



TTMD

TÜRK TESİSAT MÜHENDİSLERİ DERNEĞİ DERGİSİ

Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki

Psikrometri

Sayı : 2

Mayıs-Haziran 2003

TTMD

Adına Sahibi
Bekir Erdiç Boz

Yazı İşleri Müdürü
Abdullah Bilgin

Genel Yayın Yönetmeni
Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç

Yayın Kurulu
Gürkan Arı
Abdullah Bilgin
Aytekin Çakır
Dr. İbrahim Çakmanus

Erbay Çerçioğlu
Mustafa Nuri Çetin
Ali Rıza Dağlıoğlu
Orhan Gürson
Halim İman
Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç
Selami Orhan
Fevzi Özel
E.Aybars Özer
Seden Çakıroğlu Özteker
Tayfun Sümbül
Suat Şahin

Dergi Yayın Sorumlusu
Gülten Acar

İletişim

Tunus Cad. Güfte Sok. Filiz Apt.
No :8/7 06680 Kavaklıdere-Ankara
Tel: 0.312. 419 45 71 - 419 45 72
Faks: 0.312. 419 58 51
web: <http://www.ttmd.org.tr>
e-mail: ttmd@ttmd.org.tr

TTMD Yönetim Kurulu
Bekir Erdiç Boz (Başkan)
Abdullah Bilgin (Başkan Yrd.)
Halim İman (Başkan Yrd.)
Hüseyin Erdem (Başkan Yrd.)
İbrahim Çakmanus (Genel Sekreter)
C. Selçuk Bayer (Muhasip Üye)
İbrahim Akdemir (Üye)
Hırant Kalataş (Üye)
Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç (Üye)
I. Zeki Aksu (Üye)
Gökhan Özbek (Üye)
Cafer Ünlü (Üye)
Sarven Çilingiroğlu (Üye)

Psikrometri

Derleyen; E. Aybars Özer,
Mak. Müh; TTMD Üyesi

1. Giriş

Psikrometri nemli havanın termodinamik özellikleri ile, bu özellikleri kullanarak nemli havadaki işlemler ve şartlar ile ilgilenen, termodinamiğin bir dalıdır.

Çözümlerde basitlik, hız ve ekonomi sağlaması bakımından iklimlendirme problemlerinde kullanılan **ideal gaz kanunları** ile, bu bağlantıların sonuçlarının karşılaştırılması durumunda, aradaki farkın ihmal edilebilir mertebede olduğu görülebilir. İdeal gaz bağlantıları kullanılması durumunda, 101.325 kPa basınç, -50°C ila +50°C sıcaklıkları arasında doymuş havanın entalpi ve özgül nemdeki hata oranının, %0.7'den daha küçük olduğu ispatlanmıştır. Artan basınçlarda bu hata oranı daha da azalmaktadır.

2. Genel Tanımlar

2.1. Standart Atmosfer

Atmosferik havanın basıncı ve sıcaklığı deniz seviyesinden olan yüksekliği coğrafi duruma ve hava şartlarına göre değiştiği için standart atmosferin tanımına gereksinim duyulmaktadır. Buna göre deniz seviyesinde standart havanın sıcaklığı 15°C, standart barometrik basınç ise 101.325 kPa'dır.

2.2. Kuru Hava

İçindeki su buharı tamamen alınmış atmosferik havadır.

2.3. Nemli Hava

Kuru hava ile subuharının karışımından meydana gelir.

2.4. Doymuş Hava

Hava içinde subuharının maksimum olduğu durumdur. (ϕ :%100)

2.5. Özgül Nem (W)

Nemli hava içindeki su buharı kütesinin kuru hava kütesine oranıdır.

$$W = \frac{M_w}{M_a} \quad [\text{kg/kg}]$$

2.6. Doymuş Havanın Özgül Nemi (W_s)

W_s (t,p), t sıcaklığında ve p basıncındaki doymuş havanın özgül nemidir. [kg/kg]

**TEBA ISITMA SOĞUTMA KLİMA TEKNOLOJİLERİ SAN. ve TİC. A.Ş.'NİN
KATKILARIYLA HAZIRLANMIŞTIR**

2.7. Nem Oranı (θ)

Su buharı kütlelerinin nemli havanın toplam hava kütlelerine oranıdır.

$$\theta = \frac{M_w}{M_w + M_a}$$

2.8. Mutlak Nem (d_v)

Su buharı kütlelerinin nemli havanın toplam hacmine oranıdır.

$$d_v = \frac{M_w}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

2.9. Bağıl Nem (ϕ)

Nemli Hava içindeki su buharının X_w mol oranının aynı basınç ve sıcaklıkta doymuş havanın X_{ws} mol oranına bölümüdür.

$$\phi = \frac{X_w}{X_{ws}}$$

2.10. Çiğ Noktası Sıcaklığı (T_d)

Nemli havanın ihtiva ettiği su buharının ağırlığı veya kısmi basıncı değişmeksizin, tamamen doymuş hale geldiği sıcaklık derecesine çiğ noktası denir ($^{\circ}\text{C}$). Bir başka ifadeyle çiğ noktası sıcaklığı, nemli hava içeren havanın soğutulması halinde, içerisindeki subuharının yoğunlaşmaya başladığı sıcaklıktır.

2.11. Kuru Termometre Sıcaklığı (T)

Normal bir termometre ile ölçülen havanın sıcaklığıdır. [$^{\circ}\text{C}$]

2.12. Yaş termometre Sıcaklığı (T_{wb}) (Adyabatik Doyma)

Islatılmış bir bezle haznesi sarılmış termometre yardımıyla hava akımı oluşturulmuş ortamda ölçülen havanın sıcaklığıdır. [$^{\circ}\text{C}$]

2.13. Özgül Hacim

Havanın birim kütle içindeki hacmi (m^3/kg)

2.14. Su Buharı Kısmi Basıncı (P_w)

Nemli havanın içerdiği su buharının basıncıdır. [kPa]

2.15. Doyma Derecesi (M)

Havanın nem oranının (w) aynı sıcaklık ve basınçtaki doymuş havanın nem oranına (W_s) denir.

$$M = \frac{W}{W_s}$$

2.16. Duyulur Isı (Q_d)

Bir cismin sıcaklığını değiştirmek için

verilmesi veya alınması gereken ısı miktarıdır. (kcal/kg)

$$Q_d = C_m (t_1 - t_2) \\ [C_m = \text{Ortalama ısınma ısısı (kcal/kg } ^{\circ}\text{C)}]$$

2.17. Gizli Isı

Bir cismin sıcaklığı değişmeksizin faz durumunu değiştirmek için verilen veya alınan ısı miktarıdır. [kcal/kg]

2.18. Nemli Havanın Entalpisi (i)

Bir ideal gaz-buhar karışımının entalpisi bileşenlerin kısmi entalpilerinin toplamına eşittir. Bu nedenle $(1 + w)$ kg nemli havanın özgül entalpisi 1 kg kuru havanın özgül entalpisi ile w kg nemin özgül entalpilerinin toplamı olarak hesaplanır.

3. Psikrometrik Diyagram

Çeşitli formüller bulunan nemli havaya ait termodinamik özelliklerin toplu olarak bir grafik halinde gösterilmesi mümkündür. Bu grafiğe (psikrometrik diyagram) denir. Psikrometrik diyagram yardımı ile klima ve havalandırma mühendisliğinde karşılaşılan problemleri analiz etmek, hepsi de çözüm verebilen çeşitli değerler içerisinde en uygun olanını seçmek veya çeşitli çözüm yollarını birbirinden ayırt etmek mümkündür.

Psikrometrik diyagram ilk defa 1923 yılında (Mollier) tarafından yapılmıştır. Birçok özelliğin diyagram üzerinde bir doğru olarak gösterilmelerine imkan sağlaması bakımından koordinat eksenleri olarak, nem oranı ve entalpi özellikleri kullanılmıştır.

Diyagramın düzenlenmesi için üçlü bir eksen takımı seçilmiştir. Ordinat eksenini, belirli bir ölçekte havanın nem oranını [W : kg/kg (kuru hava)] ve aynı zamanda p_w (P_a) olarak su

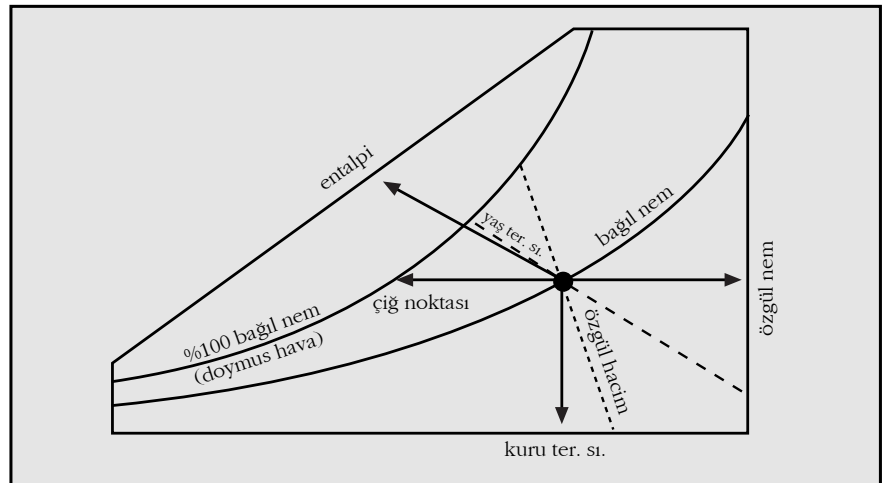
buharı kısmi basıncını gösterir. Bu eksen ile aralarında yaklaşık 50° olacak şekilde eğik bir eksen üzerinde entalpi [i : kcal/kg (kuru hava)] gösterilmiştir. Diyagramın alanını genişletmek amacıyla entalpi eksenini, kendisine paralel olarak yukarı doğru yeterince ötelenmiştir. Apsis eksenini olarak t kuru termometre sıcaklıkları gösterilmiştir.

ASHRAE tarafından yedi adet Mollier tipi psikrometrik diyagram hazırlanmıştır. Şekil 3.1'de, belirli bir durumdaki havanın, yukarıda açıklanmış olan özellikleri, şematik bir psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.

ASHRAE'nin hazırladığı 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 için; 6 numaralı diyagram, deniz seviyesinden 1500m (84.54 kPa) yükseklik için; 7 numaralı diyagram ise deniz seviyesinden 2250 m (77.04 kPa) yükseklik için hazırlanmıştır. Diğer taraftan

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

Bu diyagramlarda verilen basınçların dışındaki atmosferik basınçlarda, enterpolasyon yapmak gerekmektedir. İdeal gaz bağlantıları kısmında açıklanan



Şekil 3.1. Bir psikrometrik diyagramda, belirli bir durumdaki havanın özellikleri.

No	t (kuru)	t (yaş)	i (kJ/kg)	W (gr/kg)	φ (%)	v (m ³ /kg)
1	40	30	99.5	23.0	49	0.920
6	40	30	114.1	28.6	50	1.111

Tablo 3.1. 1 ve 6 nolu diyagramların karşılaştırılması

denklemler kullanılarak, daha hassas değerler de elde edilebilir. Bu diyagramların karşılaştırılması ile aşağıdaki tespitler yapılabilir.

1. Verilen bir yaş ve kuru termometre sıcaklıkları çifti için özgül nem ve entalpi, deniz seviyesinden olan yükseklikle artarken, bağıl nem çok az değişir.
2. Verilen bir yaş ve kuru termometre sıcaklıkları çifti için, atmosferik basınçla özgül hacim çok fazla değişir. Bu değişim, pratik olarak ters orantılı kabul edilebilir.

Yukarıdaki tabloda, deniz seviyesindeki (1 nolu diyagram) özellikler ile deniz seviyesinden 1500 m (6 nolu diyagram) yükseklikteki özelliklerin bir karşılaştırılması görülmektedir.

Diyagramda doyma eğrisinin yukarısında kalan dar bir bölge, nemli havanın sisli bölgesi olarak tanımlanır. İki fazı temsil eden bu bölgede, sıvı su zerrecikleri ile doymuş nemli havanın bir karışımı görülmekte olup, bunlar 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.

Duyulur (ODI) ve Gizli ısı (OGI) mahali çevreleyen yüzeylerden ve mahalın içindeki kaynaklardan oluşmaktadır. Her ne kadar mahal içinde bulunmasalar da, veriş kanallarında ve fanlarda oluşan kazançlar baypas havasından oluşan kazançlar da, sonuçta, oda yükünü artırdığı için, bunların da eklenmesiyle **etkin oda yükleri** (EODI, EOGI VE EOTI) elde edilmektedir. Mahal havasının temizlenmesi amacıyla

dışarıdan alınan taze havanın (havalandırma havası) mahal şartlarına getirilmesi için, iklimlendirme cihazına yüklenen kazanç ise, odaya girmeden önce cihazda karşılanmaktadır. Dönüş kanalı cidarlarından ısı geçişi ve hava kaçağı ile oluşan ısı kazançları da böyledir. Dolayısıyla bunlar, oda ısıları kapsamında olmayıp, cihazın toplam soğutma yükü (TSY) içerisinde ele alınmaktadır.

Bir iklimlendirme cihazının tanımlanmasında, toplam soğutma yükü, doğal olarak çok önemli bir özelliktir, ancak tek başına yeterli değildir. Buna ek olarak, dış hava miktarı, mahale veriş havası miktarı, nemi alınan hava miktarı, baypas oranı, cihaz çığ noktası sıcaklığı ve cihaza giriş ve çıkıştaki hava özellikleri de belirlenmeli ve cihaz seçiminde dikkate alınmalıdır.

3.1. Oda Duyulur Isı Oranı

Oda duyulur ısının, oda duyulur ve gizli ısılarının toplamına oranı olarak,

$$ODIO = \frac{ODI}{ODI + OGI}$$

Eşitliği ile tanımlanan oda duyulur ısı oranı, psikrometrik diyagramda, iklimlendirme havasının mahale giriş noktası ile mahal şartları noktasını birleştiren doğrunun eğimini verir. Bu doğru, veriş havasının, mahal içinde

uğradığı psikrometrik hal değişimini temsil eder. Dolayısıyla, ODI, OGI ve mahal şartları biliniyorsa, veriş havası noktası, mahal şartları noktasından geçen bu eğimdeki bir doğrunun üzerinde olmak zorundadır.

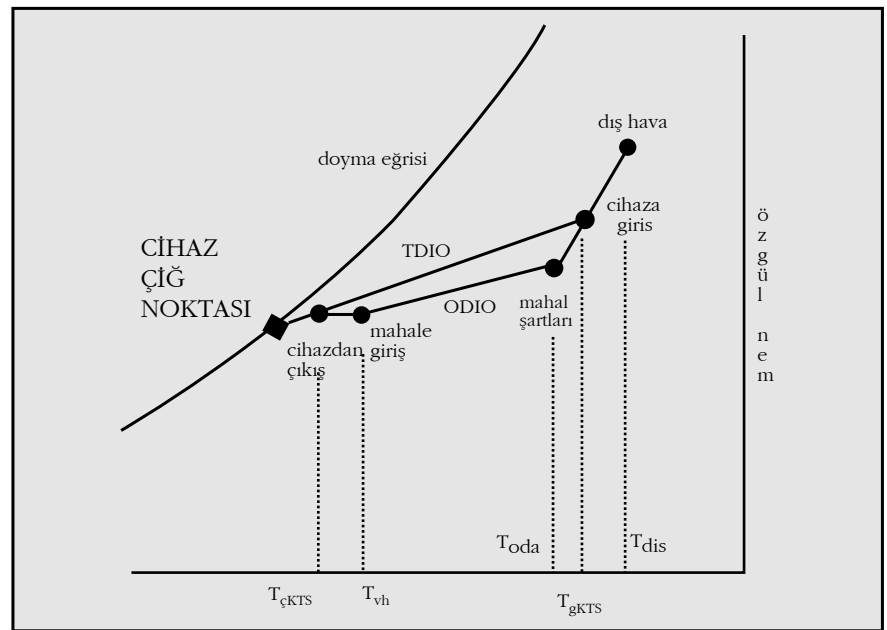
3.2. Toplam Duyulur Isı Oranı

Bu değer, toplam duyulur ısının, toplam soğutma yüküne oranı olarak

$$TDIO = \frac{TDI}{TSY}$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada TDI değeri dış hava, dönüş kanalı, pompalar ve borulardan gelen duyulur ısı kazançları da eklenerek bulunur.

TDIO değeri, psikrometrik diyagramda, veriş havasının iklimlendirme cihazından çıkış şartları noktası ile, dönüş havası + dış hava karışımının cihaza giriş şartları noktasını bileştiren doğrunun eğimini verir. Bu doğru, havanın cihazda uğradığı psikrometrik hal değişimini temsil eder. Yani, TDI, TSY ve cihaza girişte, karışım havası şartları biliniyorsa, cihazdan havanın çıkış şartları, bu doğru üzerindeki bir noktada olmak zorundadır. Şekil 12.1'de, tipik bir uygulama için ODIO ve TDIO doğruları, bir şematik psikrometrik diyagramda gösterilmiştir. Şekil 12.1'de havanın, cihazdan çıkış ve mahale giriş noktalarının farklı olması, fanlarda ve verişi kanallarındaki ısı kazançlarından kaynaklanmaktadır. Bu kazançlar ihmal edilecek olursa, mahale giriş noktasının, cihazdan çıkış noktasına kayacağı açıktır.



Şekil 3.2. Tipik bir iklimlendirme uygulaması için ODIO ve TDIO doğruları

3.3. Gereklı Veriş Havası Miktarı

Buna göre, oda yükünü karşılamak için gerekli olan veriş havası debisi,

$$Q_{vb} = \frac{ODI}{\rho C_p (T_{oda} - T_{vb})}$$

eşitliği ile, iklimlendirme cihazından geçirilmesi gereken hava miktarı ise,

$$Q_{cibaz} = \frac{TSY}{\rho C_p (T_{gKTS} - T_{KTS})}$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. İkiisi arasındaki fark, kanallardaki kaçaklardan kaynaklanmaktadır. Bu kaçaklar ihmal edilirse, iki değerin eşit olması gerekir.

Görüldüğü gibi, gerekli hava miktarının hesabı, veriş havası ve karşım havası sıcaklıklarına bağlıdır. Bu değerlerse, bir tasarımın başlangıcında bilinmemektedir. Bir karşımın termodinamik durumunu belirlemek için, karşım bileşenlerin durumları ve debileri bilinmelidir. Oysa, cihaza giren karşım havasının bileşenlerinden dönüş havası (mahalden alınıp taze dış hava ile karşıtılan) miktarı, veriş havası miktarına, dolayısıyla cihazdan geçen hava miktarına bağlıdır. Yani, veriş havası sıcaklığı ve debisi ile karşım havası sıcaklığı ve debisi, birbirlerine bağlı büyüklüklerdir ve ancak, yorucu deneme-yanılma yöntemleri ile belirlenebilir. Bu nedenle, tüm iklimlendirme yüklerini, cihazın performansıyla ilişkilendiren ve veriş havası debisini hesaplama yöntemini basitleştiren, etkin yüzey sıcaklığı, baypas oranı ve etkin duyulur ısı oranı kavramları tanımlanmıştır.

3.4. Baypas Oranı

Veriş havası miktarının hesabını kolaylaştırmak için yapılan ikinci tanımlama için, cihazdan geçen havanın bir kısmının, cihazı $T_{CN}$ sıcaklığında, diğer bir kısmının da hiç bir değişikliğe uğramadan terk ettiği varsayılır. Buna göre, baypas oranı, iklimlendirme cihazının fiziksel ve işletme özelliklerinin bir fonksiyonu olup, cihazdan geçen havanın, hiç bir değişikliğe uğramadan geçtiği varsayılan kısmını temsil eder. Cihaz ısı geçiş yüzeyi azalırken artan baypas oranı, cihazdan havanın geçiş hızı azalırken azalır. Yüzeydeki değişimin etkisi, hızdaki değişimin etkisine göre daha fazladır.

Baypas oranının, TDIO ve ODIO ile bir psikrometrik ilişkisi vardır. Belirli mahal ve dış hava tasarım şartları ve dış hava miktarı için, TDIO ve ODIO değerleri sabittir. ODIO doğrusunun, psikrometrik diyagramdaki yeri de, bu durumda belirlidir. Ancak, TDIO doğrusunun yeri, veriş havası miktarı ve şartları ile değişir. şekil 12.3'de de gösterildiği gibi, baypas oranının değişmesi anlamına gelen bu durumda, havanın cihaza giriş ve çıkış şartları, debisi ve cihaz çiğ noktası değişir.

3.5. Etkin Duyulur Isı Oranı
Baypas oranı ve cihaz çiğ noktasını, yk hesabı ile ilişkilendirmek için yapılması gereken son tanımlama, etkin oda duyulur ısının, etkin oda toplam ısısına oranı olan ve

$$EDIO = \frac{EODI}{EOTI}$$

eşitliği ile verilen **etkin duyulur ısı oranıdır**. Etkin oda ısılarının, oda ısalarına, veriş kanalı ve fanlardaki ısı kazançları ile baypas havasından olan kazançların eklenmesi ile bulunacağı daha önce belirtilmişti, Baypas havasının oda yüküne yaptığı ek, aslında enfiltrasyon havası ile oluşan yük ile aynı karakterdedir. İkiisi arasındaki fark, enfiltrasyon havasının, duvarlardaki çatlak vb. açıklıklardan, baypas havasının ise, hava dağıtım sistemi ile mahale girmesidir.

EDIO değeri, psikrometrik diyagramda, cihaz çiğ noktası ile mahal şartları noktasını birleştiren doğrunun eğimini verir. Bu doğru,

havanın, cihazda uğradığı psikrometrik hal değişimini temsil eder. Dolayısıyla CN bilinmiyorsa dahi, yukarıdaki denklem ile hesaplanan eğim ve mahal şartları noktası kullanılarak, EDIO doğrusu çizilebilir ve doyma eğrisini kestiği nokta, CN olarak bulunur. şekil 3.4'de, ODIO ve TDIO değerlerinin, BO, CN ve EDIO değerleriyle ilişkileri, grafik olarak gösterilmiştir.

3.6. EDIO, CN ve BO Kullanılarak Hava Miktarının Hesaplanması

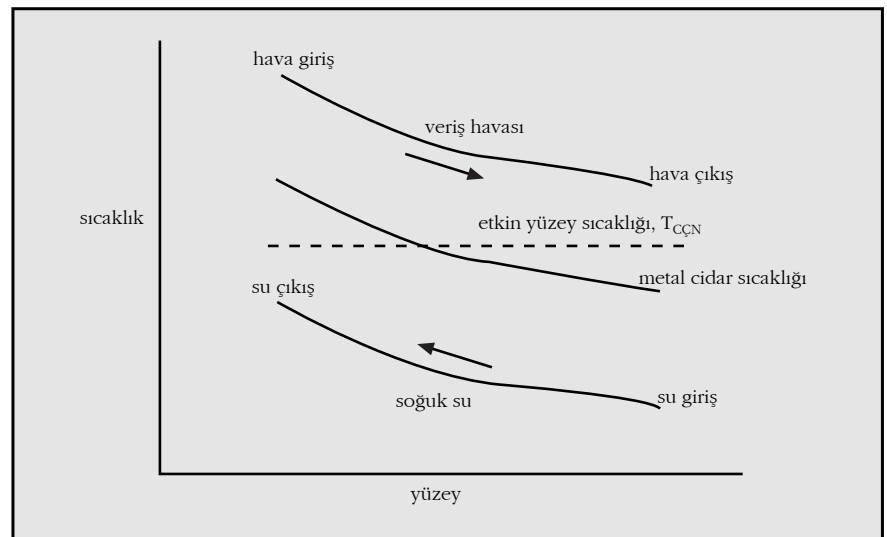
ODIO ve TDIO değerleri kullanılmadan ve daha önce sözü geçen iteratif çözümlere gerek olmaksızın, yalnızca EDIO, CN ve BO kullanılarak, cihazdan geçip, CN şartlarına getirildiği düşünülen, yani nemi alınan hava debisi,

$$Q = \frac{EODI}{\rho C_p (T_{oda} - T_{CN}) (1 - BO)}$$

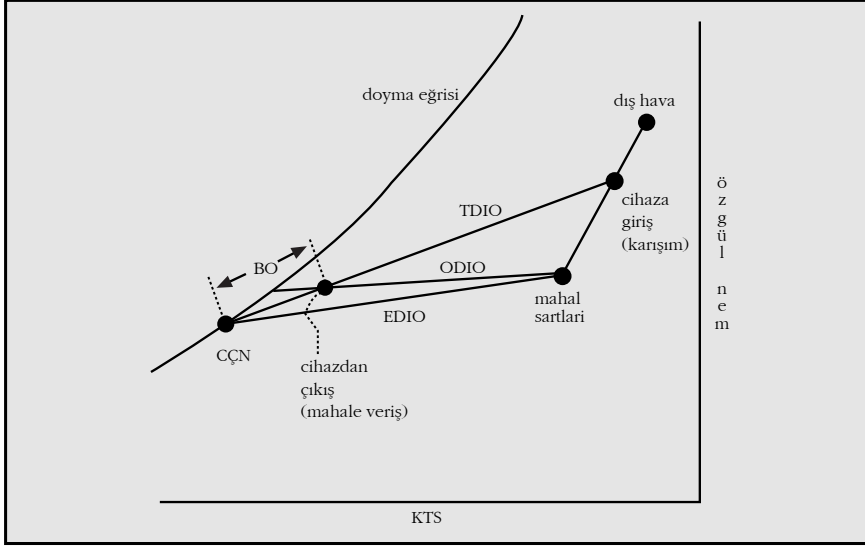
eşitliği ile bulunabilir. Buradaki EODI değerinin, etkin oda duyulur ısısı olduğuna dikkat edilmelidir. Bu şekilde hesaplanan hava debisi, hem oda duyulur ve gizli ısılarını, hem de iklimlendirme cihazının seçimine temel oluşturan ve dış hava yükünü ve diğer ek yükleri de içeren toplam soğutma yükünü karşılamaya yeterli olacaktır.

3.7. İklımlendirme Yükü Hesap izelgesi

Bir iklimlendirme yükü hesabı ve uygun cihaz seçimi işleminde, bir "iklimlendirme Yükü Hesap izelgesi"nin oluşturulması, bu işlemin daha sistematik bir şekilde yapılmasını sağlar. Aşağıda, hem anlatılmış



şekil 3.3. Cihazdaki hava ve soğuk su sıcaklık değişimlerine bağlı olarak, gerçek yüzey sıcaklığı ve cihaz çiğ noktası



Şekil 3.4. Psikrometrik diyagramda ODIO, TDIO ve EDIO doğruları

olanların özetlenmesi, hem de çizelgenin daha iyi anlaşılması için, cihaz seçim prosedürü adım adım gözden geçirilmiştir

1. Odayı çevreleyen duvar, Çatı, pencere ve kapılardan olan ısı kazançlarının oluşturduğu yükler ile, oda içindeki, insanlar, aydınlatma, cihazlar, makinalar vb. kaynaklardan oluşan yükler, duyulur ve gizli olarak da ayrılıp, listelenir.
2. ODIO hesaplanır ve psikrometrik diyagramda doğrusu çizilir.

$$ODIO = \frac{ODI}{ODI + OGI}$$

3. Cihaz üreticilerinin sağladığı performans tabloları veya diyagramlarından cihazın baypas oranı seçilir. (BO)
4. TDI ve TSY bulunup, aşağıdaki denklem kullanılarak TDIO hesaplanır ve psikrometrik diyagramda doğrusu çizilir.

$$TDIO = \frac{TDI}{TSY}$$

5. Etkin oda duyulur ve gizli ısıları bulunur ve EDIO hesaplanır ve psikrometrik diyagramda doğrusu çizilir.

$$EDIO = \frac{EODI}{EODI + EOGI}$$

6. EDIO doğrusunun, doyma eğrisini kestiği nokta, CÇN olarak belirlenir.
7. Aşağıdaki denklem kullanılarak **nemi alınan hava debisi** hesaplanır.

$$Q_{na} = \frac{EODI}{\rho C_p (T_{oda} - T_{CÇN}) (1 - BO)}$$

Bu aşamada, toplam soğutma yükü, Q_{na} (nemi alınan hava debisi) ve CÇN (cihaz çığ noktası) değerleri kullanılarak cihaz seçimi yapılabilir.

8. Mahal tasarım kuru termometre sıcaklığı (T_{oda}) ile mahale verilen havanın kuru termometre sıcaklığı (T_{vb}) arasındaki fark, veriş menfezi sıcaklık farkı olarak adlandırılır ve

$$\Delta T_{vb} = \frac{ODI}{\rho C_p Q_{na}}$$

eşitliği ile hesaplanabilir

9. Eğer ΔT_{vb} değeri, istenilenden daha büyük çıkarsa, sistemdeki toplam hava debisi, bir miktar hava, iklimlendirme cihazına sokulmadan dolaştırılarak artırılır ve sıcaklık farkı, istenilen değere getirilir. Bu istenilen sıcaklık farkı ΔT ise **toplam veriş havası debisi**,

$$Q_{vb} = \frac{ODI}{\rho C_p \Delta T}$$

eşitliği ile bulunabilir. Bu durumda, Q_{vb} ile Q_{na} arasındaki fark, arzu edilen ΔT sıcaklık farkını oluşturmak için, iklimlendirme cihazından geçirilmeden sistemde dolaştırılacak olan hava miktarını verir.

10. Seçilen iklimlendirme cihazı, giren ve çıkan havanın şartları ile tanımlanmak istenirse, giriş ve çıkıştaki kuru termometre sıcaklıkları, sırasıyla

$$T_{gKTS} = T_{oda} + \frac{[Taze hava debisi]}{Q_{na}} (T_{tazebava} - T_{oda})$$

ve

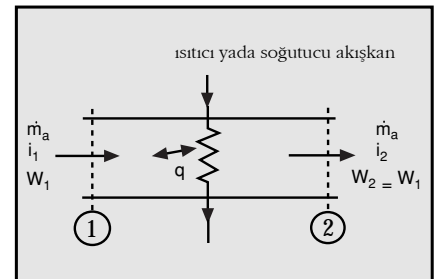
$$T_{CÇN} + BO \times (T_{gKTS} - T_{CÇN})$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. Giriş ve çıkıştaki yaş termometre sıcaklıkları ise, psikrometrik diyagramdan okunur.

4. Temel Psikrometrik İşlemler

4. 1. Nemli Havanın Isıtılması / Soğutulması

Ortam havası, nem kaybı veya kazancı olmaksızın ısıtıldığında veya soğutulduğunda bu süreç, psikrometrik diyagram üzerinde



Şekil 4-1. Isıtma / Soğutma cihazının şematik gösterimi

düz yatay çizgi olarak görülür, çünkü nem oranı sabittir. Isı eşanjöründen nemli hava geçişi bu tür bir süreçtir. Soğutmada ise, ısı eşanjörü yüzeyinin bir kısmı havanın çığ nokta sıcaklığının altında ise, yoğuşma ve bunun sonucu olarak da nem kaybı söz konusudur. Şekil 4.1'de, havayı ısıtma veya soğutma amaçlı cihazın şematik görünümü verilmiştir. Kararlı akış – kararlı hal koşullarında enerji eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$m_a i_2 + \dot{q} = m_a i_1$$

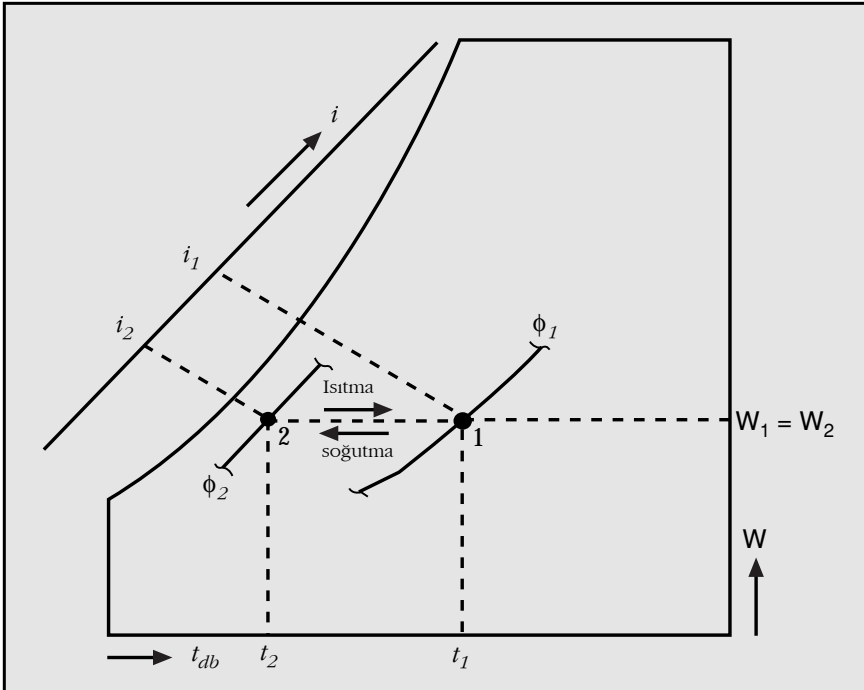
Psikrometri diyagramı üzerinde ısı transferinin yönünü, ısıtma ve soğutma kelimeleri belirler. Isıtımda sağa, soğutmada da sola doğru ilerleme olur (Bkz. Şekil 4.2). Nemli havanın entalpisinin, birim kuru hava kütlesi başına değeri 1. ve 2.bölümlerde verilmiş olup şu şekildedir:

$$i_1 = i_{a1} + W_1 i_{v1}$$

aynı şekilde,

$$i_2 = i_{a2} + W_2 i_{v2}$$

i_1 ve i_2 değerleri doğrudan psikrometrik diyagramdan elde edilebilir. Diyagramın getirdiği kolaylık açıkça görülmektedir. Şekil 4.2'de ısıtma ve soğuma süreçleri gösterilmiştir. Nemli hava mükemmel gaz olarak kabul edildiğinden, eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:



Şekil 4.2. Duyulur ısıtma ve soğuma süreçleri

$$\dot{q}_s = m_a c_p (t_1 - t_2) \quad (\text{ısıtma})$$

veya

$$\dot{q}_s = m_a c_p (t_2 - t_1) \quad (\text{soğuma})$$

Burada,

$$c_p = c_{pa} + W c_{pv}$$

Isınma yükü = (nemli havanın kg/s kuru hava eşdeğeri cinsinden değeri) x (nemli havanın kJ/kg kuru hava eşdeğeri cinsinden entalpi artışı)

IHVE psikrometrik veri tablolarına bakıldığında, başlangıçtaki entalpi değeri 41.88kJ/kg kuru hava olarak bulunur, başlangıçtaki nem oranı ise 0.8439m³/kg

	Duyulur Isıtma	Duyulur Soğuma
Kuru termometre:	Artar	Azalır
Entalpi:	Artar	Azalır
Nemli hacim:	Artar	Azalır
Yaş termometre:	Artar	Azalır
Yüzde satürasyon:	Azalır	Artar
Nem miktarı:	Değişmez	Değişmez
Çığ noktası:	Değişmez	Değişmez
Buhar basıncı:	Değişmez	Değişmez

Tablo 4.1.

Örnek 4.1:

1013,25 mbar barometre basıncında, giriş değerleri 21°C kuru, 15°C yaş termometre sıcaklığı olan 1.5m³/s debideki nemli havayı 20°C ısıtan bataryanın yükünü hesaplayınız. Giriş sıcaklığı 85°C, dönüş sıcaklığı 75°C olacak şekilde düşük basınçlı sıcak su kullanıldığı takdirde gerekli su debisini kilogram su / saniye cinsinden bulunuz.

kuru hava değerindedir. Hava 20 derece ısıtıldığından dolayı, başlangıç koşulları ile aynı nem miktarında sıcaklık 41°C olduğu durumdaki entalpi değerini bulmak için tablolara bakılmalıdır. Interpolasyon yapılarak, ısıtma bataryasından çıkan nemli havanın entalpisi 62,31 kJ/kg olarak bulunur.

$$\begin{aligned} \text{Isıtma yükü} &= \left(\frac{1.5}{0.8439} \right) \times (62.31 - 41.88) \\ &= 36.3 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.2 Karışımlar

İki farklı hava akımının karşılaşması adiabatik (değişmez ısı) olarak karışma süreci Şekil 4.3'de görülmektedir. I halindeki nemli hava ile 2 halindeki nemli hava karşılaşarak 3 halindeki bir karışım oluşturur. Kütle korunumu yasasına göre aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$\text{Kuru hava için: } m_{a1} + m_{a2} = m_{a3} \quad \text{ve}$$

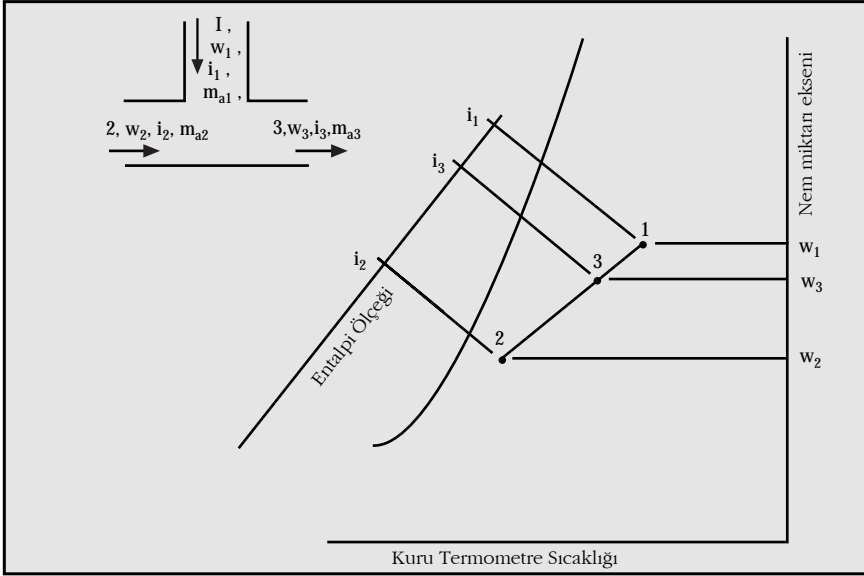
Beraberindeki su buharı için:

$$w_1 m_{a1} + w_2 m_{a2} = w_3 m_{a3}$$

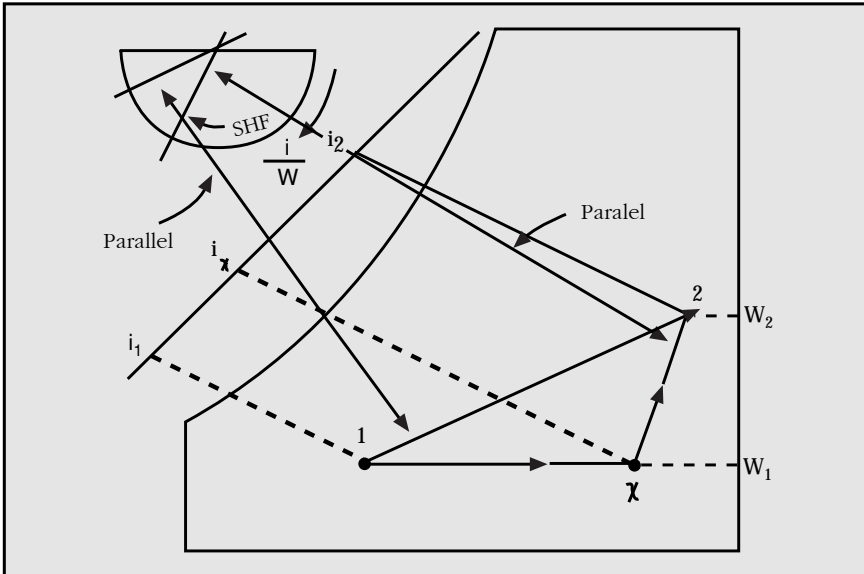
$$\text{O halde: } (w_1 - w_3) m_{a1} = (w_3 - w_2) m_{a2}$$

Buna göre:

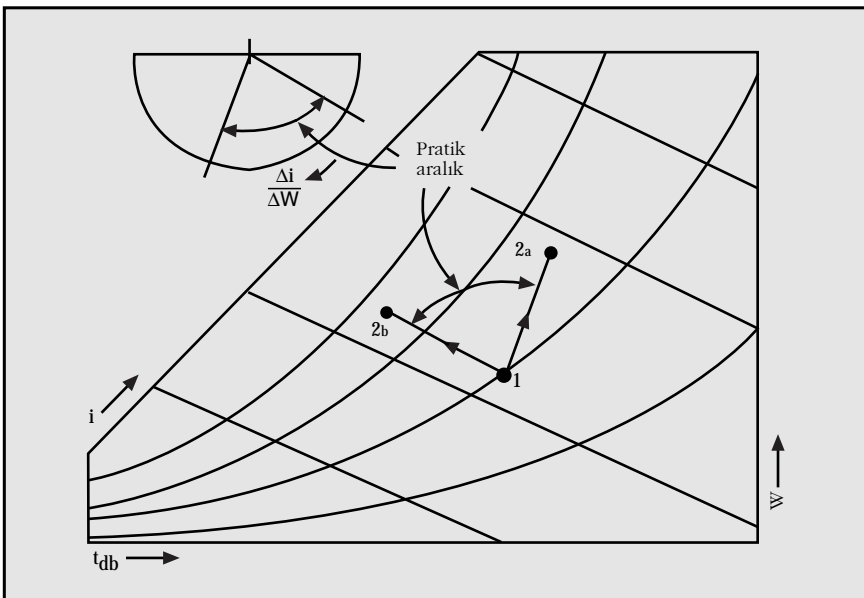
$$\frac{(w_1 - w_3)}{(w_3 - w_2)} = \frac{m_{a2}}{m_{a1}}$$



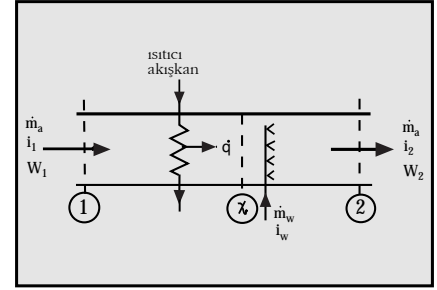
Şekil 4.3. Psikrometrik diyagramda karışma süreci



Şekil 4.5. Isıtma ve Nemlendirme süreçleri bileşik balde



Şekil 4.6. Adiyabatik Nemlendirme sürecinin pratikte mümkün olan aralığı



Şekil 4.4. Isıtma-Nemlendirme cihazının şematik gösterimi

Benzer şekilde, enerjinin korunumu yasasına göre:

$$\frac{(i_1 - i_3)}{(i_3 - i_2)} = \frac{m_{a2}}{m_{a1}}$$

4.3. Nemli Havanın Isıtılması ve Nemlendirilmesi

Nemli havayı ısıtan ve nemlendiren cihaz Şekil 4.4'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu süreç genellikle, kış aylarında konfor seviyesinin korunması için gereklidir. Cihaz üzerindeki enerji eşitliği şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{m}_a i_1 + \dot{q} + \dot{m}_w i_w = \dot{m}_a i_2$$

Su için kütle eşitliği yazılırsa:

$$\dot{m}_a W_1 + \dot{m}_w = \dot{m}_a W_2$$

Eşitlikler birleştirildiğinde:

$$\frac{(i_2 - i_1)}{(W_2 - W_1)} = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_a (W_2 - W_1)} + i_w$$

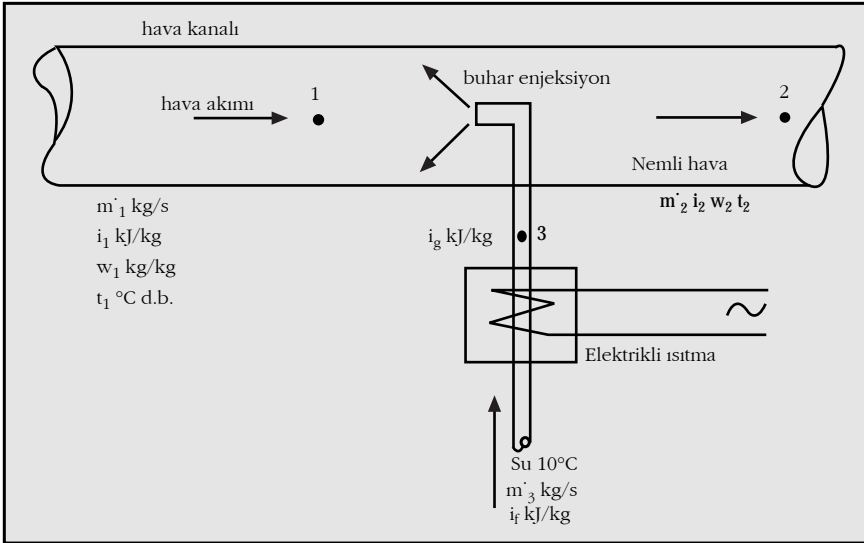
Şekil 4.5'de gösterilen işleme göre, açılarda gösterilen çizgiye paralel olarak Hal 1'den geçecek bir çizgi çekilir. Süreci Hal 1'den Hal 2'ye giden düz bir çizgi ile göstermek mümkündür ancak gerçekte bu şekilde uygulamak pratik değildir. Isıtma ve nemlendirme süreçleri genellikle ayrı ayrı yürütülür.

4.4. Nemli Havanın Adiyabatik Nemlendirilmesi

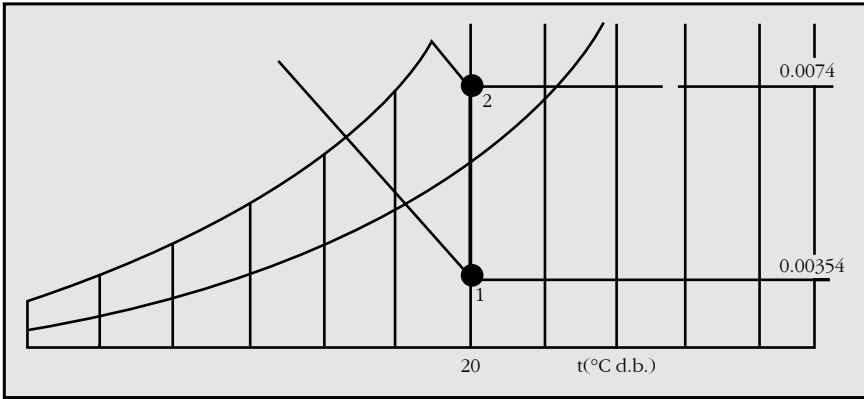
Nemli havaya ısı eklenmeksizin nem eklendiğinde Eşitlik aşağıdaki hali alır:

$$\frac{(i_2 - i_1)}{(W_2 - W_1)} = i_w = \frac{\Delta i}{\Delta W}$$

Diyagram 1'de verilen açılarda yakından incelendiğinde, $\Delta i / \Delta W$ ifadesinin sol tarafta



Şekil 4.7. Buharla Nemlendirme



Şekil 4.8. Psikrometrik diyagramda buharlı nemlendirme

artı sonsuzdan sağ tarafta eksi sonsuza kadar değişebileceği görülür. O halde, teorik olarak, adiyabatik nemlendirme süreci, kullanılan suyun koşullarına bağlı olmak üzere pek çok farklı yol üzerinden gerçekleştirilebilir. Pratikte su, 10°C'de sıvı halden 120°C'de doymuş su buharına kadar bir aralıkta bulunabilir. Δi / ΔW'nin pratik olarak bulunabileceği aralık ise Şekil 4-6'daki diyagram ve açölçerde gösterilmiştir.

4.5. Buharla Nemlendirme

Havaya nem eklenmesinde en hijyenik yöntem, hava kanalının yan taraflarında bulunan elektrik rezistanslı ısıtıcılardan buhar enjekte edilmesi ile uygulanır. İçme suyu şebekesinden alınan musluk suyunun sıcaklığı, mikroorganizmaların aktif hale geçebileceği sıcaklığın altında, 10°C civarındadır. Suyun 100°C'ye çıkarılması ve atmosfer basıncında kaynatılarak buhar haline getirilmesi sayesinde, enjekte edilen nem hava kanalları içinde yoğunlaştığı halde bile bakteri oluşumu önlenmiş olacaktır. Buhar takviyesi ekonomik ve sıhhi nedenlerden dolayı dikkatle kontrol edilir. Buharın özgül entalpisini, nemlendirilen havanınkinden daha yüksektir. Duyular ısınma çok az miktarda gerçekleşir. Havanın nem içeriği artar. Kuru termometre sıcaklığı ise nem oranı alt sınırına yakınlığını korur.

Nemlendirme sürecinin adiyabatik bir süreç olduğunu ve buharla herhangi bir yoğunlaşma olmadığını varsayalım. Şekil 4.8'de genel düzenleme görülmektedir. Kütle akış hızı, entalpi ve nem debilerine ilişkin denklemler şu şekilde yazılabilir:

$$\text{Kütle akış hızları: } \dot{m}_1 + \dot{m}_3 = \dot{m}_2 \text{ kg/s}$$

$$\text{Entalpi Denklemi: } \dot{m}_1 i_1 + \dot{m}_3 i_g = \dot{m}_2 i_2 \text{ kW}$$

$$\text{Nem debileri: } \dot{m}_1 w_1 + \dot{m}_3 = \dot{m}_2 w_2 \text{ kg/s}$$

g_1 ve g_2 nem oranları, istenen havanın özelliklerinden bilinmektedir. Bulunması gereken, buharın kütle akış hızı M_3 'tür. Karışmış kütle akış hızı M_2 bilinmemektedir. M_3 'ü bulmak için:

$$\begin{aligned} w_1 \dot{m}_1 + \dot{m}_3 &= \dot{m}_2 w_2 \\ &= (\dot{m}_1 + \dot{m}_3) w_2 \\ &= w_2 \dot{m}_1 + w_2 \dot{m}_3 \end{aligned}$$

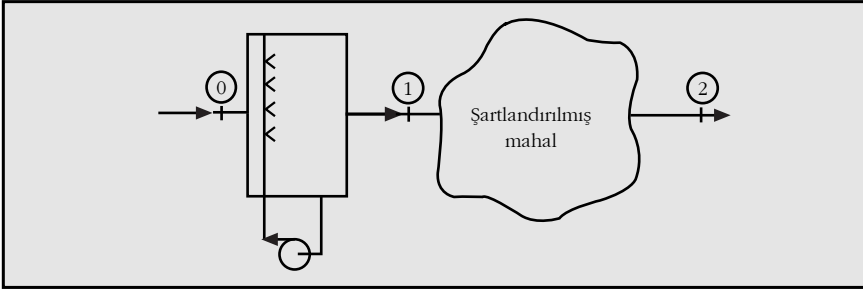
4.6. Doğrudan Enjeksiyonlu Nemlendirme

Kağıt ve pamuk fabrikaları gibi endüstriyel tesislerde, mahal üzerinden geçirilen boru tesisatındaki atomizer nozüllerden ortam havasına musluk suyunun doğrudan enjeksiyonu gerçekleştirilebilir. Dağıtım sisteminin içme suyu sisteminden ayrılması için ayrı bir depo ve pompa kullanılarak besleme suyunun basıncı muhafaza edilir.

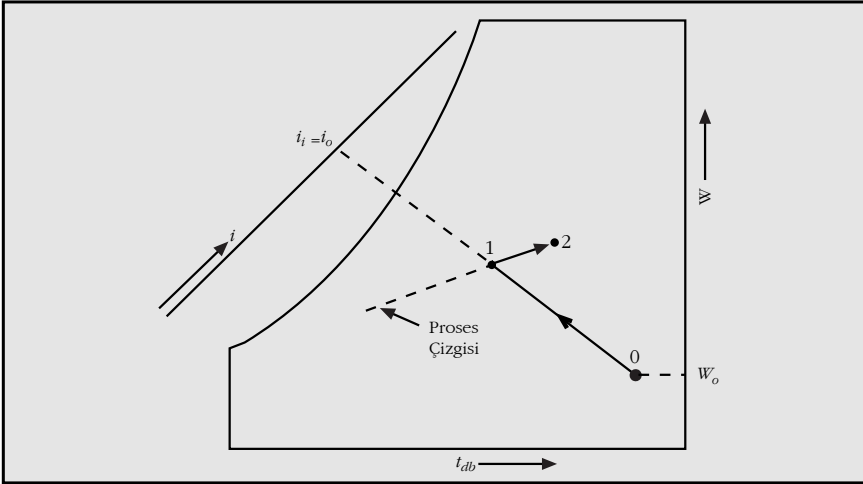
Bu şekilde, klima santralinde püskürtülmüş su ile nemlendirme yönteminin kullanılması önlenir, beraberinde hijyenin korunması amaçlı başka bir işlem yapılması da gerekmeyecektir. Püskürtülen su taneciklerinin su buharına dönüşmesi ile oda sıcaklığında bir miktar evaporatif soğuma gerçekleşir, kuru termometre sıcaklığı da azalır. Hesap işlemleri buhar enjeksiyonuna ilişkin yöntemlere benzer.

Evaporatif Soğutma

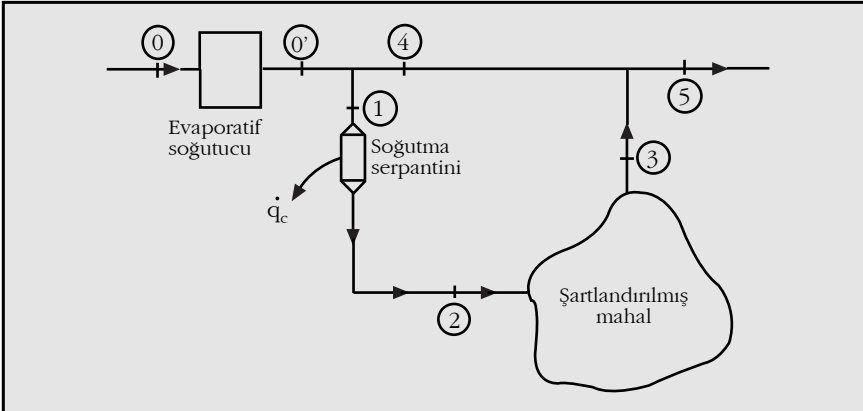
Yaz aylarında sıcak ve kuru iklim koşullarında evaporatif soğutmada yararlanılabilir. Bu tip soğutmaya örnek bir sistem Şekil 4.9'da görülmektedir. Dış ortamdaki gelen kuru hava adiyabatik bir püskürtme odacığından geçerken soğur ve nemlendirilir. Püskürtme odacığına ait enerji eşitliği yazıldığında i_0 ve i_1 entalpilerinin eşit olduğu görülecektir. O halde süreç, Şekil 4.10'da gösterildiği gibi olacaktır. İdeal şartlarda soğuma süreci, şartlandırılan mahale ait "şartlandırma çizgisi" üzerinde sona erer. Mahale giren hava mahal içinden geçer ve dışarıya atılır. Bu uygulamada yüksek miktarlarda havaya ihtiyaç duyulur, ayrıca dış ortamdaki bağıl nem görece yüksek olduğunda bu sistem tatmin edici sonuç vermez. W_0 çok yüksek olduğunda 0'dan 1'e doğru olan süreç, şartlandırma çizgisi ile kesişmeyecektir.



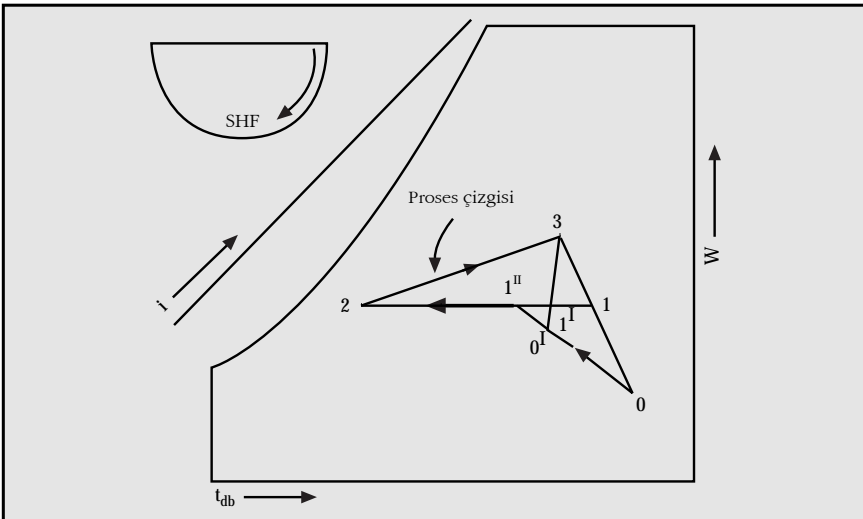
Şekil 4.9. Basit bir evaporatif soğutma sistemi



Şekil 4.10. Şekil 4.9'daki evaporatif sisteme ait psikrometrik diyagram



Şekil 4.11. Evaporatif ve konvansiyonel sistemin birleşimi



Şekil 4.12. Şekil 4.11'e ait psikrometrik diyagram

Evaporatif soğutma, dış ortam koşulları uygun olduğu takdirde Şekil 4.11'de görüldüğü gibi başka bir konvansiyonel sistemle birleştirilebilir. Birden fazla olasılık vardır. İlk olarak: dış ortam havası, herhangi bir evaporatif soğutma olmaksızın mahalden gelen dönüş havası ile karıştırıldığında ideal sonuç Şekil 4.12'deki gibi olacaktır. Havanın yalnızca duyulur soğutmaya tabi tutulması gerekecektir.

Örnek 4.2.

12°C sıcaklıkta ve 4 bar gage basıncındaki su, 50mx30m alanlı 5m tavanlı kağıt fabrikasına püskürtülüyor. Fabrikadaki hava satürasyon oranı, 20°C kuru termometre sıcaklığında %70'in altına düşmemelidir. Kış aylarında dış ortam sıcaklığının -6°C yaş termometre sıcaklığında -3°C kuru termometre sıcaklığına düşmesi beklenmektedir. Mekanik havalandırma sistemi fabrika havasını, ısıtılan taze havayı saatte 1.5 hava değişimi olacak şekilde tazelemektedir. Hava ön ısıtıcı batarya yükünü, ayrıca nemlendirme boru ve nozül hattına su besleme debisini hesaplayınız. Her bir hava yönüne ait verileri göz önünde bulundurunuz. Her ikisi de aynı hava şartlandırma santralinde bulunan, ön ısıtma / pre-heater ve buharlı nemlendirici için bulduğunuz sonuçları karşılaştırınız.

1. Tablolara bakılarak fabrika havası: 20°C kuru term., %70 satürasyon, 16.5°C yaş term., 0.01033kg/kg, 46.32kJ/kg, 0.8438m³/kg.

2. Fabrika hacmi $v = 50 \times 30 \times 5 \text{ m}^3 = 7500 \text{ m}^3$

Havalandırma debisi $Q = 7500 \times 1.5 / 3600 \text{ m}^3/\text{s}$
fabrika şartlarında: $= 3.125 \text{ m}^3/\text{s}$

$m_1 = 3.125 \text{ m}^3/\text{s} / 0.8438 \text{ m}^3/\text{kg} = 3.704 \text{ kg/s}$

3. Nemlendirmeden sonra $w_2 = 0.01033 \text{ kg/kg}$

4. Tablolara bakılarak dış ortam havası: -3°C kuru term.sıc., -6°C yaş term. sıc., %40 satürasyon, 0.001178 kg/kg, -0.076kJ/kg, 0.7663m³/kg. Dış ortam havası fabrikaya $w_1 = 0.001178 \text{ kg/kg}$ ile girer. Su püskürtme hızı m_3 :

$$m_3 = [m_1(w_2 - w_1)] / [1 - w_2] \text{ kg/s} \\ = 3.704 \times [(0.01033 - 0.001178) / (1 - 0.01033)] \text{ kg/s} \\ = 34.253 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$5. m_2 = m_1 + m_3 \text{ kg/s} \\ = 3.704 + 34.253 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \\ = 3.738 \text{ kg/s}$$

6. Oda havasına püskürtülen suyun özgül entalpisi, 12°C sıcaklıkta doymuş su için okunan değerdir: $i_f = 50.38 \text{ kJ/kg}$ (CIBSE, 1986C). Suyun mutlak basınç değeri

i_f 'i etkilemez. Bu durumda i_g 'nin yerini i_f alacaktır.

$$i_2 = \frac{(m_1 i_1 + m_3 i_w)}{m_2} \text{ kJ/kg} \quad \square$$

$$46.32 = \frac{(3.704 i_1 + 34.253 \times 10^{-3} \times 50.38)}{3.738} \text{ kJ/kg}$$

nemlendirmeden önceki ön ısıtması yapılmış hava koşulu olduğu için i_1 'nin bulunması gerekir.

$$46.32 \times 3.738 = 3.704 i_1 + 1.726$$

$$i_1 = 46.28 \text{ kJ/kg.}$$

Bu değer, en sondaki hava koşulu olan i_2 'nin hesaplama aralığı içindedir. O halde, fabrika havası adiyabatik olarak nemlendirilmiştir, bu da özgül entalpinin sabit kalması demektir.

7. Dış ortam ve fabrika hava şartlarını psikrometrik diyagram üzerine işleyiniz (bkz. Şekil 4.13).

8. Diyagram üzerinde, odanın özgül entalpisi 46.3kJ/kg değerinden geçen bir çizgi çekiniz.

9. 46.3kJ/kg özgül entalpi çizgisiyle kesişecek şekilde dış ortam hava koşulundan başlayarak yatay bir çizgi çekiniz.

10. İki çizginin kesişmesi 42.8°C kuru term. sıc.da gerçekleşir. Bu sıcaklık, nemlendirme öncesinde fabrikanın ön ısıtmadan geçmiş hava sıcaklığıdır.

11. Ön ısıtıcı batarya yükü Q değerini hesaplayınız.

$$Q = m_1 \text{ kg/s} \times (i_2 - i_1) \text{ kJ/kg}$$

$$= 3.704 \times (46.32 - 0.076) \text{ kW}$$

$$= 171.851 \text{ kW}$$

12. Hava şartlandırma santralinde alternatif olarak buharlı nemlendirici kullanıldığında ön ısıtıcının dış ortam sıcaklığını 20°C'ye çıkarması gerekecekti. Isıtma bataryasının yükü Q, şu şekilde yazılabilir:

$$Q = 3.704 \times (23.11 - 0.076) \text{ kW}$$

$$= 85.881 \text{ kW}$$

13. Buhar kazanı giriş gücü Q şu şekilde elde edilir:

$$Q = m_3 i_w \text{ kW}$$

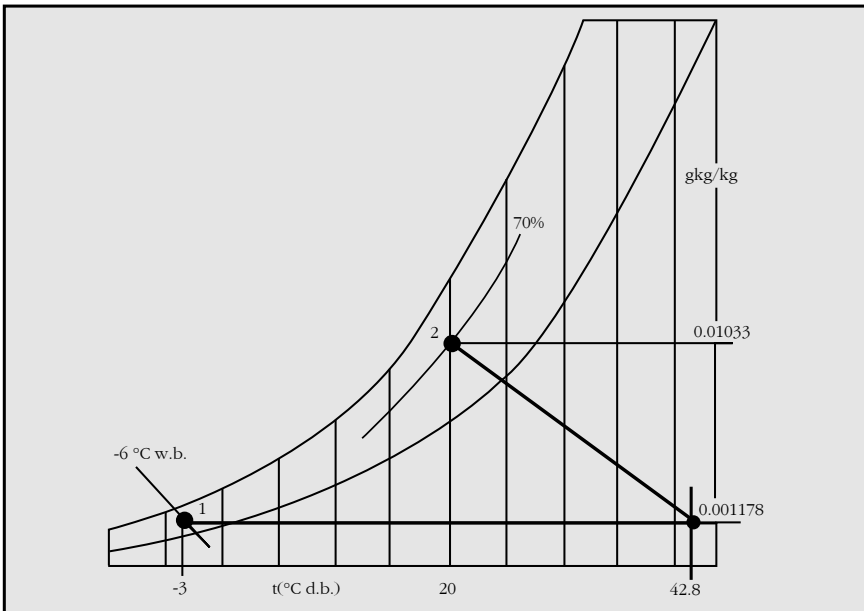
$$= 34.253 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \times 2500.8 \text{ kJ/kg}$$

$$= 85.66 \text{ kW}$$

14. Ön ısıtıcıdan ve buhar kazanından elde edilen toplam ısı kazancı Q

$$Q = 85.881 + 85.66 \text{ kW}$$

$$= 171.541 \text{ kW}$$



Şekil 4.13. Örnek 4.2'ye ait psikrometrik diyagram

Bu değer, sadece ön ısıtıcı tasarım için elde edilen değerle aynıdır. Buhar enjeksiyon sisteminin avantajı, adiyabatik nemlendirme sağlamak amacıyla fabrika havasının 42.8°C'ye ısıtılmasının pratik olmamasından kaynaklanan bir avantajdır.

Bir soğutma serpantinine ait soğutma ve nem alma performansı, sola doğru gidildikçe yataydan aşağıya doğru kıvrılan kalın çizgiler üzerinde belirtilebilir. Bu seçenek, havanın beklenen başlangıç ve bitiş koşulları arasında düz bir çizgi çekmekten daha gerçekçi bir tercihtir.

4.7. Nemli Havanın Soğutulması ve Neminin Alınması

Nemli hava bir yüzey üzerinden geçirilerek, hava akımının bir kısmı, çığ noktası sıcaklığının altına düştüğünde su buharının bir bölümü yoğuşacak ve belki de hava akımından ayrılacaktır. Şekil 4.14'de tipik soğutma ve nem alma cihazının şeması görülmektedir. Şekil 4.15'de ise sürecin psikrometrik diyagramda izlediği yol verilmiştir. Asıl gerçekleşen süreç yüzey türüne, sıcaklığına ve akış koşullarına bağlı olarak ciddi farklılıklar gösterecek olsa da net ısı ve kütle alışverişi, başlangıç ve son durumdaki akış şartları cinsinden ifade edilebilir.

Şekil 4.14'e baktığımızda enerji eşitliğinin şu hale geldiğini görürüz:

$$m_a i_1 = \dot{q} + m_a i_2 + m_w i_w$$

havadaki suya ait kütle akış eşitliği ise: \square

$$m_a W_1 = m_w + m_i W_2 \quad \square$$

eşitlikleri birleştirdiğimizde:

$$\dot{q} = m_a (i_1 - i_2) - m (W_1 - W_2) i_w$$

Soğutma ve nem alma sürecinde hem duyulur hem gizli ısı alışverişi gerçekleşir, duyulur ısı alışverişi beraberinde kuru termometre sıcaklığı düşer, gizli ısı alışverişi beraberinde ise nem oranı azalır. Bu miktarlar şu şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{q}_s = m_a c_p (t_1 - t_2) \quad \square$$

ve

$$\dot{q}_l = m_a (W_1 - W_2) i_{fg} \quad \square$$

Şekil 4.15.'e baktığımızda gizli ısı transferini şu şekilde gösterebiliriz:

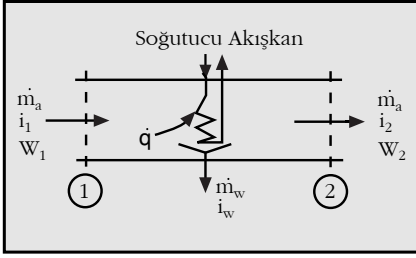
$$\dot{q}_l = m_a (i_1 - i_3)$$

Duyulur ısı transfer hızı ise:

$$\dot{q}_s = m_a (i_3 - i_2)$$

Yoğuşmadaki enerji kaybı göz ardı edilmiştir. Sonuç olarak:

$$\dot{q} = \dot{q}_s + \dot{q}_l$$



Şekil 4.14. Soğutma ve Nem Alma

4.8. Yeniden Isıtmalı Soğutma ve Nem Alma

Nem alma için bir soğutucu serpantin kullanıldığında nemli havanın sıcaklığı düşürülür, ancak genellikle bu koşullarda elde edilen sıcaklık fazla düşük olacaktır. Ancak duyulur ve gizli yükler açısından maksimum yüklenme koşullarında soğutma serpantininden çıkan hava her iki unsur açısından da uygun özellikte olacaktır. Kısmi yük altında çalışma olduğunda durum böyle değildir. Bunun nedeni, duyulur ve gizli yüklerin genellikle birbirinden bağımsız olmasıdır. Sonuç olarak, soğutma serpantininde nemi alınmış ve soğutulmuş olan havanın, duyulur soğutma yüküyle uyumlu bir sıcaklığa ısıtılması için gerekli düzenleme yapılmalıdır. Duyulur ısıtma yükü azaldıkça, havanın yeniden ısıtılması gereken sıcaklık da yükselecektir.

Gerekli santralin yapısı Şekil 4.16.(a)'da diyagramatik gösterimle verilmiştir. A şartlarındaki nemli hava, soğuk su akışı bulunan soğutma serpantininin kanatlı boruları üzerinden geçer. Gerçekleşen nem alma miktarı, serpantinden sonra yerleştirilmiş bir çığ noktası termostatı C_1 ile kontrol edilir. Buradaki termostat, üç yollu karışım vanası R_1 aracılığıyla serpantinden geçirilen soğuk su miktarını ayarlar. Hava serpantininden ayrıldığında B şartlarındadır, nem içeriği de şartlandırılan mahaldeki ısı kaynaklarından toplanan gizli ısı yükünün yeterli biçimde dengelenmesine uygundur. Nem miktarı w_a 'dan w_b 'ye düşürülmüştür, soğutma serpantininin yüzey sıcaklığı ortalaması da t_c olmuştur. İlgili psikrometrik süreçler Şekil 4.16 (b)'de verilmiştir.

Ortamdaki duyulur ısı kazançları t_b 'den daha yüksek bir t_d sıcaklığı gerektirirse hava, ısıtma bataryasının boruları üzerinden geçirilecektir. Düşük basınçlı sıcak su gibi bir ısıtma ortamı borulardan akış halinde olabilir. Bu suyun debisi iki çıkışlı bir modülasyon vanası R_2 aracılığıyla, şartlandırılan mahalde bulunan bir C_2 termostatı tarafından kontrol edilir.

Havanın bu mahale verilme şartları, sıcaklık ve nem içeriği doğru olacak şekilde D şartları olacaktır.

Gösterilen basit sistemde bu durum kaçınılmazdır, nedeni de önce nem alma, ardından da ısıtma işlemlerinin yapılması ihtiyacıdır. Ancak genelde maksimum yük koşullarında bu tür bir durumun ortaya çıkması istenmez. Yeniden ısıtma işlemine yalnızca, kısmi yük koşullarında soğutma kapasitesinden faydalanmamak amacıyla izin verilir. Bir diğer deyişle tasarım değerleri, B şartlarının maksimum duyulur ve maksimum gizli yükleri yeterince karşılayacağı şekilde belirlenmelidir. Bu noktalar aşağıdaki örnekte gösterilmiştir:

Örnek 4.3.

Kuru termometre sıcaklığı 28°C , yaş termometre sıcaklığı 20.6°C ve barometre basıncı da 1013.25m bar olan nemli hava bir soğutma serpantini üzerinden geçerek 10°C kuru termometre sıcaklığında 7.046 g/kg (nem / kuru hava) olarak ayrılıyor.

- Bu havanın şartlandırılan mahaldeki 2.35kW 'lık duyulur, 0.31kW 'lık gizli ısı kazancını dengelemesi isteniyor. Söz konusu mahalde 21°C 'lik kuru termometre sıcaklığının elde edilebilmesi için odaya verilmesi gereken kuru hava kütlelerini hesaplayınız.
 - Odanın bağıl nemi ne olacaktır?
 - Duyulur ısı kazancı 1.175kW kadar azaldığı halde gizli ısı kazancında değişme olmuyor ise, odaya verilecek hava hangi sıcaklık ve nem miktarında olmalıdır?
- 10°C sıcaklıkta $m_a\text{ kg/s}$ hava verildiğinde oda sıcaklığının 21°C 'de sabit tutulması gerekiyorsa duyulur soğutma kapasitesi duyulur ısı kazancına eşit olmalıdır.

Öyleyse:

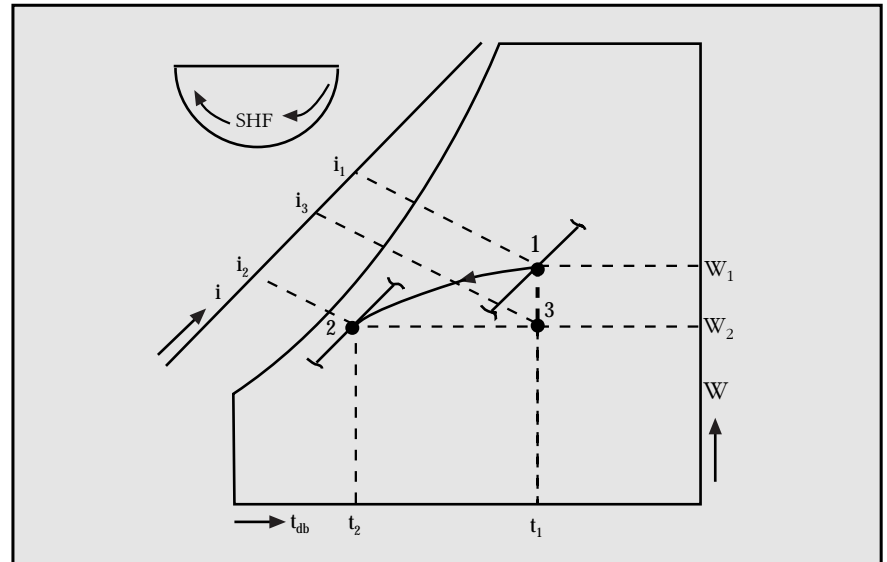
$$m_a \times c_a \times (21 - 10) = 2.35\text{ kW}$$

Buradan da:

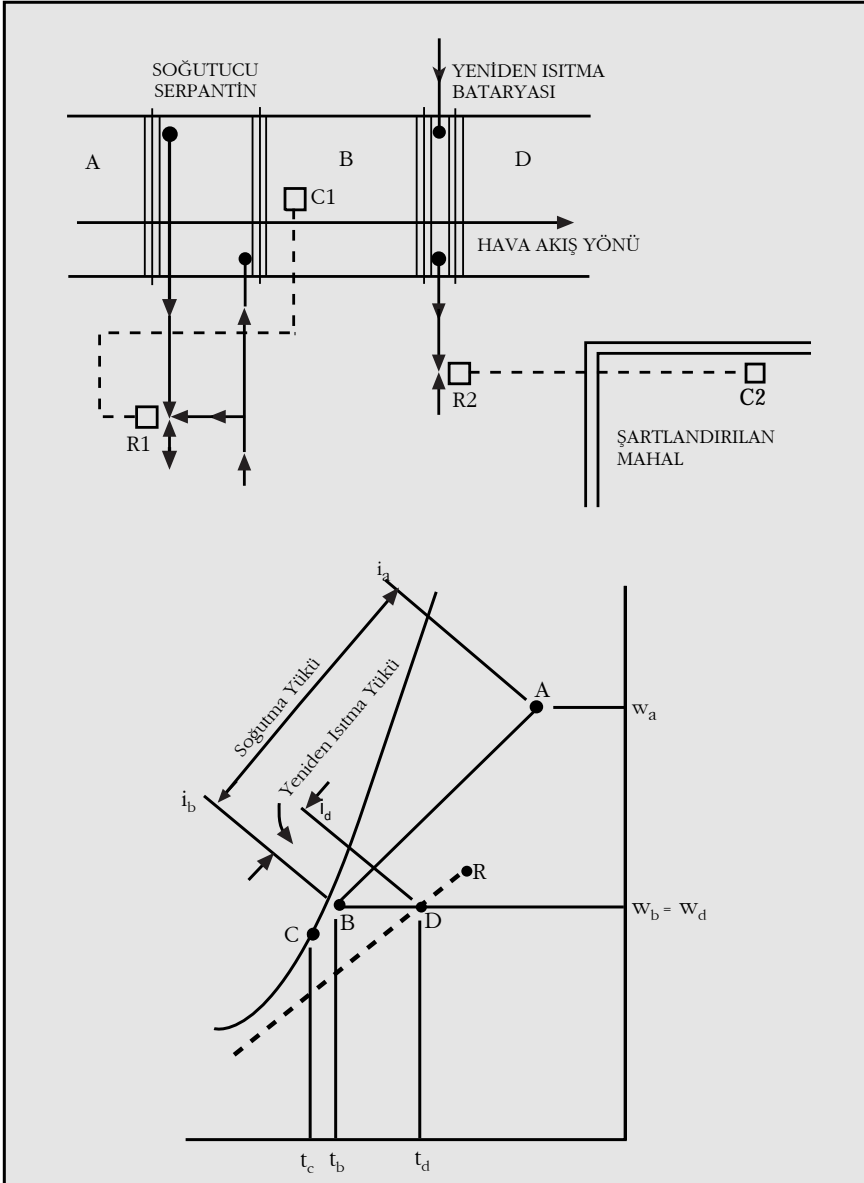
$$m_a = 2.35 / (1.012 \times 11) = 0.211\text{ kg/s}$$

- İçerisinde 7.046 g/kg nem bulunan hava, 0.211kg/s debi ile ilerlerken 0.31kW gizli ısı kazancını dengelemek için buharlaşan nemi de almalıdır. Yaklaşık 21°C civarında suyun gizli buharlaşma ısısını örneğin 2454kJ/kg aldığımızda gizli ısı kazancı aşağıdaki kadar suyun buharlaşmasına karşılık gelecektir:

$$0.31\text{ kJ/s} / 2454\text{kJ/kg} = 0.0001262\text{ kg/s su.}$$



Şekil 4.15. Soğutma ve Nem Alma süreci



Şekil 4.16. (a) 4.16 (b). Yeniden Isıtmalı Soğutma ve Nem Alma

Odaya verilen 0.211 kg/saniye hava ile gelen nem oranı saat başına bu miktar kadar artacaktır. Odaya verilen her birim kg. kuru hava tarafından alınan nem ise:

$$0.1262 / 0.211 = 0.599 \text{ g/kg}$$

O halde, odadaki nem miktarı $7.046 + 0.599 = 7.645 \text{ g/kg}$ olacaktır. Bu nem içeriğiyle 21°C kuru termometre sıcaklığındaki bağıl nem oranı psikrometrik tablolara bakılarak % 49,3 bulunacaktır.

(c) 1.175kW duyulur ısı kazancını almak için 0.211kg/s kuru hava gerekiyor ve 21°C 'lik sıcaklık korunmak isteniyorsa havanın daha yüksek sıcaklıkta verilmesi gerekir:

$$\text{sıcaklık artışı} \times 1.012 \times 0.211 = 1.175\text{kW}$$

$$\text{sıcaklık artışı} = 1.175\text{kW} / (1.012 \times 0.211) = 5.5^\circ\text{C}$$

O halde, besleme havasının sıcaklığı 15.5°C olacaktır.

Gizli ısı değerleri değişmediğinden, odaya verilen havanın bu kazançları dengeleme kapasitesi

aynı olmalıdır, bir diğer deyişle, beslenen havanın nem içeriği yine aynı olacaktır: 7.046 g.nem / kg kuru hava.

4.9 Ön Isıtma, ve Yeniden Isıtmalı Nemlendirme

Yalnızca taze hava kullanan iklimlendirme santrallerinde kış aylarında karşılaşılan bir yük daha söz konusudur: iklimlendirilen mahale verilen havanın nem içeriği ve sıcaklığındaki artış. Dış ortam havası kış aylarında çok düşük nem oranında olabileceğinden dolayı nemlendirme yapılması gerekir. Bu havanın doğrudan mahale verilmesi gerektiğinde mahaldeki nem oranı da düşecektir. Düşük nem oranı istenmeyen bir durum olabilir, ancak bu hava daha yüksek bir sıcaklığa ısıtıldığında bağıl nem oranı çok düşük kalabilir.

Aşağıdaki Şekil 4.17'de diyagramatik gösterimde tipik iklimlendirme santrali görülmektedir. Ön ısıtıcıdan dönüş hattındaki modülasyon vanası R_1 'i açtığımızda bataryadan elde edilen ısı kazancı artacak, besleme havasındaki nem içeriğinin artması gerekiyorsa, hava yıkamadaki daha fazla nemi buharlaştırmak için gerekli ek enerji ihtiyacı karşılanabilecektir. Benzer şekilde, yeniden ısıtma kısmındaki R_2 kontrol vanasını açtığımızda, iklimlendirilen mahale daha yüksek sıcaklıkta hava verilmesi sağlanır. C_1 mahaldeki nem ölçer, C_2 ise termostattır.

Örnek 4.4.

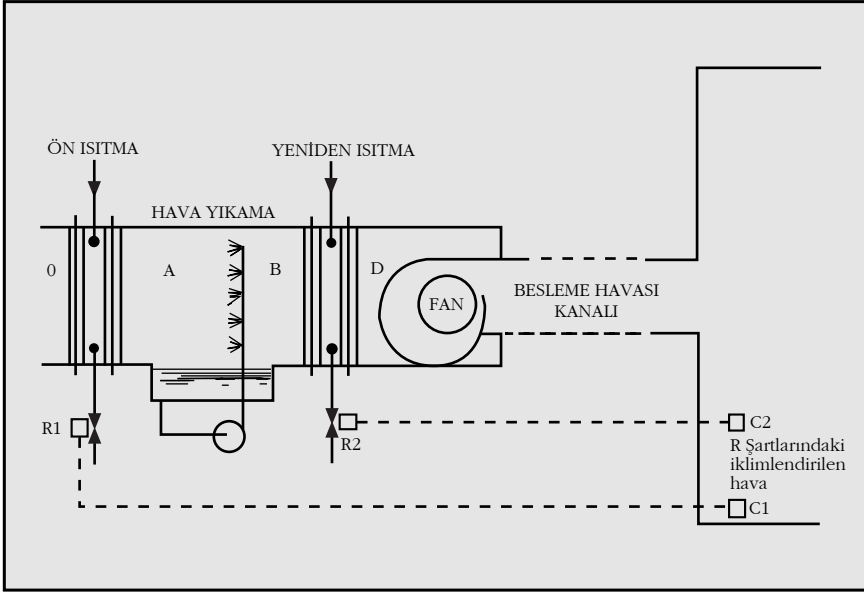
Şekil 4.17'de görülen santral şekil 4.18'deki psikrometrik değişiklikler doğrultusunda çalışıyor.

-5.0°C kuru termometre sıcaklığı ve %86 satürasyondaki hava ön ısıtma ile 23°C kuru termometre sıcaklığına getiriliyor. Ardından, %85 nemlendirme verimine sahip, geri dolaşımli püskürtme su kullanılan bir hava yıkamadan geçiriliyor. Aşağıdakileri hesaplayınız:

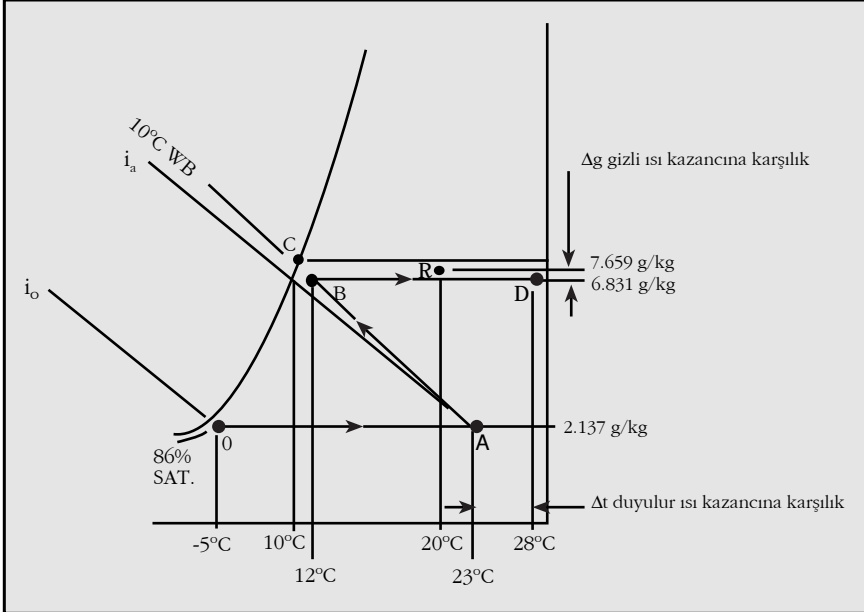
(a) Yıkamadan çıkan havanın bağıl nemi

(b) Yıkamada gerekli soğuk su takviyesi litre/s, hava yıkamadan çıkan hava $2.5\text{m}^3/\text{s}$ debiye sahip ise.

(c) Ön ısıtma bataryasının kW cinsinden yükü.



Şekil 4.17. Örnek 4.4 e ait klima santrali



Şekil 4.18. Ön Isıtma ve Yeniden Isıtımlı Nemlendirme

- (d) İklimlendirilen mahaldeki duyulur ısı = kayıpları 24kW ise ve 20°C kuru termometre sıcaklığı korunuyorsa, mahale beslenen havanın sıcaklığı.
- (e) Yeniden ısıtma bataryasının yükü.
- (f) Mahaldeki gizli ısı kazançları 5kW ise, bağıl nem oranı.
- (a) O şartlarındaki nem içeriği tablolarda bakılarak 2.137g/kg olarak bulunur. Buna göre, 23°C kuru termometre sıcaklığında 2.137g/kg nem oranında yaş termometre sıcaklığı 10°C olarak bulunur. Bu nokta ise A ile gösterilmiştir. Adiyabatik satürasyon sürecinin yukarıya doğru yaş termometre çizgisi üzerinden gerçekleştiğini varsayarsak, tablolara bakarak C noktasındaki nem oranının çiğ noktası, 7.659g/kg olduğunu bulabiliriz. Daha ileri bir varsayım ile kuru termometre ölçüğünün lineer olduğunu kabul edersek, yıkamadan çıkışta, B noktasındaki kuru termometre sıcaklığını da oranlama ile bulabiliriz: □□

$$\begin{aligned}
 t_b &= 23 - 0.85 (23 - 10) \\
 &= 23 - 11.05 \\
 &= 12^\circ\text{C kuru termometre sıcaklığı.}
 \end{aligned}$$

C noktasındaki kuru termometre sıcaklığının 10°C olduğunu biliyoruz, çünkü C noktasındaki hava doymuş haldedir ve yaş termometre sıcaklığı da 10°C'dir.

B noktasındaki kuru termometre sıcaklığı için yukarıda bulduğumuz sıcaklık ise yaklaşık değerdir (çünkü kuru termometre ölçüğü lineer değildir) ancak pratik hesap için yeterlidir. Öte yandan, B noktasındaki nem oranını biraz daha düşük hata payıyla hesaplayabiliriz, zira nemlendirme verimi nem miktarı cinsinden tanımlanmıştır ve bu ölçek de psikrometrik tabloda lineerdir.

$$\begin{aligned}
 w_b &= 7.659 - (1-0.85) \times (7.659 - 2.137) \\
 &= 7.659 - 0.828 \\
 &= 6.831 \text{ g/kg.}
 \end{aligned}$$

Bu aşamada, tablolara veya bir diyagrama bakarak 12°C kuru termometre sıcaklığı ve 6.831g/kg nem değerinde bağıl nemin %78 olduğunu bulabiliriz. Daha düşük sapma ile, muhtemelen 10°C yaş termometre sıcaklığı ve 6.831g/kg nem değerindeki bağıl nem oranını da belirleyebiliriz. Tablo kullanarak sonuca ulaştığımızda hata payı ve yöntem görece daha az güvenilir olmaktadır.

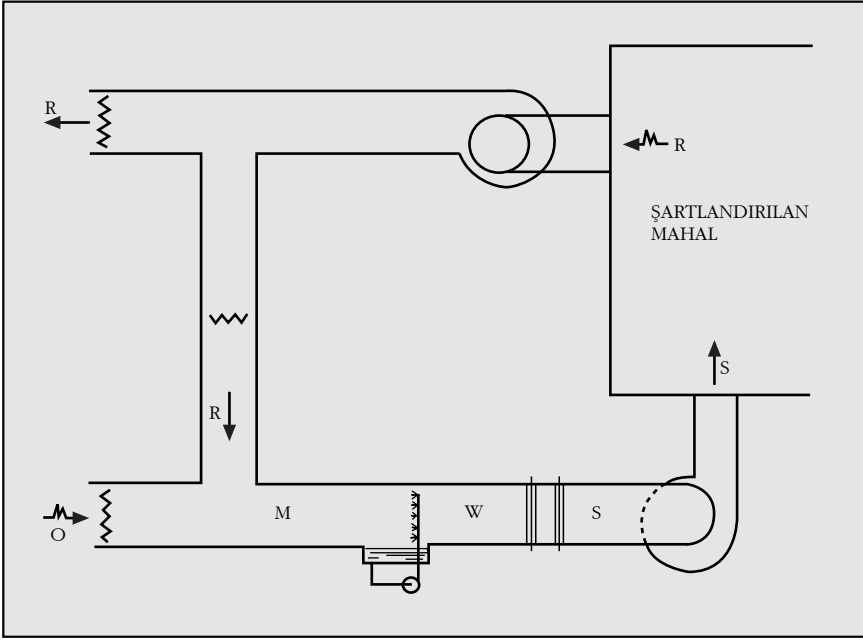
(b) Soğuk su takviyesi, kuru hava kütleline bağlıdır. B noktasında yıkamadan ayrılan nemli hava hacminin 0.8612m³/kg kuru hava olduğu bulunabilir. Şebekeden yıkama kısmına beslenen soğuk su, yıkama kısmı içindeki buharlaşma kayıplarını karşılamaya yarayacaktır. Buharlaşma hızı (6.183 - 2.137)g/kg olduğuna göre takviye hızını da bulabiliriz:

$$\begin{aligned}
 \text{takviye hızı} &= (6.183 - 2.137) \times 2.5 / \\
 & \quad (1000 \times 0.8162) \\
 &= 0.0124 \text{ kg/s veya litre/s.}
 \end{aligned}$$

(c) Ön ısıtıcı, içinden geçen havanın entalpisini i_o 'dan i_a 'ya çıkarmalıdır. Tablolara bakıldığında, $i_o = 0.299 \text{ kJ/kg}$ ve $i_a = 28.57 \text{ kJ/kg}$ bulunur. Buradan:

$$\begin{aligned}
 \text{ön ısıtma yükü} &= 2.5 \times (28.57 - 0.299) \\
 & \quad / (0.8162) \\
 &= 3.063 \text{ kg/s} \times 28.27 \text{ kJ/s} \\
 &= 86.59 \text{ kW.}
 \end{aligned}$$

(d) Mahale verilen 3.063kg/s miktarındaki hava mahal içine dağılır ve bu süreçte sıcaklığı da t_d değerinden, elde edilmek



Şekil 4.19. Tipik bir klima santrali

istenen sıcaklığa, 20°C'ye düşecektir, t_d değeri de buradan hesaplanacaktır.

Isı eşitliği yazıldığında:

duyulur ısı kaybı = kuru hava ağırlığı + beraberindeki nem x nemli havanın özgül ısısı x (besleme sıcaklığı - mahal sıcaklığı)

$$\begin{aligned} 24 &= 3.063 \times [1 \times 1.012 + 0.00683 \times 1.89] \times (t_d - 20) \\ &= 3.063 \times 1.025 \times (t_d - 20) \\ t_d &= 20 + 24 / (3.036 \times 1.025) \\ &= 28^\circ\text{C} \end{aligned}$$

(e) O halde yeniden ısıtma bataryasında, yıkamadan çıkan nemli havanın mahale giriş sıcaklığına kadar ısıtılması gerekir. 12°C kuru termometre sıcaklığı – 6.831g/kg nem değerinden 28°C kuru termometre sıcaklığı – 6.831g/kg nem değerine getirilecektir.

$$\begin{aligned} \text{Yeniden ısıtma yükü} &= 3.063 \times 1.025 \times (28 - 12) \\ &= 50.2 \text{ kW} \end{aligned}$$

Başka bir çözüm yöntemi olarak, tablolardan enterpolasyon yolu ile ya da doğrudan psikrometrik diyagramdan okuyarak, ısıtıcıdan önceki ve sonraki entalpi değerlerini tespit edebiliriz:

$$\begin{aligned} \text{Yeniden ısıtma yükü} &= 3.063 \times (45.6 - 29.3) \\ &= 49.9 \text{ kW} \end{aligned}$$

(f) Gizli ısı kazançlarının dengelenmesi için gerçekleşen buharlaşma sonucunda mahaldeki nem değerinde bir artış olacaktır. Bu artışın hesaplanması için bir kütle eşitliği yazılmalıdır:

$$\begin{aligned} \text{kW cinsinden gizli ısı kazancı} &= (\text{odaya saat başı verilen kuru hava kg.}) \times (\text{kg kuru hava başına kg.su cinsinden mahalden toplanan nem}) \times (\text{su-yun gizli buharlaşma ısısı, kJ/kg su}) \\ 5.0 &= 3.063 \times (w_r - 0.006831) \times 2454 \\ w_r &= 0.006831 + 5.0 / (3.063 \times 2454) \\ &= 0.006831 + 0.000666 \\ &= 0.007497 \text{ kg/kg.} \end{aligned}$$

4.10 Karışım ve yeniden ısıtmalı adyabatik satürasyon

Şekil 4.19'da, çok tipik bir santralin şematik görünümü verilmiştir: R şartlarındaki hava, şartlandırılan mahalden çekilerek bir kısmı yeniden dolaşıma verilerek geri kalanı atmosfere salınır. Alınan havanın, iklimlendirme santraline dönen kısmı, dış ortamdan alınan O şartlarındaki hava ile karışır ve M şartlarındaki karışımı oluşturur. Hava daha sonra hava yıkama biriminden geçirilir, hava yıkamada yalnızca püskürtme suyu geri dolaşımıdır. Hava yıkamada adyabatik satürasyon gerçekleşir, hava sabit yaş termometre sıcaklığında bir doğru üzerinden M şartlarından W şartlarına ulaşır. (Bkz. Şekil 4.20). MW çizgisi uzatıldığında satürasyon eğrisini A noktasında kesecektir (cihaz çığ noktası). Mahaldeki belirli bir gizli ısı kazancını bertaraf etmek için mahale w_s nem oranında hava beslemek gerekir. Aradaki $w_r - w_s$ nem farkının, mahale verilen hava kütlesiyle birlikte, gizli ısı kazancını karşılaması sağlanmalıdır. Bir diğer deyişle, mahale beslenen hava, mahalde açığa çıkan nemi alacak kadar kuru olmalıdır.

Yıkama kısmından çıkan havanın nem içeriğinin, gerekli olan w_s değerinden farksız bir w_w değerinde olması gerektiği açıktır. Bu durum hesaplamaya da açıktır: w_d , w_w ve w_m cinsinden hava yıkama kısmının verimlilik tanımı kullanılır.

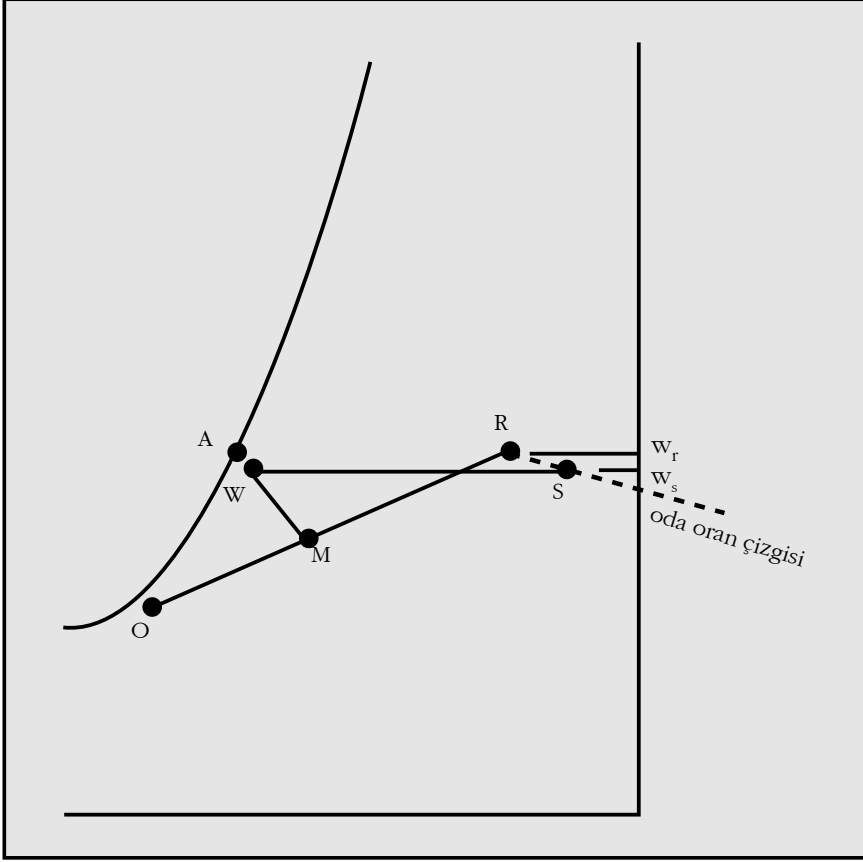
Örnek 4.5.

Örnek 4.4'de ele alınan odanın şartlandırılması, Şekil 4.19.'da belirtilen özellikte bir santral ile, geri dolaşım havası ve taze hava karışımı kullanılarak yapıyor. Aşağıdakileri hesaplayınız:

- mahale verilen havanın kütle olarak devirdaim havasına oranı (%)
- hava yıkama kısmının nemlendirme verimi.

Çözüm:

(a) Yaş termometre ölçeği lineer olmadığından, karışım oranlarının buradan hesaplanması yeterince hassas sonuç veremeyecektir. Bunun yerine, entalpi veya nem içeriğindeki değişimlerden yararlanılmalıdır. Sabit entalpi çizgilerinin sabit yaş termometre sıcaklık çizgilerine paralel olmadığını göz önüne alırsak, adyabatik satürasyon



Şekil 4.20. Örnek 4.5 e ait psikrometrik süreç

sürecindeki hal değişiminin sabit entalpi çizgisi üzerinde kalacağı varsayımı bize az da olsa hata payı verecektir. Ancak bu pay kaçınılmaz olacağından, mevcut varsayımla devam edilmelidir.

Şekil 4.20.'ye bakıldığında:

$i_a \sim i_w \sim i_m$ olduğu görülebilir.

Tablolarda bakılarak, i_w 'nin (12°C kuru termometre sıcaklığı ve 6.831g/kg nemde) 29.30 kJ/kg olduğu bulunur.

Bölüm 3.2'de yer alan; karışım sürecinde gerçekleşen hal değişimini bağlayan temel esaslara dayanarak geri dolaşım havasının yüzde oranı:

$$\begin{aligned}
 &= (i_m - i_o) / (i_r - i_o) \times 100 \\
 &= (29.30 - 0.299) / (39.14 - 0.299) \times 100 \\
 &= \% 75
 \end{aligned}$$

bulunacaktır.

O halde, mahale verilen havanın %75'i, dış ortamdan %25 hava alınarak mahale geri verilirse 29.30kJ/kg'lık bir entalpi ve 10°C'lik yaş termometre sıcaklığı elde edilecektir. Daha sonra adiyabatik satürasyon ile 12°C kuru termometre ve 6.831g/kg nem miktarı elde edilecekse, yıkama kısmının nemlendirme verimi, daha önce ör. 4.4'te kullanılan %85 değeri olamayacaktır. O halde yukarıdaki hesaplamalar için tamamen farklı bir yıkama birimi kullanılmalıdır, ve aşağıdaki şekilde hesaplanan nemlendirme verimine sahip olmalıdır:

(b) Verimlilik nem içeriği cinsinden ifade edildiğinden dolayı, değerlerini bildiğimiz

w_a ve w_w 'yi kullanarak w_m değerini bulmamız gerekir.

$$\begin{aligned}
 w_m &= 0.75 w_r + 0.25 w_o \\
 &= 0.75 \times 7.497 + 0.25 \times 2.137 \\
 &= 6.159 \text{ g/kg}
 \end{aligned}$$

Nemlendirme Verimi

$$\begin{aligned}
 &= (w_w - w_m) / (w_a - w_m) \times 100 \\
 &= (6.831 - 6.159) / (7.659 - 6.159) \\
 &= \% 45.
 \end{aligned}$$

Bu örnekteki yıkama biriminin verimliliği %85 olsaydı, hesaplamalar bu kadar kolay olmayacaktı. İki koşulu sağlamak için AWM çizgisinin daha düşük bir yaş termometre sıcaklığında olması gerekecekti:

- (i) $w_w = 6.831 \text{ g/kg}$.
- (ii) $(w_w - w_m) / (w_a - w_m) \times 100 = \% 85$.

Durumun yukarıdaki gibi olması için, kuru termometre sıcaklığı W'nin 10°C'den düşük olması gerekir. Pratik bir çözüme ulaşmak için en kolay yol, psikrometrik diyagram üzerinde adiyabatik satürasyonu gösteren bir dizi çizgi çekilmesi, kabul edilebilir bir hata payı elde edilinceye kadar farklı verim değerleri ile hesap yapılması olacaktır.

Kaynaklar

1. "Klima Tesisatı" MMO - yayın no 296, Ankara, 2001
2. Jones W.P., "Air Conditioning Engineering"
3. Chadderton David V., "Air Conditioning, A. Practical Introduction"
4. Önen Erol, "Havalandırma ve Klima Tesisatı", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teknik El Kitapları
5. Mc Quiston Faye C., Parker Jearld D., Spitler Jeffrey D., "Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis & Design"
6. Tamer Şadi, "Klima ve Havalandırma", Ankara 1990

Derleyen;

E. Aybars Özer,

1970 Eskişehir doğumludur. ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü mezunudur. Halen Teba ISK A.Ş. Ankara Bölge Müdürlüğü'nde çalışmaktadır.