

47068



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVAPORATİF SOĞUTMA

Mak. Müh. Cengiz ÖZBUĞAN

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Isı Proses Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

: Yrd. Doç. Dr. Galip TEMİR

İSTANBUL, 1995

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
TEZ YAKLAŞIM MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ	.....	IV
ŞEKİL LİSTESİ	.....	VI
TEŞEKKÜR	.....	VIII
TÜRKÇE ÖZET	.....	IX
YABANCI DİLDE ÖZET	.....	X
BÖLÜM 1. GİRİŞ	.....	1
BÖLÜM 2. PSİKROMETRİ	.....	2
2.1. Kuru Termometre Sıcaklığı (T)	.....	3
2.2. Yaş Termometre Sıcaklığı (Ty)	.....	3
2.3. İzafi Nem (ϕ)	.....	4
2.4. Özgül Nem (x)	.....	4
2.5. Mutlak Nem (c)	.....	5
2.6. Nemli Havanın Entalpisi (h_h)	.....	5
2.7. Hissedilir Isı	.....	5
2.8. Gizli Isı	.....	6
2.9. Çiğ Noktası	.....	6
2.10. Isı ve Kütle Transferi	.....	6
2.11. Adyabatik Doyma Sıcaklığı	.....	6
2.12. Psikrometrik Tablo	.....	9
BÖLÜM 3. DİREKT EVAPORATİF SOĞUTMANIN TEORİSİ	.....	11
3.1. Havanın Evaporatif Soğutucuda Uğradığı Değişimin Psikrometrik Diyagramda Gösterilmesi	.....	11

	3.2. Havanın Soğutucudan Çıkış Şartlarının Bulunması	15
	3.3. Direkt Evaporatif Soğutma İşleminin Etkenliği	20
	3.4. Direkt Evaporatif Soğutmanın Sınırları	21
	3.5. İdeal Evaporatif Soğutma.....	21
	3.6. İdeal Olmayan Evaporatif Soğutma.....	22
	3.6.1. Su Sıcaklığının, Havanın Girişteki Kuru ve Yaş Termometre Sıcaklıkları Arasında Olması Hali	22
	3.6.2. Su Sıcaklığının, Havanın Girişteki Kuru Termometre Sıcaklığının Üzerinde Olması Hali	23
	3.7. Evaporatif Olarak Soğutulan Havanın Mahal İçindeki Davranışı	25
BÖLÜM	4. DİREKT EVAPORATİF SOĞUTMANIN KULLANILABİLECEĞİ BÖLGELERİN BELİRLENMESİ	27
	4.1. Konfor ve Konforu Etkileyen Faktörler.....	27
	4.2. Efektif Sıcaklıklar ve Konfor Bölgesi.....	28
	4.3. Evaporatif Soğutmada İzin Verilen İzafi Nem ve Hava Hızları	29
	4.4. Evaporatif Soğutma İşlemiyle Elde Edilecek Başarının İklim Şartlarına Göre Belirlenmesi.....	30
	4.4.1. Evaporatif Soğutmanın Uygulanabileceği İklim Şartlarının Global Olarak İfadesi.....	30
	4.4.2. Konfor Sağlayan Sistemin Özellikleri.....	31
	4.4.3. Evaporatif Soğutmada Konfor Hesaplama Diyagramı	32

	4.4.4. Kısmi Konforu Sağlayan Sistemin Özellikleri .	34
	4.4.5. Konfor ve Kısmi Konforu Sağlayan İklim Şartlar	34
BÖLÜM	5. DİREKT EVAPORATİF SOĞUTUCU ÇEŞİTLERİ	39
	5.1. Su Püskürtmeli Evaporatif Soğutucu	39
	5.2. Islatılmış Yüzeyli Tip Evaporatif Soğutucu	40
	5.3. Döner Silindirli Evaporatif Soğutucu	42
BÖLÜM	6. İNDİREKT EVAPORATİF SOĞUTMA	44
	6.1. Türkiye’de Bazı Şehirlerde Evaporatif Soğutucunun İncelenmesi	46
BÖLÜM	7. YENİ KULLANIM ALANLARINDA EVAPORATİF SOĞUTMA	48
	7.1. Kümes Hayvancılığında Soğutma	48
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	.....	53
KAYNAKLAR	.....	54
ÖZGEÇMİŞ	.....	55

SEMBOL LİSTESİ

T ($^{\circ}\text{C}$) : Kuru termometre sıcaklığı

T_y ($^{\circ}\text{C}$) : Yaş termometre sıcaklığı

ϕ : İzafi nem

P_b (bar) : su buharı kısmi basıncı

P_h (bar) : kuru hava kısmi basıncı

x (gr/kgKH) : özgül nem

c (kg/m^3) : mutlak nem

h_h (kcal/kgKH) : Nemli havanın entalpisi

C_{ph} (kcal/kg $^{\circ}\text{C}$) : Kuru havanın özgül ısısı

C_{pb} (kcal/kg $^{\circ}\text{C}$) : su buharının özgül ısısı

h_{fg} (kcal/h) : suyun gizli ısısı

h : Hava akımı ile ıslak yüzey arasındaki konveksiyonla ısı transferi katsayısı

T_{∞} ($^{\circ}\text{C}$) : Hava akımının sıcaklığı

T_y ($^{\circ}\text{C}$) : Rejim halinde yüzeydeki doymuş hava filmi sıcaklığı

m_b : Birim alandan buharlaşan suyun kütleli debisi (kg/h)

h : Kütle geçiş katsayısı

g_h (kg/m^3) : Havanın yoğunluğu

X_y (kg/kgKH) : Yüzeydeki doymuş hava filminin özgül nem

X_{∞} (kg/kgKH) : Hava akımının özgül nemi

C_{p_m} (kcal/kg $^{\circ}\text{C}$) : Nemli havanın özgül ısısı

h_{h2} (kcal/kgKH) : Havanın çıkıştaki entalpisi

h_{h1} (kcal/kgKH) : Havanın girişteki entalpisi

h_w (kcal/kgKH) : Sisteme giren havanın yaş termometre sıcaklığındaki suyun entalpisi

x_2 (gr/kgKH) : Havanın çıkıştaki özgül nemi

x_1 (gr/kgKH) : Havanın girişteki özgül nemi

G_H (kg/h) : Havanın, birim kesit alanı başına kütleli debisi

s (m^2) : Cihazın kesit alanı

Z_t (m) : Isı ve kütle transferinin gerçekleştiği uzunluk

a_h (m^2) : Birim hacim başına ısı transferi alanı



ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2 - 1 : Yaş Termometre Sıcaklığının Ölçülmesi
- Şekil 2 - 2 : Adyabatik Doyurucu
- Şekil 2 - 3 : Psikrometrik Tablo
- Şekil 3 - 1 : Sprey Tipi Evaporatif Soğutucu
- Şekil 3 - 2 : Direkt Evaporatif Soğutmada Hava ve Su Sıcaklıklarının Değişimi
- Şekil 3 - 3 : Havanın Evaporatif Soğutucu İçinde Uğradığı Değişim
- Şekil 3 - 4 : İklimlendirme Cihazı
- Şekil 3 - 3.1 : Etkenliğin Bulunması
- Şekil 3 - 5 : İdeal Direkt Evaporatif Soğutmanın Psikrometrik Diyagramda Gösterilmesi
- Şekil 3 - 6 : Su Sıcaklığının, Havanın Girişteki Kuru ve Yaş Termometre Sıcaklıkları Arasında Olması Hali İçin Gerekli Psikrometrik Diyagram
- Şekil 3 - 6.2 : Su Sıcaklığının Havanın Girişteki Kuru Termometre Sıcaklığının Üzerinde Olması Hali İçin Geçerli Psikrometrik Diyagramı
- Şekil 3 - 7 : Havanın Mahal İçindeki Değişimin Psikrometrik Diyagramda Gösterilmesi
- Şekil 4 - 1 : ASHRAE Konfor Diyagramı
- Şekil 4 - 2 : Konfor Hesaplama Diyagramı
- Şekil 5 - 1 : Sprey Tipi Evaporatif Soğutucu
- Şekil 5 - 2 : Islatılmış Yüzeyle Tip Soğutucu
- Şekil 5 - 3 : Su Sıçratmalı Paket Tip Hava Soğutucu
- Şekil 5 - 4 : Döner Silindir Evaporatif Soğutucu

Şekil 6 - 1 : Doğrudan Olmayan Evaporatif Soğutucuların, Ön Soğutucu Olarak Kullanılması

Şekil 6 - 2 : Doğrudan Olmayan Evaporatif Soğutucunun, Bir İklimlendirme Santralının Ön Kademesi Olarak Kullanılması

Şekil 6 - 3 : Türkiye’de Bazı Şehirlerde Yaz Yapılacak İki Kademeli Buharlaştırma Sonunda Serinleticiden Çıkan Hava Şartları

Şekil 6 - 4 : Türkiye’deki Bazı Şehirlerde Salon Duyulur Isı Oranının % 95 ve İç Sıcaklığının 25.5 °C Olması Durumunda Ulaşılan Salon Şartları

Şekil 7 - 1 : Pompalı Bir Sistemle Evaporatif Soğutma

Şekil 7 - 2 : Proseste Psikrometrik Diyagramı

Şekil 7 - 3 : Evaporatif Olarak Soğutulan Mahalin Sıcaklık Dağılımı

TEŞEKKÜR

Enerjinin çok değerli olduğu günümüzde, insanlar daha az enerji ile çalışan cihazları geliştirme ve kullanma yoluna gidiyorlar. Ülkemizde evaporatif soğutucu kullanabilecek bölgelerde, mekanik soğutmalı klimaların yerine evaporatif soğutucu tercih ediliyor.

Bu çalışmanın yapılmasında gösterdiği yakın ilgi ve yardımlarından dolayı değerli hocam **Sayın Yrd. Doç. Dr. Galip TEMİR**'e, Kaynakların oluşmasında büyük bir özveri ile yardımlarda bulunan NURPA A.Ş. Proje Bölümünden **Filiz TEKCANOĞLU**, ve TÜBİTAK Marmara Merkezi Enerji Sistemleri Bölümü'nden **Yücel ERDALLI**'ya ve FORM A.Ş.'den **Mehmet ATALAY**'a teşekkür ederim.

İstanbul 1995

Cengiz ÖZBUĞAN

ÖZET

Evaporatif soğutma, suyun buharlaştırma yoluyla hava soğutma işlemine verilen isimdir.

Suyun, doğrudan doğruya şartlandırılarak hava içine buharlaştırılması ile yapılan soğutmaya, direkt evaporatif soğutma denir. Direkt evaporatif soğutma, en eski ve en çok bilinen evaporatif soğutma şeklidir. Suyun, şartlandırılacak hava bulunan rijit bir yüzey üzerinden başka bir hava kütesine buharlaştırılmasıyla yapılan soğutmaya, indirekt evaporatif soğutma adı verilir. İndirekt evaporatif soğutmada, şartlandırılacak hava ve rijit yüzey sıcaklıkları farklı olduğundan, bu ikisi arasında meydana gelen ısı transferi sonucu hava sıcaklığı azalır.

Özellikle yaş termometre sıcaklığını 24°C değerinden küçük, kuru termometre sıcaklığının 32°C değerinden büyük olduğu havanın soğutulması problemlerinde evaporatif soğutma yöntemi daima gözönünde tutulması gereken bir sistemdir.

ABSTRACT

Evaporative air cooling evaporates water into an airstream. When water evaporates into the air being cooled, it creates direct evaporative cooling, the oldest and most common form.

However, when the evaporation occurs separately and the air is cooled without humidity gain, the process is indirect evaporative cooling.

Evaporative cooling is feasible in localities where high dry-bulb temperatures (32°C and over) occur simultaneously with low wetbulb temperatures (24°C and under).

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Evaporatif soğutma, suyun buharlaştırma yoluyla hava soğutma işlemine verilen isimdir.

Suyun, doğrudan doğruya şartlandırılarak hava içine buharlaştırılması ile yapılan soğutmaya, direkt evaporatif soğutma denir. Direkt evaporatif soğutma, en eski ve en çok bilinen evaporatif soğutma şeklidir. Suyun şartlandırılacak hava içinde değil, altında şartlandırılacak hava bulunan rijit bir yüzey üzerinden başka bir hava kütesine buharlaştırılmasıyla yapılan soğutmaya, indirekt evaporatif soğutma adı verilir. İndirekt evaporatif soğutmada, şartlandırılacak hava ve rijit yüzey sıcaklıkları farklı olduğundan, bu ikisi arasında meydana gelen ısı transferi sonucu hava sıcaklığı azalır.

Havayı soğutan cihazlara evaporatif soğutucu adı verilir. Evaporatif soğutucudan geçirilen hava, daha sonra şartlandırılacak mahale gönderilir. Evaporatif soğutma, mahal kuru termometre sıcaklığını azaltmak yoluyla insanlar için konforlu bir ortam sağlamak amacıyla kullanıldığı gibi, seralarda bitkilerin büyümesi için gerekli şartların sağlanmasında, özellikle tekstil fabrikalarında çeşitli mamullerin üretimi esnasında izafi nem ve/veya kuru termometre sıcaklığının belirli değerler arasında tutulması amacıyla da kullanılabilir.

Evaporatif soğutma, mekanik soğutmalı bir klima ile yapılan soğutmayla aynı etkiyi göstermesine rağmen, ilk yatırım giderleri bakımından %70'lere işletme masrafları bakımından %80'lere ulaşan oranlarda daha ucuzdur. Bu özelliği ile klima ile soğutmanın ekonomik olmadığı; ev, fabrika ve büroların soğutulmasında kullanılabilir.

Evaporatif soğutma, doğada çağlayanların yakınında, yazın yağın sağanak yağmurlarda, hatta ıslak deri üzerinde görülebilir. Eski çağlarda insanlar, büyük olasılıkla bunları görerek, bu olaydan yararlanma yoluna gitmişlerdir.

Evaporatif soğutma, eski mısırlılar tarafından bilinmekteydi. 19. yüzyılda ortaya çıkarılan ve Millattan Önce 2500 yıllarına ait oldukları sanılan freskler, içi su ile dolu kavonozları soğutmak amacıyla onları yelpazeleyen köleleri göstermektedir. Benzer şekilde Amerika'da asker mataraları, keten beziyle kaplanmaktaydı. Islak keten bezi, matara içindeki suyun soğumasını sağlıyordu.

İran'da ev ve binalar, çoğu kez evaporatif yolla soğutulmaktaydı. Odaların çoğu yarı yeraltında yapılır, böylece güneş radyasyonundan korunulurdu. Birçok evin içinde havuz bulunurdu. Rüzgar, evin üzerindeki bir kanaldan içeriye girer, gelen hava yüzeyinden geçirilerek soğutulur, yeraltında yapılır ve benzer şekilde soğutulurdu.

İlk modern evaporatif hava soğutucusu ise, Dr. Willis H. Carrier tarafından dizayn edilmiş ve 1906'da patenti alınmıştır. Carrier'in evaporatif soğutucusu, çok sayıda basınçlı püskürtme nozullardan oluşan bir püskürtme odasından ibaretti. Bir fan tarafından çekilen çevre havası soğutucu içinden geçerken, üzerine nozullardan su püskürtülerek soğuması sağlanıyordu.

Kapiler tipteki ilk evaporatif soğutucu ise, 1935 yılında Walter L. Fleisher tarafından dizayn edilmiştir. Bu ilk kapiler evaporatif soğutucu, gevşek olarak paketlenmiş ve düşük basınçlı nozullar tarafından oluşmaktaydı. Hava, bir fan tarafından çevreden çekilmekte ve cam elyafi arasından geçirilerek soğuması sağlanmaktaydı.

2. BÖLÜM

PSİKROMETRİ

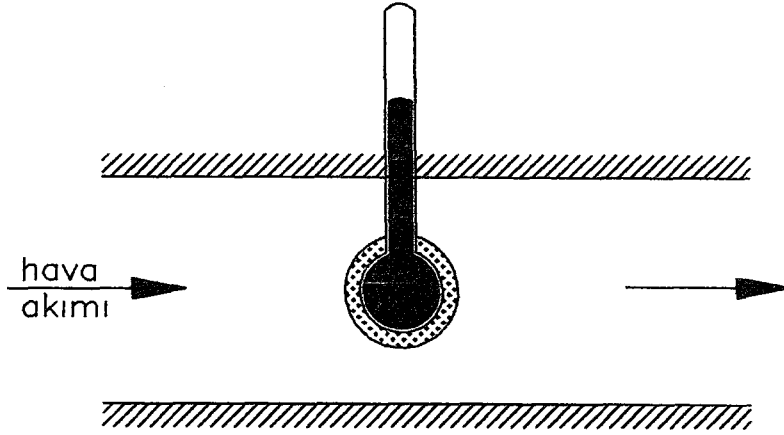
Evaporatif soğutucularda gerçekleşen olayları matematiksel olarak ifade edebilmek için bazı terimlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu terimler aşağıda verilmiştir.

2.1. Kuru Termometre Sıcaklığı (T)

Normal bir termometre ile yani haznenin etrafı kuru olup havayla direk temas halinde olan bir termometre ile ölçülen hava sıcaklığına havanın kuru termometre sıcaklığı denir.

2.2. Yaş Termometre Sıcaklığı (T_y)

Haznesi etrafına ıslak bez veya pamuk sarılmış ve havanın yeter hızda ($S=10$ m/s) aktığı bir ortama yerleştirilmiş termometre ile ölçülen sıcaklığa, havanın yaş termometre sıcaklığı denir.



Şekil 2-1: Yaş Termometre Sıcaklığının Ölçülmesi

2.3. İzafi Nem (ϕ)

Dalton Kanununa göre, kuru hava - su buharı karışımından oluşan nemli havanın basıncı, nemli havayı oluşturan kuru hava ve su buharı kısmi basınçlarının toplamına eşittir.

P_b ve P_h , sırasıyla su buharını ve kuru havanın kısmi basınçları olmak üzere nemli havanın basıncı,

$$P = P_h + P_b \quad (2.1)$$

eşitliğinden bulunur. İzafi nem (ϕ) ise, T sıcaklığına sahip hava içindeki su buharı kısmi basıncının (P_b), aynı sıcaklığa denk düşen su buharı doyma basıncına ($P_{d\tau}$) oranı olarak tanımlanır.

$$\phi = P_b / P_{d\tau} \quad (2.2)$$

2.4. Özgül Nem (x)

Nemli havanın özgül nemi (x), nemli hava içindeki su buharı kütlesinin (m_b), kuru hava kütlesine (m_h) oranı olarak tanımlanır.

$$x = m_b / m_h \quad (2.3)$$

Mükemmel gaz kanununun kuru hava ve su buharı için ayrı ayrı uygulanmasıyla,

$$x = 0,622 \frac{P_b}{P - \phi P_{d\tau}} \quad (2.4)$$

eşitliği elde edilir.

2.5. Mutlak Nem (c)

Birim hacimdeki nemli hava içinde bulunan su buharı kütlesidir.

$$c = m_b / V \quad (2.5)$$

Mutlak nem, konsantrasyon olarak da isimlendirilebilir. Mükemmel gaz kanunu su buharı için uygulanırsa, Rb su buharının kısmi basıncı olmak üzere,

$$c = P_b / (P_{bT}) \quad (2.6)$$

eşitliği elde edilir.

2.6. Nemli Havanın Entalpisi (h_h)

(1+x) kg. nemli havanın entalpisi,

$$h_h = c_{ph} \cdot T + x (h_{fg} + C_{pb} \cdot T) \quad (2.7)$$

denklemini ile ifade edilir. Bu denklemde,

h_h : 1 kg. kuru hava ve x kg. su buharından oluşan (1+x) kg. nemli havanın entalpisi

c_{ph} : kuru havanın özgül ısısı

c_{pb} : su buharının özgül ısısı

T : havanın sıcaklığı

x : havanın özgül nemi

h_{fg} : suyun gizli ısısı

2.7. Hissedilir Isı

Herhangi bir cismin sıcaklığını yükseltmek için verilmesi gereken lüzumlu ısı miktarına (duyulur ısı) denir. Burada sıcaklık değişikliği söz konusu olduğundan, bu ıyı duyumlarımızla algılarız.

2.8. Gizli Isı

Herhangi bir cismin sıcaklığı değişmeksizin faz durumunu değiştirmek için verilen veya alınan ısı miktarına gizli ısı denir. Gizli ısı sıcaklığın bir fonksiyonudur.

2.9. Çiğ Noktası

Belirli şartlarda bulunan bir hava - buhar karışımının; ihtiva ettiği su buharı ağırlığı değişmeksizin, aynı barometrik şartlarda tamamen doymuş hale geldiği sıcaklık derecesine çiğ noktası denir.

2.10. Isı ve Kütle Transferi

Doymamış hava - su buharı karışımından oluşan bir nemli hava kütlesi ile bir su tabakası, diğer etkilerden termal yönden izole edilmiş bir şekilde, serbest olarak temas halinde olsun. Bu ikisi arasındaki sıcaklık farkına göre ısı transferi; su tabakası üzerinde oluşan doymuş hava filmi ile çevresindeki doymamış nemli hava arasındaki su buharı kısmi basınçlarının farkına göre kütle transferi meydana gelir. Isının sıcak bölgeden soğuk bölgeye alınmasına benzer şekilde, kütle de su buharı kısmi basıncının yüksek olduğu bölgeden düşük olduğu bölgeye doğru akacaktır. Birbirini etkileyen ısı ve kütle transferi, sırasıyla sıcaklıklar ve su buharı kısmi basınçları birbirine eşit olana kadar devam eder. Bu denge halinde hava, su buharına doymuştur. Başka bir deyişle izafi nemi bire eşittir. Doymuş hava içindeki su buharının miktarı, bu son andaki sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça daha fazla su buharı hava içinde tutulabilir.

2.11. Adyabatik Doyma Sıcaklığı

Nemli havanın herhangi bir durumu için, öyle bir sıcaklık mevcuttur ki, sıvı (yahut katı) halde bulunan su, hava içersinde buharlaşmasıyla havayı tamamen aynı sıcaklıkta adyabatik olarak doymuş hale getirebilir. Bu sabit sıcaklık derecesine adyabatik doyma sıcaklığı denilir.

Suyun buharlaşabilmesi için, ısı alması gereklidir. Başlangıçta bu ısının bir kısmı sudan, bir kısmı da havadan çekilir. Fakat su miktarı sınırlı olduğundan, su rejim haline tekabül eden bir sıcaklığa kadar derhal soğur. Rejim haline ulaşıldıktan sonra gerekli

ısının tamamı havadan çekilecektir. Rejim halinde, yüzey üzerindeki doymuş hava filmi ile yüzeydeki su sıcaklığı birbirine eşittir. Bu durumda havadan çekilen ısı, yüzeydeki suyun buharlaşmasına harcanır. Bu olay formüle edilirse;

$$h (T_{\infty} - T_y) = m_b \cdot h_{fg} \quad (2.8)$$

h : Hava akımı ile ıslak yüzey arasındaki konveksiyonla ısı transferi katsayısı

T_{∞} : Hava akımının sıcaklığı

T_y : Rejim halinde yüzeydeki doymuş hava filmi sıcaklığı

m_b : Birim alandan buharlaşan suyun kütleli debisi

h_{fg} : Suyun T_y yüzey sıcaklığındaki gizli ısı

Birim alan başına buharlaşan suyun kütleli debisi, aşağıdaki gibi verilmektedir. /2/

$$m_b = h' \cdot g_h (x_y - x_{\infty}) \quad (2.9)$$

Burada,

h' : Kütle geçiş katsayısı

g_h : Havanın yoğunluğu

x_y : Yüzeydeki doymuş hava filminin özgül nemi

x_{∞} : Hava akımının özgül nemi

Türbülanslı akışta, konveksiyonla ısı transferi katsayısı ve kütle geçiş katsayısı arasındaki andırım nedeniyle,

$$h' = h / g_h \cdot c_{pm} \quad (2.10)$$

yazılabilir. /2/ Burada c_{pm} , nemli havanın özgül ısıdır.

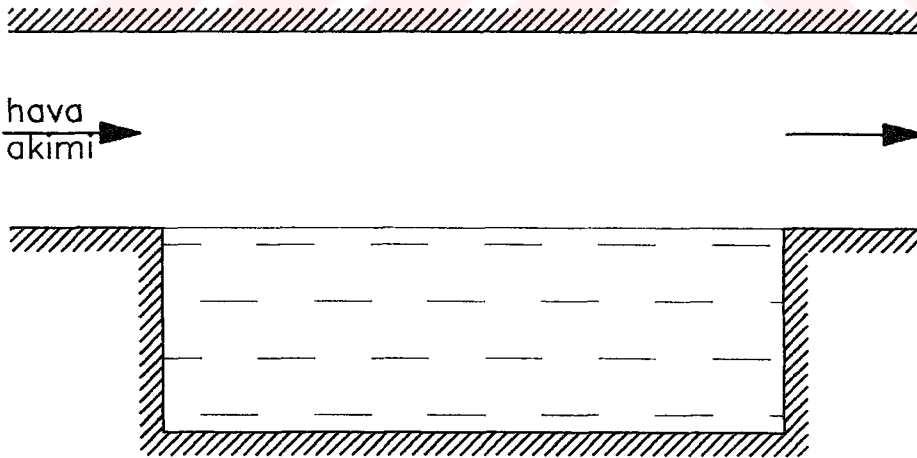
Denklem (2.10)'daki h değeri, (2.9)'daki yerine konular ve (2.8) denklemi yeni hale göre tekrar düzenlenirse,

$$c_{pm} (T_{\infty} - T_y) = (x_y - x_{\infty}) h_{fg} \quad (2.11)$$

elde edilir.

Bu şekilde tarif edilen T_y sıcaklığına, adyabatik doyma sıcaklığı adı verilir. Adyabatik doyma sıcaklığı, aslında yaş termometre sıcaklığının teorik değeridir. Bu nedenle adyabatik doyma sıcaklığına, termodinamik yaş termometre sıcaklığı da denir.

Adyabatik doyma işlemi, akan bir hava kütlesi içine su püskürtülerek de yapılabilir. Bu durumda hava, nozullardan püskürtülen atomize halindeki su tanecikleri arasından geçirilerek soğutulur. Devamlı aynı su kullanıldığı için, havuzda toplanan suyun sıcaklığı, havanın adyabatik doyma sıcaklığına eşittir. Aşağıdaki şekil, adyabatik doyma işleminde kullanılan bir adyabatik doyurucuyu göstermektedir.



Şekil 2 - 2 : Adyabatik Doyurucu

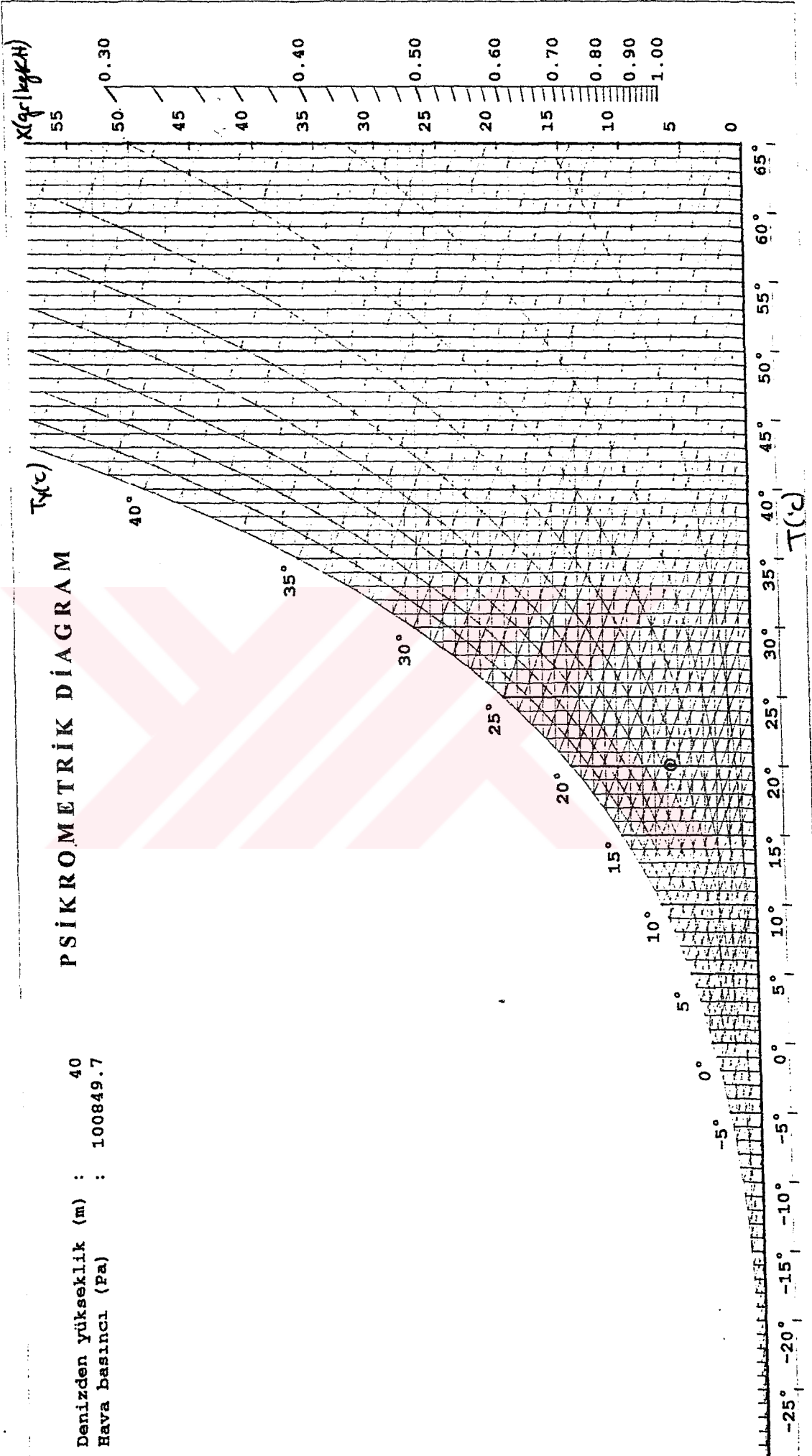
2.12. Psikrometrik Tablo

İklimlendirme işlemlerinde hesapları kolaylaştırmak amacıyla, Dr. Carrier tarafından önerilen psikrometrik tablo yardımıyla, iki özelliği bilinen havanın diğer gerekli özellikleri bulunabilir. Ayrıca diyagram üzerinde havanın tabî tutulduğu çeşitli prosesler de gösterilebilir. Şekil 2 - 3 , standard bir psikrometrik tabloyu göstermektedir.



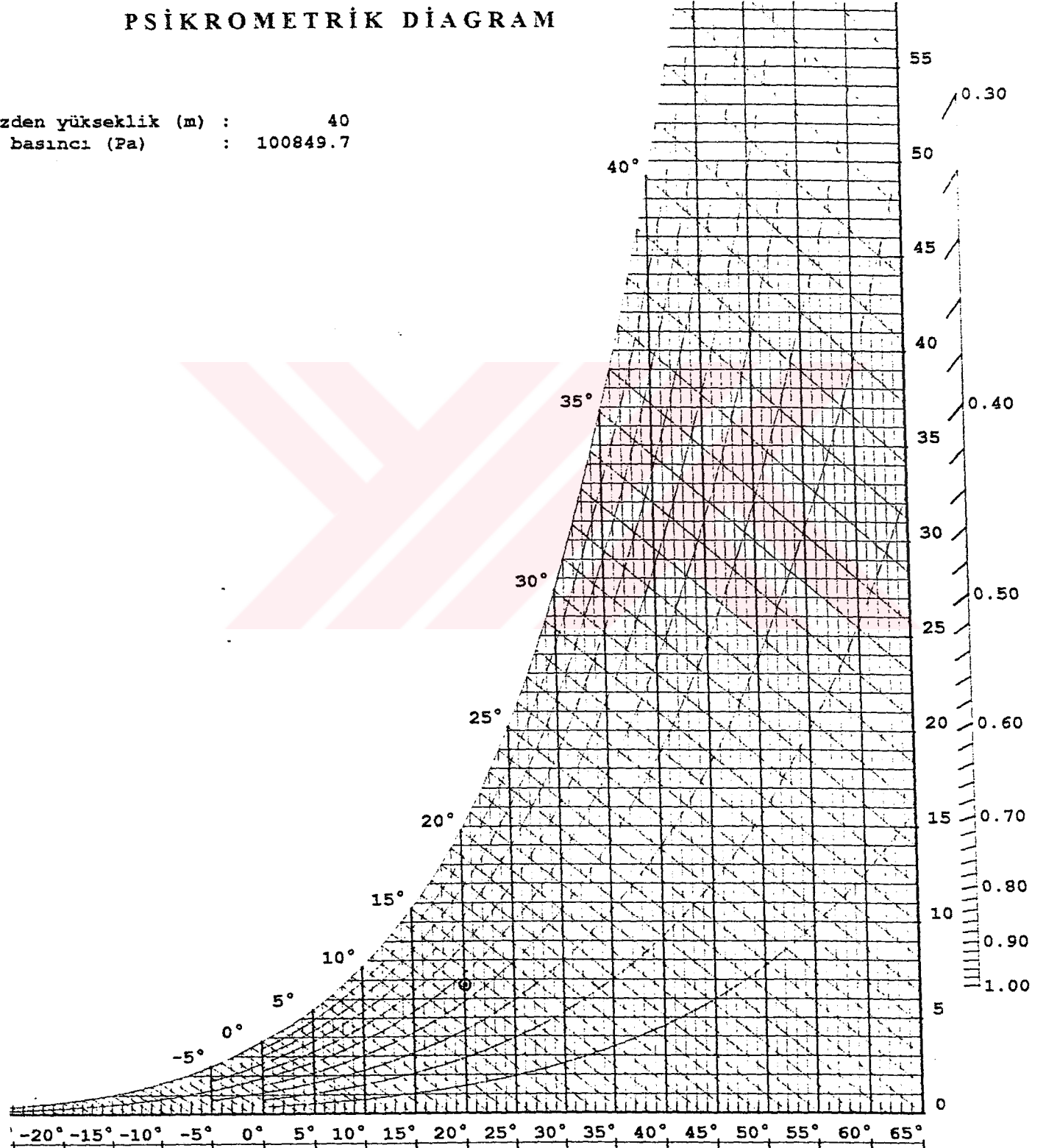
PSIKROMETRIK DİAGRAM

Denizden yükseklik (m) : 40
Hava basıncı (Pa) : 100849.7



PSİKROMETRİK DİAGRAM

zden yükseklik (m) : 40
basıncı (Pa) : 100849.7



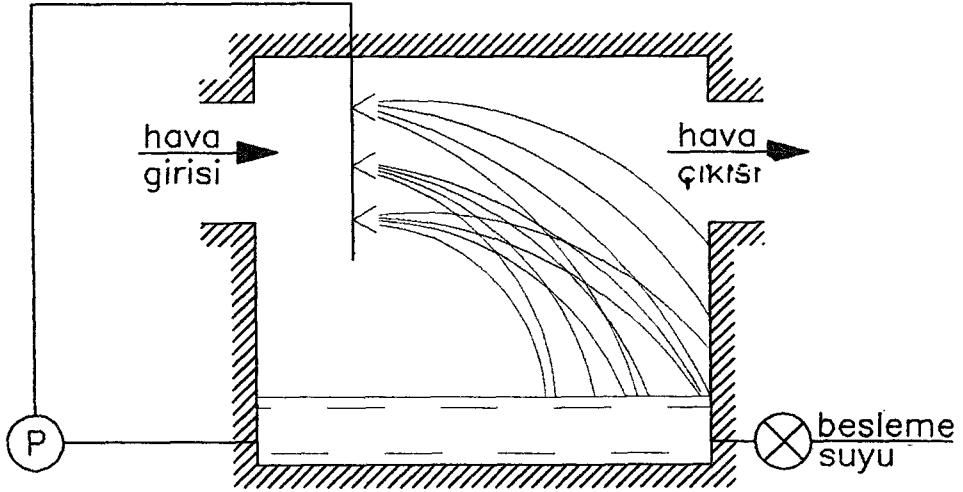
3. BÖLÜM

DİREKT EVAPORATİF SOĞUTMANIN TEORİSİ

3.1. Havanın Evaporatif Soğutucuda Uğradığı Değişimin Psikrometrik Diyagramda Gösterilmesi

Direkt evaporatif soğutma, aslında bir tür adyabatik doyma olayıdır. Temel prensip, havanın hissedilir ısını gizli ısıya dönüştürmek, böylece kuru termometre sıcaklığını azaltmaktır.

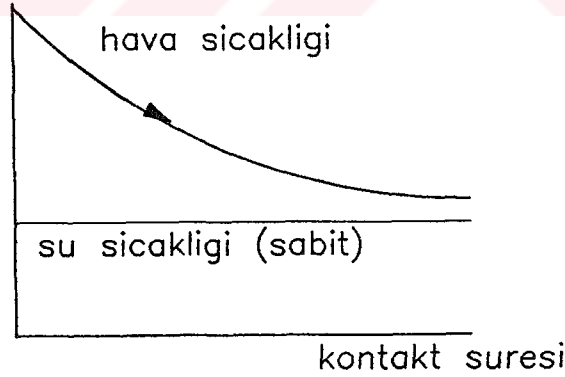
Evaporatif soğutma işleminde, doymuş halde olmayan hava, kendisinden daha soğuk olan suyla temas ettirilir. Bu işlemin gerçekleştirildiği bölge, çevreden gelecek ısı kazancına izole edilmiştir.



Şekil 3 - 1 : Sprey Tipi Evaporatif Soğutucu

Hava su suyun teması şekil 3 - 1'de olduğu gibi bir fan tarafından çekilen çevre havasının nozullardan püskürtülen su içinden geçirilmesiyle veya havanın suyla ıslatılan gözenekli maddeler arasından geçirilmesiyle sağlanabilir.

Sisteme giren havanın sahip olduğu hissedilir ısı, suyu buharlaştırmada kullanılır. Sonuçta havanın sıcaklığı düşmekle birlikte içerdiği su buharı miktarı, dolayısıyla gizli ısı artar. Hava içindeki artan su buharı, havanın hem özgül, hem de izafi nemini yükseltir. Hissedilir ısının gizli ısıya dönüşmesi olayı, gerekli şartlar sağlandığı takdirde, hava doymuş hale gelene kadar, başka bir deyişle hava ve su sıcaklıkları birbirine eşit olana kadar devam edebilir. Bu prosese, dışarıdan hiçbir ısı girişi veya çıkışı olmadığından ve soğuma olayı yalnızca havanın hissedilir ısısının dönüşümüyle sağlandığından, adyabatik doyma adı da verilebilir. Direkt bir evaporatif soğutucuda hava ve su sıcaklıklarında meydana gelecek değişim, şekil 3 - 2'de gösterilmiştir.



Şekil 3 - 2 : Direkt Evaporatif Soğutmada Hava ve Su Sıcaklıklarının Değişimi

Adyabatik doyma, devamlı aynı suyun hava ile temasının sağlandığı sistemlerde geçerlidir. Sadece hava içine buharlaşan su kadar sisteme su ilave edilir. Olay boyunca havayla temasta olan suyun sıcaklığı, havanın sisteme girişteki yaş termometre sıcaklığına eşittir.

Şekil 3 - 1'deki soğutmaya m_h kütleli debisinde hava girdiği düşünülün. Sistemin tümü kontrol hacmi seçilerek enerji dengesi yazılırsa,

$$m_h (h_{h2} - h_{h1}) = m_b \cdot h_w \quad (3.1)$$

h_{h2} : Havanın çıkıştaki entalpisi

h_{h1} : Havanın girişteki entalpisi

m_b : Hava içine buharlaşan suyun kütleli debisi

h_w : Sisteme giren havanın yaş termometre sıcaklığındaki suyun entalpisi

$$h_w = C_w \cdot T_y \quad (3.2)$$

$$m_b = m_h (x_2 - x_1) \quad (3.3)$$

C_w : Suyun özgül ısı

T_y : Havanın girişteki yaş termometre sıcaklığı

x_2 : Havanın çıkıştaki özgül nemi

x_1 : Havanın girişteki özgül nemi

Denklem (3.1)'deki m_b yerine, (3.3)'teki eşdeğeri yazılırsa,

$$\frac{h_{h2} - h_{h1}}{x_2 - x_1} = h_w = c_w \cdot T_y \quad (3.4)$$

denklemini elde edilir.

$$\Delta h = h_{h2} - h_{h1}$$

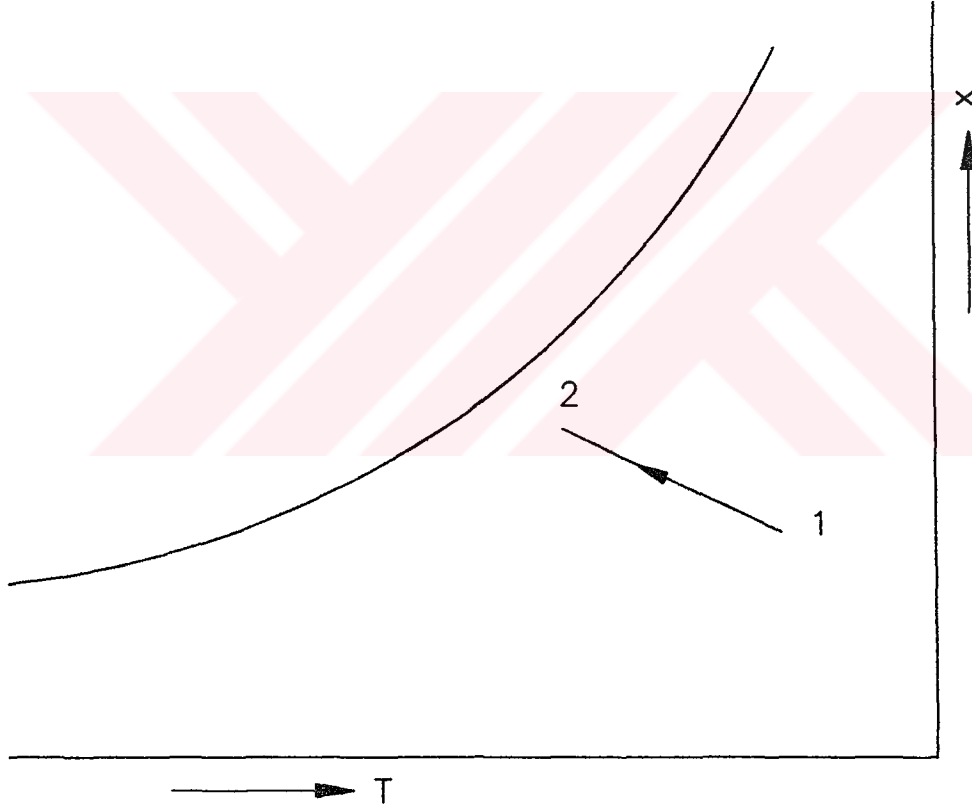
$$\Delta x = x_2 - x_1$$

olmak üzere havanın soğutucuda uğradığı entalpi değişimi,

$$\Delta h = \Delta x \cdot C_w \cdot T_y \quad (3.5)$$

olarak bulunur. Bu olaya adyabatik doyma adı verilse de, Denklem (3.5)'den de anlaşılacağı üzere soğutucudan çıkan hava bir miktar entalpi kazanır. Fakat havanın entalpisindeki bu değişim çok küçük olduğundan, pratikte bu artış ihmal edilir ve olayın sabit entalpide gerçekleştiği kabul edilir.

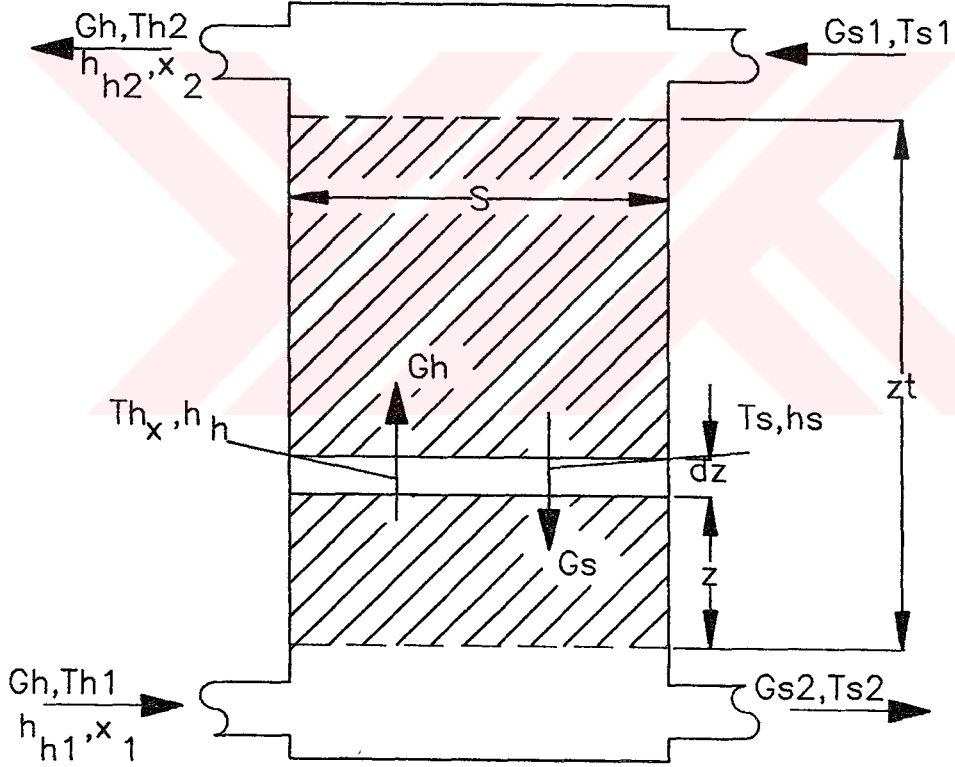
Havanın evaporatif soğutucu içine uğradığı değişim, şekil 3 - 3'deki psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3 - 3 : Havanın Evaporatif Soğutucu İçinde Uğradığı Değişim

3.2. Havanın Soğutucudan Çıkış Şartlarının Bulunması

Su ve havanın temas ettiği sistemlerde geçerli olan genel denklemleri elde edebilmek için, şekil 3 - 4'de görülen sistemi göz önüne alalım. Bu sistem içinde ısı ve kütle transferin gerçekleşen herhangi bir iklimlendirme cihazı olabilir.



Şekil 3 - 4 : İklimlendirme Cihazı

- T_h : Havanın, göz önüne alınan hacim parçasındaki sıcaklığı
 h_h : Havanın göz önüne alınan hacim parçasındaki entalpisi
 x : Havanın, göz önüne alınan hacim parçasındaki özgül nemi.
 G_h : Havanın, birim kesit alanı başına kütleli debisi
 T_{h1} : Havanın, sisteme girişteki sıcaklığı
 h_{h1} : Havanın, sisteme girişteki entalpisi
 x_1 : Havanın, sisteme girişteki özgül nemi
 T_{h2} : Havanın, sistemden çıkıştaki sıcaklığı
 h_{h2} : Havanın, sistemden çıkıştaki entalpisi
 x_2 : Havanın, sistemden çıkıştaki özgül nemi
 G_s : Suyun, göz önüne alınan hacim parçasındaki birim kesit alanı başına kütleli debisi
 h_s : Suyun, göz önüne alınan hacim parçasındaki entalpisi
 T_s : Suyun, göz önüne alınan hacim parçasındaki sıcaklığı
 G_{s1} : Suyun, sisteme girişteki birim kesit alanı başına kütleli debisi
 T_{s1} : Suyun, sisteme girişteki sıcaklığı
 G_{s2} : Suyun, sistemden çıkıştaki birim kesit alanı başına kütleli debisi
 T_{s2} : Suyun, sistemden çıkıştaki sıcaklığı
 s : Cihazın kesit alanı
 z_t : Isı ve kütle transferinin gerçekleştiği uzunluk

Herhangi bir yükseklikte, tüm cihaz kesiti boyunca dz kalınlığında bir hacim elemanı alınsın. (Sdz) 'den oluşan bu hacim elemanı için enerji dengesi yazılırsa,

$$G_h \cdot dh_h = d(G_s h_s) \quad (3.6)$$

elde edilir. Şimdi de, su ve su üzerindeki doymuş hava filmi arasındaki ısı transferi yazılsın.

$$d(G_{sh_s}) = h_a(T_s - T_i) a_h d_z \quad (3.7)$$

Bu denklemde,

h_a : Sudan doymuş hava filmine konveksiyonla ısı transferi katsayısı

T_i : Doymuş hava filminin sıcaklığı

a_h : Birim hacim başına ısı transferi alanı

Doymuş hava filminden havaya olan ısı transferi ise,

$$G_h \cdot c_{pm} \cdot d T_h = h_b(T_i - T_h) a_h d_z \quad (3.8)$$

denklemi ile gösterilir. Bu denklemde,

h_b : Su üzerindeki doymuş hava filminden, havaya konveksiyonla ısı transferi katsayısı

c_{pm} : Havanın göz önüne alınan hacim parçacığındaki özgül ısı

Doymuş hava filminden havaya olan kütle transferi, aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$G_h d_x = h' (x_i - x) g_h a_m d_z \quad (3.9)$$

Bu denklemde,

h : Doymuş hava filminden havaya kütle geçiş katsayısı

x_i : Doymuş hava filminin özgül nemi

g_h : Havanın yoğunluğu

a_m : Birim hacim başına kütle transferi alanı

Birim hacim başına ısı ve kütle transferi alanları, birbirine eşit kabul edilebilir.

$$a_h \approx a_m = a \quad (3.10)$$

Bu durumda, (3.8) ve (3.9) denklemlerinden sırası ile aşağıdaki denklemler elde edilir :

$$\frac{dT_h}{T_i - T_h} = \frac{h_b \cdot a \cdot dz}{G_h \cdot c_{pm}} \quad (3.11)$$

$$\frac{d_x}{x_i - x} = \frac{hg_a dz}{G_h} \quad (3.12)$$

Evaporatif soğutma işleminde, su üzerinde bulunan doymuş hava filminin sıcaklığının, havanın sisteme girişteki yaş termometre sıcaklığına eşit olacağı göz önünde bulundurularak, (3.11) denklemi söz konusu durum için tekrar yazılsın.

$$\frac{dT_h}{T_y - T_h} = \frac{h_b \cdot a \cdot dz}{G_h \cdot c_{pm}} \quad (3.13)$$

T_y : Havanın sisteme girişteki yaş termometre sıcaklığı

Doymuş hava filminin özgül nemi, $\phi = 1$ izafi nemi ve $T = T_y$ yaş termometre sıcaklığı için bulunacak x_y özgül nemine eşit olacaktır.

$$\frac{d_x}{x_y - x} = \frac{hg_a dz}{G_h} \quad (3.14)$$

Hava içine karışan su buharından dolayı havanın kütleli debisinde meydana gelen değişim ihmal edilerek (3.13) denklemi integre edilirse, havanın soğutucudan çıkış sıcaklığı, diğer parametrelere bağlı olarak bulunabilir.

$$\int_{T_{h2}}^{T_{h1}} \frac{dT_h}{T_y - T_h} = \frac{h_b \cdot a}{G_h \cdot c_{pm}} \int_0^{z_i} dz \quad (3.15)$$

$$\ln \frac{T_{h2} - T_y}{T_{h1} - T_y} = - \frac{h_b a z_t}{G_h c_{pm}} \quad (3.16)$$

Denklem (3.15)'in sağ tarafı s ile çarpılıp bölünürse,

$$\ln \frac{T_{h2} - T_y}{T_{h1} - T_y} = - \frac{h_b a v_t}{m_h c_{pm}} \quad (3.17)$$

denklemini elde edilir. Bu denklemde,

v_t : Isı ve kütle transferinin gerçekleştiği cihaz hacmi

c_{pm} : Havanın cihaz içindeki ortalama özgül ısısı

m_h : Havanın kütleli debisi

Benzer şekilde (3.14) denklemi integre edildiğinde, havanın soğutucu çıkışındaki özgül nemi bulunabilir.

$$\int_{x_2}^{x_1} \frac{d_x}{x_y - x} = \frac{h_g a z_t}{G_h} \int_0^{z_t} d_z \quad (3.18)$$

$$\ln \frac{x_y - x_2}{x_y - x_1} = - \frac{h_g a z_t}{G_h} \quad (3.19)$$

Denklem (3.19)'un sağ tarafı s ile çarpılıp bölünürse,

$$\ln \frac{x_y - x_2}{x_y - x_1} = - \frac{h_g a v_t}{m_h} \quad (3.20)$$

denklemini elde edilir.

Havanın kuru termometre sıcaklığı ve özgül nemi bilindiğinde, gerekli diğer bütün özellikleri ilgili denklemlerden veya psikrometrik diyagramdan bulunabilir.

3.3. Direkt Evaporatif Soğutma İşleminin Etkenliği

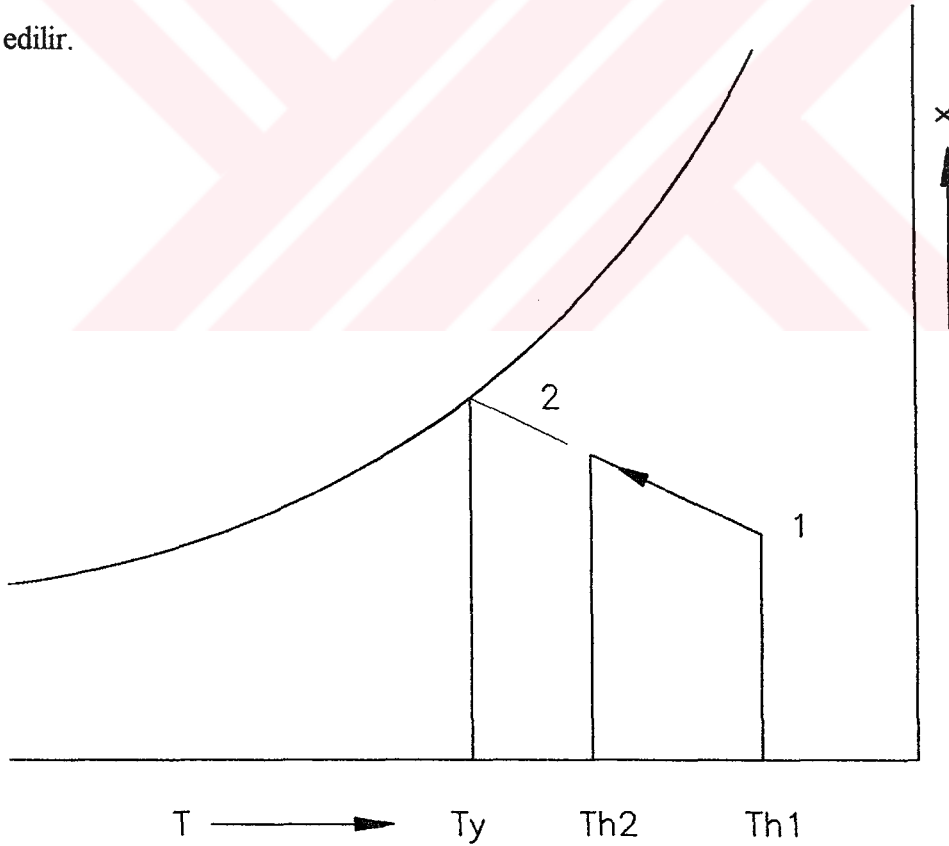
Direkt evaporatif soğutma işleminin etkenliği evaporatif soğutucu içinde hava sıcaklığındaki azalmanın, havanın soğutucuyu doymuş olarak terketmesi halinde uğrayacağı sıcaklık düşmesine oranı olarak tanımlanır. Buna göre etkenlik,

$$\varepsilon = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_y} \quad (3.21)$$

olarak yazılabilir. Denklem (3.17) düzenlenirse,

$$\varepsilon = 1 - \exp\left(\frac{-h_{av}}{c_{pm} \cdot m_h} \cdot t\right) \quad (3.22)$$

elde edilir.



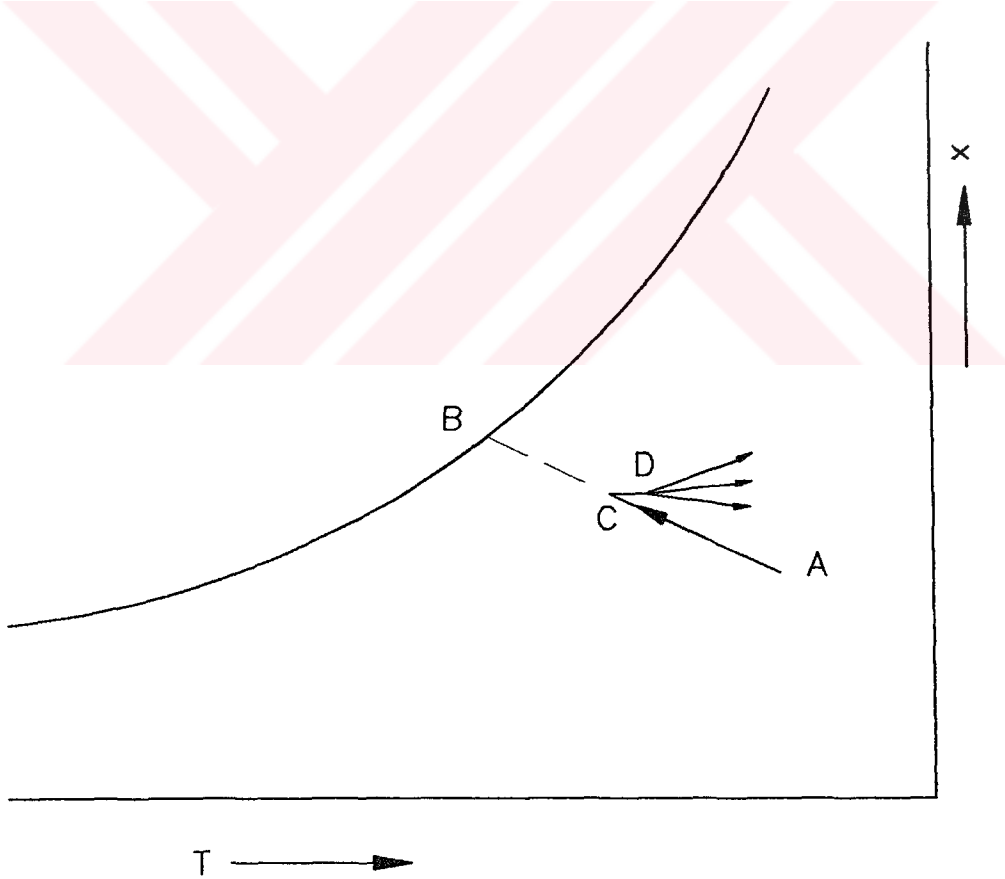
Şekil 3 - 3.1 : Etkenliğin Bulunması

3.4. Direkt Evaporatif Soğutmanın Sınırları

Evaporatif olarak soğutulan bir mahali konforlu bir hale getirmek için mahal havasından alınması gereken hissedilir ısı miktarı, aynı havayı doymuş hale getirmek için gerekli olan gizli ısı miktarını geçmemelidir. Örneğin %55 izafi neme sahip hava, kuru havaya göre daha az su buharı, dolayısıyla daha az gizli ısı absorbe edebileceğinden, %55 izafi nemindeki havadan daha az hissedilir ısı alınabilir.

3.5. İdeal Evaporatif Soğutma

İdeal evaporatif soğutma olayı, psikrometrik üzerinde sabit yaş termometre doğrusu boyunca gerçekleşir. Şekil 3 - 5'de A noktası, havanın soğutucuya girişteki özelliklerini, yani çevre havasının özelliklerini göstermektedir. B noktası ise havanın doyduğu anki özelliklerini gösterir.



Şekil 3 - 5 : İdeal Direkt Evaporatif Soğutmanın Psikrometrik Diyagramda Gösterilmesi

Çevreye karşı yalıtılmış soğutucuya A noktasında giren hava, tam doyurulmadan, C noktasından çıkar. Daha sonra hava fan ve infiltrasyon havasından bir miktar hissedilir ısı absorbe ederek D noktasına gelir. Bu ideal hale, iyi olarak yalıtılmış birçok evaporatif soğutucuda ulaşılabilir.

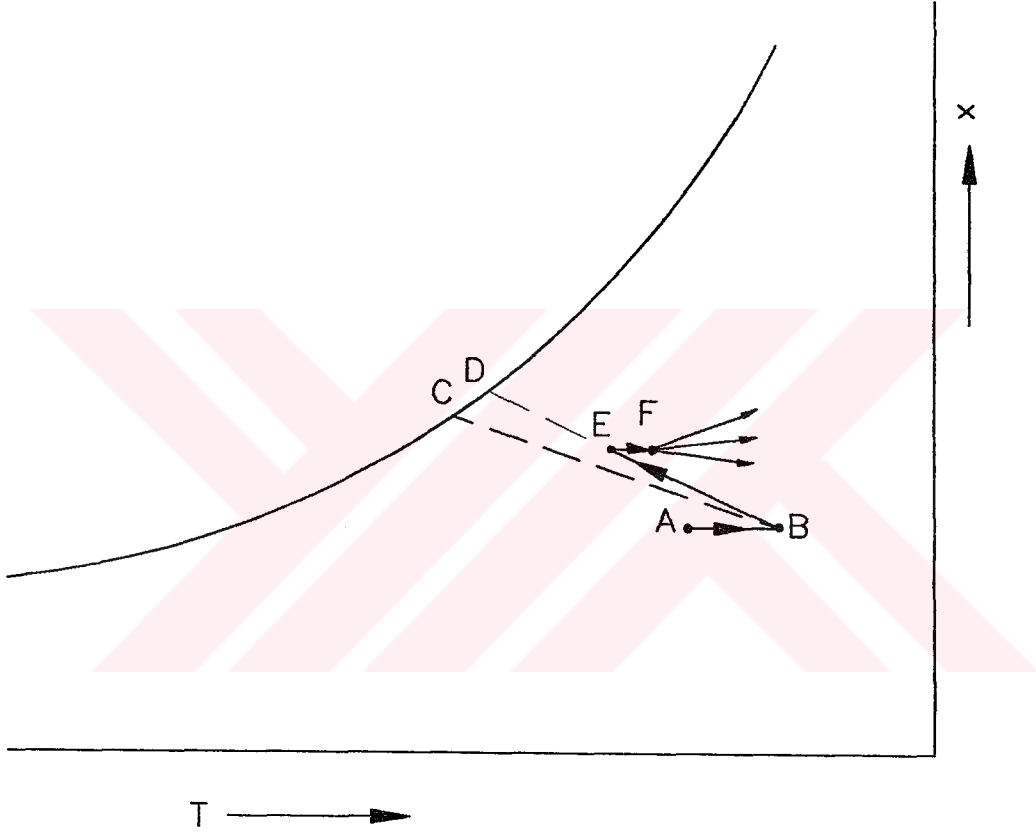
3.6. İdeal Olmayan Evaporatif Soğutma

Evaporatif soğutma işleminde hava ile temas eden suyun sıcaklığı, soğutucuya giren havanın yaş termometre sıcaklığından büyük olursa, ideal olmayan evaporatif soğutma olayı meydana gelir.

3.6.1. Su Sıcaklığının, Havanın Girişteki Kuru ve Yaş Termometre Sıcaklıkları Arasında Olması Hali

Hava soğutucuya giriş özellikleri, A noktasıyla gösterilsin. Su sıcaklığının havanın yaş termometre sıcaklığından büyük olması nedeniyle sudan havaya bir miktar hissedilir ısı geçer ve bu ısı nedeniyle su, havanın doyma sıcaklığına kadar soğur. Havanın işlem sonundaki kuru termometre sıcaklığı ve özgül nemi, kazandığı hissedilir ısı nedeniyle AB doğrusuyla ifade edilen ideal hale göre daha büyük olur. Bu ise havanın konfor özelliğinden düşüreceğinden, istenmeyen bir durumdur. Soğutucudan D noktasında çıkan hava, fan ve kanallardan bir miktar daha ısı kazanarak E noktasında soğutulacak mahale girer. Daha sonra kesik çizgilerle gösterilen özellik değişimlerinden birine uğrayarak mahalden atılır. Şekil 3 - 6'daki BC eğrisi, tam doyma halinde ideal duruma göre havanın kazandığı hissedilir ısıyı temsil etmektedir.

sıcaklıkları birbirine eşit olduğundan, olayın bundan sonraki kısmı 3.6.1.'deki gibi devam eder.



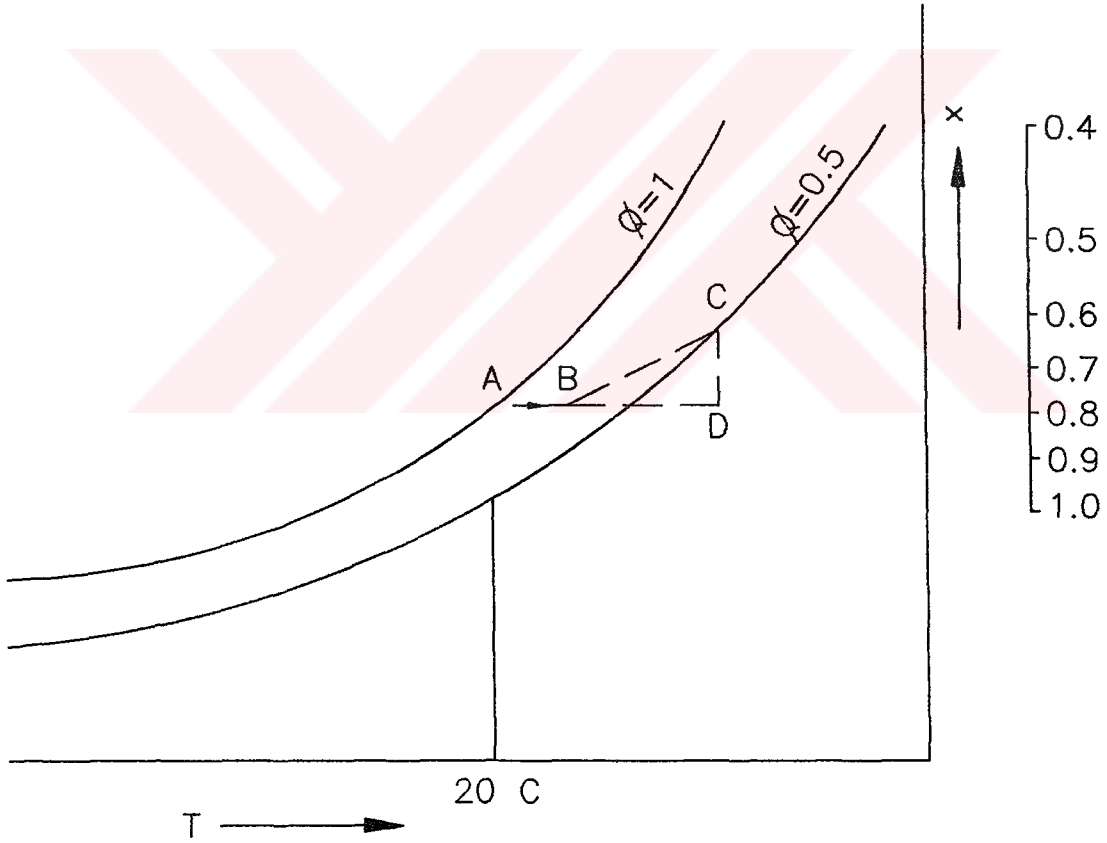
Şekil 3 - 6 - 2 : Su Sıcaklığının, Havanın Girişteki Kuru Termometre Sıcaklığının Üzerinde Olması Hali İçin Geçerli Psikrometrik Diyagram

E noktasında soğutucudan çıkan hava, F noktasında mahale girer. Daha sonra kesik çizgilerle gösterilen özellik değişimlerinden birine uğrayarak mahalden atılır. Şekil 3 - 6 - 2'de kesik çizgilerle gösterilen BC doğrusu, ideal hali göstermektedir.

Yukarıdaki procese göre, soğutulacak hava dışında sistem içine girecek her türlü ısı sistemin verimini azaltır. Bunun için, evaporatif soğutucu ısıya karşı iyi yalıtılmalıdır.

3.7. Evaporatif Olarak Soğutulan Havanın Mahal İçindeki Davranışı

Mahal içinde gönderilen şartlandırılmış hava, mahal içindeki; duvar, tavan, eşyalar havadan hissedilir ısı çeker ve sıcaklığı bir miktar yükselir. Bununla birlikte mahal içinde su kaynaklarından dolayı havanın içine su buharı girer ve gizli ısı artar. Bu proses, aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 3 - 7 : Havanın Mahal İçindeki Uğradığı Değişimin Psikrometrik Diyagramda Gösterilmesi

Soğutucudan A noktasında çıkan hava, fan ve kanallardan bir miktar hissedilir ısı kazanarak, B noktasından içeri girer. Havanın mahalde kazandığı hissedilir ısıyı BC doğrusu, gizli ısıyı ise CD doğrusu göstermektedir. Hava D noktasında mahali terkeder.

Psikrometrik diyagram üzerindeki referans noktasından BD doğrusuna paralel ve hissedilir ısı oranı doğrusuyla kesişen nokta, mahalden alınan hissedilir ısının mahalden alınan toplam ısıya oranı olarak tanımlanır. Bu değer genellikle %35 - %65 arasında değişir.

Evaporatif soğutma, hissedilir ısı kazançlarının gizli ısı kazancından daha büyük olduğu mahallerin soğutulmasında daha üstün performans gösterir.



4. BÖLÜM

DİREKT EVAPORATİF SOĞUTMANIN KULLANILABİLECEĞİ BÖLGELERİN BELİRLENMESİ

4.1. Konfor ve Konforu Etkileyen Faktörler

İnsan bünyesinde üretilen ısının tamamının, bünye tarafından ayrıca bir enerji sarfedilmeden çevreye verilerek vücut sıcaklığının sabit tutulduğu hale, konfor hali denir.

Vücuttan ısı atılması, büyük oranda konveksiyon, radyasyon ve evaporasyonla olur.

Radyasyon : İnsanı çevreleyen havanın psikrometrik şartları ve giyilen giysiler, vücuttan radyasyon vasıtasıyla olacak ısı iletimine çok az tesir ederler.

Konveksiyon : Havadaki yoğunluk farkları neticesindeki konveksiyon akımları, deri ve elbise üzerinde hava akımları meydana getirir. Ayrıca, klima veya havalandırma tesisatı bulunan bir odada, odaya verilen ve odadan çekilen hava dolayısıyla cebri bir hava akımı da söz konusudur. Bu cebri hava akımı, konveksiyon akımlarından daha kuvvetlidir.

Evaporasyon : Terlemeyle atılan ısı, ortam havasının izafi nemine bağlıdır. İzafi nem azaldıkça hava içindeki su buharının kısmi basıncı da azalacağından, kütle transferi iyileşir; böylece büyük miktarda ısı atılabilir. Konveksiyon ve evaporasyonla vücuttan atılan ısı, içinde bulunulan ortamdaki hava hızına da bağlıdır. Hava hızı arttıkça, konveksiyon ve evaporasyonla atılan ısı da artar.

Vücutta üretilen ısının dışarı atılmasında dört faktörün etkili olduğu söylenebilir.

Bu faktörler :

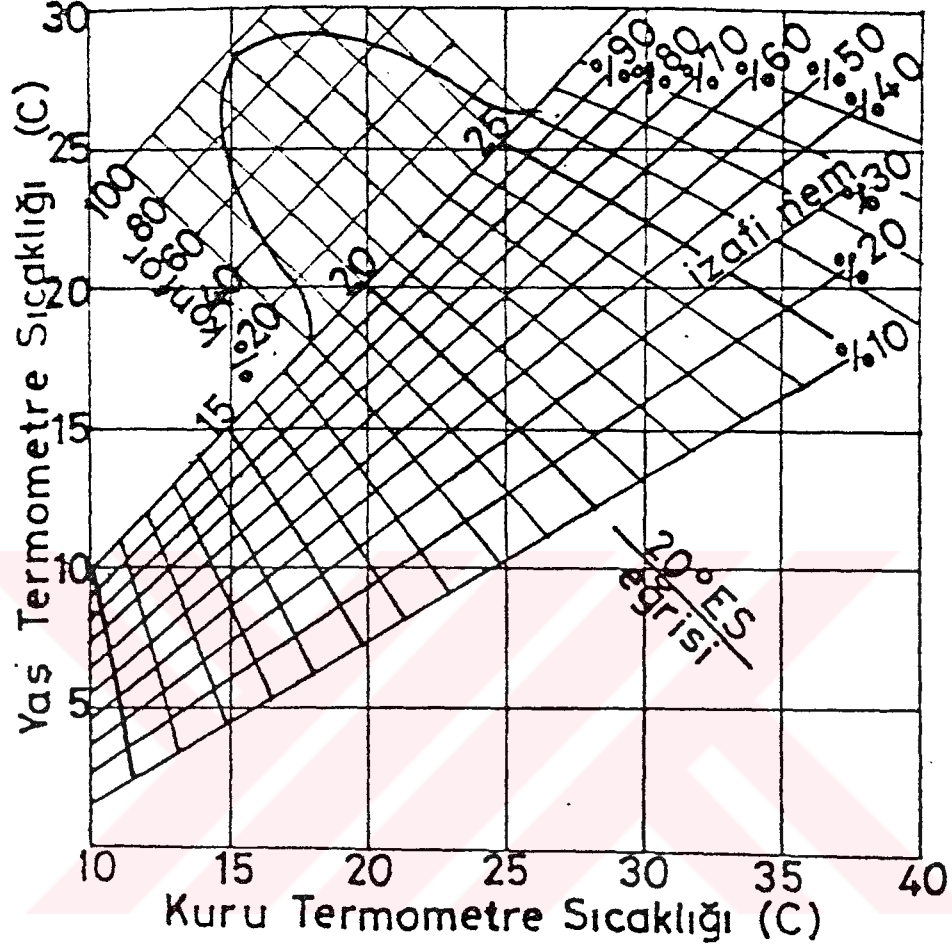
- 1 - Duvar ve tavan sıcaklıkları
- 2 - Ortam havasının sıcaklığı
- 3 - Ortam havasının hızı
- 4 - Ortam havasının izafi nemi

4.2. Efektif Sıcaklıklar ve Konfor Bölgesi

Ortam havasının sıcaklığı, izafi nemi ve dolaşım hızının konfora olan etkisi, tek bir faktör tarafından tanımlanabilir. Efektif sıcaklık adı verilen bu faktör, söz konusu üç faktörün birleşik etkisini gösterir. Efektif sıcaklık, herhangi bir ölçüm aletinden okunan sıcaklık olmamakla birlikte, hava hızı ve izafi nemi de göz önüne alındığından, konforu termometrelere göre çok daha iyi bir şekilde belirler. Efektif sıcaklık, Es ile gösterilecektir.

A.B.C.'nin 41°K enlemlili Pittsburg şehrinde normal yazlık elbise giymiş 1923 kişi üzerinde yapılan deneylerde, gözleme tabii tutulanların % 96'sının, 22°Es'ya tekabül eden şartlarda yaz mevsimi için tam konfor halinde oldukları sonucu elde edilmiştir. Bu deneylerde durgun hava kullanılmıştır. Deney sonuçlarının tümünü kapsayan ASHRAE Konfor Diyagramı, şekil 4 - 1 'de gösterilmiştir.

Gerçekte durgun hava için geçerli olan ASHRAE Konfor Diyagramı, radyasyonun neden olduğu bozucu etkiyi göstermediği gibi, deniz seviyesinin 300 m. üzerindeki bölgelerde de geçerli değildir. Ancak gönderilen hava şartlarına tam olarak adapte olabilen mahallerde kullanılabilir. Tiyatro, sinema ve benzeri yerlerde kullanılamaz. Diyagram, 41°K enlemlili bölgelerde geçerlidir. 41°K altındaki her 10°lik enlem için, konfor eğrisi 1°Es sağa kaydırılmalı; 41°K üzerindeki her 10°lik enlem için, konfor eğrisi 1°Es sola kaydırılmalıdır.



Şekil 4 - 1 : ASHRAE Konfor Diyagramı

4.3. Evaporatif Soğutmada İzin Verilen İzafi Nem ve Hava Hızları

Önceleri, % 30 - 70 arası izafi nem değerlerinin haricinde konforun sağlanamayacağına inanılmaktaydı. Fakat daha sonraki gözlemlerde, ASHRAE Konfor Diyagramındaki çam eğrisinin sınırladığı konfor bölgesinin dışına çıkmadığı sürece % 85'e varan izafi nem değerinin bile konforda bir bozukluk meydana getirmedeği görülmüştür. Fakat % 75'i geçen izafi nem değerleri, kumaş, kağıt vs. gibi maddelere zarar vereceğinden, ayrıca korozyona karşı korunmayan demir kökenli malzemelerin paslanmasını hızlandıracağından tercih edilmez. Bunun yanında % 30'un altındaki izafi

nem değerleri de, burun kuruluğuna, deri çatlamalarına ve benzeri zararlara sebep olduğundan istenmez. Bunun için mahal içindeki izafi nemin % 30 - 70 değerleri arasında olması gerekir.

Normal bir klimayla yapılan soğutmada, mahal içindeki hava hızının ~ 10 m/dak civarında olması istenir. Fakat evaporatif olarak soğutulan ortamlarda soğutucudan çıkan havanın izafi nemi, klimadan çıkan havaya göre daha yüksek olacağından, mahal içindeki izafi nem de evaporatif olarak soğutmada daha büyük olur. Sonuçta, mahal içindeki insanların evaporasyon yoluyla vücutlarından attıkları ısı azalacağından daha az serinleme hissi duyarlar. Serinlemeyi arttırabilmek için, deriden çevreye olan ısı ve kütle transferi arttırılmalıdır. Bu, mahal içindeki hava hızını arttırmakla mümkün olur.

4.4. Evaporatif Soğutma İşlemiyle Elde Edilecek Başarının İklim Şartlarına Göre Belirlenmesi

Evaporatif olarak soğutulan mahallerin efektif sıcaklığı konfor bölgesi içinde kalıyorsa, buna konforlu evaporatif soğutma; konfor bölgesinin belirli bir sınıra kadar dışında ise buna da kısmi konforlu evaporatif soğutma denilir.

4.4.1. Evaporatif Soğutmanın Uygulanabileceği İklim Şartlarının Global Olarak İfadesi

Evaporatif konusundaki ilk araştırmacılar, direkt evaporatif soğutma yoluyla, ancak Haziran ayı öğle izafi nem ortalaması % 40'ın altında olan bölgelerde bulunan mahallerde konforun sağlanabileceğine inanmışlardı. Diğer bir otorite, yaş termometre sıcaklığı en fazla 24°C olan ve kuru termometre sıcaklığı 32°C'yi geçen bölgelerde bulunan mahallerin, bu yöntemle konforlu olarak soğutulabileceğini bildirmektedir.

Evaporatif soğutmanın iklim şartlarına göre kullanılmasında daha hassas bir kıyaslama yapan Stuart Giles, bunu üç madde halinde ayırmıştır. Watt (1963)

Giles'e göre yaz mevsiminde,

T : KT sıcaklığının 32°C üzerinde olduğu zaman aralığı

T_a : YT sıcaklığının 21°C üzerinde olduğu zaman aralığı olmak üzere,

$$\frac{T - T_a}{T} \geq 2/3 \quad (4.1)$$

şartı sağlanıyorsa, bu bölgede bulunan bir mahalin evaporatif olarak soğutulması çok olumlu sonuç verir. Bu şart sağlanamadığı takdirde,

T_b : YT sıcaklığının 23°C üzerinde olduğu zaman aralığı olmak üzere,

$$\frac{T - T_b}{T} \geq 2/3 \quad (4.2)$$

şartına göre bu bölgede bulunan bir mahalin evaporatif olarak soğutulması vasat bir sonuç verir. Bu şartın da sağlanmaması halinde,

T_c : YT sıcaklığının 25°C üzerinde olduğu zaman aralığı olmak üzere,

$$\frac{T - T_c}{T} \geq 2/3$$

şartı sağlanıyorsa, bu bölgede bulunan bir mahalin evaporatif olarak soğutulması yeterli sonuç vermemekle birlikte yine de uygulanabilir.

4.4.2. Konfor Sağlayan Sistemin Özellikleri

Kuru iklimlerde sadece adyabatik doymayla, büyük bir hava hızı olmadan evaporatif olarak soğutulan mahalin efektif sıcaklığının konfor üst limitinin altında tutulması başarılabilir. Ayrıca yüksek izafi neme sahip iklimlerde adyabatik doyma yanında mahal içi hava hızı büyük tutularakta ulaşılabilir. Fakat yüksek hava hızı ve izafi nem, daha önce sözü edilen çeşitli sakıncalar doğurduğundan belirli değerleri geçmemeleri istenir.

Konfor sağlayacak bir evaporatif soğutma sisteminin, aşağıdaki özelliklere sahip olması gerektiği belirtilmektedir. Watt (1963)

1 - Soğutucudan çıkan havanın mahale girmeden önce kazandığı ısı, ihmal edilebilecek mertebede olmalıdır.

2 - Direkt evaporatif soğutucu, en az % 70'lik bir etkenliğe sahip olmalıdır.

3 - Mahal içi, ihmal edilebilecek mertebede olmalıdır.

4 - Soğutulan mahalın ortalama sıcaklığı, havanın mahal dışına çıkış sıcaklığının 1.5°C üzerinde olmalıdır.

5 - Soğutucudan çıkan hava, mahal dışına atılmadan önce en az 3°C ısınmalıdır.

6 - Mahal içi izafi nem ortalaması, en fazla % 70 olmalıdır.

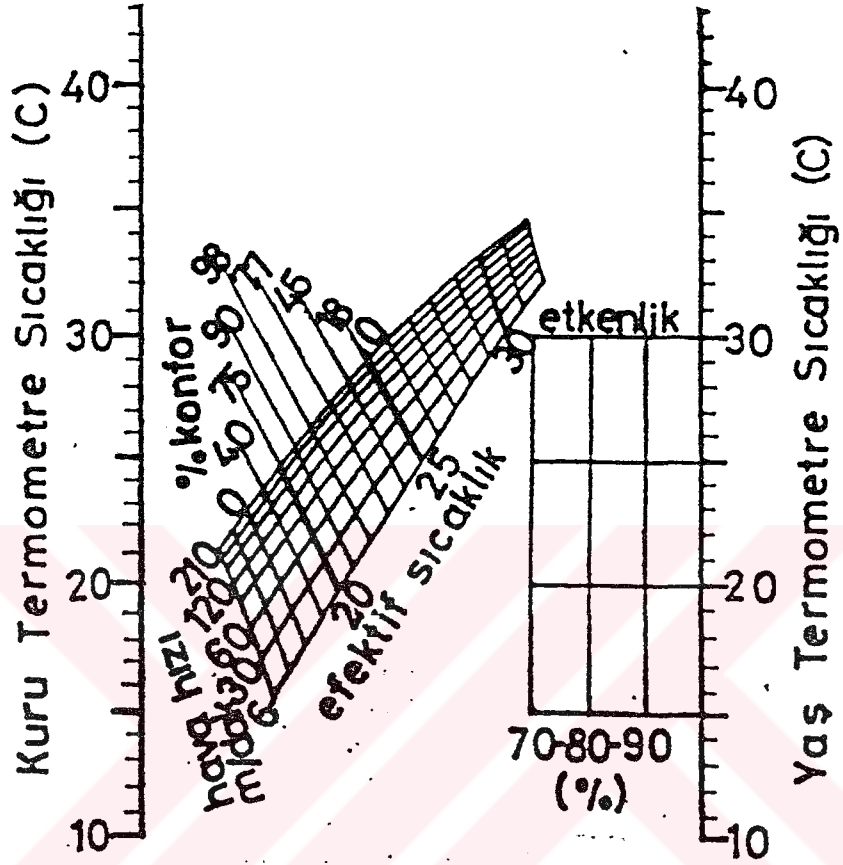
7 - Soğutulan mahalın ortalama efektif sıcaklığı, yerel enleme göre düzenlenmiş ASHRAE Konfor Diyagramında gösterilen yaz konfor bölgesinin üst limitini geçmemelidir.

8 - Soğutulan mahalın ortalama sıcaklığı, çevre sıcaklığın en az 4.5°C altında olmalıdır.

4.4.3. Evaporatif Soğutmada Konfor Hesaplama Diyagramı

Herhangi bir bölgede evaporatif soğutmaya elde edilebilecek başarı şekil 4.2'den bulunabilir. Bu diyagramdan kuru termometre ve yaş termometre sıcaklıklarıyla hava hızının efektif sıcaklığa etkisi okunabilir.

Bu diyagrama, 41°K enlemi için geçerli ASHRAE Konfor Bölgesi eklenmiştir. Efektif sıcaklığı bulunacak havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları bir doğruyla birleştirilir. Bu doğrunun ilgili hız eğrisini kestiği noktadan geçen efektif sıcaklık eğrisi, söz konusu havanın sıcaklığını verir. Ayrıca, tablonun sağına eklenen dikey skalalar yardımıyla, % 70 - 90 arasında değişen etkenlik değerlerine göre, soğutulmuş havanın mahale giriş sıcaklığı bulunabilir.



Şekil 4 - 2 : Konfor Hesaplama Diyagramı

İçinde bulunulan bölgede uygulanacak evaporatif soğutma işleminin başarısının bulunabilmesi için, aşağıdaki işlemler önerilmektedir. Watt (1963)

1 - Dizayn kuru termometre ve yaş termometre sıcaklıkları, ilgili yayınlardan bulunur.

2 - Bu iki sıcaklık değeri, kendi skalalarında işaretlenerek bir doğruyla birleştirilir. Bu doğruya çevre hal doğrusu (ÇHD) adı verilmiştir.

3 - Evaporatif soğutucunun etkenliği dikey skaladan seçilerek, ÇHD'nin ilgili etkenlik değerini kestiği nokta bulunur. Bu noktanın sıcaklığı, sol taraftaki skala üzerinden okunabilir. Bu sıcaklık, soğutulmuş havanın mahale giriş sıcaklığı olup HMGS ile gösterilmiştir.

4 - Mahale gönderilen havanın mahal içinde kazandığı sıcaklık, 3 - 7°C arasında olacak şekilde seçilir. Bu değer HMGS'na eklenerek, havanın mahalden çıkış sıcaklığı (HMÇS) bulunur.

5 - Mahal içi hava hızı 30 - 120 m/dak arası bir değer seçilir.

4.4.4. Kısmi Konforu Sağlayan Sistemin Özellikleri

Kısmi konfor sağlayacak bir evaporatif soğutma sisteminin aşağıdaki özelliklere sahip olması gerektiği belirtilmektedir. /1/

1 - Kısmi konforlu soğutma alanı, konfor bölgesinin üst limiti olan 26°Es değerinden 1°Es yukarıya kadar olan alandır.

2 - Direkt evaporatif soğutucu, en az % 70'lik bir etkenliğe sahip olmalıdır.

3 - Mahal içindeki maksimum hava hızı, 90 m/dak'yı aşmamalıdır.

4 - Soğutucudan çıkan havanın mahale girmeden önce kazandığı ısı, ihmal edilebilecek mertebede olmalıdır.

5 - Soğutucudan çıkan hava, mahal dışında atılmadan önce en az 3°C ısınmalıdır.

6 - Mahal içi izafi nem ortalaması, en fazla % 75 olmalıdır.

7 - Soğutulan mahalın ortalama sıcaklığı, çevre kuru termometre sıcaklığının en az 3°C altında olmalıdır.

4.4.5. Konfor ve Kısmi Konforu Sağlayan İklim Şartlar

Konfor sağlayan sistemin özellikleri yardımıyla, şekil 4 - 2 kullanılarak, içinde bulunulan bölgede direkt evaporatif soğutmayla konfor elde edebilmek için, aşağıdaki iklim şartlarına sahip olunması gerektiği bulunmuştur.

1 - En az 12°C'lik dizayn yaş termometre depresyonu gereklidir.

2 - Dizayn yaş termometre sıcaklığı 25°C'yi aşmamalıdır.

Direkt evaporatif soğutmayla kısmi konfor elde edebilmek için gerekli iklim şartları ise, kısmi konforu sağlayan sistemin özellikleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

1 - En az 9°C'lik dizayn yaş termometre depresyonu gereklidir.

2 - Dizayn yaş termometre sıcaklığı, 25°C'yi aşmamalıdır.

Yukarıdaki verilerden yararlanarak, ülkemizdeki çeşitli şehirlerde evaporatif soğutmayla elde edilecek başarı, Tablo 4 - 1'de sunulmuştur.

Tablo 4 - 1 : İLLERE GÖRE EVAPORATİF SOĞUTMANIN BAŞARISI

<u>İLİN ADI</u>	<u>DİZAYN KTS.(C)</u>	<u>DİZAYN YTS.(C)</u>	<u>BASARI DERECESİ</u>
Adana	38	26	konforsuz
Adıyaman	38	22	konforlu
Afyon	34	21	konforlu
Ağrı	34	25	kısmi konforlu
Amasya	31	21	kısmi konforlu
Ankara	35	21	konforlu
Antalya	39	28	konforsuz
Artvin	30	26	konforsuz
Aydın	39	26	konforsuz
Balıkesir	38	27	konforsuz
Bilecik	34	23	kısmi konforlu
Bingöl	33	21	konforlu
Bitlis	34	22	konforlu
Bolu	34	24	kısmi konforlu
Burdur	36	21	konforlu
Bursa	37	25	konforlu
Çanakkale	34	25	kısmi konforlu
Çankırı	34	25	kısmi konforlu
Çorum	29	19	konforlu
Denizli	38	24	konforlu
Diyarbakır	42	23	konforlu
Edirne	36	25	kısmi konforlu
Elazığ	38	21	konforlu
Erzincan	36	22	konforlu

<u>İLİN ADI</u>	<u>DİZAYN KTS.(C)</u>	<u>DİZAYN YTS.(C)</u>	<u>BASARI DERECEİ</u>
Erzurum	31	23	konforlu
Eskişehir	34	24	kısmi konforlu
Gaziantep	39	23	konforlu
Giresun	29	25	konforsuz
Gümüşhane	33	23	kısmi konforlu
Hakkari	34	20	konforlu
Antakya	37	28	konforsuz
İskenderun	37	29	konforsuz
İsparta	34	21	konforlu
Mersin	35	29	konforsuz
Tarsus	36	28	konforsuz
İstanbul	33	24	kısmi konforlu
İzmir	37	25	konforlu
Kars	30	20	kısmi konforlu
Kastamonu	34	22	konforlu
Kayseri	36	23	konforlu
Kırklareli	35	25	kısmi konforlu
Kırşehir	35	21	konforlu
Kocaeli	36	25	kısmi konforlu
Konya	34	22	konforlu
Kütahya	33	21	konforlu
Malatya	38	21	konforlu
Manisa	40	26	konforsuz
K.Maraş	36	22	konforlu
Mardin	38	23	konforlu

<u>İLİN ADI</u>	<u>DİZAYN KTS.(C)</u>	<u>DİZAYN YTS.(C)</u>	<u>BASARI DERECEŚİ</u>
Muş	32	22	kısmi konforlu
Nevşehir	28	17	konforlu
Niğde	34	20	konforlu
Ordu	30	22	konforsuz
Rize	30	26	konforsuz
Sakarya	35	25	kısmi konforlu
Samsun	32	25	konforsuz
Siirt	40	23	konforlu
Sinop	30	25	konforsuz
Sivas	33	20	konforlu
Tekirdağ	33	25	konforlu
Tokat	29	20	kısmi konforlu
Trabzon	31	25	konforsuz
Tunceli	37	22	konforlu
ř.Urfa	43	24	konforlu
Uşak	35	22	konforlu
Van	33	21	konforlu
Yozgat	32	20	konforlu
Zonguldak	32	25	konforsuz

5. BÖLÜM

DİREKT EVAPORATİF SOĞUTUCU ÇEŞİTLERİ

Pratikte genelde doğrudan evaporatif soğutucular 3'e ayrılır :

- 1 - Su püskürtmeli evaporatif soğutucu
- 2 - Islatılmış yüzeyli tip evaporatif soğutucu
- 3 - Döner silindirik evaporatif soğutucu

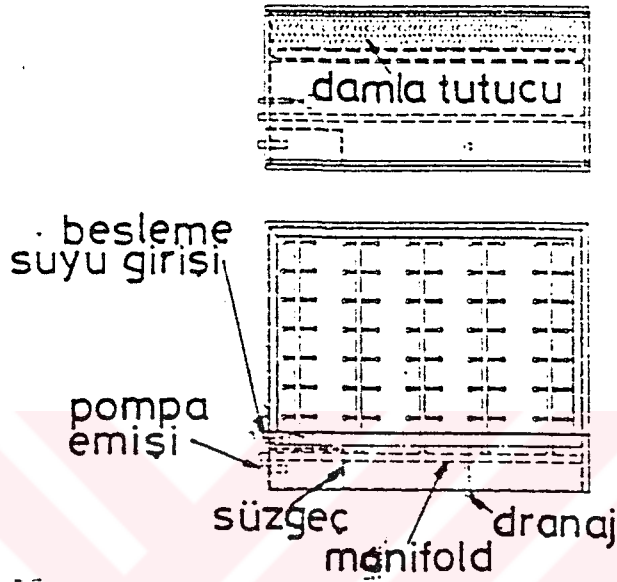
5.1. Su Püskürtmeli Evaporatif Soğutucu

Bu tip soğutucular korozyona dayanıklı çelik bir kasa içine yerleştirilmiş su püskürtücü memelerden oluşur. Bir aspiratör yardımıyla emilen hava, memelerden püskürtülen ince su zerreciklerinin arasından geçerken serinler. Cihaz içindeki yönlendirici ve damla tutucu elemanlar, hava akımı ile su zerreciklerinin sürüklenmesini önler. Suyu devrettiren pompanın debisi, suyun buharlaşma debisinden fazladır. İyi dizayn edilmiş su püskürtmeli yıkayıcılarda, havanın çıkıştaki kuru termometre sıcaklığı girişteki yaş termometre sıcaklığına 1°C fark olacak kadar yaklaşabilir. Bu tip cihazlar güvenilir, etkin ve ekonomiktir. Bunların ilk yatırım masraflarının fazla, ağırlıklarının ve boyutlarının büyük olması en büyük sakıncalarıdır.

Genel olarak, büyük ticari ve endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Bu tip cihazlar havanın serinletilmesi yanı sıra özellikle tozlu, kirli ortamlarda havanın temizlenmesi içinde başarı ile kullanılabilir. Hava yıkayıcılarda pratikte 1 ila 120 m³/s kapasite aralığında imalatlara rastlanılabilir.

En basit dizayn şekil 5 - 1'de gösterilmiştir. İlk meme sırası, girişten 0,3 m öne konulurken, son meme sırası, çıkıştan 0,5 m geriye konulmalıdır. Bu tip cihazdan esas olarak istenen özellikler sırasıyla;

- 1 - Cihaz içinde hava düzgün bir şekilde dağılmalıdır,
- 2 - Yeterli miktardaki su zerrecikleri hava içine püskürtülmelidir,



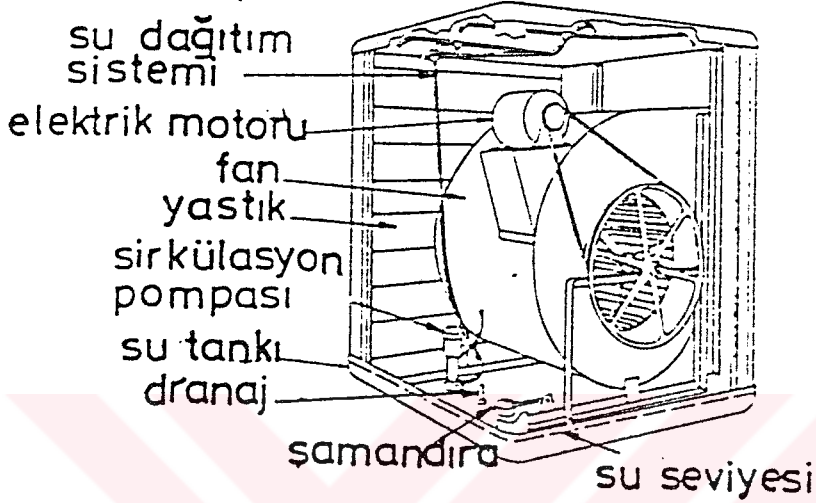
Şekil 5 - 1 : Sprey tipi evaporatif soğutucu

- 3 - Su zerreciklerinin dağılımı düzgün olmalıdır,
- 4 - Isı ve kütle transferinin oluşabilmesi için yeterli uzunluk olmalıdır,
- 5 - Çıkışta hava içinde su zerrecikleri bulunmamalıdır.

Hava hızı 8 m/s değerine kadar çıkabilirse de genellikle hız için 1,5 ila 3 m/s değeri aşılmaz. Memelerdeki basınç genelde 140 ila 180 kPa arasında değişir.

5.2. Islatılmış Yüzeyle Tip Evaporatif Soğutucu

Bu tip serinleticilerde çoğunlukla; ağaç yongaları, cam, plastik veya porselenden yapılmış ıslatılmış yüzeyler bulunur.



Şekil 5 - 2 : Islatılmış yüzeyli tip soğutucu

Şekilde de görüldüğü gibi cihaz içindeki bir sirkülasyon pompası depodan aldığı suyu bu yüzeyler üzerine akıtarak ıslanmalarını sağlar. Bir aspiratör yardımıyla emilen hava, bu ıslak yüzeyler arasından geçerken serinler. Bu tip cihazlar havalandırma kanallarına konulabildiği gibi, bina içine, çatıya veya pencereye de monte edilebilir.

Genel olarak bu tip soğutucuların etkenliği en çok % 80 değerinde olup, bunlardan çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı, giriş havasının yaş termometre sıcaklığına $2\div 3^{\circ}\text{C}$ yaklaşabilmektedir. Kapasiteleri 0,02 ila 10 m^3/s arasında değişebilmektedir.

Islatılmış yüzeyli tip soğutuculardan diğer bir örnekte, şekil 5 - 3'te görülen su sıçratmalı paket tip soğutucudur.



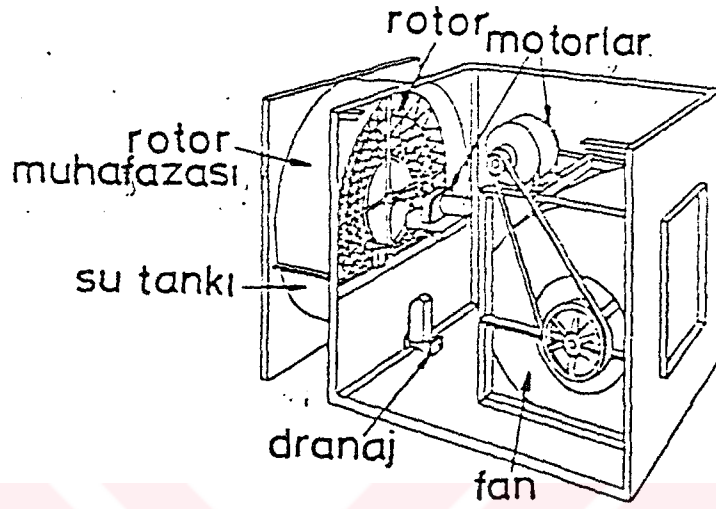
Şekil 5 - 3 : Su sıçratmalı paket tip hava soğutucu

Bu cihazda kullanılan fan, genellikle öne eğimli çift girişli, elektrik motorundan V - kayış kasnak sistemi ile tahrikli santrifüj tiptendir. Bir elektrik motoru ile tahrik edilen ve su içine daldırılan bir disk yardımıyla hava akımı içine su sıçratılır. Pratik olarak elde edilebilen etkenlik en fazla % 80, hava debisi ise 14 m³/s değerine ulaşabilmektedir. Girişteki hava hızı 1,5 ila 3 m/s arasında seçilebilir.

5.3. Döner Silindirli Evaporatif Soğutucu

Bu tip soğutucular şekil 5 - 4'te görüldüğü gibi, esas olarak bir kısmı su içinde diğer kısmı serinletilmek istenen hava akımı içinde dönen silindirik gözenekli bir elemandan meydana gelir.

Paket tipi olanlarda aspiratör, bu aspiratörü tahrik eden elektrik motoru ve kayış kasnak mekanizması bulunur. Silindirik elemanın dönme eksenini hava akımına paralel veya dik olacak şekilde iki tipte yapılabilir.



Şekil 5 - 4 : Döner Silindirli Evaporatif Soğutucu

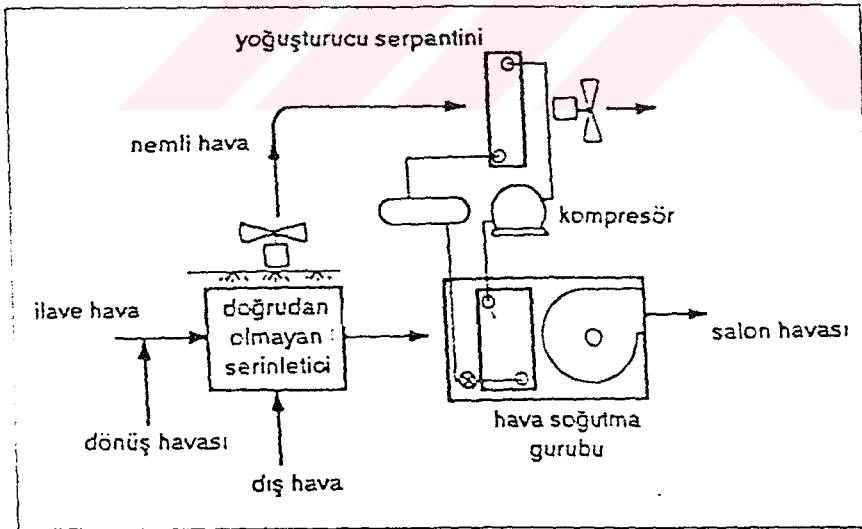
Her iki tiptede çıkış havası kuru termometre sıcaklığı, giriş havası yaş termometre sıcaklığının 2°C daha yukarısına kadar yaklaşabilir. Bunların hava kapasitesi 1 ila 6 m³/s arasında değişebilir. Girişteki hava hızı 0,5 ila 3 m/s, yük kaybı ise 120 Pa değerindedir.

6. BÖLÜM

İNDİREKT EVAPORATİF SOĞUTMA

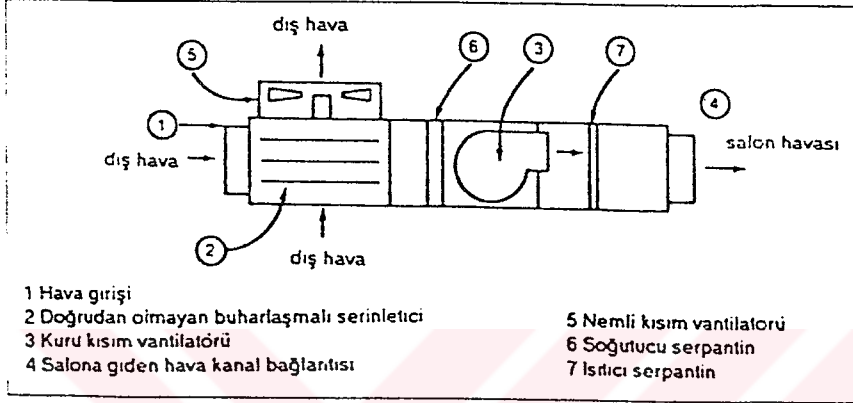
İndirekt evaporatif soğutucularda, dış hava veya şartlandırılmış salondan atılan egzost havası yüzeyli bir ısı değiştiricinin bir tarafından geçirilir. Isı eşanjörünün diğer tarafından şartlandırılacak mahale gönderilecek hava geçirilerek, nem kazanmadan, sadece hissedilir ısı vererek soğuması, sağlanır. Bunun sonucu olarak özgül nem artmadığından, direkt evaporatif soğutmaya göre daha konforlu bir ortam elde edilir.

Bu tip cihazlar kendi başlarına kullanılabildikleri gibi, mekanik soğutmalı devrelerin bir ön kademesi olarak kullanılabilir.



Şekil 6 - 1 : Doğrudan olmayan evaporatif soğutucuların, ön soğutucu olarak kullanılması

Şekil 6 -1’de doğrudan olmayan paket tip soğutucunun mekanik olarak soğutulan bir devrenin ilk kademesinde kullanılışı görülmektedir.



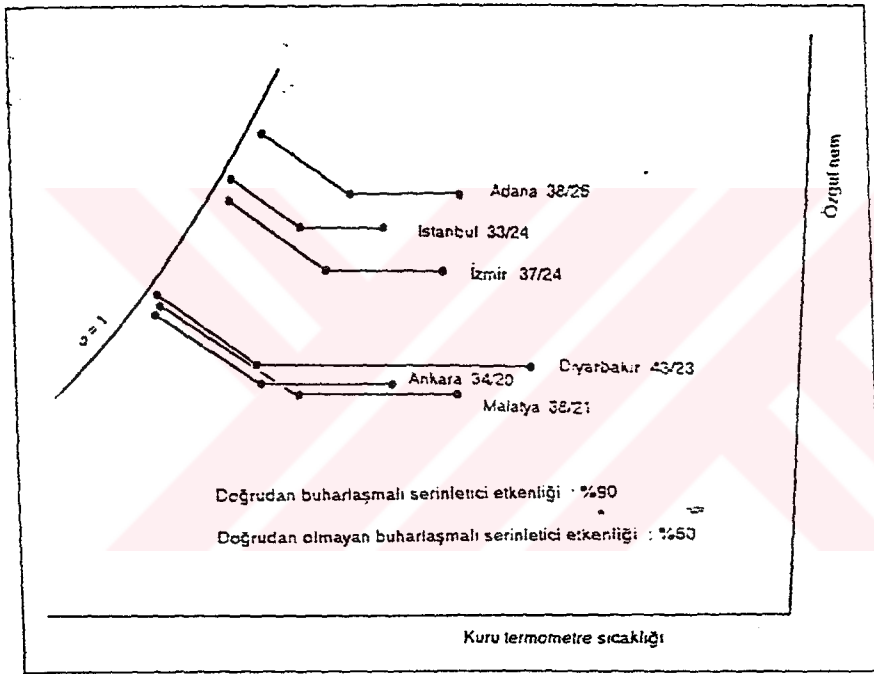
Şekil 6 - 2 : Doğrudan olmayan evaporatif soğutucunun, bir iklimlendirme santralinin ön kademesi olarak kullanılması

Şekil 6 -2’de şekil 6 - 1’deki cihazın tam şartlandırma yapabilen bir iklimlendirme santralinde ön kademe olarak kullanılışı verilmiştir. Klasik mekanik soğutma devrelerine göre, bu devrelerdeki cihazların fazladan olan enerji ihtiyaçları, su pompası ve ikinci devrede kullanılan vantilatör motoru ile ilave kayıpları nedeniyle birinci devredeki vantilatör gücündeki bir miktar artma kadardır.

Tipik doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticilerin her iki hava devresindeki yük kaybı 50 ila 500 Pa arasında değişir. Etkenliğine bağlı olarak ikinci devredeki hava debisinin birinci devredeki hava debisine oranı 0,6 ila 1 arasındadır. Bu cihazların etkenlikleri ise % 40 ila % 80 arasındadır. /2/

6.1. Türkiye’de Bazı Şehirlerde Evaporatif Soğutucunun İncelenmesi

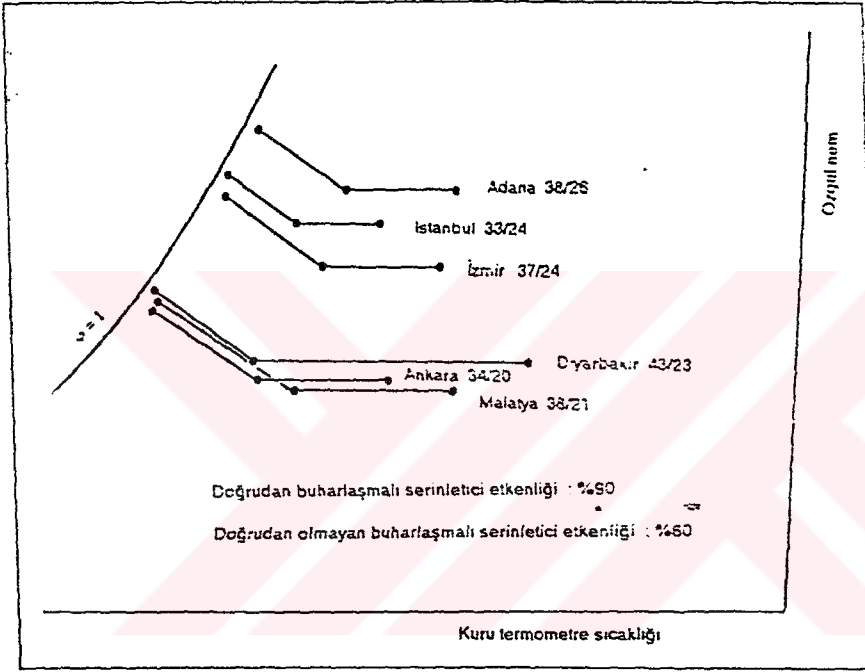
Son yıllarda iki kademeli evaporatif soğutucu uygulamalarına sıkça rastlanmaktadır. Genelde bu sistemlerin birinci kademesinde ise doğrudan evaporatif soğutucu kullanılır. Şekil 6 - 3’te Türkiye’deki bazı şehirlerde yaz aylarında yapılabilecek iki kademeli buharlaşmalı serinletici uygulamaları görülmektedir. /2/



Şekil 6 - 3 : Türkiye’de bazı şehirlerde yaz yapılacak iki kademeli buharlaşmalı serinletme sonunda serinleticiden çıkan hava şartları

Burada birinci kademe % 60 etkenlikli doğrudan olmayan, ikinci kademedede ise % 90 etkenlikli doğrudan evaporatif soğutucular kabul edilmiştir.

Şekil 6 - 4'te ise aynı şehirlerde, salon duyulur ısı oranının duyulur ısı kazancının toplam ısı kazancına oranının % 95 olması ve iç sıcaklığın 25,5°C kabul edilmesi durumundaki değişimler verilmiştir.



Şekil 6 - 4 : Türkiye'deki bazı şehirlerde salon duyulur ısı oranının % 95 ve iç sıcaklığın 25,5°C olması durumunda ulaşılan salon şartları

Şekilde görüldüğü gibi, yaş termometre sıcaklığının nispetten büyük olduğu yerlerde, bu yöntem ile serinletme sonunda konfor şartlarına ulaşmak zordur. Bu gibi yerlerde konfor şartlarının istenmesi durumunda, muhakkak mekanik soğutmaya gerek duyulmaktadır.

7. BÖLÜM

YENİ KULLANIM ALANLARINDA EVAPORATİF SOĞUTMA

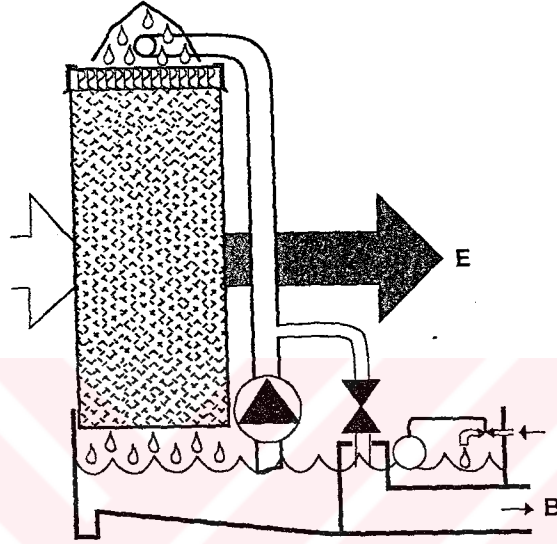
Evaporatif soğutmanın kullanıldığı yeni kullanım alanlarından bazıları; çiftliklerde evaporatif soğutma, seralarda soğutma, meyve ve sebze depolarının soğutulması, tekstil fabrikalarında soğutma.

7.1. Kümes Hayvancılığında Soğutma

Kümes hayvanlarında bütün canlılar gibi belirli sıcaklık ve bağıl nemde daha verimli olurlar. Kümes hayvanı için gerekli ortam sıcaklığı 22.78 - 23.33 °C ve bağıl nem % 75'in altında olmalıdır.

Mahal Sıcaklığı (°C)	Tavuk Sıcaklığı (°C)	Açıklama
23.89	41.22	Yumurta ebadının küçülmesi
26.67	41.27	Tavuk hızlı solumaya başlar
29.44	41.44	Yem tüketiminin azalması
32.22	41.55	Yumurta üretiminin azalması
35	41.72	Tavuklar kilodan düşer
37.76	42.33	Tavuklar ölmeye başlar

Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı gibi yüksek sıcaklıklarda mahali soğutmak gerekmektedir. Evaporatif soğutma su püskürtme şeklinde yapılabilir. Bunun için pompalı sisteme ihtiyaç vardır. Şekil 7.1 Pompa ile pad üzerine gönderilir. Pad'ın yüzeyini yalayan su ile fan tarafından emilen hava temas ettirilir ve gerekli soğutma yapılmış olur.

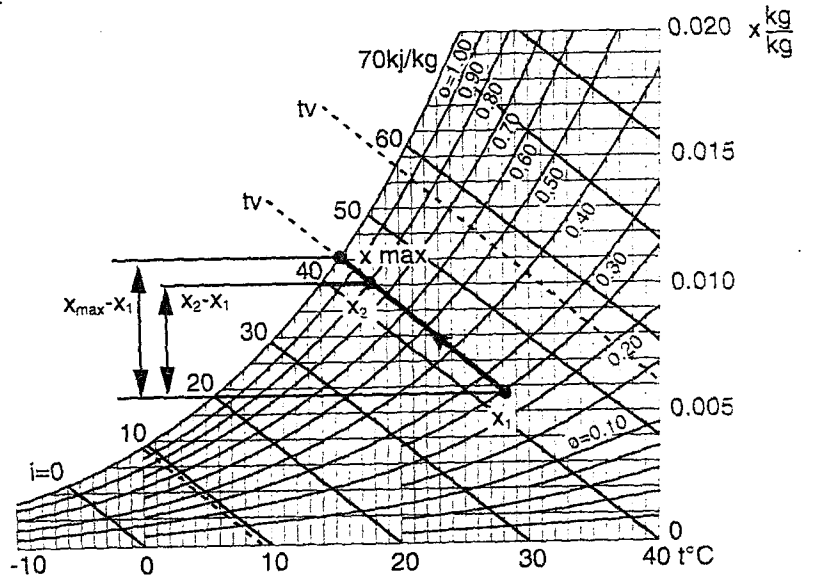


Şekil 7 - 1 : Pompalı bir sistemle evaporatif soğutma

Proseste Psikrometrik Diyagram

Semboller

- x_1 = Harici hava bağıl nemi, kg/kg
- x_2 = Egzost havası bağıl nemi, kg/kg
- x_{max} = Doymuş havanın bağıl nemi, kg/kg
- T = Harici hava (girişte) sıcaklığı, °C
- T_y = Harici hava (çıkışta) sıcaklığı, °C
- T_y = Yaştermometre (oC)
- Δx = Buharlaştıran su miktarı x_2-x_1 , kg/kg



Şekil 7 - 2 : Proseste Psikrometrik Diyagram

Sirkulasyon suyu debisi

$$E = q \cdot 1.2 \cdot (x_2 - x_1) \text{ kg/s}$$

$q: (\text{m}^3/\text{s})$ hava debisi

Pad'in Çalışma Şekli ve Pad Alanının Hesabı

Bir pad negatif basınç prensibi üzerine kurulur. Mahalin bir duvarına soğutma padi karşı duvarına egzost fanı kurulur. Bu sistemde hızda önemlidir. Yüksek hızda hayvanlar hava ceryanından etkilenir. Hava hızı 1 - 1,5 m/s olması tavsiye edilir.

İzole edilmiş mahallerde hava debisi = 7 - 9 m³/h . kg tavuk

İzolesiz mahallerde hava debisi = 15 m³/h . kg tavuk alınabilir.

Örnek Bina ebadı : 100 m x 14 m

Tavuk adedi : 22000

Ortalama tavuk ağırlığı : 1-5 kg

Hava hızı : 1,5 m/s

Mahal izole edilmiş

Kuru termometre sıcaklığı : 35

Relatif nem $\phi = \% 20$

Gerekli hava miktarı

$$= 22000 (\text{tavuk}) \times 1,5 \text{ kg} \times 9,0 (\text{m}^3/\text{kg tavuk, h})$$

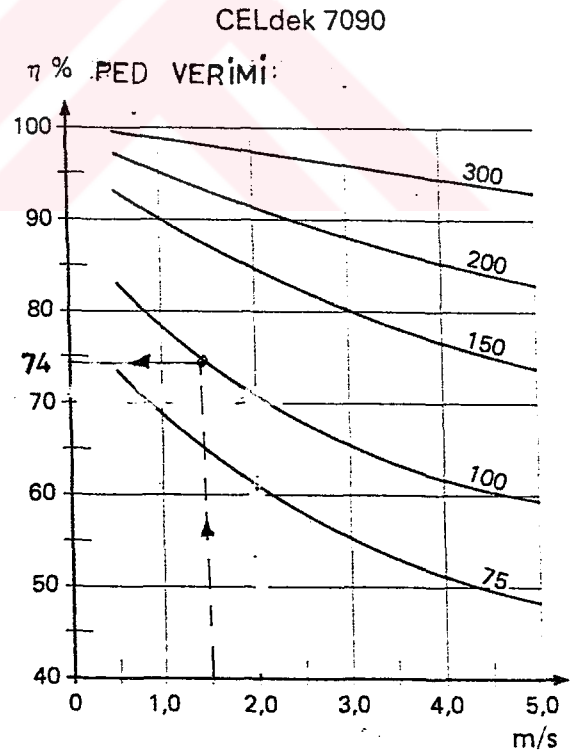
$$= 297,000 \text{ m}^2/\text{h} = 82,5 \text{ m}^2/\text{s} \Rightarrow$$

$$\frac{82,5}{1,5} = 55 \text{ m}^2$$

Pad derinliği 100 mm alınır

Padin verimi diyagramdan

1,5 m/s hız için % 74 olunur.



Diyagram 7.1

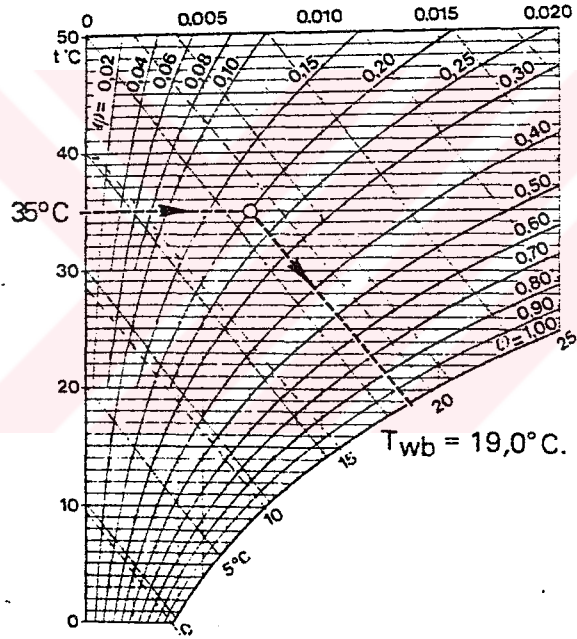
Padin arkasındaki sıcaklık

$$T_y = T - (T - T_y) \times \frac{1}{100}$$

$$T_y = 35 - (35 - 19.0) \times \frac{74}{100} = 23.16^\circ\text{C}$$

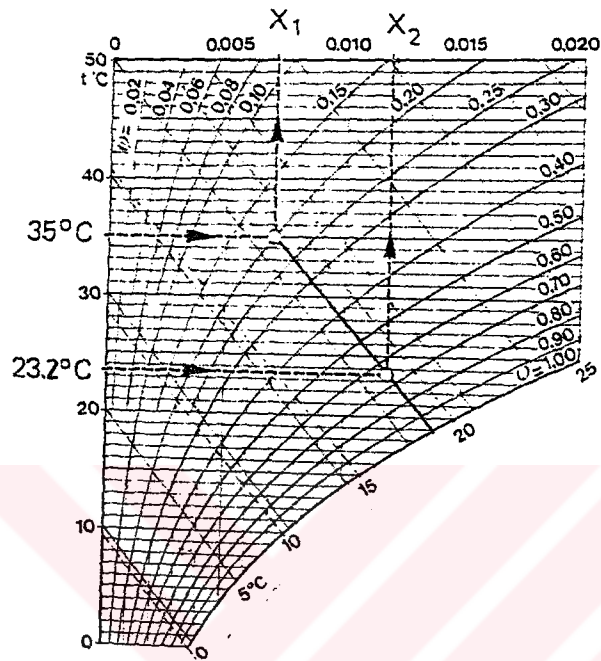
7.2 no.lu diyagramdan

$T_y = 19.0^\circ\text{C}$ yaştermometre sıcaklığı



Diyagram 7 - 2

Su debisi



Diyagram 7 - 3

$$x_1 = 0,007 \text{ kg/kg KH}$$

$$x_2 = 0,012 \text{ kg/kgKH}$$

$$E = V_T(\text{m}^3/\text{h}) \times (x_2 - x_1) \text{ kg/kg} \times 1,2 \text{ air /m}^3$$

$$E = 297.000 \times (0,012 - 0,007) \times 1,2 = 1782 \text{ kg/s} = 1782 \text{ kg/h}$$

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın ikinci bölümünde soğutma ve hava şartlandırma ile ilgili tanımlar yapıldı. Üçüncü bölümde direkt evaporatif soğutmanın teorisi anlatıldı. Dördüncü bölümde direkt evaporatif soğutmanın kullanılabilceği bölgelerin belirlenmesi incelendi. Beşinci bölümde direkt evaporatif soğutucu çeşitleri, altıncı bölümde indirekt evaporatif soğutma hakkında bilgi verildi. Yedinci bölümde evaporatif soğutmanın yapıldığı yeni kullanım yerleri ve kümes hayvancılığında evaporatif soğutma incelendi.

Evaporatif soğutma; kuru ve sıcak iklimlere sahip bölgelerde bulunan mahallerin şartlandırılmasında en pratik ve en ekonomik yöntemdir. En büyük dezavantajı ancak belirli iklim özelliklerine sahip olan bölgelerde başarılı olarak kullanılmasıdır. Bununla birlikte, mekanik soğutmalı klimalarda nem alma işlemi gerçekleştirilirken, evaporatif soğutmalarda yapılamaz; aksine havanın nemi artar.

Yukarıdaki sınırlamalara göre, evaporatif soğutma uygulamalarının, illerimizin yarısında tam başarılı, 1/4'ünde yarı başarılı ve kalan 1/4'lük kısımda başarısız sonuçların elde edileceği bulunmuştur. En azından tam başarılı sonuçların elde edileceği şehirlerimizde mekanik soğutmalı klimalar yerine evaporatif soğutucuların kullanılması, hem soğutma sistemlerinin kurulması için harcanan ilk yatırım giderlerinin azalmasına, hem de sistem işletme giderlerinin düşmesine neden olacaktır.

ÖZGEÇMİŞ

Cengiz ÖZBUGAN 1970 yılında KARS'ta doğdu.

1987 yılında İstanbul Haydarpaşa Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'ne, bölüm ikincisi olarak girdi. Bu bölümden 1991 yılında mezun oldu. 1992 yılında aynı okulun Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans öğrenimine başlamış olup, halen Nurpa A.Ş.'de Proje Şefi olarak çalışmaktadır.

