

PSİKROMETRİK DİYAGRAM

Psikrometrik diyagram, nemli havanın termodinamik özelliklerini grafik olarak veren bir diyagramdır. Havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, özgül hacmi, bağıl ve özgül nemi ile entalpisini veren bir diyagramdır. Bu özellikleri tablo halinde veren nemli havanın termodinamik özellik tabloları da mevcuttur fakat değişkenlerin çokluğundan dolayı tablo halinde vermek uzun tablolar gerektirdiğinden veya matematiksel bağıntılar ile bulmak çok daha karmaşık olduğundan psikrometrik diyagram çok daha pratiktir ve kullanımı çok kolaydır. Şartlandırma yani iklimlendirme ve havalandırma işlemlerinde çok yaygın olarak kullanılır.

Psikrometrik diyagram ilk kez Mollier tarafından 1923 yılında yapıldığından Mollier diyagramı adı ile de anılır.

Psikrometrik diyagram üç ana eksen üzerine oturur. Düşey eksen sağda, yatay eksen altta ve eğik eksen de solda yer alır. Farklı düzenlerde de olmasına karşın en yaygın şekli budur:

Düşey eksen (ordinat): **Özgül nem**, eksenine dik doğrular halinde yer almaktadır, dolayısıyla özgül nem eğrileri birbirlerine paraleldir.

Yatay eksen (apsis): **Kuru termometre sıcaklığı**, eğrileri düz doğrular şeklinde olmasına rağmen birbirine tam paralel değildirler, dik durumdan hafifçe sapmaktadırlar.

Soldaki eğik eksen: **Entalpi**'yi vermektedir. Entalpi eğrileri birbirine paralel eğik doğrular şeklinde yer almaktadır.

Diğer özellikler ise diyagramda grafiksel olarak yer alırlar.

Yaş termometre sıcaklığı,. Yaş termometre sıcaklık eğrileri düz doğru olmalarına rağmen birbirlerine tam paralel olmayan eğik doğrulardır, aynı zamanda entalpi doğrularına hemen hemen paraleldirler. Kuru termometre sıcaklıkları ile yaş termometre sıcaklıkları, doyma eğrisi üzerinde ($\phi=1$) aynı değere sahiptir.

Bağıl nem, yatay eksene belirli bir eğimle ve %10 değer aralığı ile çizilen eğrilerle verilir. Doyma eğrisi %100 bağıl neme karşılık gelirken, $w=0$ yatay doğrusu %100 kuru havaya karşılık gelmektedir.

Özgöl hacim, eğik doğrular şeklinde yer almaktadır. Özgöl hacim doğruları düz olmalarına rağmen birbirlerine tam paralel değildir.

Psikrometrik diyagramda **doyma eğrisi** de verilmektedir. Buradan nemli havanın doymuş özellikleri belirlenir. Doyma eğrisinin üstünde kalan entalpi eksenine kadar olan bölge sis bölgesi olarak anılır. Bu bölgede iki faz yani doymuş nemli hava ile sıvı su zerrecikleri ısı dengede birlikte bulunur.

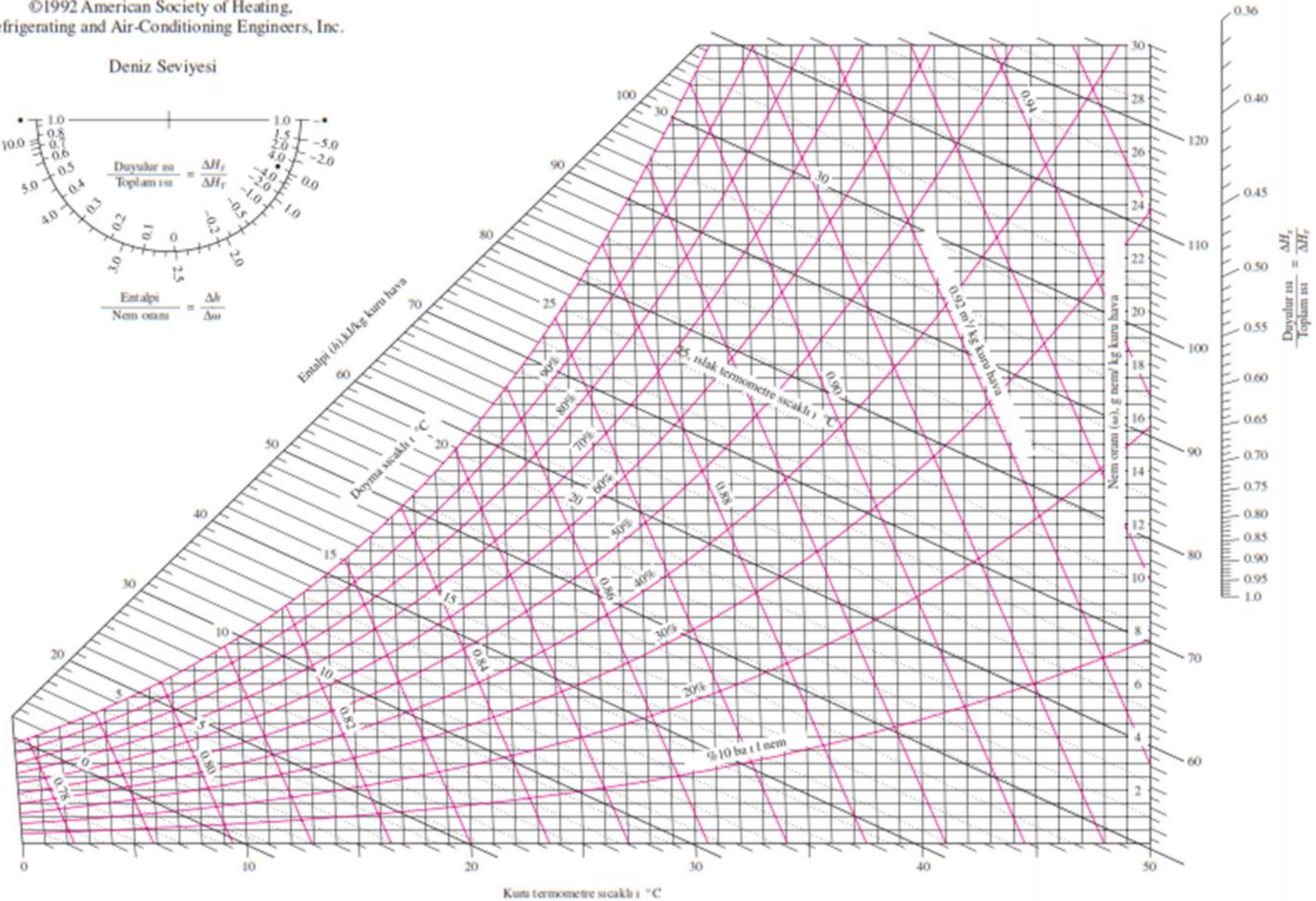
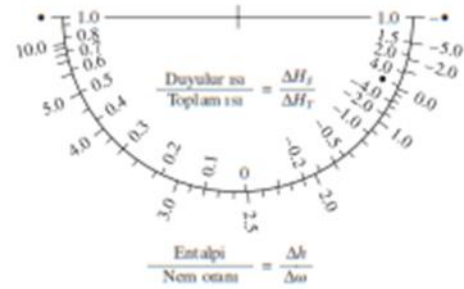
Ayrıca, psikrometrik diyagram ile birlikte diyagramın sol üst köşesinde yarım daire şeklinde **açıölçer** üzerinde iki ölçek vardır. Bu ölçeklerden biri entalpi farkının özgöl nem farkına oranını, diğer ölçek ise duyulur ısıya toplam ısıya oranını verir. Bu açıölçer üzerindeki ölçekler, Psikrometrik diyagramdaki değişimlerin doğrultusunu saptamak için kullanılır. Bazı psikrometrik diyagramlarda ise özgöl nem eksenini yanında düşey olarak verilir.

Aynı eksen takımı kullanılarak, ASHRAE tarafından yedi adet Mollier (psikrometrik) diyagramı hazırlanmıştır. Bunlar numaralar ile anılmaktadır. 1,2,3,4 numaralı diyagramlar deniz seviyesindeki standart basınçta hazırlanmıştır. Sırasıyla 0 ile 50°C, -40 ile 10 °C, 10 ile 120 °C ve 100 ile 1200 °C sıcaklık aralığını kapsamaktadır. 5,6,7 numaralı diyagramlar 0 ile 50 °C sıcaklık aralığını kapsamaktadır, diğer taraftan sırasıyla deniz seviyesinden 750, 1500 ve 2250 m yükseklikler için hazırlanmıştır. Bu diyagramlarda verilen basınçlardan farklı atmosferik basınçlarda interpolasyon yapmak gerekir.

Barometrik Basınç: 101.325 kPa



Deniz Seviyesi



PSİKROMETRİK İŞLEMLER

HVAC işlemleri için iki temel bağıntı öne çıkmaktadır: enerji korunumu yani termodinamiğin birinci kanunu ve kütle korunumu yani süreklilik denklemdir.

HVAC sistemleri sürekli akışlı sürekli açık sistem olarak karşımıza çıkar. İklimlendirme ile ilgili temel işlemlere geçmeden önce nemli hava için kütle ve enerji korunumu denklemlerini elde etmemiz gerekir.

Süreklilik (kütle korunumu) bağıntısı kuru hava için

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

Su buharı için (yoğuşma yani nem alma durumunda)

$$m_{w2} = m_{w1} - m_w$$

Burada özgül nemin tanımından $m_w = w \cdot m_a$

$$m_{a2}w_2 = m_{a1}w_1 - m_w$$

$$m_w = m_a(w_1 - w_2)$$

Su buharı için (nemlendirme olduğu durumda) ise

$$m_{w2} = m_{w1} + m_w$$

$$m_{a1}w_1 + m_w = m_{a2}w_2$$

$$m_w = m_a(w_2 - w_1)$$

Enerji korunumu yani termodinamiğin 1. kanunu sürekli akışlı sürekli açık sistem için uygulandığında kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilerek, hatta fan işi de varsa ihmal edilerek

$$Q = \sum \Delta H = \sum m_2 h_2 - \sum m_1 h_1$$

Burada nemli hava için entalpinin tanımından $h = h_a + wh_w$

$$Q = m_a(h_2 - h_1) \mp \dot{m}_w h_w$$

$$Q = m_a(h_2 - h_1) \mp m_a(w_2 - w_1)h_w$$

veya birim zamandaki enerji formunda yazarsak,

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \mp \dot{m}_a(w_2 - w_1)h_w$$

Burada entalpiler özgül ısı değerleri kullanarak belirlenirse

$$\dot{Q} = \dot{m}_a c_p(T_2 - T_1) \mp \dot{m}_a(w_2 - w_1)h_w$$

elde edilir ve bu bağıntı havanın ısıtılması, soğutulması, nemlendirilmesi ve nem çekilmesi işlemlerinin tümünde kullanılır. Burada dikkat edilecek olursa \pm nem çekme ve nemlendirme işlemlerini ifade etmektedir, nem çekme durumunda -, nemlendirme için + olur.

Burada

Q : ısı miktarı, kj

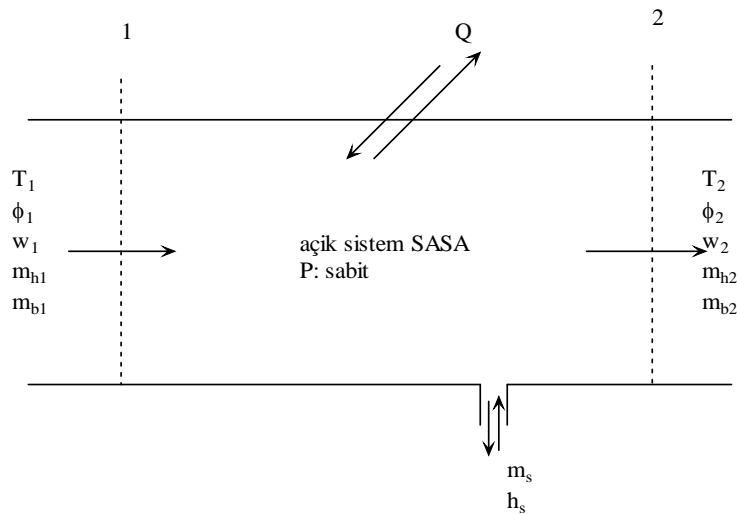
c_p : havanın sabit basınçta özgül ısısı, kj/kgK

T_1, T_2 : havanın sırasıyla giriş ve çıkış sıcaklıkları, °C

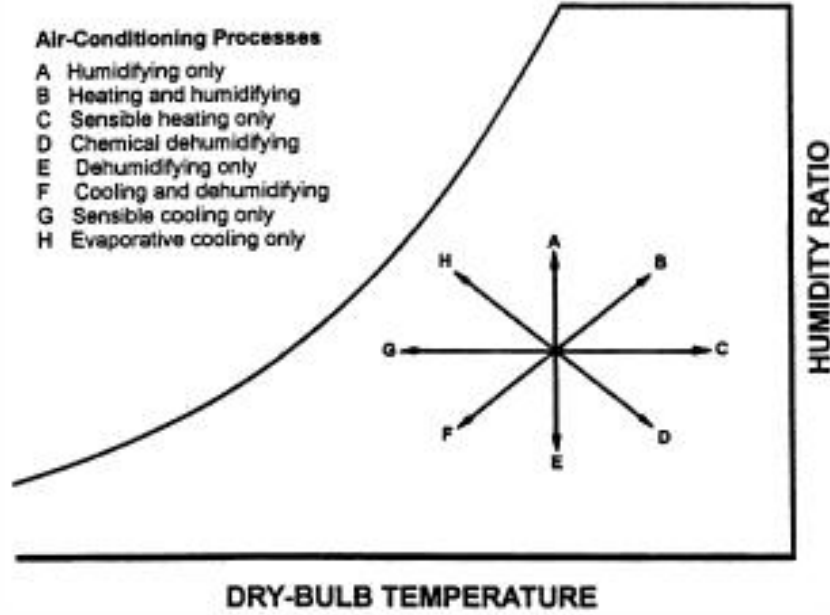
w_1, w_2 : havanın sırasıyla giriş ve çıkış özgül nemi, kg nem/kg kh

m_w : sisteme giren veya çıkan su miktarı, kg

h_w : sisteme giren veya çıkan suyun özgül entalpisi, kj/kg



Isıtma-soğutma ve iklimlendirme işlemlerinin çeşitleri ve psikrometrik diyagramdaki yönleri aşağıda gösterilmiştir.



- A: Sabit sıcaklıkta nemlendirme
- B: Isıtma ve nemlendirme (buharla)
- C: Duyulur ısıtma
- D: Adyabatik nem alma (kurutma)
- E: Sadece nem alma
- F: Soğutma ve nem alma
- G: Duyulur soğutma
- H: Adyabatik nemlendirme (buharlaştırmalı soğutma)

Isıtma-soğutma ve iklimlendirme işlemlerinde kullanılan sistemler (klima, klima santrali, ısı pompası veya buzdolabı) termodinamik çevrim ve temel elemanları olarak birbirine benzerdir. Sistemde bir kompresör vardır, kompresörde basınçlandırılan soğutucu akışkanın basıncı ile birlikte sıcaklığı da artar ve kızgın buhar fazına geçer. Daha sonra bir ısı değiştiriciden oluşan yoğuşturucuya girer ve burada bir miktar ısını vererek soğutucu akışkanın sıcaklığı düşer, sıcaklığına bağlı olarak basıncı da

nispeten düşer fakat halen akışkan buhar veya sıvı+buhar fazındadır. Soğutucu akışkanın daha fazla sıcaklığının düşmesi için basıncının daha da düşürülmesi gerekir. Bu noktada bir genleşme valfi kullanılır veya aynı görevi gören kılcal tüp kullanılır. Kılcal tüplerden geçen akışkanın dinamik basıncı artarken statik basıncı azalır. Bir hayli düşen statik basınç ile akışkanın sıcaklığı da azalır. Oldukça düşük sıcaklıklardaki soğutucu akışkan artık sıkıştırılmış sıvı fazındadır veya sıvı+düşük kalitede buhar karışımıdır. Sonrasında buharlaştırıcı denilen ikinci bir ısı değiştiricisinden geçer ve bu esnada ortamdan ısı alarak sıcaklığı yükselir ve kızgın buhar fazında veya sıvı+yüksek kalitede buhar karışımı olarak akışkan tekrar kompresör tarafından emilir. Akışkanın bu noktada kızgın buhar veya sıvı+buhar kalitesi yüksek karışımında olmasına kompresörün emiş tarafında düşük basınçların meydana gelmesi de etkilidir. Kompresör tarafından emilen akışkan sıkıştırılarak tekrar basılır ve çevrim bu şekilde devam eder. Yoğusturucu ve buharlaştırıcılar birer ısı değiştiricilerdir ve piyasada çok farklı tip ve kapasitede ısı değiştiriciler mevcuttur. Kullanımı çok yaygın olan ısı değiştiriciler endüstride hemen hemen tüm sektörlerde yer alır. Isı değiştiriciler çok basit yapıdan çok kompleks yapıya kadar çok farklı yapılarda mevcuttur. Geometrilere, akış yönlerine, kaynaklarına göre, kullanım amaç ve şekillerine göre bir çok türü vardır. Piyasada yaygın kullanımından dolayı serpantin adıyla da anılır.

Bu tip işlemler (ısıtma-soğutma) genelde bir ısı değiştiricisi (serpantin) üzerinden hava geçirilerek gerçekleşir. Bu sistemlerle, ısıtma söz konusu olduğunda ortama yoğusturucu serpantin üzerinden hava geçirilerek, soğutma söz konusu olduğunda da buharlaştırıcı serpantin üzerinden hava geçirilerek ortama verilir. Isıtma ve soğutmanın tek bir sistemle yapılması durumunda devrede bir üç yollu vana kullanılır. Bu vana ile akışkanın devre yolu değiştirilerek devrede bulunana ısı değiştiricilerden yoğusturucu olan buharlaştırıcı, buharlaştırıcı olan yoğusturucu görevini görür. Böylece ihtiyaca yönelik her iki işlem bir sistem ile sağlanabilir. Ayrıca bu sistemlerle ısıtmaya ilaveten haricen nemlendirme ve soğutma işlemi ile birlikte de nem alma işlemi yapılabilir. Soğutma işleminde ortama verilecek hava buharlaştırıcı serpantin üzerinden geçerken eğer serpantin yüzeyinin sıcaklığı havanın çiy noktası sıcaklığında veya daha düşük sıcaklıklarda ise hava içindeki nemin bir miktarı bu yüzeylerde yoğuşacağından hava neminin

bir kısmını serpantin yüzeylerinde bırakarak geçecektir ve ortama daha düşük nem ihtiva eden kuru hava sağlanmış olacaktır.

Duyulur Isıtma ve Soğutma

Herhangi bir nem alma veya nemlendirme işlemi olmaksızın ısıtma veya soğutma işlemi özgül nem sabit kalacak şekilde meydana gelir ve psikrometrik diyagramda yatay doğrultuda gerçekleşir. Sadece kuru termometre sıcaklığını değiştirmeye yönelik yapılan ısıtma veya soğutma işlemidir. Bu yüzden duyulur ısıtma veya duyulur soğutma olarak da ifade edilir. Duyulur ısıtmada işlem yatayda sağa doğru, duyulur soğutmada ise sola doğru gerçekleşir. Her iki durumda da herhangi bir nem alma veya nemlendirme işlemi olmadığından dolayı özgül nem sabittir. Ayrıca duyulur soğutma işlemi sabit çiy noktası sıcaklığında gerçekleşir. Duyulur soğutma işleminde havanın soğutulma sınırı en fazla çiy noktası sıcaklığına kadardır. Eğer soğutma çiy noktası sıcaklığının altına kadar yapılırsa bu durumda soğutma ve nem alma işlemi birlikte gerçekleşir. Diğer taraftan duyulur ısıtma veya soğutma işleminde özgül nem sabit kalırken sıcaklığı değişen havanın tabi ki diğer özellikleri değişebilir. Örneğin, duyulur ısıtma esnasında bağıl nem azalır. Buradan sıcak havanın nem tutma kapasitesinin arttığı anlaşılmaktadır. Duyulur soğutma işleminde ise özgül nem sabit kalırken bağıl nem artar.

Kütle ve enerji korunumu ilkelerini duyulur ısıtma işlemine uygularsak:

Süreklilik (kütle denkliği) bağıntısı kuru hava için

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

Enerji denkliği ise

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) = \dot{m}_a c_p(T_2 - T_1) \quad \text{duyulur ısıtma}$$

Kütle ve enerji korunumu ilkelerinin duyulur soğutma işlemine uygularsak:

Süreklilik (kütle denkliği) bağıntısı kuru hava için

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

Enerji denkliği ise

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_1 - h_2) = \dot{m}_a c_p(T_1 - T_2) \quad \text{duyulur soğutma}$$

Isıtma ve nemlendirme

Kütle dengesi kuru hava için

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

nemlendirme olduğu durumda su için

$$\dot{m}_{w2} = \dot{m}_{w1} + \dot{m}_w$$

Burada özgül nemin tanımından $m_w = w \cdot m_a$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a(w_2 - w_1)$$

Enerji dengesi kurulduğunda

$$\dot{Q} = \sum \Delta H = \sum \dot{m}_2 h_2 - \sum \dot{m}_1 h_1$$

Burada nemli hava için entalpinin tanımından $h = h_a + w h_w$

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) + \dot{m}_w h_w$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) + \dot{m}_a(w_2 - w_1)h_w$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_a c_p(T_2 - T_1) + \dot{m}_a(w_2 - w_1)h_w$$

elde edilir. Buradan

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}_a(w_2 - w_1)} = \frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1} + h_w$$

veya

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}_w} = \frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1} + h_w$$

Bu eşitlik ısıtma ve nemlendirme işleminin ilk ve son halini psikrometrik diyagramda düz bir çizgi ile bağladığını göstermektedir. Ayrıca,

psikrometrik diyagramdaki açı ölçerde entalpi değişiminin özgül nem değişimine oranını veren çizgiye paralel düz hatta ısıtma ve nemlendirme işleminin gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_w} - h_w$$

Nemlendirme

Nemlendirme havanın içerdii nem miktarını artırmaya yönelik yapılan su ilavesi işlemidir. Nemlendirme işlemi iki farklı şekilde gerçekleştirilir: Hava üzerine haricen su sıvı halde veya buhar olarak püskürtülür. Çözümlerde hava ile nemin (sıvı veya buhar) adyabatik olarak karıştıkları kabul edilir. Bu durumda kütle ve enerji denklikleri

Kuru hava için kütle denkliği: $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$

Su için kütle denkliği: $\dot{m}_{w2} = \dot{m}_{w1} + \dot{m}_w$

Burada özgül nemin tanımından $m_w = w \cdot m_a$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a(w_2 - w_1)$$

Enerji denkliği:

$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = -h_w$$

Bu bağıntıdan $\frac{\Delta h}{\Delta w}$ oranı ile ilave edilen nemin entalpisi arasında doğrusal bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Psikrometrik diyagramda nemlendirme işlemi doyma eğrisine doğru belli bir eğimde doğrusal bir değişim göstermektedir. Belli bir eğimle yukarıya doğru çünkü nemlendirme işleminde havanın özgül nemi artmaktadır. Bu doğrunun eğimi de püskürtülen suyun veya buharın entalpisine eşittir. Ayrıca buradan ilave edilen nemin entalpisine bağlı olarak nemlendirme esnasında havanın sıcaklığı artabilir veya azalabilir. Çünkü nemlendirme için kullanılan su veya buharın sıcaklığı ile havanın sıcaklığı arasındaki farktan dolayı bir miktar ısı transferi gerçekleşir, böylece nemlendirilen hava ısı transferine bağlı olarak ısınır veya soğur.

Su ile nemlendirme (Adyabatik nemlendirme)

Su ile nemlendirme yani sıvı halde su ile yapılan nemlendirme işleminde su hava üzerine püskürtüldüğünde buharlaşır ve buharlaşan su hava içine nem olarak geçer. Bu işlem genelde su havuzundan alınan su bir pompa vasıtasıyla adyabatik kanaldan geçen hava üzerine püskürtülerek yapılır. Burada tüm enjekte edilen suyun hepsi buharlaşmayabilir. Buharlaşmayan su nemlendirmenin yapıldığı su havuzuna geri düşer. Hava ile devamlı temas eden havuz suyu havanın yaş termometre sıcaklığına ulaşır. Böylece adyabatik nemlendirme işlemi giriş havasının yaş termometre sıcaklık doğrultusunda gerçekleşir. Püskürtülen suyun sıcaklığı havanın yaş termometre sıcaklığı ile aynı ise pratikte entalpinin değişmediği kabul edilir. Yukarıda verilen enerji denkliğindeki suyun entalpisi h_w doymuş sıvının entalpisidir ve termodinamik tablolardan verilen su sıcaklığındaki doymuş sıvının entalpisine bakılarak bulunur. Adyabatik olarak su ile nemlendirme işlemi psikrometrik diyagramda düz bir doğru olarak sabit entalpide ve sabit yaş termometre sıcaklığında yukarı ve sola yani doyma eğrisine doğru gerçekleşir. Bu kolaylıktan dolayı psikrometrik diyagramdaki açı ölçeri kullanmaya gerek kalmaz.

Su ile nemlendirme işleminde havaya püskürtülen su buharlaşırken bir miktar ısıyı havadan çeker, çünkü hava ile su farklı sıcaklıklardadır, hatta suyun sıcaklığı havanın sıcaklığından daha düşüktür. Bundan dolayı hava bir miktar soğur yani sıcaklığı düşer. Bu olaya evaporatif (buharlaştırma ile) soğutma denir. Bu işlemde havanın sıcaklığı bir miktar düşerken özgül nem ve bağıl nemi artar.

Nemlendirme işleminde gerçekte doymuş şartlara ulaşamaz, bu demek oluyor ki gerçekte nemlendirilen havanın bağıl nemi %100 olamaz. Yani nemlendirme işlemi veriminin %100 olmadığı denebilir. Bu verim tarifi daha çok etkenlik olarak ifade edilir. Bu durumda nemlendirme doğrusu etkenlik oranına bölünerek gerçek nemlendirici çıkış şartları belirlenir. Pratikte etkenlik %90 alınır.

$$\varepsilon = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{2x}} = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w_{2x}}$$

Gerçek çıkış noktası (T_{2x} , w_{2x}) psikrometrik diyagramda nemlendirme doğrusunun uzunluğu ile etkenlik arasındaki orantı ile ilişki kurularak belirlenir.

Su ile nemlendirme işleminde gerekli su miktarı

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a(w_2 - w_1)$$

Havaya verilen ısı miktarı ise havanın kuru termometre sıcaklığını değiştirmeye yönelik

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1), \quad \text{duyulur ısı}$$

Nem miktarını değiştirmeye yönelik

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(w_2 - w_1)h_w, \quad \text{gizli ısı}$$

eşitliklerinden bulunur.

Buhar ile nemlendirme

Buhar ile nemlendirme işlemi hava içine buhar fazında su püskürtülerek yapılır. İşletmede kurulu bir buhar kazanı veya buhar üretim santrali varsa, buhar mevcut bu sistemlerden çekilir. Bu tip sistemler yoksa genel olarak çok farklı tip ve kapasitede haricen buhar üreteçleri kullanılır. Buharlı nemlendirmenin en büyük avantajı çok daha kesin ve doğru, daha önemlisi hijyenik nemlendirme sağlamasıdır. Hal böyle olunca nem kontrol hassasiyetinin önemli olduğu ve hijyenin önemli olduğu işletmelerde buhar ile nemlendirme tercih edilir. Örnek verilecek olursa hijyen yönünden hastaneler, nem kontrolünün hassasiyeti açısından da elektronik parça imal eden işletmeler ile kimya ve gıda sektöründe hizmet veren işletme ve fabrikalar iyi birer örnektir.

Su ile nemlendirmeden farklı olarak buharın sıcaklığı havanın sıcaklığından daha yüksek olduğu için nemlendirilen havanın sıcaklığında çok fazla olmasa da bir miktar artış olur. Bu yüzden buhar ile nemlendirme işlemi psikrometrik diyagramda belli bir eğimde düz doğru şeklinde yukarı ve sağa eğimli şekilde gerçekleşir. Yukarı doğru, çünkü nemlendirilen havanın özgül nemi artmaktadır. Psikrometrik diyagramdaki açılmanın dış tarafındaki ölçek özgül entalpi değişiminin özgül nem değişimine oranını vermektedir. Ayrıca bu oran nemlendirmede kullanılan buharın entalpisine eşittir.

$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = h_w = h_v$$

Burada buharın entalpisi h_v , verilen sıcaklıktaki su buharının doymuş buhar entalpisidir ve suyun termodinamik özellikler tablosundan belirlenir. Buharla nemlendirme işlemini psikrometrik diyagramda gösterirken termodinamik tablolardan bulunan buharın özgül entalpisi psikrometrik diyagramda verilen açıölçer üzerinde işaretlenerek **referans noktası** ile birleştirilir ve bu doğru giriş şartlarındaki hava noktasına paralel taşınır. Bu doğru üzerinde nemlendirme sonrası özelliklerinden bilinen bir tanesi işaretlenerek nemlendirme sonrası durum belirlenmiş olur. Buradan gerekli diğer tüm özellikler belirlenebilir.

Buharla nemlendirme işleminde gerekli buhar miktarı

$$\dot{m}_w = \dot{m}_v = \dot{m}_a(w_2 - w_1)$$

Havaya verilen ısı miktarı ise havanın kuru termometre sıcaklığını değiştirmeye yönelik

$$\dot{Q}_d = \dot{m}_a(h_2 - h_1), \quad \text{duyulur ısı}$$

Nem miktarını değiştirmeye yönelik ise

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_a(w_2 - w_1)h_w, \quad \text{gizli ısı}$$

eşitliklerinden bulunur.

Soğutma ve nem alma

Ancak soğutma işleminde nemli hava ısı değiştirici içinden geçerken ısı değiştirici yüzeyinin sıcaklığı havanın çiy noktası sıcaklığından düşük olduğu durumlarda hava içindeki nemin bir miktarı yoğuşarak geçer ve nem alma işlemi de gerçekleşmiş olur.

Bir klima santralinde havanın soğutulması işleminde santrale giren hava soğutucu serpantin üzerinden geçerken ısınıp serpantin boruları içinden geçen akışkana (su veya soğutucu akışkan) vererek soğur. Serpantin üzerinden geçen havanın ısınıp sıcaklığı artan serpantin içindeki soğutucu akışkan ise kapalı devre çevrim ile tekrar soğutulması için bir

soğutma makinasında (chiller) soğutularak bir pompa vasıtasıyla tekrar soğutucu serpantine gönderilir. Diğer bir yaygın uygulamada ise soğutucu serpantin yerine mekanik buhar sıkıştırımlı (kompresörlü) bir devrenin buharlaştırıcısı kullanılır.

Isıtma ve nemlendirme işlemine benzer şekilde

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

Su buharı için (yoğuşma yani nem alma durumunda)

$$m_{w1} = m_{w2} + m_w$$

Burada özgül nemin tanımından $m_w = w \cdot m_a$

$$m_{a1}w_1 = m_{a2}w_2 + m_w$$

$$m_w = m_a(w_1 - w_2)$$

Enerji korunumu ilkesi de benzer şekilde uygulanırsa

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_1 - h_2) + \dot{m}_w h_w$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_1 - h_2) + \dot{m}_a(w_1 - w_2)h_w$$

Burada entalpiler özgül ısı değerleri kullanılarak da belirlenebilir.

$$\dot{Q} = \dot{m}_a c_p (T_1 - T_2) + \dot{m}_a (w_1 - w_2) h_w$$

Soğutma ve nem alma işlemi her iki duyulur ve gizli ısı transferlerini içerir, duyulur ısı soğutma işlemi için kuru termometre sıcaklığındaki azalmayı, gizli ısı ise özgül nemdeki yani nem oranındaki düşüş ile ilgilidir. Yukarıdaki bağıntıdan da görüldüğü gibi.

$$Q = Q_d + Q_g$$

Duyulur ısı oranı veya faktörü DIO (SHF) duyulur ısının toplam ısıya oranı olarak tanımlanır. Bu parametre psikrometrik diyagramda verilen açılarda iç kısımdaki ölçekte görülür. Dikkat edilecek olursa negatif değerler de vardır. Burada ısı transferi için standart işaret sistemini kullanırsak sisteme

verilen ısı pozitif, sistemden çıkan ısı transferi ise negatif değerlendirilir. Soğutma ve nem alma işleminde hem duyulur hem de gizli ısı havadan gerçekleştiği için her ikisinin de işareti eksidir. Dolayısıyla DIO artı olur. Ancak hava duyulur olarak soğutulurken çok büyük miktarlarda gizli ısı ilavesi gerçekleştiği durumlarda DIO negatif olur.

Soğutma ve nem alma işlemi nemli hava serpantin üzerinden geçirilerek yapıldığı taktirde serpantin performansı ile ilgili 2 parametre öne çıkmaktadır. Biri cihaz çiy noktası sıcaklığıdır. Nemli hava serpantin içinden geçerken her ne kadar serpantin yüzeyleri havanın çiy noktası sıcaklığından düşük olsa da hava içindeki nemin tümünün yoğunlaşması mümkün değildir. Burada cihazın nem alma verimine karşılık gelen cihaz çiy noktası sıcaklığı önem kazanmaktadır. Cihaz çiy noktası sıcaklığı soğutucu serpantin çıkışında hava doymuş hale gelebiliyorsa çıkış sıcaklığına cihaz çiy noktası sıcaklığı CÇN denir. Serpantin eğer sonsuz büyüklükte ise hava serpantini doymuş olarak terk eder. Bu değer serpantin üreticisi tarafından verilir. CÇN sıcaklığı serpantinin konstrüksiyonuna, havanın serpantin içinde akış biçimine ve hızına, serpantinde kullanılan soğutucu akışkana ve sıcaklığına bağlıdır. Psikrometrik diyagramda CÇN sıcaklığının bulunması şu şekildedir: Açı ölçer üzerinde belirlenen DIO doğrusu psikrometrik diyagramda belirlenen mahal noktasına paralel taşınır ve bu doğrunun doyma eğrisini kestiği nokta CÇN sıcaklığıdır.

Serpantin için diğer önemli performans parametresi by pass oranıdır. Serpantin içinden geçen havanın tümü etkili bir şekilde serpantin yüzeylerine temas etmediğinden dolayı, bir miktar hava yeterince soğumadan geçecektir. Bu durumda serpantinin etkinliği önem kazanmaktadır. Bunu serpantin verimi olarak düşünebiliriz. Etkinlik yani verim yerine piyasada yaygın olarak daha çok **by pass oranı BPO** kullanılır. Bu değer serpantin üreticileri tarafından verilir. BPO serpantin yüzeylerine hiç temas etmeden geçen havanın yüzdesini verir. Verimi ya da etkinliği %85 olan serpantin BPO %15'dir. Yani bu oranda hava soğumadan serpantini terk etmektedir, aynı zamanda serpantin yüzeyleri havanın çiy noktası sıcaklığından düşük olduğu durumlarda da aynı oranda nem alma işlemi düşük gerçekleşmiştir demek. Piyasada yaygın olarak kullanılan serpantinlerin verimi genelde %85-90'dır. Verim ya da BPO temel olarak

serpantinin bazı yapısal özelliklerine (Finlerin kalınlığı, şekli ve hatvesi, boruların diziliş şekli ve sırası gibi) ve akım hızına bağlıdır. Psikrometrik diyagramda BPO'dan kaynaklanan değişimi belirlerken işlem doğrusu (giriş şartları ile cihaz çiy noktasını birleştiren doğru) üzerinde doğru uzunluğunun BPO'nda yüzdesi alınarak çıkış noktası cihaz çiy noktası sıcaklığından bulunan mesafe kadardır. Etkinlik dikkate alınır aynı doğru üzerinde çıkış noktası giriş noktasından verimin yüzdesi oranındaki mesafe kadar uzaklıktadır.

$$B = \frac{T_{2x} - T_2}{T_1 - T_2} = \frac{w_{2x} - w_2}{w_1 - w_2}$$

Adyabatik doyma işlemi

Adyabatik olarak havanın neme doyurulması işlemidir. Havanın neme adyabatik olarak doymuş hale geldiğindeki sıcaklığa da adyabatik doyma sıcaklığı denir. Doymuş havanın bağıl nemi %100'dür. Ayrıca bu noktada yani adyabatik olarak neme doymuş havanın sıcaklığı da yaş termometre sıcaklığıdır.

Açık sistem için elde ettiğimiz enerji korunumu bağıntısını buraya uygularsak

Adyabatik nemlendirme

Herhangi bir ısı ilavesi olmaksızın sadece nemlendirme söz konusu olduğunda enerji denkliği

$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1} = h_w$$

olur. Psikrometrik diyagramda verilen açı ölçere dikkat edilecek olursa $\frac{\Delta h}{\Delta w}$ değerleri artı sonsuzdan eksi sonsuza kadar değişmektedir. Bundan dolayı teoride adyabatik nemlendirme kullanılan suyun şartlarına göre birçok farklı

doğrultuda gerçekleşebilir. Pratikte nemlendirme için kullanılan su 10°C'de sıvı sudan 120°C'deki doymuş buhara kadar farklılık göstermektedir. Bu yüzden daha çok nemlendirme işleminin açılış ölçeği üzerinde gerçekleştiği bölge yaklaşık olarak ?

Havanın adyabatik karıştırılması

Farklı psikrometrik özelliklere sahip hava akımlarının karıştırılması iklimlendirme işlemlerinde oldukça yaygın kullanılan bir işlemdir. İki farklı durumdaki havanın adyabatik olarak karıştırılmasını ele aldığımızda kütle denkliği kuru hava için

$$\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a3}$$

Su buharı için

$$\dot{m}_{a1}w_1 + \dot{m}_{a2}w_2 = \dot{m}_{a3}w_3$$

Enerji denkliği ise

$$\dot{m}_{a1}h_1 + \dot{m}_{a2}h_2 = \dot{m}_{a3}h_3$$

Bu bağıntılar \dot{m}_{a3} yok edilecek şekilde düzenlenirse

$$\frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} = \frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}}$$

Buradan karışan hava akımlarının durumları psikrometrik diyagramda 1 ve 2 noktaları arasında düz bir çizgi olarak gerçekleşir. Ayrıca bu işlem çizgisi karışan hava akımlarının kütleli debilerinin oranı ile orantılıdır. Bu durum, psikrometrik diyagram kullanılarak karışım halinin tespitinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Karışım hali yani 3 noktası bu doğru üzerinde gerçekleşmektedir ve $\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}}$ ile orantılıdır. Bu da uygun ve kolay grafiksel bir çözüm sunmaktadır. Çözüm için yani karışım noktasının belirlenmesi için psikrometrik diyagramda 1 ve 2 noktalarını birleştiren düz bir çizgi çekilir ve bu iki nokta arasındaki mesafe ölçülür. Bulunan bu mesafe karışan hava debilerinin toplamıyla orantılıdır. Karışım yani 3 noktası, hangi noktaya olan uzaklığına göre tespit edilecekse o noktanın debisinin toplam debiye oranı ile bu mesafe oranlanarak belirlenir.

Diğer yöntem de ise yukarıdaki bağıntıdan entalpi farklarının oranı ile debi oranı arasındaki eşitlik kullanılarak ve burada entalpiler yerine $c_p T$ yazılarak, eşitlikten karışım sıcaklığı bulunur ve bu kuru termometre sıcaklığının psikrometrik diyagramda 1-2 doğrusunu kestiği nokta karışım noktasıdır.

$$T_3 = \frac{\dot{m}_{a1}T_1 + \dot{m}_{a2}T_2}{\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}}$$

Burada dikkat edilecek olursa karışım havalarının özgül ısıları eşit kabul edilmiştir, ayrıca yoğunlukları da eşit alınarak kütleli debi yerine hacimsel debileri de kullanılarak b