	12.3503	50
51	0.091918	0.9182	0.1350	1.0532	51.334	238.290	289.624	0.1723	0.7798	0.9521	213.60	0.7167	12.9764	51
52	0.097272	0.9211	0.1433	1.0643	52.341	252.340	304.682	0.1754	0.8234	0.9988	217.78	0.7296	13.6293	52
53	0.102948	0.9239	0.1521	1.0760	53.349	267.247	320.596	0.1785	0.8695	1.0480	221.97	0.7424	14.3108	53
54	0.108954	0.9267	0.1614	1.0882	54.357	283.031	337.388	0.1816	0.9182	1.0998	226.15	0.7552	15.0205	54
55	0.115321	0.9296	0.1713	1.1009	55.365	299.772	355.137	0.1847	0.9698	1.1544	230.33	0.7680	15.7601	55
56	0.122077	0.9324	0.1819	1.1143	56.373	317.549	373.922	0.1877	1.0243	1.2120	234.52	0.7807	16.5311	56
57	0.129243	0.9353	0.1932	1.1284	57.381	336.417	393.798	0.1908	1.0820	1.2728	238.70	0.7934	17.3337	57
58	0.136851	0.9381	0.2051	1.1432	58.389	356.461	414.850	0.1938	1.1432	1.3370	242.88	0.8061	18.1691	58
59	0.144942	0.9409	0.2179	1.1588	59.397	377.788	437.185	0.1969	1.2081	1.4050	247.07	0.8187	19.0393	59
60	0.15354	0.9438	0.2315	1.1752	60.405	400.458	460.863	0.1999	1.2769	1.4768	251.25	0.8313	19.9439	60
61	0.16269	0.9466	0.2460	1.1926	61.413	424.624	486.036	0.2029	1.3500	1.5530	255.44	0.8438	20.8858	61
62	0.17244.	0.9494	0.2614	1.2109	62.421	450.377	512.798	0.2059	1.4278	1.6337	259.62	0.8563	21.8651	62
63	0.18284	0.9523	0.2780	1.2303	63.429	477.837	541.266	0.2089	1.5104	1.7194	263.81	0.8688	22.8826	63
64	0.19393	0.9551	0.2957	1.2508	64.438	507.177	571.615	0.2119	1.5985	1.8105	268.00	0.8812	23.9405	64
65	0.20579	0.9580	0.3147	1.2726	65.446	538.548	603.995	0.2149	1.6925	1.9074	272.18	0.8936	25.0397	65
66	0.21848	0.9608	0.3350	1.2958	66.455	572.116	638.571	0.2179	1.7927	2.0106	276.37	0.9060	26.1810	66
67	0.23207	0.9636	0.3568	1.3204	67.463	608.103	675.566	0.2209	1.8999	2.1208	280.56	0.9183	27.3664	67
68	0.24664	0.9665	0.3803	1.3467	68.472	646.724	715.196	0.2238	2.0147	2.2385	284.75	0.9306	28.5967	68
69	0.26231	0.9693	0.4055	1.3749	69.481	688.261	757.742	0.2268	2.1378	2.3646	288.94	0.9429	29.8741	69
70	0.27916	0.9721	0.4328	1.4049	70.489	732.959	803.448	0.2297	2.2699	2.4996	293.13	0.9551	31.1986	70
71	0.29734	0.9750	0.4622	1.4372	71.498	781.208	852.706	0.2327	2.4122	2.6448	297.32	0.9673	32.5734	71
72	0.31698	0.9778	0.4941	1.4719	72.507	833.335	905.842	0.2356	2.5655	2.8010	301.51	0.9794	33.9983	72
73	0.33824	0.9807	0.5287	1.5093	73.516	889.807	963.323	0.2385	2.7311	2.9696	305.70	0.9916	35.4759	73
74	0.36130	0.9835	0.5662	1.5497	74.525	951.077	1025.603	0.2414	2.9104	3.1518	309.89	1.0037	37.0063	74
75	0.38641	0.9863	0.6072	1.5935	75.535	1017.841	1093.375	0.2443	3.1052	3.3496	314.08	1.0157	38.5940	75
76	0.41377	0.9892	0.6519	1.6411	76.543	1090.628	1167.172	0.2472	3.3171	3.5644	318.28	1.0278	40.2369	76
77	0.44372	0.9920	0.7010	1.6930	77.553	1170.328	1247.881	0.2501	3.5486	3.7987	322.47	1.0398	41.9388	77
78	0.47663	0.9948	0.7550	1.7498	78.562	1257.921	1336.483	0.2530	3.8023	4.0553	326.67	1.0517	43.7020	78
79	0.51284	0.9977	0.8145	1.8121	79.572	1354.347	1433.918	0.2559	4.0810	4.3368	330.86	1.0636	45.5248	79
80	0.55295	1.0005	0.8805	1.8810	80.581	1461.200	1541.781	0.2587	4.3890	4.6477	335.06	1.0755	47.4135	80
81	0.59751	1.0034	0.9539	1.9572	81.591	1579.961	1661.552	0.2616	4.7305	4.9921	339.25	1.0874	49.3670	81
82	0.64724	1.0062	1.0360	2.0422	82.600	1712.547	1795.148	0.2644	5.1108	5.3753	343.45	1.0993	51.3860	82
83	0.70311	1.0090	1.1283	2.1373	83.610	1861.548	1945.158	0.2673	5.5372	5.8045	347.65	1.1111	53.4746	83
84	0.76624	1.0119	1.2328	2.2446	84.620	2029.983	2114.603	0.2701	6.0181	6.2882	351.85	1.1228	55.6337	84
85	0.83812	1.0147	1.3518	2.3666	85.630	2221.806	2307.436	0.2729	6.5644	6.8373	356.05	1.1346	57.8658	85
86	0.92062	1.0175	1.4887	2.5062	86.640	2442.036	2528.677	0.2757	7.1901	7.4658	360.25	1.1463	60.1727	86
87	1.01611	1.0204	1.6473	2.6676	87.650	2697.016	2784.666	0.2785	7.9128	8.1914	364.45	1.1580	62.5544	87
88	1.12800	1.0232	1.8333	2.8565	88.661	2995.890	3084.551	0.2813	8.7580	9.0393	368.65	1.1696	65.0166	88
89	1.26064	1.0261	2.0540	3.0800	89.671	3350.254	3439.925	0.2841	9.7577	10.0419	372.86	1.1812	67.5581	89
90	1.42031	1.0289	2.3199	3.3488	90.681	3776.918	3867.599	0.2869	10.9586	11.2455	377.06	1.1928	70.1817	90

EK 2.

Doymuş su buharının termodinamik özellikleri

Sıcaklık	Mutlak Basınç	Özgül hacim m^3 / kg			Entalpi kJ / $kg_{kuru\ hava}$			Entropi kJ / $kg_{kuru\ hava}$K			Sıcaklık
T, °C	P, kPa	Doymuş Sıvı v_i/v_f	Buharlaşma v_{ig}/v_{fg}	Doymuş Buhar v_g	Doymuş Sıvı h_i/h_f	Buharlaşma h_{ig}/h_{fg}	Doymuş Buhar h_g	Doymuş Sıvı s_i/s_f	Buharlaşma s_{ig}/s_{fg}	Doymuş Buhar s_g	T, °C
-60	0.00108	0.001082	90942.00	90942.00	-446.40	2836.27	2389.87	-1.6854	13.3065	11.6211	-60
-59	0.00124	0.001082	79858.69	79858.69	-444.74	2836.46	2391.72	-1.7667	13.2452	11.5677	-59
-58	0.00141	0.001082	70212.37	70212.37	-443.06	2836.64	2393.57	-1.6698	13.8145	11.5147	-58
-57	0.00161	0.001082	61805.35	61805.35	-441.38	2836.81	2395.43	-1.6620	13.1243	11.4623	-57
-56	0.00184	0.001082	54469.39	54469.39	-439.69	2836.97	2397.28	-1.6542	13.0646	11.4104	-56
-55	0.00209	0.001082	48061.05	48061.05	-438.00	2837.13	2399.12	-1.6464	13.0054	11.3590	-55
-54	0.00238	0.001082	42455.57	42455.57	-436.29	2837.27	2400.98	-1.6386	12.9468	11.3082	-54
-53	0.00271	0.001083	37546.09	37546.09	-434.59	2837.42	2402.83	-1.6308	12.8886	11.2578	-53
-52	0.00307	0.001083	33242.14	33242.14	-432.87	2837.55	2404.68	-1.6230	12.8309	11.2079	-52
-51	0.00348	0.001083	29464.67	29464.67	-431.14	2837.68	2406.53	-1.6153	12.7738	11.1585	-51
-50	0.00394	0.001083	26145.01	26145.01	-429.41	2837.80	2408.39	-1.6075	12.7170	11.1096	-50
-49	0.00445	0.001083	23223.69	23223.70	-427.67	2837.91	2410.24	-1.5997	12.6608	11.0611	-49
-48	0.00503	0.001083	20651.68	20651.69	-425.93	2838.02	2412.09	-1.5919	12.6051	11.0131	-48
-47	0.00568	0.001083	18383.50	18383.51	-424.27	2838.12	2413.94	-1.5842	12.5498	10.9656	-47
-46	0.00640	0.001083	16381.35	16381.36	-422.41	2838.21	2415.79	-1.5764	12.4949	10.9185	-46
-45	0.00721	0.001984	14612.35	14512.36	-420.65	2838.29	2417.65	-1.5686	12.4405	10.8719	-45
-44	0.00811	0.001084	13047.65	13047.66	-418.87	2838.37	2419.50	-1.5609	12.3866	10.8257	-44
-43	0.00911	0.001084	11661.85	11661.85	-417.09	2838.44	2421.35	-1.5531	12.3330	10.7799	-43
-42	0.01022	0.001084	10433.85	10433.85	-415.30	2838.50	2423.20	-1.5453	12.2799	10.7346	-42
-41	0.01147	0.001084	9344.25	9344.25	-413.50	2838.55	2425.05	-1.5376	12.2273	10.6897	-41
-40	0.01285	0.001084	8376.33	8376.33	-411.70	2838.60	2426.90	-1.5298	12.1750	10.6452	-40
-39	0.01438	0.001085	7515.86	7515.87	-409.88	2838.64	2428.76	-1.5221	12.1232	10.6011	-39
-38	0.01608	0.001085	6750.36	6750.36	-508.07	2838.67	2430.61	-1.5143	12.0718	10.5575	-38
-37	0.01796	0.001085	6068.16	6068.17	-406.24	2838.70	2432.46	-1.5066	12.0208	10.5142	-37
-36	0.02004	0.001085	5459.82	5459.82	-404.40	2838.71	2434.31	-1.4988	11.9702	10.4713	-36
-35	0.02235	0.001085	4917.09	4917.10	-402.56	2838.73	2436.16	-1.4911	11.9199	10.4289	-35
-34	0.02490	0.001085	4432.36	4432.37	-400.72	2838.73	2438.01	-1.4833	11.8701	10.3868	-34
-33	0.02771	0.001085	3998.71	3998.71	-398.86	2838.72	2439.86	-1.4756	11.8207	10.3451	-33
-32	0.03082	0.001086	3610.71	3610.71	-397.00	2838.71	2441.72	-1.4678	11.7716	10.3037	-32
-31	0.03424	0.001086	3263.20	3263.20	-395.12	2838.69	2443.57	-1.4601	11.7229	10.2628	-31
-30	0.03802	0.001086	2951.64	2951.64	-393.25	2838.66	2445.42	-1.4524	11.6746	10.2222	-30
-29	0.04217	0.001086	2672.03	2672.03	-391.36	2838.63	2447.27	-1.4446	11.6266	10.1820	-29
-28	0.04673	0.001086	2420.89	2420.89	-389.47	2838.59	2449.12	-1.4369	11.4790	10.1421	-28
-27	0.05174	0.001086	2195.23	2195.23	-387.57	2838.53	2450.97	-1.4291	11.5318	10.1026	-27
-26	0.05725	0.001087	1992.15	1992.15	-385.66	2838.48	2452.82	-1.4214	11.4849	10.0634	-26
-25	0.06329	0.001087	1809.35	1809.35	-383.74	2838.41	2454.67	-1.4137	11.4383	10.0246	-25
-24	0.06991	0.001087	1644.59	1644.59	-381.34	2838.34	2456.52	-1.4059	11.3921	9.9862	-24
-23	0.07716	0.001087	1495.98	1495.98	-379.89	2838.26	2458.37	-1.3982	11.3462	9.9480	-23
-22	0.08510	0.001087	1361.94	1361.94	-377.95	2838.17	2460.22	-1.3905	11.3007	9.9102	-22
-21	0.09378	0.001087	1240.77	1240.77	-376.01	2838.07	2462.06	-1.3828	11.2555	9.8728	-21
-20	0.10326	0.001087	1131.27	1131.27	-374.06	2837.97	2463.91	-1.3750	11.2106	9.8356	-20
-19	0.11362	0.001088	1032.18	1032.18	-372.10	2837.86	2465.76	-1.3673	11.1661	9.7988	-19
-18	0.12492	0.001088	942.46	942.47	-370.13	2837.74	2467.61	-1.3596	11.1218	9.7623	-18
-17	0.13725	0.001088	861.17	861.18	-368.15	2837.61	2469.46	-1.3518	11.0779	9.7261	-17
-16	0.15068	0.001088	787.48	787.49	-366.17	2837.47	2471.30	-1.3441	11.0343	9.6902	-16
-15	0.16530	0.001088	720.59	720.59	-364.18	2837.33	2473.15	-1.3364	10.9910	9.6546	-15
-14	0.18122	0.001088	659.86	659.86	-362.18	2837.18	2474.99	-1.3287	10.9480	9.6193	-14
-13	0.19852	0.001089	604.65	604.65	-360.18	2837.02	2476.84	-1.3210	10.9053	9.5844	-13
-12	0.21732	0.001089	554.45	554.45	-358.17	2836.85	2478.68	-1.3232	10.8629	9.5497	-12
-11	0.23774	0.001089	508.75	5.08.75	-356.15	2836.68	2480.53	-1.3055	10.8208	9.5153	-11
-10	0.25990	0.001089	467.14	467.14	-354.12	2836.49	2482.37	-1.2978	10.7790	9.4812	-10
-9	0.28393	0.001089	429.21	429.21	-352.08	2836.30	2484.22	-1.2901	10.7375	9.4474	-9
-8	0.30998	0.001090	394.64	394.64	-350.04	2836.10	2486.06	-1.2824	10.6962	9.4139	-8
-7	0.33819	0.001090	363.07	363.07	-347.99	2835.89	2487.90	-1.2746	10.6552	9.3806	-7
-6	0.36874	0.001090	334.25	334.25	-345.93	2835.68	2489.74	-1.2669	10.6145	9.3476	-6
-5	0.40176	0.001090	307.91	307.91	-343.87	2835.45	2491.58	-1.2592	10.4741	9.3149	-5
-4	0.43747	0.0dl090	283.83	283.83	-341.80	2835.22	2493.42	-1.2515	10.5340	9.2825	-4
-3	0.47606	0.001090	261.79	261.79	-339.72	2834.98	2495.26	-1.2438	10.4941	9.2503	-3
-2	0.51772	0.001091	241.60	241.60	-337.63	2834.72	2497.10	-1.2361	10.4544	9.2184	-2
-1	0.56267	0.001091	223.11	223.11	-335.53	2834.47	2498.93	-1.2284	10.4151	9.1867	-1
0*	0.61115	0.001091	206.16	206.16	-333.43	2834.20	2500.77	-1.2206	10.3760	9.1553	0
0	0.6112	0.001000	206.141	206.143	-0.04	2500.81	2500.77	-0.0002	9.1555	9.1553	0
1	0.6571	0.001000	192.455	192.456	4.18	2498.43	2502.61	0.0153	9.1134	9.1286	1
2	0.7060	0.001000	179.769	179.770	8.39	2496.05	2504.45	0.0306	9.0716	9.1022	2
3	0.7580	0.001000	168.026	168.027	12.60	2493.68	2506.28	0.0459	9.0302	9.0761	3
4	0.8135	0.001000	157.137	157.138	16.81	2491.31	2508.12	0.0611	8.9890	9.0501	4
5	0.8725	0.001000	147.032	147.033	21.02	2488.94	2509.96	0.0763	8.9482	9.0244	5
6	0.9353	0.001000	137.653	137.654	25.22	2486.57	2511.79	0.0913	8.9077	8.9990	6
7	0.0020	0.001000	128.947	128.948	29.42	2484.20	2513.62	0.1064	8.8674	8.9738	7
8	0.0728	0.001000	120.850	120.851	33.62	2481.84	2515.46	0.1213	8.8273	8.9488	8
9	0.1481	0.001000	113.326	113.327	37.82	2479.47	2517.29	0.1362	8.7878	8.9245	9
10	0.2280	0.001000	106.328	106.329	42.01	2477.11	2519.12	0.1511	8.7484	8.8995	10
11	0.3127	0.001000	99.812	99.813	46.21	2474.74	2520.95	0.1659	8.7093	8.8752	11

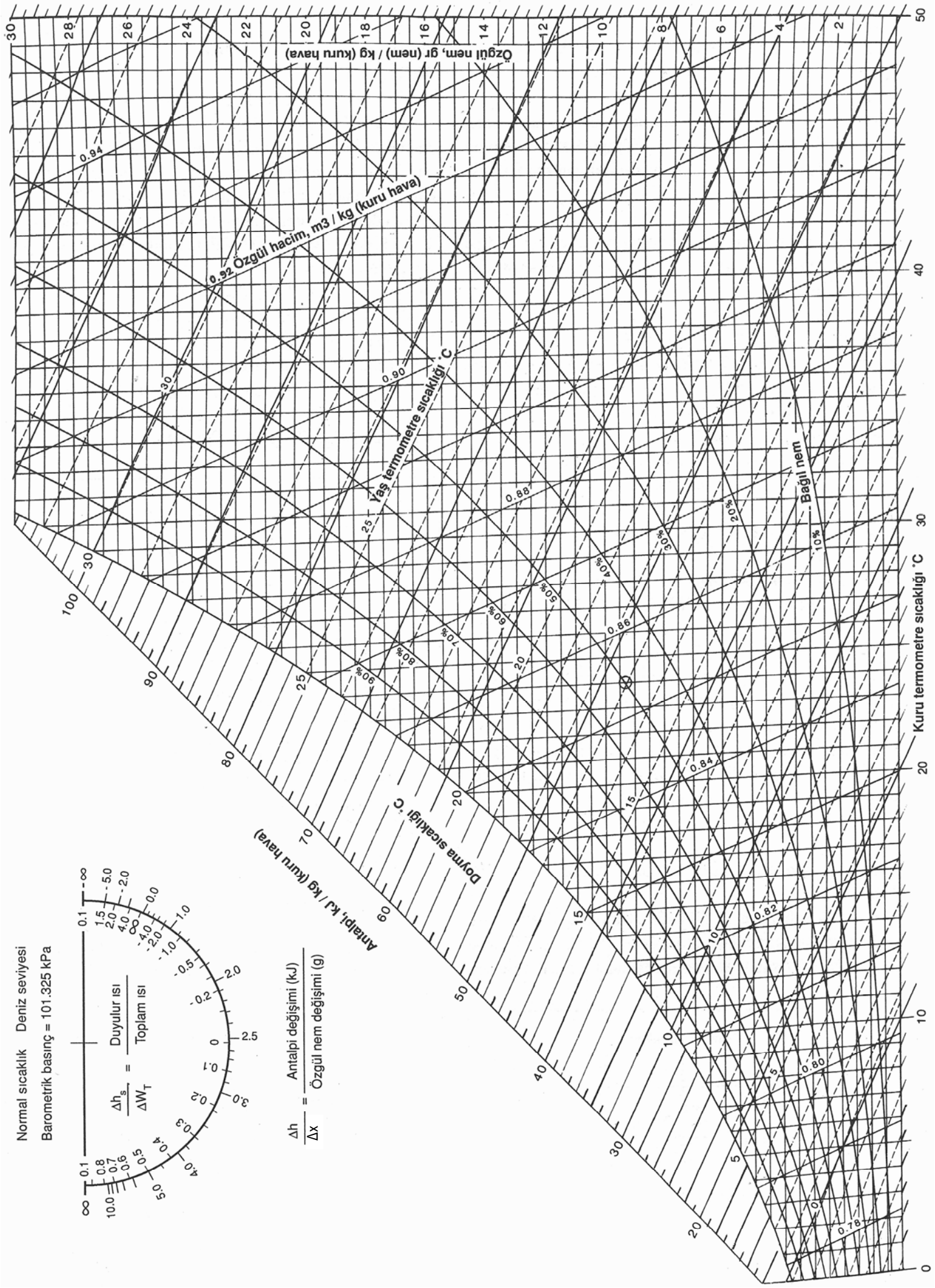
* Aşırı soğutulmuş sıvılı yarı kararlı dengedeki durumu belirlemek için ekstropole edilmiştir.

Doymuş su buharının termodinamik özellikleri (Devam)

Sıcaklık	Mutlak Basınç	Özgül hacim m^3 / kg			Entalpi kJ / $kg_{kuru\ hava}$			Entropi kJ / $kg_{kuru\ hava}K$			Sıcaklık
T, °C	P, kPa	Doymuş Sıvı v_i/v_f	Buharlaşma v_{ig}/v_{fg}	Doymuş Buhar v_g	Doymuş Sıvı h_i/h_f	Buharlaşma h_{ig}/h_{fg}	Doymuş Buhar h_g	Doymuş Sıvı s_i/s_f	Buharlaşma s_{ig}/s_{fg}	Doymuş Buhar s_g	T, °C
12	1.4026	0.001001	93.743	93.744	50.40	2472.38	2522.78	0.1806	8.6705	8.8511	12
13	1.4978	0.001001	88.088	83.089	54.59	2470.02	2524.61	0.1953	8.6319	8.8272	13
14	1.4987	0.001001	82.815	82.816	58.78	2467.66	2526.44	0.2099	8.5936	8.8035	14
15	1.7055	0.001001	77.897	77.898	62.97	2465.30	2528.26	0.2244	8.5556	8.7801	15
16	1.8184	0.001001	73.307	73.308	67.16	2462.93	2530.09	0.2389	8.5178	8.7568	16
17	1.9380	0.001001	69.021	69.022	71.34	2460.57	2531.92	0.2534	8.4804	8.7338	17
18	2.0643	0.001002	65.017	65.018	75.53	2458.21	2533.74	0.2678	8.4431	8.7109	18
19	2.1978	0.001002	65.274	61.273	79.72	2455.85	2535.56	0.2821	8.4061	8.6883	19
20	2.3388	0.001002	57.774	57.773	83.90	2543.48	2537.38	0.2964	8.3694	8.6658	20
21	2.4877	0.001002	54.450	54.500	88.08	2541.12	2539.20	0.3107	8.3329	8.6436	21
22	2.6448	0.001002	51.433	51.434	92.27	2448.75	2541.02	0.3249	8.2967	8.6215	22
23	2.8104	0.001003	48.562	48.563	96.45	2446.39	2542.84	0.3390	8.2607	8.5996	23
24	2.9851	0.001003	45.872	45.873	100.63	2444.02	2544.65	0.3531	8.2249	8.5780	24
25	3.1692	0.001003	43.350	43.351	104.81	2441.66	2546.47	0.3672	8.1894	8.5565	25
26	3.3631	0.001003	40.985	40.986	108.99	2439.29	2548.28	0.3812	8.1541	8.5352	26
27	3.5673	0.001004	38.766	38.767	113.18	2436.92	2550.09	0.3951	8.1190	8.5141	27
28	3.7822	0.001004	36.682	36.683	117.36	2534.55	2551.90	0.4090	8.0842	8.4932	28
29	4.0083	0.001004	34.726	34.727	121.54	2532.17	2553.71	0.4229	8.0496	8.4724	29
30	4.2460	0.001004	32.889	32.889	125.72	2429.80	2555.52	0.4367	8.0152	8.4519	30
31	4.4959	0.001005	31.160	31.161	129.90	2427.43	2557.32	0.4505	7.9810	8.4315	31
32	4.7585	0.001005	29.535	29.536	134.08	2425.05	2559.13	0.4642	7.9471	8.4112	32
33	5.0343	0.001005	28.006	28.007	138.26	2422.67	2560.93	0.4779	7.9133	8.3912	33
34	5.3239	0.001006	26.567	26.568	142.44	2410.29	2562.73	0.4915	7.8790	8.3713	34
35	5.6278	0.001006	25.212	25.213	146.62	2417.91	2564.53	0.5051	7.8465	8.3516	35
36	5.9466	0.001006	23.935	23.936	150.80	2415.53	2566.33	0.5186	7.8134	8.3320	36
37	6.2810	0.001007	22.733	22.734	154.98	2413.14	2568.12	0.5321	7.7805	8.3127	37
38	6.6315	0.001007	21.599	21.600	159.16	2410.76	2569.91	0.5456	7.7479	8.2934	38
39	6.9987	0.001008	20.529	20.530	163.34	2408.37	2571.71	0.5590	7.7154	8.2744	39
40	7.3835.	0.001008	19.520	19.521	167.52	2405.98	2573.50	0.5724	7.6831	8.2555	40
41	7.7863	0.001008	18.567	18.568	171.70	2403.58	2575.28	0.5857	7.6510	8.2367	41
42	8.2080	0.001009	17.667	17.668	175.88	2401.19	2577.07	0.5990	7.6191	8.2181	42
43	8.6492	0.001009	16.818	16.819	180.06	2398.79	2578.85	0.6122	7.5875	8.1997	43
44	9.1107	0.001010	16.014	16.015	184.24	2396.39	2580.63	0.6254	7.3560	8.1814	44
45	9.4932	0.001010	15.255	15.256	188.42	2393.99	2582.41	0.6386	7.5247	8.1632	45
46	10.0976	0.001010	14.537	14.538	192.60	2391.59	2584.19	0.6517	7.4936	8.1452	46
47	10.6246	0.001011	13.858	13.859	196.78	2389.18	2585.96	0.6648	7.4626	8.1274	47
48	11.1751	0.001011	13.214	13.215	200.97	2386.77	2587.74	0.6778	7.4319	8.1097	48
49	11.7500	0.001012	12.606	12.607	205.15	2384.36	2589.51	0.6908	7.4013	8.0921	49
50	12.3499	0.001012	12.029	12.029	209.33	2381.94	2591.27	0.7038	7.3709	8.0747	50
51	12.9759	0.001013	11.482	11.483	213.51	2379.53	2593.04	0.7167	7.3407	8.0574	51
52	13.6290	0.001013	10.964	10.965	217.70	2377.10	2594.80	0.7296	7.3107	8.0403	52
53	14.3100	0.001014	10.473	10.474	221.88	2374.68	2596.56	0.7424	7.2809	8.0233	53
54	15.0200	0.001014	10.001	10.008	226.06	2372.26	2598.32	0.7552	7.2512	8.0064	54
55	15.7597	0.001015	9.563	9.5663	230.25	2369.83	2600.07	0.7680	7.2217	7.9897	55
56	16.5304	0.001015	9.147	9.1468	234.43	2367.39	2601.82	0.7807	7.1924	7.9731	56
57	17.3331	0.001016	8:744	8.7489	238.61	2364.96	2603.57	0.7934	7.1632	7.9566	57
58	18.1690	0.001016	8.3690	8.3700	242.80	2362.52	2605.32	0.8061	7.1342	7.9403	58
59	19.0387	0.001017	8.0094	8.0114	246.99	2360.08	2607.06	0.8187	7.1054	7.9240	59
60	19.944	0.001017	7.6677	7.6697	251.17	2357.63	2608.80	0.8313	7.0767	7.9079	60
61	20.885	0.001018	7.3428	7.3438	255.36	2355.19	2610.54	0.8438	7.0482	7.8920	61
62	21.864	0.001018	7.0337	7.0347	259.54	2352.73	2612.28	0.8563	7.0198	7.8761	62
63	22.882	0.001019	6.7397	6.7407	263.73	2350.28	2614.01	0.8688	6.9916	7.8604	63
64	23.940	0.001019	6.4599	6.4609	267.92	2347.82	2615.74	0.8812	6.9636	7.8448	64
65	25.040	0.001020	6.1935	6.1946	272.11	2345.36	2617.46	0.8936	6.9357	7.8293	65
66	26.180	0.001020	5.9397	5.9409	276.30	2342.89	2619.19	0.9060	6.9080	7.8140	66
67	27.366	0.001021	5.6982	5.6992	280.49	2340.42	2620.90	0.9183	6.8804	7.7987	67
68	28.596	0.001022	5.4680	5.4690	284.68	2337.95	2622.62	0.9306	2.8530	7.7836	68
69	29.873	0.001022	5.2485	5.2495	288.87	2335.47	2624.33	0.9429	6.8257	7.7686	69
70	31.198	0.001023	5.0392	5.0402	293.06	2332.99	2626.04	0.9551	6.7986	7.7537	70
71	32.572	0.001023	4.8396	4.8407	297.25	2330.50	2627.75	0.9673	6.7716	7.7389	71
72	33.997	0.001024	4.6492	4.6502	301.44	2328.01	2629.45	0.9795	6.7448	7.7242	72
73	35.475	0.001025	4.4675	4.4685	305.63	2325.51	2631.15	0.9916	6.7181	7.7097	73
74	37.006	0.001025	4.2940	4.2951	309.83	2323.02	2632.84	1.0037	6.6915	7.6952	74
75	38.592	0.001026	4.1284	4.1294	314.02	2320.51	2634.53	1.0157	6.6651	7.6809	75
76	40.236	0.001026	3.9702	3.9712	318.22	2318.01	2636.22	1.0278	6.6389	7.6666	76
77	41.938	0.001027	3.8190	3.8201	322.41	2315.49	2637.90	1.0398	6.6127	7.6525	77
78	43.700	0.001028	3.6746	3.6756	326.61	2312.98	2639.58	1.0517	6.5867	7.6384	78
79	45.524	0.001028	3.5365	3.5375	330.81	2310.46	2641.26	1.0636	6.5609	7.6245	79
80	47.412	0.002029	3.4044	3.4055	335.00	2307.93	2642.93	1.0755	6.5351	7.6107	80
81	49.364	0.001030	3.2781	3.2792	339.20	2305.40	2644.60	1.0874	6.5095	7.5969	81
82	51.384	0.001030	3.1573	3.1583	343.40	2902.86	2646.26	1.0993	6.4841	7.5833	82
83	53.473	0.001031	3.0417	3.0427	347.60	2300.32	2647.92	1.1111	6.4587	7.5698	83
84	55.633	0.001032	2.9310	2.9320	351.80	2297.78	2649.58	1.1228	6.4335	7.5563	84

Doymuş su buharının termodinamik özellikleri (Devam)

Sıcaklık	Mutlak Basınç	Özgül hacim m^3 / kg			Entalpi kJ / $kg_{kuru\ hava}$			Entropi kJ / $kg_{kuru\ hava}K$			Sıcaklık
T, °C	P, kPa	Doymuş Sıvı v_i/v_f	Buharlaşma v_{ig}/v_{fg}	Doymuş Buhar v_g	Doymuş Sıvı h_i/h_f	Buharlaşma h_{ig}/h_{fg}	Doymuş Buhar h_g	Doymuş Sıvı s_i/s_f	Buharlaşma s_{ig}/s_{fg}	Doymuş Buhar s_g	T, °C
85	57.865	0.001032	2.8250	2.8260	356.01	2295.22	2651.23	1.1346	6.4084	7.5430	85
86	60.171	0.001033	2.7235	2.7245	350.21	2292.67	2652.88	1.1463	6.3834	7.5297	86
87	62.554	0.001034	2.6263	2.6273	364.41	2290.11	2654.52	1.1580	6.3586	7.5166	87
88	65.015	0.001035	2.5331	2.5341	368.62	2287.54	2656.16	1.1696	6.3339	7.5035	88
89	67.556	0.001035	2.4438	2.4448	372.82	2284.97	2657.79	1.1812	6.3093	7.4905	89
90	70.180	0.001036	2.3582	2.3592	377.03	2282.39	2659.42	1.1928	6.2848	7.4776	90
91	72.888	0.001037	2.2760	2.2771	381.24	2279.81	2661.04	1.2044	6.2605	7.4648	91
92	75.683	0.001037	2.1973	2.1983	385.45	2277.22	2662.66	1.2159	6.2362	7.4521	92
93	78.566	0.001038	2.1217	2.1228	389.66	2274.62	2664.28	1.2274	6.2121	7.4395	93
94	81.541	0.001039	2.0492	2.0502	393.87	2272.02	2665.89	1.2389	6.1881	7.4270	94
95	84.608	0.001040	1.9796	1.9806	398.08	2269.41	2667.49	1.2504	6.1642	7.4146	95
96	87.770	0.001040	1.9128	1.9138	402.29	2266.80	2669.09	1.2618	6.1404	7.4022	96
97	91.030	0.001041	1.8486	1.8496	406.51	2264.18	2670.69	1.2732	6.1168	7.3899	97
98	94.390	0.001042	1.7869	1.7880	410.72	2261.55	2672.28	1.2845	6.0932	7.3777	98
99	97.852	0.001044	1.7277	1.7287	414.94	2258.92	2673.86	1.2959	6.0697	7.3656	99
100	101.419	0.001044	1.6708	1.6718	419.16	2256.28	2675.44	1.3072	6.0464	7.3536	100
101	105.092	0.001044	1.6161	1.6171	423.38	2253.64	2677.02	1.3185	6.0232	7.3416	101
102	108.875	0.001045	1.5635	1.5645	427.60	2250.99	2678.58	1.3297	6.0000	7.3298	102
103	112.770	0.001046	1.5129	1.5139	431.82	2248.33	2680.15	1.3410	5.9770	7.3180	103
104	116.779	0.001047	1.4642	1.4652	436.04	2245.66	2681.71	1.3522	5.9541	7.3062	104
105	120.906	0.001047	1.4174	1.4184	440.27	2242.99	2683.26	1.3634	5.9313	7.2946	105
106	125.152	0.001048	1.3723	1.3734	444.49	2240.31	2684.80	1.3745	5.9086	7.2830	106
107	129.520	0.001049	1.3290	1.3300	448.72	2237.63	2686.35	1.3856	5.8860	7.2716	107
108	134.012	0.001050	1.2872	1.2883	452.95	2234.93	2687.88	1.3967	5.8635	7.2601	108
109	138.633	0.001051	1.2470	1.2481	457.18	2232.23	2689.41	1.4078	5.8410	7.2488	109
110	143.384	0.001052	1.2083	1.2093	461.41	2229.52	2690.93	1.4188	5.8187	7.2375	110
111	148.267	0.001052	1.1710	1.1720	465.64	2226.81	2692.45	1.4298	5.7965	7.2263	111
112	153.287	0.001053	1.1350	1.1361	469.88	2224.09	2693.96	1.4408	5.7744	7.2152	112
113	158.445	0.001054	1.1004	1.1015	474.11	2221.35	2695.47	1.4518	5.7524	7.2402	113
114	163.745	0.001055	1.0670	1.0681	478.35	2218.62	2696.97	1.4627	5.7304	7.1931	114
115	169.190	0.001056	1.0348	1.0359	482.59	2215.87	2698.46	1.4737	5.7086	7.1822	115
116	174.782	0.001057	1.0038	1.0048	486.83	2213.12	2699.95	1.4846	5.6868	7.1714	116
117	180.525	0.001058	0.9739	0.9749	491.07	2210.35	2701.43	1.4954	5.6652	7.1606	117
118	186.420	0.001059	0.9450	0.9460	495.32	2207.58	2702.90	1.5063	5.6436	7.1499	118
119	192.473	0.001059	0.9171	0.9182	499.56	2204.80	2704.37	1.5171	5.6221	7.1392	119
120	198.685	0.001060	0.8902	0.8913	503.81	2202.02	2705.83	1.5279	5.6007	7.1286	120
122	211.601	0.001062	0.8391	0.8402	512.31	2196.42	2706.73	1.5494	5.5582	7.1076	122
124	225.194	0.001064	0.7916	0.7927	520.82	2190.78	2711.60	1.5709	5.5160	7.0869	124
126	239.490	0.001066	0.7472	0.7483	529.33	2185.11	2714.44	1.5922	5.4742	7.0664	126
128	254.515	0.001068	0.7057	0.7068	537.86	2179.40	2717.26	1.6135	5.4326	7.0461	128
130	270.298	0.001070	0.6670	0.6681	546.39	2173.66	2720.05	1.6347	5.3914	7.0261	130
132	286.866	0.001072	0.6308	0.6318	554.93	2167.87	2722.80	1.6557.	5.3505	7.0063	132
134	304.247	0.001074	0.5969	0.5979	563.48	2162.05	2725.53	1.6767	5.3099	6.9867	134
136	322.470	0.001076	0.5651	0.5662	572.04	2156.18	2728.22	1.6977	5.2697	6.9673	136
138	341.566	0.001078	0.5354	0.5364	580.60	2150.28	2730.88	1.7185	5.2296	6.9481	138
140	361.565	0.001080	0.5075	0.5085	589.18	2144.33	2733.51	1.7393	5.1899	6.9292	140
142	382.497	0.001082	0.4813	0.4824	597.76	2138.34	2736.11	1.7599	5.1505	6.9104	142
144	404.394	0.001084	0.4567	0.4578	606.36	2132.31	2738.67	1.7805	5.1113	6.8918	144
146	427.288	0.001086	0.4336	0.4347	614.97	2126.23	2741.19	1.8011	5.0724	6.8735	146
148	451.211	0.001088	0.4119	0.4130	623.58	2120.10	2743.68	1.8215	5.0338	6.8553	148
150	476.198	0.001091	0.3914	0.3925	632.21	2113.92	2746.13	1.8419	4.9954	6.8373	150
152	502.281	0.001093	0.3722	0.3733	640.85	2107.70	2748.55	1.8622	4.9573	6.8194	152
154	529.495	0.001095	0.3541	0.3552	649.50	2101.43	2750.93	1.8824	4.9194	6.8017	154
156	557.875	0.001097	0.3370	0.3381	658.16	2095.11	2753.27	1.9026	4.8817	6.7842	156
158	587.456	0.001100	0.3209	0.3220	666.83	2088.73	2755.57	1.9226	4.8443	6.7669	158
160	618.275	0.001102	0.3058	0.3069	675.52	2082.31	2757.82	1.9427	4.8070	6.7497	160
162	650.368	0.001104	0.2914	0.2925	684.22	2075.82	2760.04	1.9626	4.7701	6.7327	162
164-	683.772	0.001107	0.2779	0.2790	692.93	2069.29	2762.22	1.9825	4.7333	6.7158	164
166	718.526	0.001109	0.2651	0.2662	701.65	2062.70	2764.35	2.0023	4.6967	6.6990	166
168	754.667	0.001112	0.2530	0.2541	710.39	2056.05	2766.44	2.0221	4.6603	6.6824	168
170	792.235	0.001114	0.2415	0.2427	719.14	2049.34	2768.48	2.0418	4.6242	6.6659	170
172	831.268	0.001117	0.2307	0.2318	727.91	2042.57	2770.48	2.0614	4.5882	6.6496	172
174	871.808	0.001119	0.2205	0.2216	736.69	2035.74	2772.43	2.0810	4.5524	6.6334	174
176	913.894	0.001122	0.2107	0.2119	745.48	2028.85	2774.33	2.1005	4.5168	6.6173	176
178	947.568	0.001125	0.2015	0.2026	754.29	2021.89	2776.19	2.1200	4.4813	6.6013	178
180	1002.871	0.001127	0.1928	0.1939	763.12	2014.87	2777.99	2.1394	4.4460	6.5854	180
182	1049.846	0.001130	0.1845	0.1856	771.96	2007.78	2779.74	2.1587	4.4109	6.5691	182
184	1098.535	0.001133	0.1766	0.1777	780.82	2000.63	2781.45	2.1780	4.3760	6.5540	184
186	1148.982	0.001136	0.1691	0.1703	789.69	1993.40	2783.10	2.1973	4.3412	6.5385	186
188	1201.230	0.001139	0.1620	0.1632	798.59	1986.11	2784.70	2.2165	4.3065	6.5230	188
190	1255.324	0.001141	0.1553	0.1564	807.50	1978.74	2786.24	2.2356	4.2720	6.5076	190
192	1311.309	0.001144	0.1488	0.1500	816.43	1971.30	2787.72	2.2547	4.2376	6.4924	192
194	1369.230	0.001147	0.1427	0.1439	825.37	1963.78	2789.15	2.2738	4.2034	6.4772	194
196	1429.133	0.001150	0.1369	0.1380	834.34	1956.19	2790.52	2.2928	4.1693	6.4621	196
198	1491.066	0.001153	0.1314	0.1325	843.32	1948.52	2791.83	2.3118	4.1353	6.4471	198
200	1555.074	0.001157	0.1261	0.1272	852.33	1940.76	2793.09	2.3307	4.1014	6.4321	200

EK 3.

Psikrometrik Diyagram (1 Nolu ASHRAE Diyagramı)