

93764

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADYABATİK NEMLENDİRMENİN  
İNCELENMESİ**

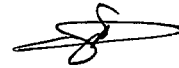
**Mak. Müh. Nuray GEZİCİ**

**F.B.E.Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında  
Hazırlanan**

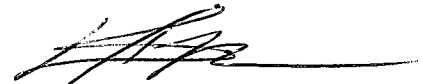
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR**

Doç. Dr. Dürrüye Bilge



Prof. Dr. Doğan Özgür,



Y. Doç. Dr. N. VARDAĞ  


**İSTANBUL, 2000**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. PSİKROMETRİ .....	3
2.1 Kuru Termometre Sıcaklığı .....	3
2.2 Yaş Termometre Sıcaklığı .....	3
2.3 İzafi Nem .....	6
2.4 Özgül Nem .....	6
2.5 Mutlak Nem .....	7
2.6 Nemli Havanın Entalpisi .....	7
2.7 Hissedilir Isı .....	7
2.8 Gizli Isı .....	7
2.9 Çiğ Noktası .....	7
2.10 Isı ve Kütle Transferi .....	8
2.11 Adyabatik Doyma Sıcaklığı .....	8
2.12 Psikrometrik Tablo .....	10
2.13 DİREKT EVAPORATİF SOĞUTMANIN TEORİSİ .....	13
3.1 Havanın Evaporatif Soğutucuda Uğradığı Değişimin Psikrometrik Diyagramında Gösterilmesi .....	12
3.2 Havanın Soğutucudan Çıkış Şartlarının Bulunması .....	16
3.3 Direkt Evaporatif Soğutma İşleminin Etkenliği .....	19
3.4 Direkt Evaporatif Soğutmanın Sınırları .....	20
3.5 İdeal Evaporatif Soğutma .....	20
3.6 İdeal Olmayan Evaporatif Soğutma .....	21

3.6.1	Su sıcaklığının, havanın girişteki kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasında olması hali .....	21
3.6.2	Su sıcaklığının, havanın girişteki kuru termometre sıcaklığının üzerinde olması hali .....	22
3.7	Evaporatif Olarak Soğutulan Havanın Mahal İçinde Davranışı .....	23
4.	<b>DİREKT EVAPORATİF SOĞUTMANIN KULLANILABİLECEĞİ BÖLGELERİN BELİRLENMESİ</b> .....	25
4.1.	Konfor ve Konforu Etkileyen Faktörler .....	25
4.2.	Efektif Sıcaklıklar ve Konfor Bölgesi .....	25
4.3.	Evaporatif Soğutmada İzin Verilen İzafi Nem ve Hava Hızları .....	26
4.4.	Evaporatif Soğutma İşlemiyle Elde Edilecek Başarının Şartlara Göre Belirlenmesi .....	27
4.4.1.	Evaporatif soğutmanın uygulanabileceği iklim şartlarının global olarak ifadesi .....	27
4.4.2.	Konfor sağlayan sistemin özellikleri .....	28
4.4.3.	Evaporatif soğutmada konfor hesaplama diyagramı .....	28
4.4.4.	Kısmi konfor sağlayan sistemin özellikleri .....	30
4.4.5.	Konfor ve kısmi konforu sağlayan iklim şartları .....	30
5.	<b>DİREKT EVAPORATİF SOĞUTUCU ÇEŞİTLERİ</b> .....	31
5.1.	Su Püskürtmeli Evaporatif Soğutucu .....	31
5.1.1.	Hava yıkayıcıları .....	33
5.2.	Su Püskürtmeli Evaporatif Soğutucu Sistemini Oluşturan Elemanlar ve Montajlarının İncelenmesi .....	34
5.2.1.	Nozul .....	35
5.2.2.	Vakum valfi .....	36
5.2.3.	Anavalf .....	36
5.2.4.	Su-hava bağlantıları .....	36
5.2.5.	Kontrol Paneli .....	37
5.3.	Nozul ve Yapısı .....	38
5.3.1.	LFV tipi nozul sistemi .....	38
5.3.2.	LFU tipi nozul sistemi .....	43
5.4.	Buğu Açısını Ayarlayan Elemanlar .....	43
5.5.	Nemlendirici Yerleşimi .....	46

5.6.	Emniyet Kontrolleri .....	49
5.7.	Islatılmış Yüzeyle Tip Evaporatif Soğutucu .....	51
5.8.	Döner Silindirli Evaporatif Soğutucu .....	52
6.	İNDİREKT EVAPORATİF SOĞUTMA .....	54
6.1.	Türkiye’de Bazı Şehirlerde Evaporatif Soğutucunun İncelenmesi .....	55
7.	YENİ KULLANIM ALANLARINDA EVAPORATİF SOĞUTMA .....	58
7.1.	Tekstil Fabrikalarında Evaporatif Soğutma .....	58
7.1.1.	Tekstil klima dizaynı ile ilgili özellikler .....	58
7.1.1.1.	Mutlak nem ile ilgili özellikler .....	58
7.1.1.2.	DI ve GI ile ilgili özellikler .....	59
7.1.1.3.	Güneş ve iletim .....	59
7.1.1.4.	Dış hava ile ilgili özellikler .....	60
7.2.	Evaporatif Soğutmalı ve Atomizörlü Sistemlerde Tekstil Klima Sistemlerinin İncelenmesi .....	60
7.3.	Hesaplamalar .....	61
7.3.1.	Dış hava koşullarının değişmesi durumu .....	60
7.3.1.1.	Dış hava sıcaklığının maksimum dizayn sıcaklığından küçük olması .....	64
7.3.1.2.	Dış hava sıcaklığının maksimum dizayn sıcaklığından büyük olması .....	64
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	66
	KAYNAKLAR .....	67
	EKLER .....	68
Ek 1	İllere Göre Evaporatif Soğutmanın Başarısı.....	68
Ek 2	LFV-S4-6-8-10-12D Tipi Ünite .....	71
Ek 3	LFV-K1-2-3 .....	72
	ÖZGEÇMİŞ .....	73

## SİMGE LİSTESİ

$T$ (°C)	Kuru termometre sıcaklığı
$T_y$ (°C)	Yaş termometre sıcaklığı
$\phi$	İzafi nem
$P_b$ (bar)	Su buharı kısmi basıncı
$P_h$ (bar)	Kuru hava kısmi basıncı
$\chi$ (gr/kgKH)	Özgül nem
$C$ (kg/m <sup>3</sup> )	Mutlak nem
$h_h$ (kcal/kgKH)	Nemli havanın entalpisi
$C_{ph}$ (kcal/kg°C)	Kuru havanın özgül ısısı
$C_{pb}$ (kcal/kg°C)	Su buharının özgül ısısı
$h_{fg}$ (kcal/h)	Suyun gizli ısısı
$h$	Hava akımı ile ıslak yüzey arasındaki konveksiyonla ısı transferi katsayısı
$T_\infty$ (°C)	Hava akımının sıcaklığı
$T_y$ (°C)	Rejim halinde yüzeydeki doymuş hava filmi sıcaklığı
$m_b$	Birim alandan buharlaşan suyun kütleli debisi
$h$	Kütle geçiş katsayısı
$\rho_h$	Havanın yoğunluğu
$X_y$ (kg/kgKH)	Yüzeydeki doymuş hava filminin özgül nemi
$X_\infty$ (kg/kgKH)	Hava akımının özgül nemi
$C_{pm}$ (kcal/kg°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 <sup>2</sup> )	Cihazın kesit alanı

## **KISALTMA LİSTESİ**

<b>KT</b>	<b>Kuru termometre sıcaklığı</b>
<b>YT</b>	<b>Yaş termometre sıcaklığı</b>
<b>DI</b>	<b>Duyulur ısı</b>
<b>GI</b>	<b>Gizli ısı</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Hava ile kurutmada sıcaklık değişimi .....3
Şekil 2.2	Adyabatik doyurucu .....9
Şekil 2.3	Psikrometrik diyagram ..... 12
Şekil 3.1	Sprey tipi evaporatif soğutucu ..... 13
Şekil 3.2	Direkt evaporatif soğutucuda hava ve su sıcaklıklarının Değişimi ..... 14
Şekil 3.3	Havanın evaporatif soğutucu içinde uğradığı değişim..... 15
Şekil 3.4	İklimlendirme cihazı ..... 16
Şekil 3.5	Etkenliğin bulunması .....20
Şekil 3.6	İdeal direkt evaporatif soğutmanın psikrometrik diyagramda gösterilmesi .....21
Şekil 3.7	Su sıcaklığının, havanın girişteki kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasında olması hali için psikrometrik diyagram .....22
Şekil 3.8	Su sıcaklığının, havanın girişteki kuru termometre sıcaklığının üzerinde olması hali için psikrometrik diyagram .....23
Şekil 3.9	Havanın mahal içinde uğradığı değişimin psikrometrik diyagramda gösterilmesi .....24
Şekil 4.1	ASHRAE konfor diyagramı .....26
Şekil 4.2	Konfor hesaplama diyagramı .....29
Şekil 5.1	Sprey tipi evaporatif soğutucu .....31
Şekil 5.2	Atomizasyon tesisatı .....32
Şekil 5.3	Montaj diyagramı .....35
Şekil 5.4	LFV tipi nozulu oluşturan elemanlar .....38
Şekil 5.5	Hava sarfiyatı .....40
Şekil 5.6	Su sarfiyatı .....41
Şekil 5.7	LFU tipi nozul sistemi .....41
Şekil 5.8	LFU tipi nozulu oluşturan elemanlar .....43
Şekil 5.9	LFU tipi nozulun bağlantı şeması .....44
Şekil 5.10	Buğu açısını ayarlayan elemanlar .....
Şekil 5.11	Nemlendirici yerleşimi .....46

Şekil 5.12	Çok zonlu santraller .....	48
Şekil 5.13	Nemlendirici cihazın dirseğe yakın yerleştirilmesi .....	49
Şekil 5.14	Emniyet kontrolleri .....	5
Şekil 5.15	Islatılmış yüzeyli tip soğutucu .....	51
Şekil 5.16	Su sıçratmalı tip paket tip soğutucu .....	52
Şekil 5.17	Döner silindirli evaporatif soğutucu .....	52
Şekil 6.1	Doğrudan olmayan evaporatif soğutucuların ön kademe olarak kullanılması .....	54
Şekil 6.2	Doğrudan olmayan evaporatif soğutucunun, bir iklimlendirme santralinin ön kademesi olarak kullanılması .....	55
Şekil 6.3	Türkiye’de bazı şehirlerde yaz yapılacak iki kademeli buharlaşmalı serinletme sonunda serinleticiden çıkan hava şartları .....	56
Şekil 6.4	Türkiye’de bazı şehirlerde salon duyulur ısı oranının % 95 ve iç sıcaklığın 25,5 °C olması durumunda ulaşılan salon şartları .....	56
Şekil 7.1	Mutlak nem ile ilgili özellikler .....	59
Şekil 7.2	Yaz işletmesinin psikrometrik diyagramda gösterilmesi .....	60
Şekil 7.3	Uygulamanın psikrometrik diyagramda gösterilmesi .....	63
Şekil 7.4	Uygulamanın psikrometrik diyagramda gösterilmesi .....	65

## ÖNSÖZ

Dünya’da ve ülkemizde giderek artan enerji maliyeti her alanda tasarruf önlemleri alınmasını zorunlu kılmıştır. Bu tezde havanın adyabatik olarak soğutulduğu bir sistem tanıtılmıştır. Ülkemizde adyabatik nemlendirici kullanılacak bölgelerde, mekanik soğutmalı klimaların yerine adyabatik nemlendirme tercih edilmektedir. Teorik olarak adyabatik nemlendirme şeklinde tanımlansa da pratikte evaporatif soğutma olarak isimlendirilen bu sistem, enerji tüketimleri açısından uygun dış hava koşullarında klasik soğutma sistemlerine göre daha avantajlıdır.

Bu çalışmanın yapılmasında gösterdiği yakın ilgi ve yardımlarından dolayı değerli hocam **Sayın Prof. Dr. Doğan Özgür’e**, Kaynakların oluşmasında büyük bir özveri ile yardımlarda bulunan **HAVAK LTD.** firmasından **Sn. Ahmet Haşim Gökşin’e** teşekkür ederim.

**İstanbul 2000**

**Nuray GEZİCİ**

## ÖZET

Çok çeşitli endüstri uygulamalarında havanın şartlandırılarak kullanılması iyi kalitede bir ürünün elde edilmesi için gereklidir. Bu çalışma konfor kliması alanında yeni bazı yöntemleri tanıtmayı amaçlamaktadır.

HVAC sistemlerindeki cihazlar hizmet verecekleri mekanlardaki sıcaklık ve nemi öngörülen değerler arasında tutmak için kullanılırlar. Yapısal olarak farklılık göstermelerine rağmen fonksiyonel olarak benzerdirler. Soğutma işlemi için bir soğutma grubu öngörülmektedir. Bu soğutma grubu ya havanın bir evaporatör vasıtasıyla direkt soğutulmasını sağlayan veya önce suyun soğutulmasını ve soğutulan suyun dolaştırılacağı, örneğin bir soğutucu bataryanın üzerinden hava geçirilmesi şeklinde de olabilir. Her iki halde de klima soğutma tekniğinde kullanılmak üzere dizayn edilmiş cihazlardır. Havanın soğutulması veya klimatize edilmesi için öngörülen sistemin, ilk yatırım maliyetinin yaklaşık % 30'unu soğutma grubu tutar. Bu oran öngörülen sisteme göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak doğrudur. Buna karşılık sistemin harcadığı enerjinin içinde soğutma grubunu payı % 35 (ve hatta öngörülen sisteme göre daha fazla) civarındadır. Artan enerji maliyetleri ve çevre kirliliği problemleri, üreticileri daha az enerji harcayan soğutma grupları geliştirmeye zorlamaktadır.

Bu tezde, evaporatif soğutma konusu hakkında bilgi verilip, alanlarından ultrasonik nemlendirici sistemlerin yapısı ve dizaynı hakkında bilgi verildi. Evaporatif soğutmanın uygulama alanlarından tekstil kliması dizaynı konusunda dikkat edilecek hususlar belirtildi. Özellikle yaş termometre sıcaklığının 24°C değerinden küçük; kuru termometre sıcaklığının 32°C değerinden büyük olduğu havanın soğutulması uygulamalarında evaporatif soğutma yöntemi daima gözönünde tutulması gereken bir sistemdir.

Anahtar Kelimeler: Adyabatik nemlendirme, bağıl nem, nozul, hava, su

## **ABSTRACT**

In many ways of industrial applications using conditioned air is needed to have a good quality product. This paper aims to present some new methods of comfort climating.

HVAC system equipments are used to keep temperature and moisture between considered limits at the places where they will serve. Howerer they show structural differences, they look like each other functionally. A cooling group is consider for cooling process. This cooling group works either by the way of cooling the air with the help of an evaporator directly or first cooling the water and then circulating cooled water in the system. Flowing the air over a cooling battery (indirect system). In both ways they are equipments designed for climate cooling technics. Cooling group takes 30 % of the first investment cost of system considered to cool and climate air. This rate is an approximate valve but it can change to considered systems. Against this the energy rate of cooling group is about 35 % (or much according to considered system) in the general system. Pollution problems and increasing costs are forcing the producers to develop new cooling groups using less energy.

In this thesis, ultrosound moisturers which are part of evaporative cooling is examined with the system structurers and design structurers. Some important points in textile climating which is also a part of evaporative cooling is determinated. In air cooling processes especially when wet thermometre temperature is less than 24°C and dry thermometre temperature is more than 32 °C, evaporative cooling system is a method which must remembered.

**Keywords:** Adiabatic cooling, relative humidity, nozzle, air, water

## 1. GİRİŞ

Suyu buharlaştırarak havanın soğutulması işlemine evaporatif soğutma denilir. Suyun doğrudan doğruya şartlandırılarak hava içine buharlaştırılması ile yapılan soğutmaya direkt evaporatif soğutma denir.

Soğutulacak hava içerisine suyun buharlaşarak nüfus etmesi sırasında havanın kuru termometre sıcaklığı cihaz verimi ile orantılı olarak yaş termometre sıcaklığına yaklaşır. Böylelikle havanın soğurken bir yandan da nemlendirilmesi sağlanır. 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.

Özellikle yaş termometre sıcaklığı 24°C'den küçük ve kuru termometre sıcaklığının 32°C değerinden büyük olduğu havanın soğutulması problemlerinde evaporatif soğutma (adyabatik nemlendirme) yöntemi daima gözönünde tutulması gereken bir sistemdir.

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 mamüllerin üretilmesi esnasında izafi nem ve/veya kuru termometre sıcaklığının belirli değerler esnasında tutulması amacıyla da kullanılabilir.

Evaporatif soğutma (adyabatik nemlendirme), mekanik soğutmalı bir klima sistemi 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, eski Mısırlılar tarafından bilinmekteydi. 19.yy'da ortaya çıkarılan ve M.Ö.2500 yıllarına ait olduğu sanılan freskler, içi su ile dolu olan kavonozları soğutmak amacıyla onları yelpazeleyen köleleri göstermektedir. Benzer şekilde Amerika'da asker mataraları, keten beziyle kaplanmaktaydı. Islak keten bezi matara içindeki suyun soğumasını sağlıyordu.

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



## 2.PSİKROMETRİ

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

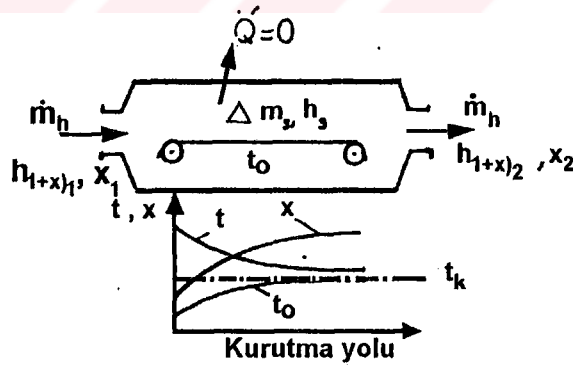
Evaporatif soğutucuda gerçekleşen olayları matematiksel olarak ifade edebilmek için bazı terimlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu terimler aşağıda verilmiştir.

### 2.1.Kuru Termometre Sıcaklığı (T)

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

### 2.2.Yaş Termometre Sıcaklığı (T<sub>y</sub>)

Bir termometrenin haznesi üzerine yaş bir kılıf geçirilerek hazne üzerine hava üflenirse termometre sıcaklığı belirli bir dereceye kadar düşer ve bu değerde sabit kalır. Bu sıcaklığa havanın yaş termometre sıcaklığı (T<sub>y</sub>) denir. Üflenen hava hızı artsa bile termometre sıcaklığı artık değişmez. Benzer şekilde yaş malzemeye kurutma amacıyla sıcak hava üflendiği zaman ve çevre ile iletişim ve taşınım ile ısı alışverişi yoksa, yüzey üzerinde ve yüzeyin her yerinde yaklaşık olarak T<sub>y</sub> sıcaklığına eşit bir sıcaklık oluşur. Bu arada havanın malzeme yüzeyi ile teması sonucu nemlenerek sıcaklığının düştüğü ve yeterli uzunlukta bir yüzeyle teması sağlandığında hava sıcaklığının malzeme yüzey sıcaklığına asimptotik olarak yaklaştığı görülür.



Şekil 2.1: Hava ile kurutmada sıcaklık değişimi ( Akaryıldız,E.,1998;S.17)

Kurutma havasının yaklaştığı bu sıcaklığa adyabatik doyma sıcaklığı (T<sub>k</sub>) denir. Hava sıcaklığı adyabatik doyma sıcaklığına eriştiği zaman hava doymuş durumda olup, hava ile malzeme arasında bir denge durumu oluşmuştur.

Kurutma başlangıcında malzeme yüzey sıcaklığının ( $T_1$ ), adyabatik doyma sıcaklığına eşit olduğu kabul edilirse,

$$T_1 = T_k = T_2 \quad (2.1)$$

olup o zaman ;

$$h_{k1} = h_{k2} \quad (2.2)$$

$$h_{s1} = h_{s2} = h_{sk} \quad (2.3)$$

eşitlikleri elde edilir.

Burada  $h_{sk}$  malzemedeki suyun adyabatik doyma sıcaklığındaki özgül entalpisidir. Sonuç olarak yukarıdaki kurutma olayı için enerji balansı,

$$m_h \cdot h_{1+x)2} - h_{1+x)1} + (m_{s2} - m_{s1}) \cdot h_{sk} = 0 \quad (2.4)$$

olacaktır ve kütle balansı,

$$m_{s1} - m_{s2} = m_h \cdot (x_2 - x_1) \quad (2.5)$$

Şeklinde yazılınca , bu iki bağıntıyı kullanarak  $h_{sk}$  hesaplanabilir.

$$H_{sk} = \frac{h_{1+x)2} - h_{1+x)1}}{x_2 - x_1} \quad (2.6)$$

Belirli bir kurutma havası durumuna göre belirli bir malzeme yüzey sıcaklığı, yani belirli bir adyabatik doyma sıcaklığı ( $T_k$ ) bulunur. Diğer taraftan (2.6) bağıntısının nemli havaya su püskürtülmesi prosesindeki ;

$$\frac{h_{1+x)2} - h_{1+x)1}}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h_{1+x}}{\Delta x} = h_s \quad (2.7)$$

bağıntısına benzer olması yukarıdaki kurutma olayının, kurutma havası bakımından nemli havaya adyabatik doyma sıcaklığında ( $T_k$ ) suyun püskürtülmesi işlemine benzediğini gösterir.

Şekil 2-1'de görüldüğü gibi kurutma yolu yeteri kadar uzun olunca kurutma havasında doymuş hale gelir ve o zaman;

$$T_2 = T_y = T_k \quad (2.8)$$

olur. Bu koşullarda kurutma havasının özgül nemi ( $x_2$ ), malzeme yüzeyindeki havanın özgül nemine eşittir. ( $x_k$ )

Böylece,

$x_2 = x_k$  olur. Ayrıca kurutma havasının entalpisi;

$$h_{1+x)2} = h_{1+x)k} \quad (2.9)$$

olur. Malzemedeki suyun entalpisi içinde ;

$$h_{sk}=C_s.t \quad (2.10)$$

yazılınca (2.6) bağıntısı bu sefer;

$$h_{1+x}=h_{1+x''}+(x-x'').C_s.t \quad (2.11)$$

bağıntısına dönüşür. Yani sisli bölgedeki izotermilerin bağıntısına benzer bir şekil alır. Buna göre (h-x) diyagramında adyabatik doyma sıcaklığı ( $T_2=st$ ) doğrularını elde etmek için sisli bölge izotermelerini doymamış bölge içerisine uzatmak yeterli olur.

Kurutma havası doymuş hale gelince ve sıcaklığı da adyabatik doyma sıcaklığına eşit olunca ( $T_2=T_k$ ) (2.6) bağıntısı,

$$\frac{h_{1+x)k}-h_{1+x)l}}{x_k''-x_l} = h_{sk} \quad (2.12)$$

şeklini alır.Burada entalpi için ,

$$h_{1+x}=r.x+(C_{ph}+x.C_{pb}).t \quad (2.13)$$

ve özgül nem için,

$$x= \frac{M_b . \phi . P_b''}{M_h . P-\phi . P_b''} \quad (2.14)$$

İfadeleri yerleştirilir.

$$\frac{r_k . x_k''+(C_{ph}+C_{pb} . x_k'').t_k-r_l . x_l-(C_{ph}+C_{pb} . x_l).t_l}{\frac{M_b}{M_h} \left( \frac{P_{bk}''}{P-P_{bk}''} - \frac{P_{bl}}{P-P_{bl}} \right)} = C_s.t \quad (2.15)$$

bulunur.Burada nemli havanın ortalama özgül ısı için ,

$$C_p=C_{ph}+x_l . C_{pb} \quad (2.16)$$

sabit değeri kullanılırsa ve buharlaşma gizli ısı için  $r_1=r_2$  kabul edilirse ve gerekli yerleştirmeler yapıldıktan sonra ,

$$t_k-t_l= \frac{M_b . C_s . t_k-r_k . \frac{P_{bk}''-P_{bl}}{P-P_{bk}''}}{\frac{M_b}{M_h} \cdot \frac{C_p}{P} \cdot \frac{1}{1-\frac{P_{bl}}{P}}} \quad (2.17)$$

bağıntısı elde edilir. Buharlaşma gizli ısısına kıyasla  $C_s.t_k$  ihmal edilecek mertebede olduğundan , hava giriş sıcaklığı ile adyabatik doyma sıcaklığı arasındaki farkı veren bağıntı,

$$t_1-t_k= \frac{M_b}{M_h} \cdot \frac{r_k}{C_p} \cdot \frac{P_{bk}''-P_{bl}}{P-P_{bk}''} \cdot \frac{1}{1-\frac{P_{bl}}{P}} \quad (2.18)$$

şeklini alır. Bu bağıntının paydasındaki  $M_h \cdot C_p \cdot (1 - P_{b1}/P)$  terimi gaz karışımı teorilerine göre nemli havanın moleküler özgül ısısına eşit olacaktır.

$$M_h \cdot \frac{\bar{C}_p}{P} \cdot (1 - \frac{P_{b1}}{P}) = M_h \cdot C_{ph} \cdot (1 - \frac{P_{b1}}{P}) + M_b \cdot \frac{P_{b1}}{P} = \bar{C}_p \cdot \bar{M} \quad (2.19)$$

Neticede adyabatik doyma sıcaklığını hesaplamak için kullanılacak ;

$$t_1 - t_k = \frac{M_b \cdot r_k}{C_p \cdot \bar{M}} \cdot \frac{P_{bk}'' - P_{b1}}{P - P_{bk}''} \quad (2.20)$$

bağıntısı bulunur.

Psikrometri kullanarak , çift termometre vasıtasıyla havanın kuru termometre sıcaklığı ( T ) ve yaş termometre sıcaklığı ( T<sub>y</sub> ) ölçülürse , bu değerler ile h,x- diyagramında nemli havanın yerini tespit etmek mümkün olur. h,x- diyagramında t=st doğrusu ile t<sub>k</sub>=st doğrusunun kesiştiği nokta nemli havanın durumunu belirleyen nokta olur.(Akaryıldız,E.,1998)

### 2.3. İzafi Nem( $\phi$ )

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 ,  $P = P_h + P_b$  eşitliğinden bulunur. İzafi nem (  $\phi$  ) ise, T sıcaklığına sahip hava içindeki su buharı kısmi basıncının (  $P_b$  ), aynı sıcaklığa denk düşen su buharı doyma basıncına (  $P_{dT}$  ) oranı olarak tanımlanır.

$$\phi = P_b / P_{Dt} \quad (2.21)$$

### 2.4. Özgül Nem( $\chi$ )

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

$$\chi = \frac{m_b}{m_h} \quad (2.22)$$

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

$$\chi = 0,622 \cdot \frac{P_b}{P - \phi \cdot P_{dT}} \quad (2.23)$$

Eşitliği elde edilir.

### 2.5.Mutlak Nem ( c )

Birim hacimdeki nemli hava içinde bulunan su buharı kütesidir.

$$C = m_b / V \quad (2.24)$$

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

$$C = P_b / (P_{bT}) \quad (2.25)$$

eşitliği elde edilir.

### 2.6.Nemli Havanın Entalpisi( $h_h$ )

(1+x) kg. nemli havanın entalpisi ,

$$h_h = c_{ph} \cdot T + x \cdot ( h_{fg} + c_{pb} \cdot T ) \quad (2.26)$$

denklemleri ile ifade edilir. Bu denklemlerde ,

$h_h$  = 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

$\chi$  = havanın özgül nemi

$h_{fg}$  = suyun özgül ısısı

### 2.7.Hissedilir Isı

Herhangi bir cismin sıcaklığını yükseltmek için verilmesi gereken lüzumlu ısı miktarına duyulur ısı denir. Burada sıcaklık değişikliği sözkonusu olduğundan , bu ısıyı duyularımızla 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 yünden 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 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 birbirine 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 (veya katı) halde bulunan su , hava içerisinde 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;

$$h.( T_{\infty}-T_y )= m_b . h_{fg} \quad (2.27)$$

$h$ =Hava akımı ile ıslak yüzey arasındaki konveksiyonla ısı transferi katsayısı.

$T_{\infty}$ -Hava akımının 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.

$$m_b = h . g_h . ( x_y - x_{\infty} ) \quad (2.28)$$

Burada ,

$h'$ =Kütle geçiş katsayısı.

$g_h$ =Havanın yoğunluğu.

$x_y$ =Yüzeydeki doymuş hava filminin özgül nemi.

$x_{\infty}$ =Hava akımının özgül nemi.

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

$$h' = \frac{h}{g_h \cdot c_{pm}} \quad (2.29)$$

yazılabilir. Burada  $c_{pm}$  nemli havanın özgül ısıdır.

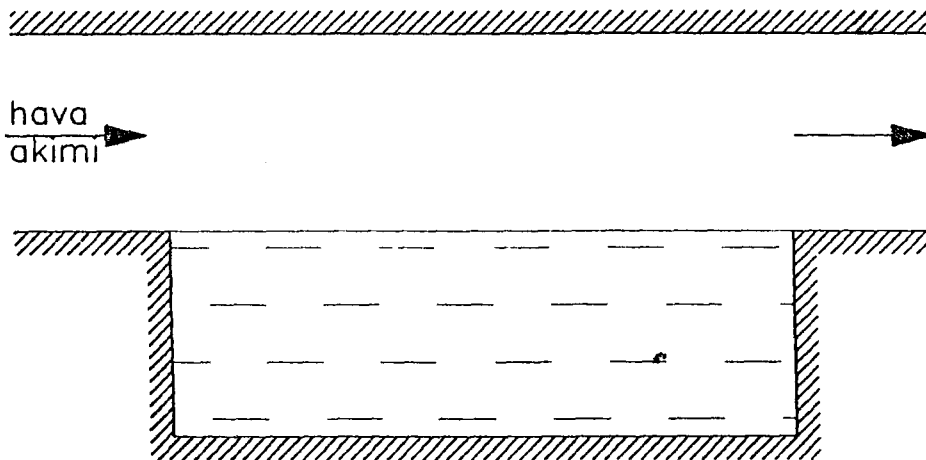
Denklem (2.28)'deki  $h$  değeri , (2.27)'deki yerine konulur ve (2.26) denklemi yeni hale göre tekrar düzenlenirse ,

$$c_{pm} \cdot (T_{\infty} - T_y) = (x_y - x_{\infty}) \cdot h_{fg} \quad (2.30)$$

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 (Watt, J.R., 1963:S.226)

## 2.12.Psikrometrik Tablo

Psikrometrik diyagram nemli havanın fiziksel özelliklerini grafik halinde veren bir diyagramdır. İklimlendirme işlerinde hesapları kolaylaştırmak amacıyla , Dr. Carrier tarafından önerilen psikrometrik tablo yardımıyla iki özelliği bilinen havanın diğer gerekli özellikleri bulunabilir. Ayrıca diyagram üzerinde havanın tabii tutulduğu çeşitli proseslerde gösterilebilir. Şekil 2-3 standart bir psikrometrik tabloyu göstermektedir.

ASHRAE'nin hazırlamış olduğu , 1 nolu psikrometrik diyagram şekil 2-3'de görülmektedir.Bu diyagram üzerinde nemli havaya ait entalpi , özgül nem , kuru termometre sıcaklıkları, termodinamik yaş termometre sıcaklıkları, bağıl nem ve özgül hacim fiziksel değişkenlikleri bulunmaktadır. Bu diyagramda kuru termometre sıcaklığı 0°C ile 50°C arasında bağıl nem 0 (kuru hava) ile 30 g (nem)/kg (kuru hava) arasında değişmektedir. Sabit entalpi değişimleri ise eğik olarak birbirine paralel doğrular şeklinde 1 kJ/kg (kuru hava) aralıklarla belirtilmiş olarak görülmektedir.

Kuru termometre sıcaklıkları sıcaklıkları düz doğrular halinde olmasına rağmen birbirlerine tam olarak paralel değildir ve dik durumdan hafifçe sapmaktadır.Termodinamik yaş termometre sıcaklıkları ise entalpi doğrularından biraz farklı olarak eğik doğrular halinde görülmektedir. Kuru termometre sıcaklıkları ile yaş termometre sıcaklıkları doyma eğrisi ( $\phi=1$ ) üzerinde aynı değere sahiptir. Yaş termometre değişimleri de tam olarak doğru olmasına rağmen birbirlerine paralel değildir. Diyagramda hem yaş hem de kuru termometre sıcaklıkları 1°C aralıklarla belirtilmiştir.

Bağıl nem ( $\phi$ ) eğrileri , bu diyagramda %10 aralıklarla çizilmiştir. Doyma eğrisi % 100 bağıl neme karşı gelirken , W 0 yatay doğrusu % 0 kuru havaya karşı gelmektedir.

Özgül hacim doğruları düz olmalarına rağmen , bunlar da birbirlerine tam olarak paralel değildir. Bunlar diyagramda 0,01 m<sup>3</sup>/kg ( kuru hava ) hassasiyetle belirtilmiştir.

Doyma eğrisinin yukarısında kalan dar bir bölge, nemli havanın sis 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 içindeki 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(Genceli,O.F.,1997)



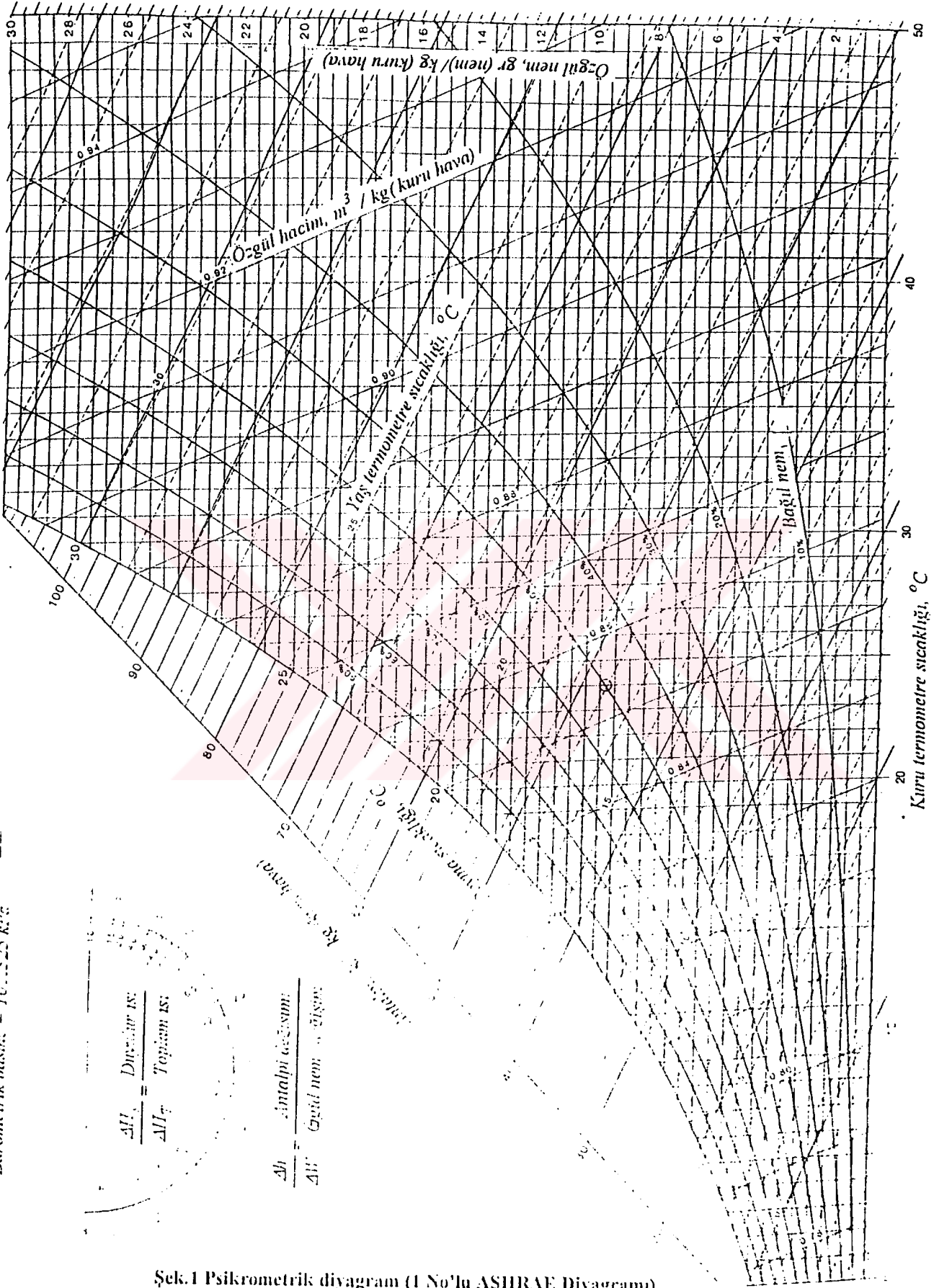
## Psikrometri



Norma! sıcaklık Deniz seviyesi  
Barometrik basınç = 101.325 kPa

$$\frac{\Delta H}{\Delta I_T} = \frac{\text{Dışarı ısı}}{\text{Toplam ısı}}$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta H} = \frac{\text{İhtilali ısı}}{\text{Özgül nem ısı}}$$



Şek.1 Psikrometrik diyagram (1 No'lu ASHRAE Diyagramı).

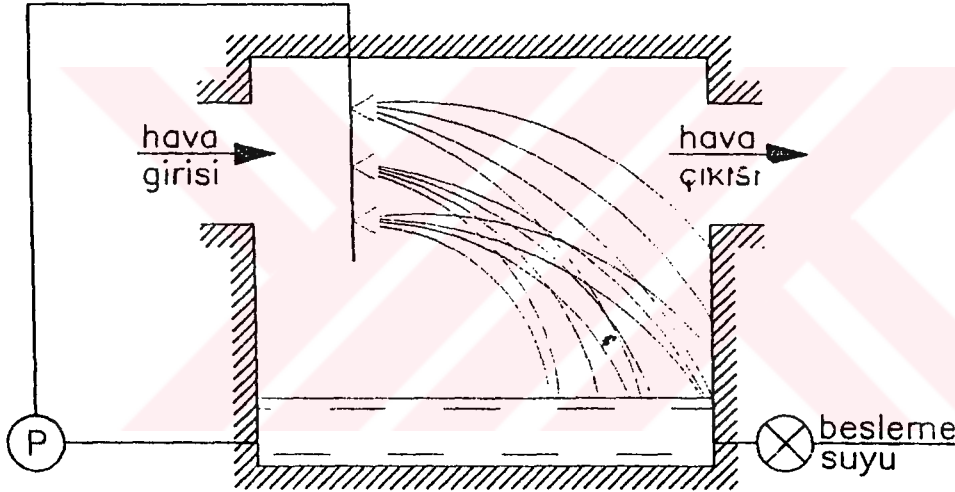
Şekil 2.3 : Psikrometrik diyagram.(Genceli,O.F.,1997;S.13)

### 3. 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.

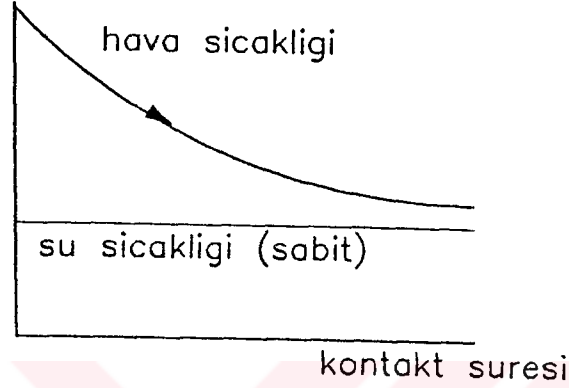


Şekil 3.1 : Sprey tipi evaporatif soğutucu (Watt,J.R.,1963;S.228)

Hava ile 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 sağlanır.

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 soğutucuda hava ve su sıcaklıklarının değişimi.(Watt,J.R.,1963;S.229)

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 düşünölsün. Sistemin tümü kontrol hacmi seçilerek enerji dengesi yazılırsa,

$$m_h \cdot (h_{b2} - h_{h1}) = m_b \cdot h_w \quad (3.1)$$

$h_{b2}$ —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.

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

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

$C_w$ —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)'deki eşdeğeri yazılırsa,

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

denklemini elde edilir.

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

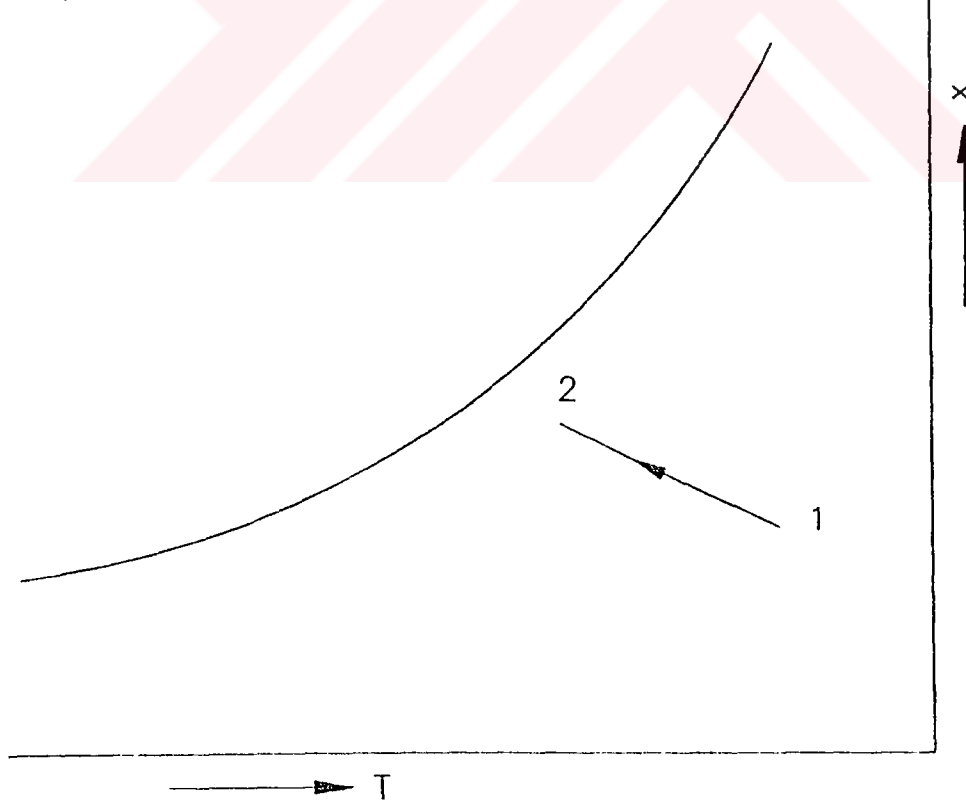
$$\Delta x = x_2 - x_1$$

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.

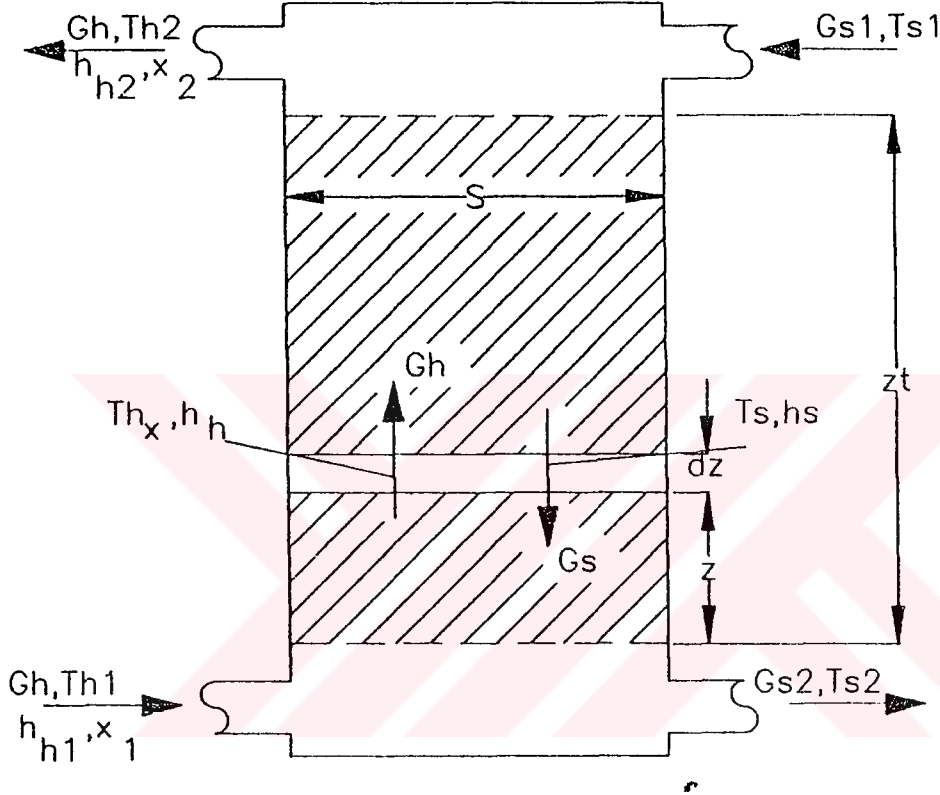
Havanın evaporatif soğutucu içinde uğradığı değişim, şekil 3.3'deki psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Havanın evaporatif soğutucu içinde uğradığı değişim. (Watt, J.R., 1963; S.235)

### 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 gözönüne alalım. Bu sistem içinde ısı ve kütle transferi gerçekleşen herhangi bir iklimlendirme cihazı olabilir.



Şekil 3.4 : İklimlendirme Cihazı. (Watt,J.R.,1963;S.231)

- $T_h$  : Havanın gözönüne alınan hacim parçasındaki sıcaklığı
- $h_h$  : Havanın gözönüne alınan hacim parçasındaki entalpisi
- $x$  : Havanın gözönüne alınan hacim parçasındaki özgül nemi
- $G_h$  : Havanın , birim kesit alanı başına kütledebisi
- $T_{h1}$  : 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 , gözönüne alınan hacim parçacığındaki birim kesit alanı başına kütleli debisi

$h_s$  : Suyun , gözönüne alınan hacim parçacığındaki entalpisi

$T_s$  : Suyun , gözönüne alınan hacim parçacığındaki 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.

$$d. (G_s h_s) = h_a \cdot (T_s - T_i) \cdot a_h \cdot dz \quad (3.7)$$

Bu denklemde,

$h_a$  : Sudan doymuş hava filmine konveksiyonla ısı transferi katsayısı

$T_i$  : Doymuş hava filminin su sıcaklığı

$a_h$  : Birim hacim alanı başına ısı transferi alanı

Doymuş hava filminden havaya olan ısı transferi ise ,

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

denklemleri ile gösterilir. Bu denklemde,

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

$c_{pm}$  : Havanın gözönüne alınan hacim parçacığındaki özgül ısı

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

$$G_h \cdot dx = h \cdot (x_i - x) \cdot a_m \cdot dz \quad (3.9)$$

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 :

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

$$\frac{d_x}{x_i - x} = \frac{h \cdot g_h \cdot a \cdot dz}{G_h} \quad (3.12)$$

Evaporatif soğutma işleminde, su üzerinde bulunan doymuş hava filminin sıcaklığının, havanın sisteme girişteki yaş termometre sıcaklığına eşit olacağı gözönünde bulundurularak , (3.11) denklemi sözkonusu 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.

$$\frac{D_x}{x_y - x} = \frac{h \cdot g_h \cdot a \cdot dz}{G_h} \quad (3.14)$$

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

$$\int_{T_{i2}}^{T_{i1}} \frac{DT_h}{T_y - T_h} = \frac{h_b \cdot a}{G_h \cdot c_{pm}} \int_0^{Z_1} dz \quad (3.15)$$

$$\ln \frac{T_{h2}-T_y}{T_{h1}-T_y} = - \frac{h_b \cdot a \cdot z_1}{G_h \cdot c_{pm}} \quad (3.16)$$

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

$$\ln \frac{T_{h2}-T_y}{T_{h1}-T_y} = - \frac{h_b \cdot a \cdot v_1}{m_h \cdot c_{pm}} \quad (3.17)$$

Denklemini elde edilir. Bu denklemde,

$v_1$  : Isı ve kütle transferinin gerçekleştiği cihaz hacmi

$c_{pm}$  : Havanın cihaz içindeki ortalama özgül ısı

$m_h$  : Havanın kütleli debisi

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

$$\int_{x_2}^{x_1} \frac{d_x}{x_y-x} = \frac{h \cdot g_h \cdot a}{G_h} \int_0^z dz \quad (3.18)$$

$$\ln \frac{x_y-x_2}{x_y-x_1} = - \frac{h \cdot g_h \cdot a \cdot z_1}{G_h} \quad (3.19)$$

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

$$\ln \frac{x_y-x_2}{x_y-x_1} = - \frac{h \cdot g_h \cdot a \cdot v_1}{m_h} \quad (3.20)$$

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

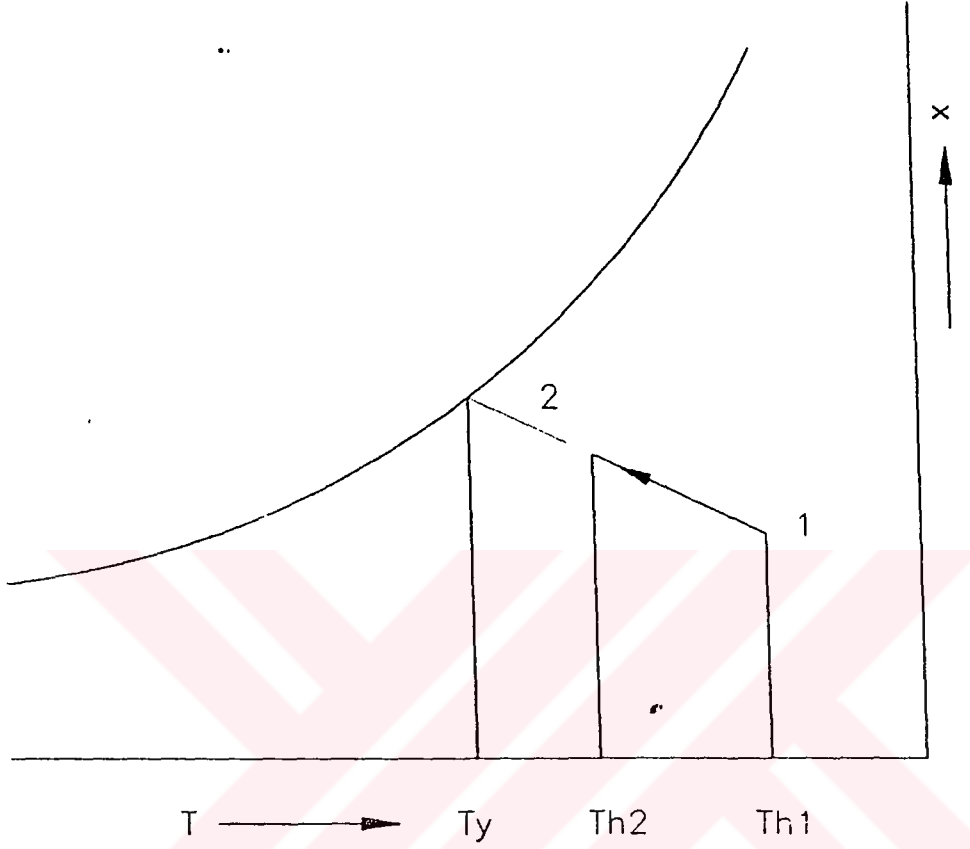
Direkt evaporatif soğutma işleminin etkenliği evaporatif soğutucu içinde hava sıcaklığındaki azalmanın, havanın soğutucuyu doymuş olarak terketmesi halinde uğrayacağı sıcaklık düşmesine oranı olarak tanımlanır. Buna göre etkenlik,

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

olarak yazılabilir. Denklem (3.17) düzenlenirse,

$$\varepsilon = 1 - \exp\left(- \frac{h_b \cdot a \cdot v_1}{c_{pm} \cdot m_h}\right) \quad (3.22)$$

elde edilir.



Şekil 3.5 : Etkenliğin bulunması.(Watt,J.R.,1963,S.234)

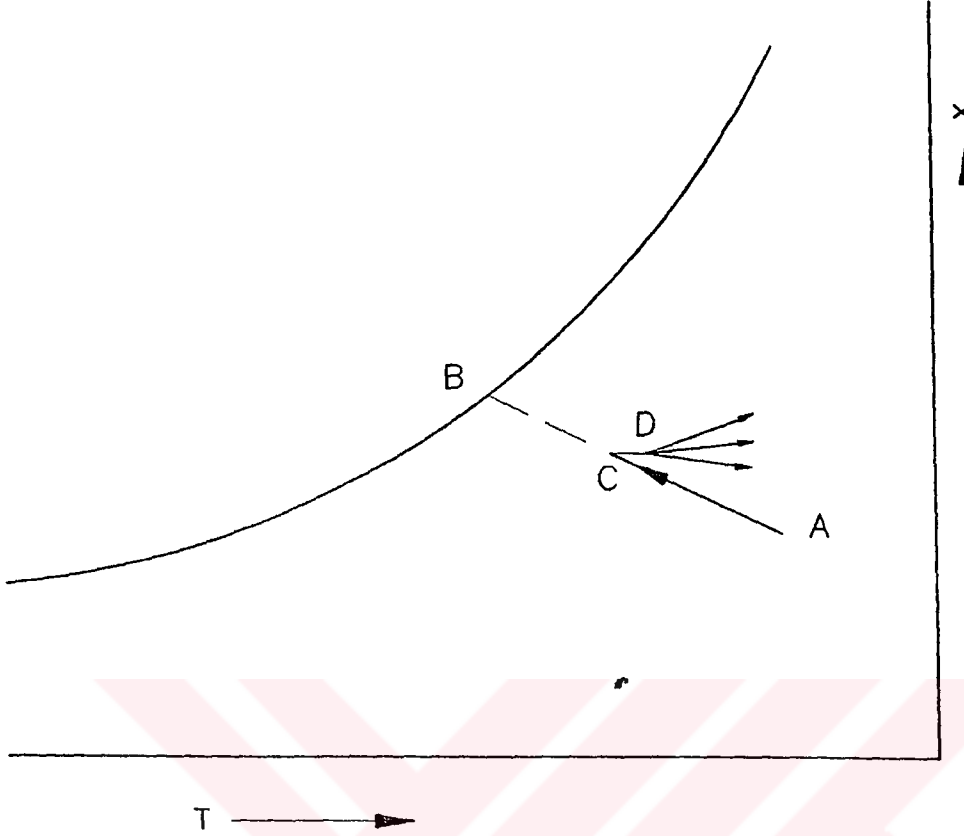
### 3.4. Direkt Evaporatif Soğutmanın Sınırları

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 izafî neme sahip hava , kuru havaya göre daha az su buharı , dolayısıyla daha az gizli ısı absorbe edebileceğinden , % 55 izafî 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 3.6'da A noktası, havanın soğutucuya girişteki özelliklerini , yani çevre

havasının özelliklerini göstermektedir. B noktası ise havanın doyduğu anki özelliklerini gösterir.



Şekil 3.6 : İdeal direkt evaporatif soğutmanın psikrometrik diyagramda gösterilmesi .(Watt,J.R.,1963;S.237)

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.

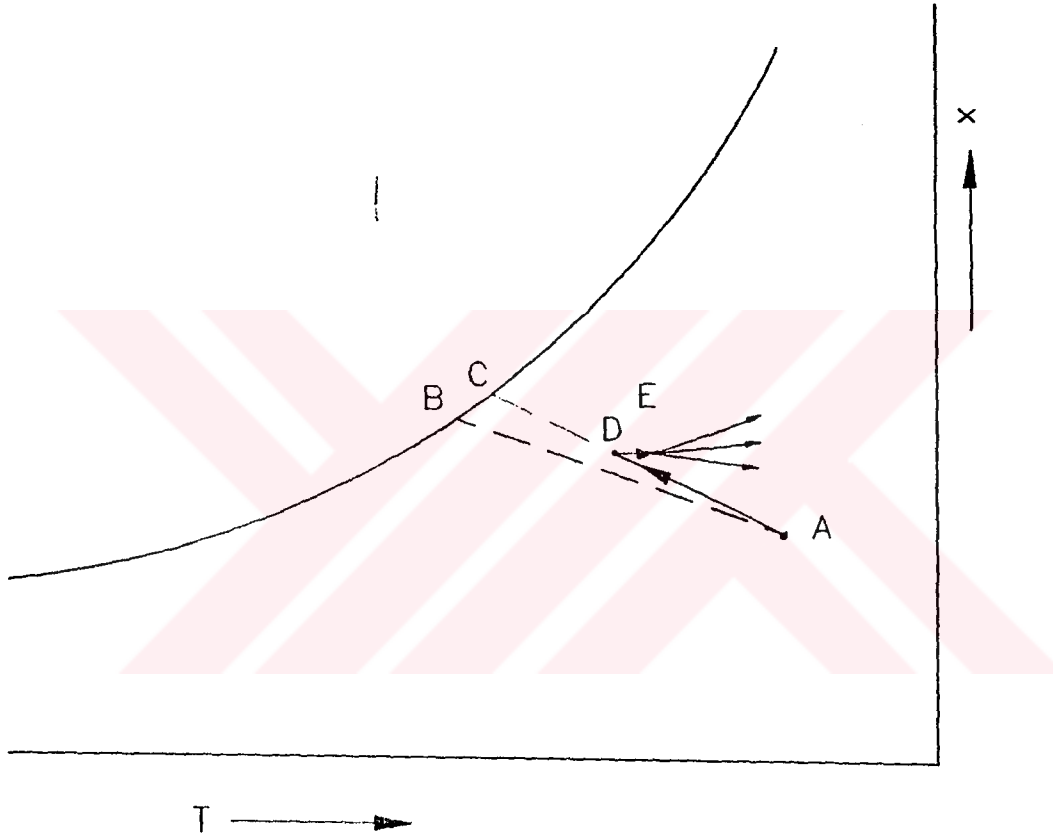
### 3.6. İdeal Olmayan Evaporatif Soğutma

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 noktasından soğutulacak mahale girer. Daha sonra kesik çizgilerle gösterilen özellik değişimlerinden birine uğrayarak mahalden atılır. Şekil 3.7'deki BC eğrisi, tam doyma halinde idel duruma göre havanın kazandığı hissedilir ısıyı temsil etmektedir.



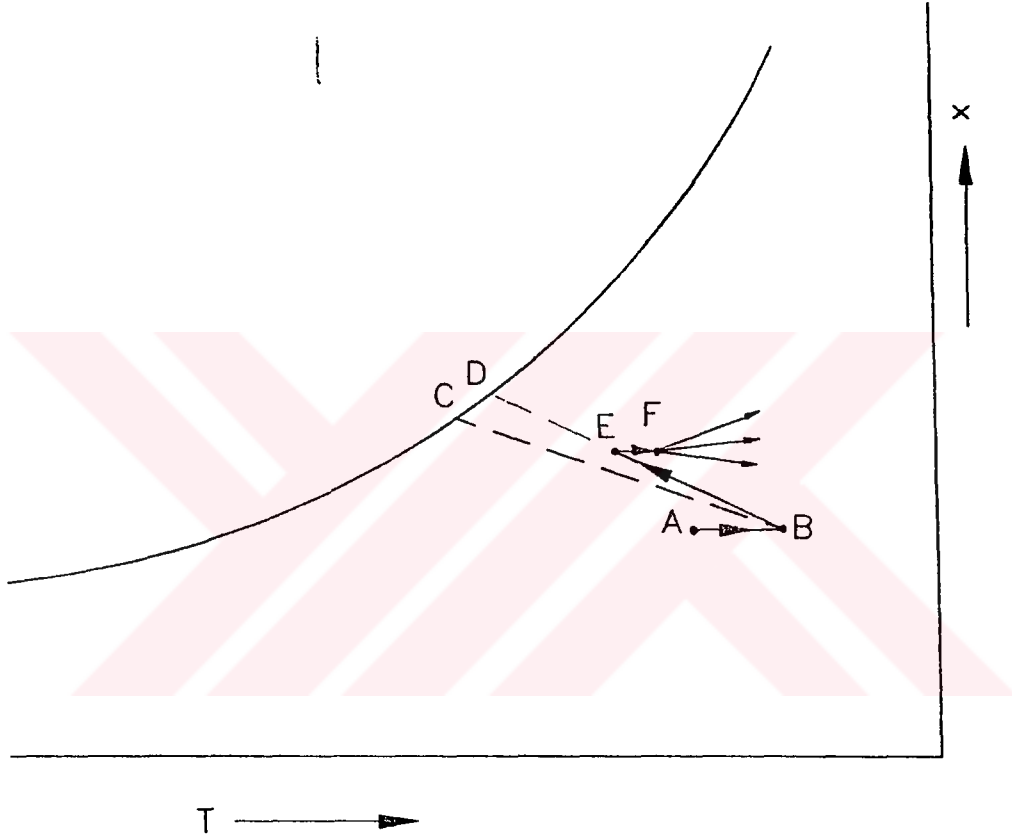
Şekil 3.7 : Su sıcaklığının , havanın girişteki kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasında olması hali için gerekli psikrometrik diyagram.(Watt,J.R.,1963; S.238)

### 3.6.2. Su sıcaklığının, havanın girişteki kuru termometre sıcaklığının üzerinde olması hali

Havanın soğutucuya girişteki özellikleri, yine A noktasıyla gösterilsin. Bu durumda su sıcaklığı hava sıcaklığının üzerinde olacağından, sudan havaya hissedilir ısı geçişi olur.

Bu hissedilir ısı, AB doğrusuyla temsil edilsin. B noktasında hava ve su sıcaklıkları birbirine eşit olduğundan, olayın bundan sonraki kısmı şekil 3.7 'deki gibi devam eder.

E noktasından soğutucudan çıkan hava, F noktasında mahale girer. Daha sonra kesik çizgilerle gösterilen özellik değişimlerinden birine uğrayarak mahalden atılır. Şekil 3.8 'de kesik çizgilerle gösterilen BC doğrusu, ideal hali göstermektedir. Yukarıdaki prosese göre, soğutulacak hava dışında sistem içine girecek her türlü ısı sistemin verimini azaltır. Bunun için, evaporatif soğutucu ısıya karşı iyi yalıtılmalıdır.



Şekil 3.8 : Su sıcaklığının, havanın girişteki kuru termometre sıcaklığının Üzerinde olması hali için gerekli olan psikrometrik diyagram.  
(Watt,J.R.,1963;S.247)

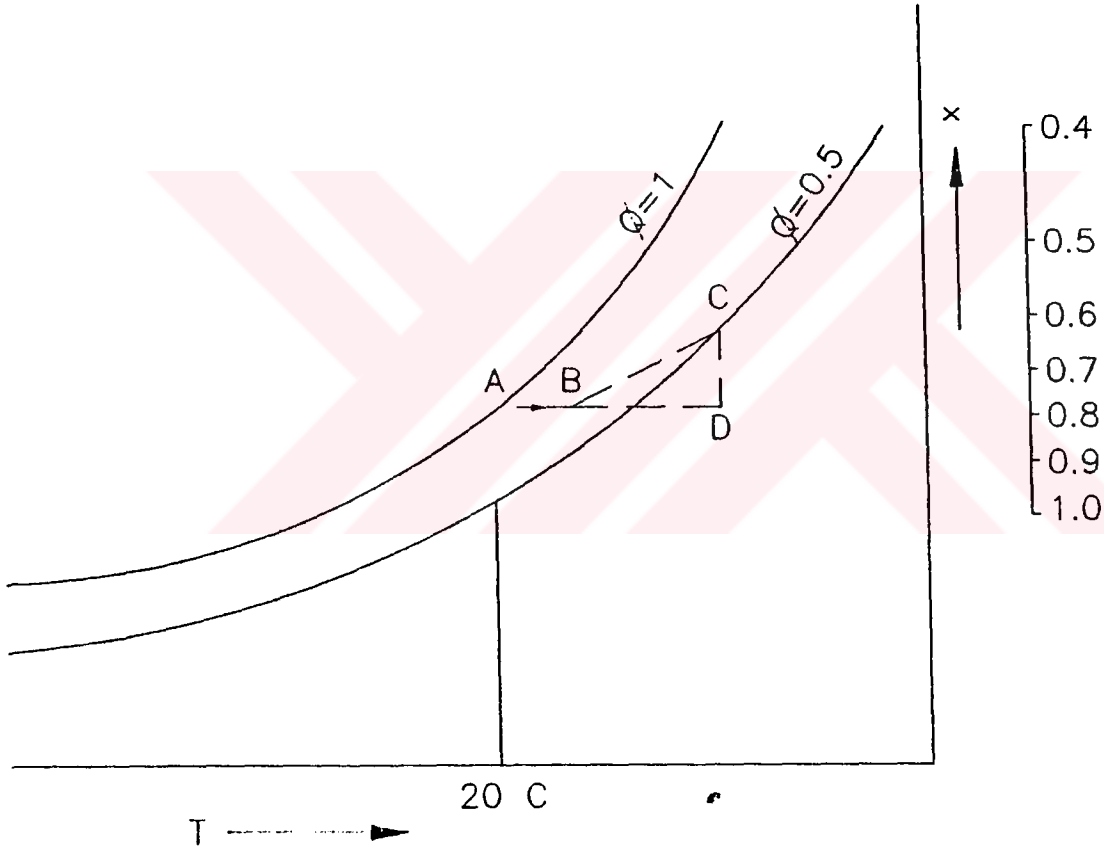
### 3.7.Evaporatif Olarak Soğutulan Havanın Mahal İçindeki Davranışı

Mahal içinde gönderilen şartlandırılmış hava , mahal içindeki duvar, tavan, eşyalar havadan hissedilir 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 gibj gösterilebilir.

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(Gökşin,A.Ş.,1997)



Şekil 3.9 : Havanın mahal içinde uğradığı değişimin psikrometrik diyagramda gösterilmesi. (Watt,J.R.,1963;S.254)

## 4.DİREKT EVAPORATİF SOĞUTMANIN KULLANILABİLECEĞİ BÖLGELERİN BELİRLENMESİ

### 4.1. Konfor ve Konforu Etkileyen Faktörler

İnsan bünyesinde üretilen ısınn 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 sözkonusudur. 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 da artar.

Vücutta üretilen ısınn dışarı atılmasında dört faktörün etkili olduğu söylenebilir. Bu faktörler:

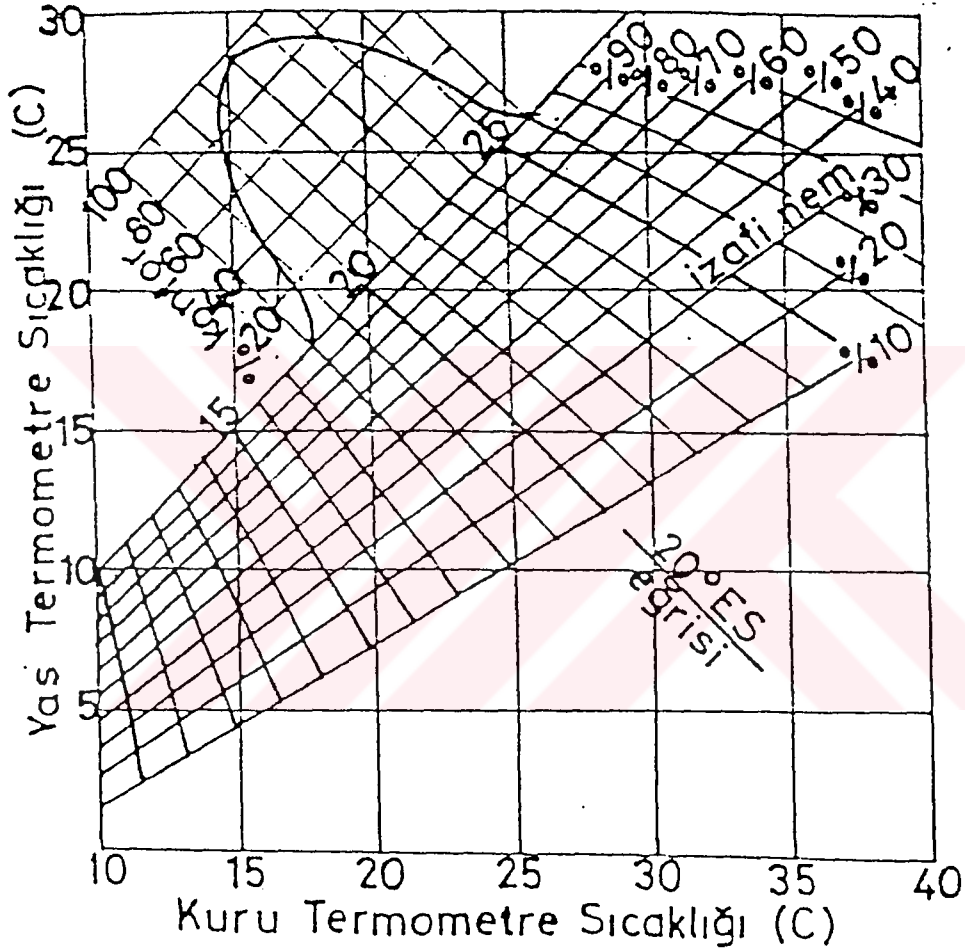
- 1- Duvar ve tavan sıcaklıkları
- 2- Ortam havasının sıcaklığı
- 3- Ortam havasının hızı
- 4- Ortam havasının izafi nemi

### 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, sözkonusu üç faktörün birleşik etkisini gösterir. Efektif sıcaklık, herhangi bir ölçüm aletinde okunan sıcaklık olmamakla birlikte, hava hızı ve izafi nemi de gözönüne alındığından, konforu termometrelere göre çok daha iyi bir şekilde belirler. Efektif sıcaklık, Es ile gösterilecektir.

A.B.D'nin 41°K enlemlili Pittsburg şehrinde normal yazlık elbise giymiş kişiler üzerinde yapılan deneylerde, gözleme tabii tutulanların % 96'sının, 22° Es'a 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 enlemlerinde 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. (Watt,J.R.,1963;S.267)

#### 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 çan eğrisinin sınırladığı konfor bölgesinin dışına çıkılmadığı sürece % 85'e varan izafi nem değerinin bile konforda bir bozukluk meydana getirmediği 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 kuruluşuna, deri çatlamlarına ve benzeri zararlara sebep olduğundan istenmez. Bunun için mahal içindeki izafi nemin % 30 – 70 değerleri arasında olması gerekir.

#### 4.4. Evaporatif Soğutma İşlemiyle Elde Edilecek Başarının Şartlara 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 iklim şartlarının global olarak ifadesi

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<sub>a</sub>: 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 mahalın evaporatif olarak soğutulması çok olumlu sonuç verir. Bu şart sağlanamadığı takdirde,

T<sub>b</sub> : YT sıcaklığı 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 mahalın evaporatif olarak soğutulması vasat bir sonuç verir. Bu şartın da sağlanmaması halinde,

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

$$\frac{T - T_c}{T} \geq 2/3 \quad (4.3)$$

şartı sağlanıyorsa, bu bölgede bulunan bir mahalın 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 mahalın efektif sıcaklığının konfor üst limitinin altında tutulması başarılabilir. Ayrıca yüksek izafi neme sahip iklimlerde adyabatik doyma yanında mahal içi hava hızı büyük tutularak da 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 özellikler sahip olması gerektiği belirtilmektedir.(Watt ,1963)

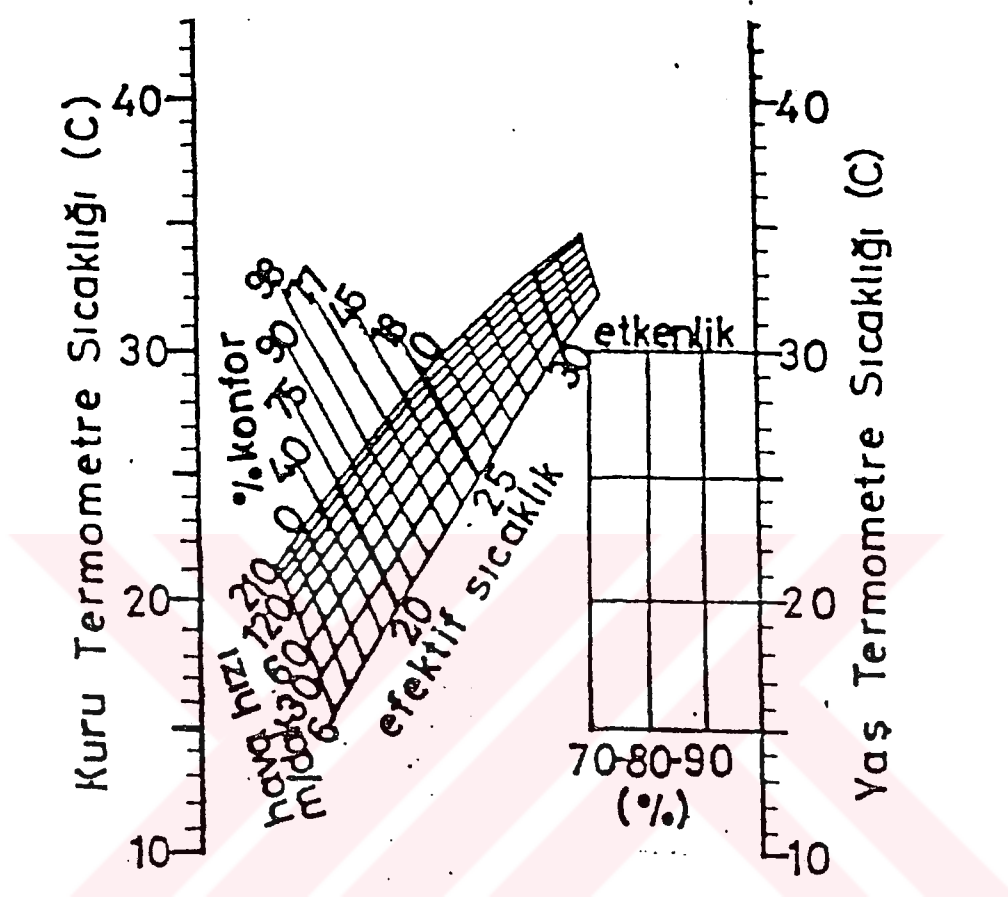
- 1- Soğutucudan çıkan havanın mahale girmeden önce kazandığı ısı, ihmal edilebilecek mertebede olmalıdır.
- 2- Direkt evaporatif soğutucu en az % 70'lik bir etkenliğe sahip olmalıdır.
- 3- Mahal içi, ihmal edilebilecek mertebede olmalıdır.
- 4- Soğutulan mahalın ortalama sıcaklığı, havanın mahal dışına 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 sıcaklığının en az 4,5°C altında olmalıdır.

#### 4.4.3. Evaporatif soğutmada konfor hesaplama diyagramı

Herhangi bir bölgede evaporatif soğutmayla 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 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. (Watt,J.R.,1963;269)

İçinde bulunan 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 işaretleterek birleştirilir. Bu doğruya çevre hal doğrusu (ÇHD) denir.
- 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- 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, 90m/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 iklim şartları

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 aşmamalı

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, ek 1'de sunulmuştur. (Watt, J.R., 1963)

## 5. DİREKT EVAPORATİF SOĞUTUCU ÇEŞİTLERİ

Pratikte genelde doğrudan evaporatif soğutucular 3'e ayrılır:

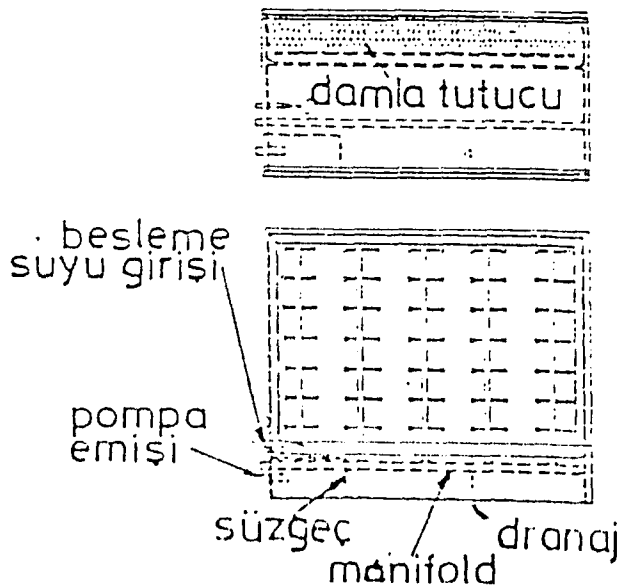
- 1-Su püskürtmeli evaporatif soğutucu
- 2-Islatılmış yüzeyli tip evaporatif soğutucu
- 3-Döner silindirli evaporatif soğutucu

### 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 sürünmesini 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 yanısıra özellikle tozlu, kirli ortamlarda havanın temizlenmesi içinde başarı ile kullanılabilir. Hava yıkayıcılarda pratikte 1 ila 120 m<sup>3</sup>/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.



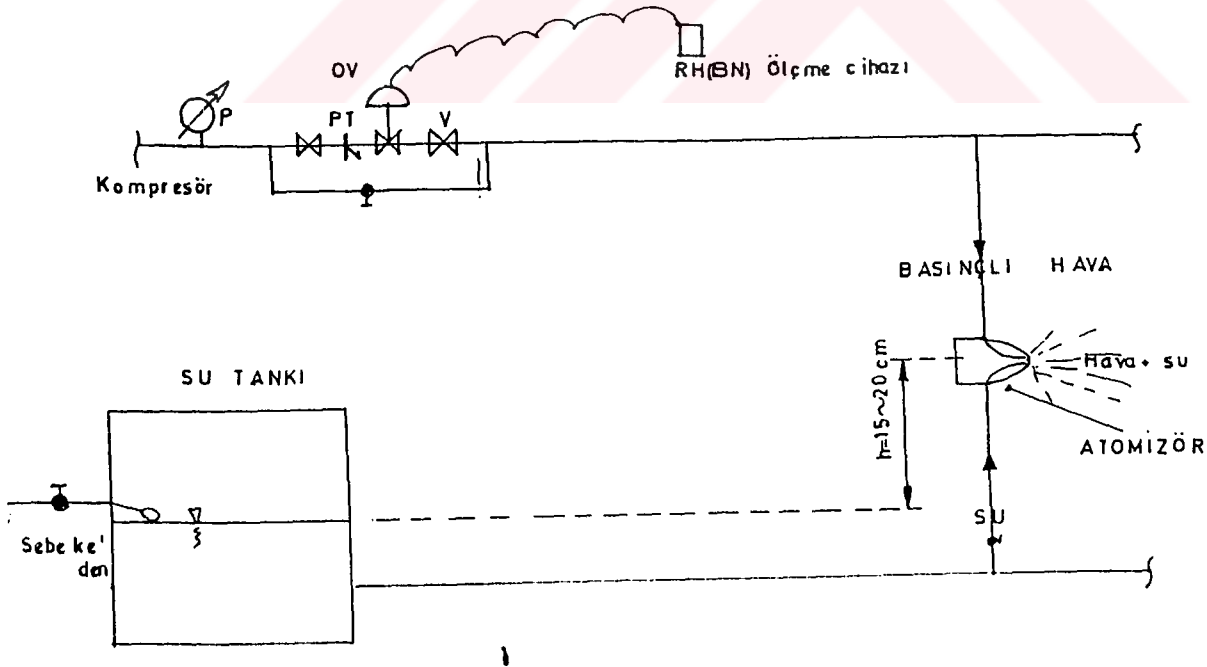
Şekil 5.1: Sprey tipi evaporatif soğutucu. (Watt,1963;S.123)

Bu tip cihazdan esas olarak istenen özellikler sırasıyla;

- 1-Cihaz içinde hava düzgün bir şekilde dağılmalıdır.
- 2-Yeterli miktardaki su zerrecikleri hava içine püskürtülmelidir.
- 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 m/s ile 3m/s değeri aşılmaz. Memelerdeki basınç genelde 140 kPa ile 180 kPa arasında değişir.

Tesisat şekil 5.2'de görüldüğü gibi , kompresör-atomizör-su deposu sisteminden ibarettir. Kompresörden gelen hava basınç düşürücü hava ile genellikle 2,5÷2,8 atü'ye düşürülür. Basıncı hava atomizörün içinden geçerken , akışkanlar mekaniği prensiplerine göre bir vakum oluşturur. Vakum neticesinde su atomizöre girer ve hava ile karışarak odaya püskürtülür. Odada nem değeri yükseldiği zaman ölçme cihazı basınçlı hava hattındaki otomatik vanaya kapa emrini verir. Kapama işlemi , ölçme cihazından yeni bir sinyal gelinceye kadar oransal olarak devam eder.



Şekil 5.2: Atomizasyon tesisatı.(Gökşin,1997;S.2)

V: vana

OV: Otomatik vana

PT:Pislik tutucu

Normal Őebeke suyunu, basıncılı hava ile 0,5  $\mu$  byklgnde partiküllere ayrıŐtırarak sis halinde havaya veren atomizör nemlendirici nozullar tekstil, aŐaŐ, plastik, mobilya, ayakkabı endüstrilerine, peynir, meyve, sebze, deri, krk depolarında, matbaalarda, boyahanelerde, seralarda ve daha birÇok nem gerektiren mahallerde kullanılmaktadır.

Vakum sistemi ile ŐalıŐan nozullarda hava ve su farklı kanallarda ilerlemekte ve nozulun ŐıkıŐ aŐzında karŐılaŐarak parŐalanmaktadır. Bu yüzden nozul iÇinde kireÇ taŐı oluŐmamaktadır.

Bu sistemde durgun havaz suyu kullanılmayıp, normal Őebeke suyu kullanıldıŐından bakteri üremesi gibi bir risk bulunmamaktadır. Verilen suyun kalitesi ne ise havaya verilen sisin kaliteside aynı olmaktadır.

Sistem su miktarının hava basıncıyla ayarlanması esasına dayandıŐından , basınc kontrol edilerek aynı nozuldan 3 kg/h kapasiteden baŐlayarak 7 kg/h'e kadar nemlendirme elde edilmektedir. 12 nozula kadar bir kontrol nitesi ile kumanda edilebilmektedir.

Proses süresince havaya hiÇ ısı ilave edilmeyen veya havadan hiÇ ısı alınmayan bir termodinamik proses olarak da tanımlanabilir. Bu prensiple ŐalıŐan nemlendiricilerde havanın duyulur ısısı, buharlaşacak suyun gizli ısısı ile yer deŐiŐtirir. Bu hava sıcaklıŐında düŐmeye neden olur, ancak toplam ısı aynı kalır.

Adyabatik prosesi kullanan nemlendiriciler genel olarak 3 ŐeŐittir. Hava yıkayıcı/evaporatif soŐutucu , ıslak malzeme ve eevaporatif soŐutucular genellikle büyük merkezi klimalarda kullanılır. Atomizer tiplerin geniş kapasiteli olanları özel proses uygulamalarında, kŐk kapasiteli olanları ise konutlarda, odalarda kullanılır.

### 5.1.1.Hava yıkayıcıları

Hava yıkayıcıların dizaynı diŐerlerine göre daha geliŐmiŐtir. Bu tertibatın kullanımı genellikle tekstil, kaŐıt, aŐaŐ işleri ve baskı endüstrileri gibi kurumsal, ticari ve endüstriyel tip binalarda büyük merkezi havalandırma sistemleriyle sınırlıdır. Hava yıkayıcısı oldukÇa yoŐun bakım gerektirir ve fabrikalarda iyi eŐitilmiŐ bir servis personeline ihtiyaÇ vardır. Aslında hava yıkayıcılarının nemlendirme fonksiyonu ikinci plandadır. Bu sistemde havayı temizleme ve soŐutma fonksiyonu , sistemin asıl özelliğidir.

Hava yıkayıcıların sprey tipi ve rijit malzemeli olarak iki tipi vardır. Sprey tipi yıkayıcı, havanın geŐtiĐi bir oda ya da bölümden oluşur. nitenin zemini su geŐirmez havuz

şeklinde ve su, pompa ile oda içindeki nozullardan sprey halinde verilir Hazne suyu otomatik olarak takviye edilir.

Sprey nozul dizisi, suyu havanın geldiği yöne doğru püskürterek bir su perdesi oluşturur. Pompa suyu havuzla nozul arasında sirküle ettirir. Yıkayıcını giriş bölümünde hava akımının düzgün olmasını sağlamak için bir yönlendirici, çıkış bölümünde ise su damlacıklarını veya diğer partikülleri tutmak için bir damla tutucu bulunur.

Rijit malzemeli tip , suyun nozullarla perde oluşturması yerine, ıslak malzeme kütlesi içinden geçmesi dışında, hemen hemen aynı dizayndadır. Hücrelerden oluşan rijit malzeme, cam, metal ya da doğal elyaf gibi çeşitli materyallerden yapılmıştır. Su aşağıya doğru akar, hücrelerin içinden geçerek onları ıslatır. Havuza dökülen su, devamlı olarak sirküle ettirilir.

Adyabatik tip nemlendiricilerin kapasitelerinin bir limiti vardır. Çünkü buharlaşmanın ısısu havanın kendinden alınır. Havanın tutabileceğinden daha fazla su buharı emebilmesi imkansızdır. Diğer bir deyişle , hava nemlendirici bölümünden çıktığında , bütün pulvarize olmuş suyun yok olduğunu veya buhar haline geldiğini farzetsek bile su buharının tamamen absorbe olması ve gözle görülmemesi gerekir. Bu her zaman doğru değildir. Eğer uygunsuz tatbik edilirse, havayı aşırı doyurabilir.

Basıncı atomizer sistem, basıncı suyun boru sistemiyle bağlantılı olan atomizer nozullara gönderilmesi ile oluşur. Nozul suyu atomize ederek havaya verir ve sonra buharlaşma olur.

Havalı atomize sistemde, yukarıdaki sisteme ilave olarak nozulda gerekecek basıncı hava ve borulama sistemi vardır. Basıncı hava nozul ucunda suyla karışır ve suyu atomize eder. Bu sistem, nozulda daha geniş su açılımı sağlar, bu yüzden sudaki kirlilikten az etkilenir. Ayrıca suyu daha küçük partiküllere parçaladığından evaporasyon daha iyi olur. Nemlendirmenin bu çeşidi çok sık olarak hem soğutma hem de nemlendirme gereken sebze ve meyve paketleme endüstrisinde kullanılır.

Adyabatik nemlendirme sisteminin ilk yatırım maliyeti genellikle izotermal sistemden daha fazladır. Ancak eğer nemlendirilecek mahalde yüksek ısı kazançları varsa ve bu yüzden taze havanın buharlaşma gizli ısısu sağlamak için bir ön ısıtıcı maliyeti olmayacaksa, yatırımda yapılan fazla harcama kısa zamanda telafi edilebilir.(Gökşin, A.H., 1997)

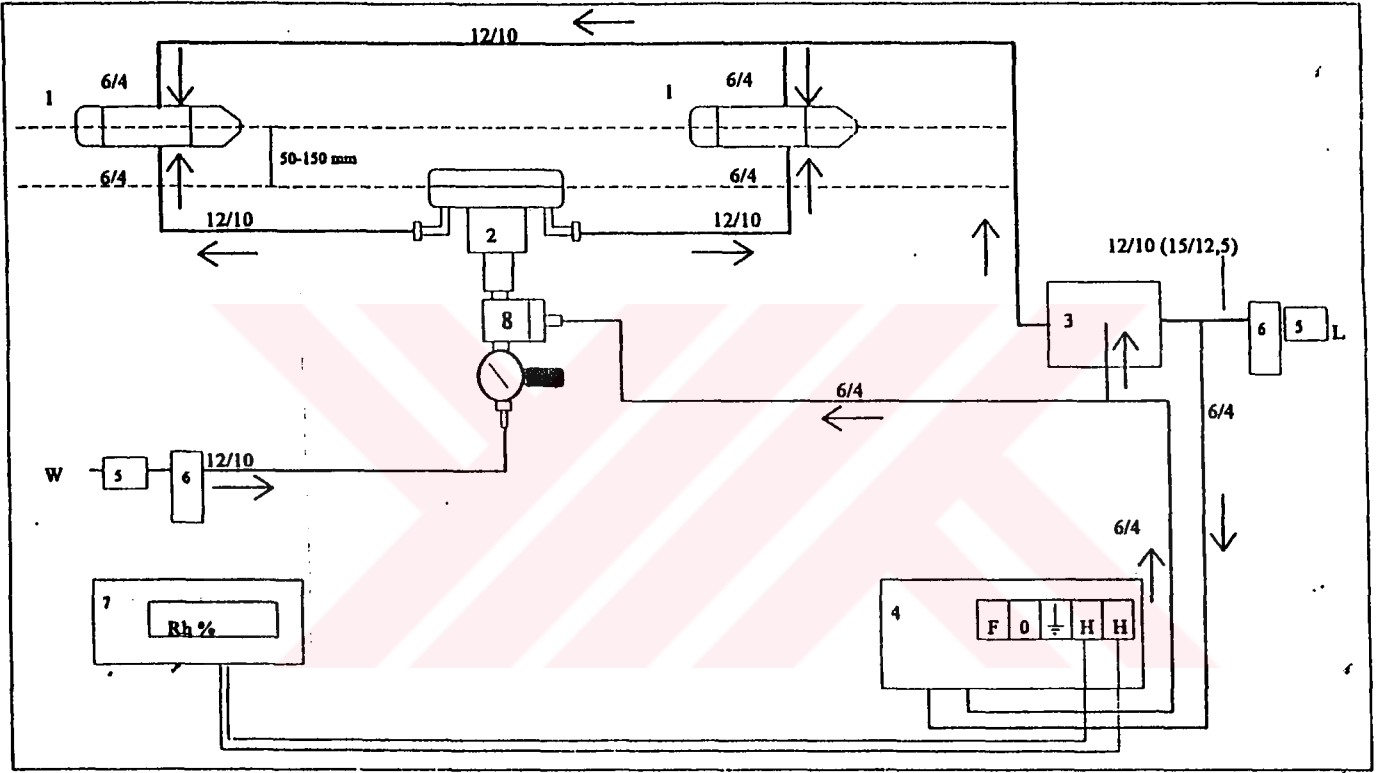
## **5.2. Su Püskürtmeli Evaporatif Soğutucu Sistemini Oluşturan Elemanlar ve Montajlarının İncelenmesi**

Montaj diyagramında yer alan elemanlar şunlardır:

1-Nozul

2-Vakum valfi

- 3-Anavalf
- 4-Kontrol paneli
- 5-Su/Hava kapatma valfi
- 6-Su/Hava filtresi
- 7-Higrostat
- 8-İmniyet valfi



Şekil 5.3: Montaj diyagramı. (Gökşin, A.H., 1997; S.3)

### 5.2.1. Nozul

Nozullar sütuna ya da duvara ; döşemeye minimum uzaklık 2,5 m. ve tavana serbest mesafe en az 0,5 m. olacak şekilde montajlanır. Nozullar yoğuşmaya karşı 3-4 m. mesafeli olmalıdır. Tüm nozullar vakum valfine aynı seviyede montajlanarak bağlanmalıdır. Nozullar ortasında bulunan vakum valfinin her iki yanında su çıkış yeri bulunmaktadır.

### 5.2.2. Vakum valfi

Vakum valfi nozulun merkezinde, nozulun 50-150 mm. aşağısında montajlanır. Nozul merkezi ve diyafram arasındaki mesafe ölçülür.

### 5.2.3. Anavalf

Anavalf vakum valfine monte edilir.(Eğer kontrol panelinde monte edilmemişse)

Kontrol paneli serbest bir bölgeye monte edilir. Döşemeye 1,5 m. uzaklıktadır. Kontrol paneli ve hava 6/4 mm. flexible naylon bir hortum yoluyla sisteme ya da hava dağıtım şebekesine bağlanır.Kontrol panelinde hava çıkış yolundan; pnömatik emniyet valfine ve pnömatik kontrol giriş yolu anavalfine 6/4 mm. bir flexible naylon hortumla bağlanır. Kontrol paneli 230 V, 50 Hz. 1 fazlı güç kaynağına bağlanır.

### 5.2.4. Su-hava bağlantıları:

Sıkıştırılmış hava nozul numaralarına bağlı olarak tesisata en az ½'' boru ile bağlanmalıdır. Borulamalar montaj bitiminden 1m. daha uzakta bitmelidir ve uçlarında ½''\*12/10 mm. vana bulunmalıdır. Eğer nozul sayısı 12 veya daha az ise ve anavalfin herbir kenarı en sonuncu nozulun 20 m. altındaysa 12/10 mm. bir flexible naylon hortum kullanılır. Eğer 12 nozuldan daha fazla ve 20 m'yi anavalfin herbir kenarında 15/12,5 mm. flexible naylon bir hortum kullanılır. Flexible hortum partikül filtresine (hava akış yönüne dikkat edilerek) ve oradan anavalfin ilk kenarına bağlanır. Anavalfin ikinci kenarından nozula hava dağıtılır. Her bir nozulun aşağısına 12/10 mm\*6/4 mm. naylon hortumla bir T bağlantısı montajlanır. Nozulun hava giriş yoluna 6/4 mm'lik kenar bağlanır.

Partikül filtreden sonra fakat anavalfden önce 12/10 mm\*6/4 mm'lik bir T bağlantısı montajlanır. 6/4 mm'lik kenar, kontrol paneli hava giriş yoluna gider. Kontrol panelinde, hava çıkış yolundan; anavalfde pnömatik kontrol hava giriş yoluna aynı zamanda vakum valfinde pnömatik emniyet valfine bağlanır. (6/4 mm'lik bir T bağlantısı kullanılır.)

Su kenarında partikül filtreye ve partikül filtreden vakum valfinin su giriş yoluna 12/10 mm'lik bir flexible hortum bağlanmalıdır. Giriş yolu 6/4mm'dir. Doğru kullanılırsa 12/10mm'den 6/4 mm'lik boruya azalır. Vakum valfinin her iki çıkış yolundan nozullara 12/10 mm'lik naylon hortum gerekir. Her zaman her ikisi de nozulların ortasında vakum valfi monte edilerek kullanılabilir. Vakum valfi nozulların 50-150 mm. aşağısında monte edilmelidir. (Nozulların merkezi ve diyafram arası mesafe)

Naylon hortumun kesinlikle yatay ve düz olarak monte edilmesi çok önemlidir. Her bir nozulun aşağısında 12/10\*6/4 mm'lik bir T bağlantısı naylon bir hortumla monte edilmelidir. 6/4 mm'lik kenar nozulun su giriş yoluna bağlanmalıdır.

Kontrol paneli çalıştığında higrostat nemlendirme için çalışır ve kontrol panelinde solenoid vana açılır. Hava kontrolü anavalfde pnömatik kontrol hava giriş yoluna dağıtım yapar ve nozullara hava dağıtımını yapar. Vakum valfinde pnömatik emniyet valfi suyun akışını sağlamak için valf merkezine açılır. Bundan dolayı valf merkezine konik bir şekil verir ve O-ring'in varlığı ile daha fazla su dağıtımını önlenir.

Nozula sıkıştırılmış hava girdiğinde vakum ilkesi (enjeksiyon hareketi) ile çalışır. Nozulun su kısmı (-0,15 – -0,3 bar) arasında bir vakum doğuracaktır. Bu vakum diyafram ve vakum valfinin su giriş yolunda yer bulur ve valf merkezi aşağı indirerek aşağı çeker. Vakum nozullara su dağıtımını sağlar. Nozullarda hava ve su farklı kanallarda ilerler. Su ve sıkıştırılmış hava nozulu terkedinceye kadar karışmaz. Kireç tortuları riski, bakteri büyümesi vb. engellenir. Sıkıştırılmış havada çok iyi bir aerosol ile parçalanır. Havada buharlaşır. Su miktarı nozula her zaman havanın basıncına orantılı olarak emilecektir. Damlacık ölçü tespiti vakum valfinin üzerindeki topuzun dönmesi ile kolaylıkla düzeltilebilir. Saat yönünde damlalar küçülmeye; tersi yönde ise damlalar büyümeye başlayacaktır.

### **5.2.5. Kontrol paneli**

Pnömatik anavalfde hava basıncı ayarlanmasıyla; kontrol paneline konulan basınç azaltıcı bir valfle hava basıncı çalışması kontrol edilir. Hava basıncı çalışması bir ayar ile gösterilir. Kontrol paneli aynı zamanda nozulun temizleme fonksiyonu aktivitelerinin bir zaman düzenleyicisini içerir. Bu ayar fabrikada bir saatlik müddette 6 saniye duracak şekilde ayarlanmıştır. Suyun kalitesine göre ayarlamalar kolaylıkla yapılır.

Su nozula sadece sıkıştırılmış hava girdiğinde akacağından bu emme prensibi güvenilir bir fonksiyondur. Eğer sıkıştırılmış hava herhangi bir sebeple (güç kesilmesi v.b.) kesilirse nozulda basınç sıfıra eşitlenecektir. Aynı zamanda vakum valfinde vakumsuz su çıkış yolunda valf merkezi ve diyaframın itilerek vakum valfinin en üst noktasına sıçramasına müsaade eder. Ekstra emniyet için vakum valfinin arasından daha fazla su dağıtımını önlemek için emniyet valfi kapatılır. Su kısmı bu durumda tamamen kapalıdır.

Sistemin çalışabilmesi için:

- 1-Kapalı su ve hava valfleri açılır.
- 2-Kontrol panelindeki ana switch ayarlanır.

3-Higrostat gerçek değerdan daha yüksek olacak şekilde değeri vermeye ayarlanır. Manyetik valf bu durumda açıktır.

4-Kontrol panelinde işletme basıncı istenilen şekilde ayarlanır. (2-6 bar)

5-Ayar valfinde 0,3-1 barlık basınca ayarlanır.

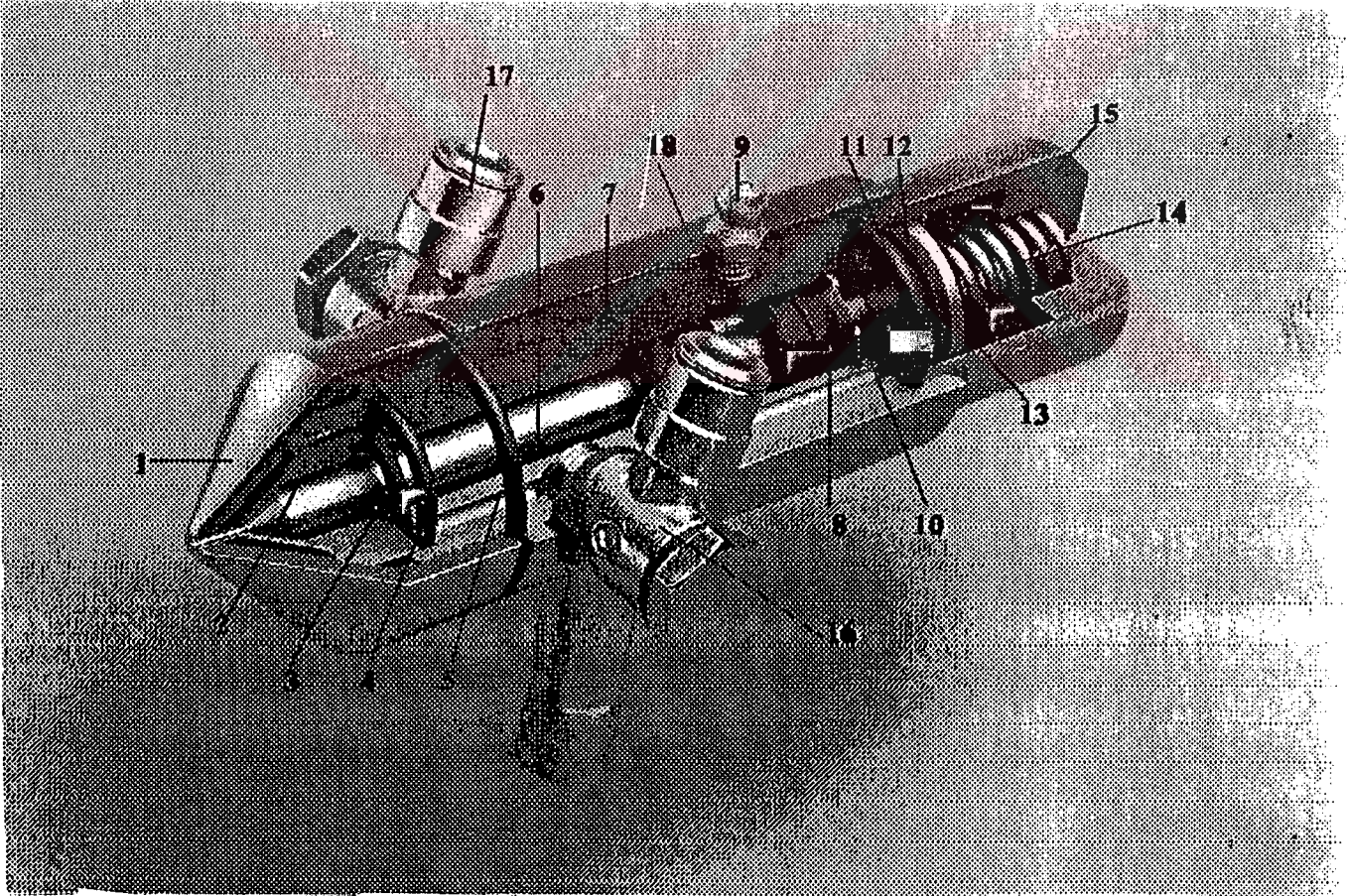
6-Vakum valfinin en üst noktasındaki topuz ayarlanarak vakum valfi de karşı basınca ayarlanır.

7-Higrostatda istenilen ayar değeri ayarlanır.

8-Ayar değerine ulaştığı zaman hava kesilip higrostat kontrol edilir.

### 5.3.Nozul ve Yapısı

#### 5.3.1. LFV Tipi nozul sistemi



Şekil 5.4: LFV tipi nozulu oluşturan elemanlar.(Gökşin,A.H.,1997,S.4)

1-Nozul	10- Kapatma halkası
2-Nozul ana memesi	11- O-ring
3-O-ring	12- Yanak contası
4-O-ring	13- Arkadaki kapak
5-O-ring	14- Yay
6-Temizleme iğnesi	15- Silindir sonu
7-Nozul gövdesi	16- Sıkıştırılmış hava bağlantısı
8-Manşon	17- Su bağlantısı
9-Yağ nipeli	18- Boşluk

Şekil 5.4'de özellikleri belirtilen LFV nozul sistemi ünite başına 84 kg/h nemlendirme kapasitesi olan birbirinden bağımsız nozullardan oluşabileceği gibi ek 2' de belirtilen LFV-S4-6-8-10-12D tipinde 4, 6, 8, 10 ya da 12 nozullu modüler üniteler şeklinde de olabilir. Ayrıca bir LFV-R kontrol ünitesi ile sınırsız sayıda ünite kontrol edilebilir.

Ek 3' de belirtilen LFV-K1-2-3 tipi model ise 7,14 veya 21 kg/h'lik nemlendirme kapasitesi olan 1, 2 veya 3 nozul içeren ve daha küçük tesisler için tasarlanmış, kullanıma hazır olan kompakt bir sistemdir.

Maksimum nozul kapasitesi : 7 kg/h

Hava sarfiyatı : 18-54 l/min

Ses seviyesi : 40-55 db(A)

Elektrik bağlantısı : 220 V; 10 A

LFV nozul sistemi kontrollü ve sabit hava nemliliğinin gerekli olduğu bütün endüstriyel işlemlerde uygulanan ultrasonik bir nemlendirme sistemidir.

Bu sistemin tipik uygulamaları tahta ve kağıt gibi higroskopik materyallerin endüstriyel işlemini içerir. Bağıl nemin % 98'e varan yüksek seviyelere ulaşması için ya da materyallerin (kağıt dokusu veya elektronik cilalama prosesi v.b.) direkt nemlendirilmesine ihtiyaç varsa , çok ince bir buğunun olması gerekir. Bu materyaller rutubetini ortam havasına aktardığından ortam havasının nemi istenilen seviyeye getirildiğinde materyaller gerekli nemi tutarlar ve böylece defolu üründen ve kötü kaliteden dolayı oluşan zararlar azalır. Statik elektriğin bulunmadığı ortamlar gerektiren elektronik ve plastik endüstrilerindeki işlemler içinde çok önemlidir. Statik elektrik yüklü materyallerin ilgilendirdiği problem bağıl nemi % 45 veya daha fazla azaltmasıdır.

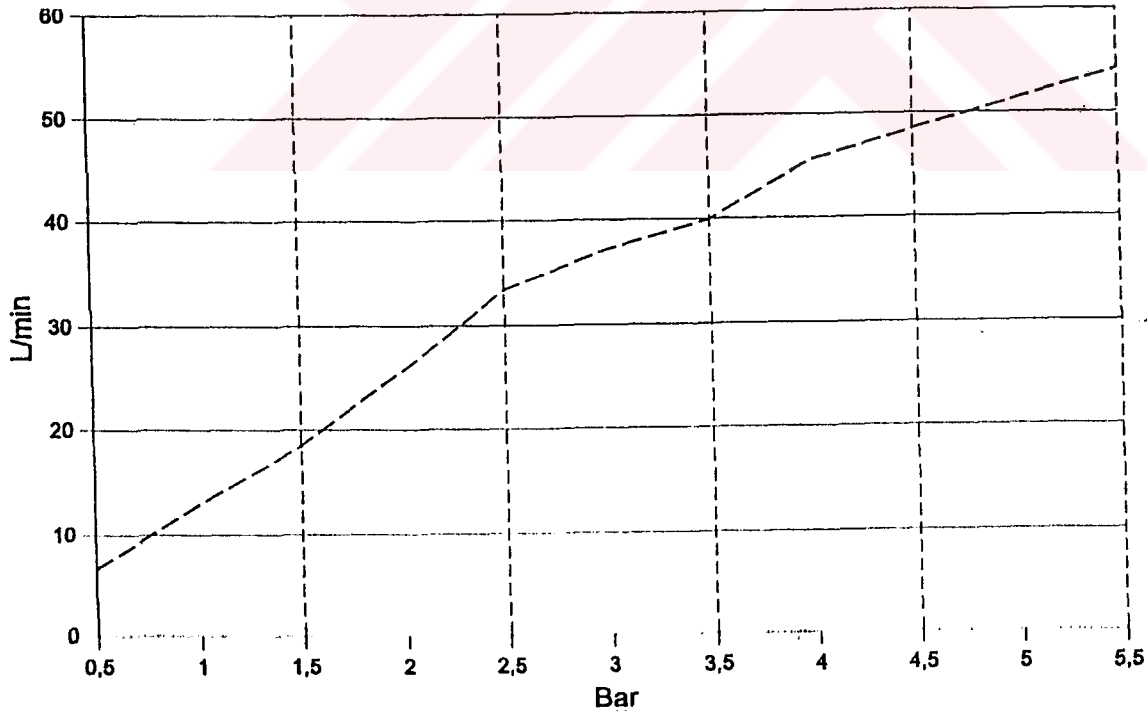
Nozul sistemi; ana hava valfi, vakum valfi ve nozullardan meydana gelen bir kontrol ünitesidir. 1 ile 12 arasına kadar nozulları kontrol eder. Havadaki bağıl nemi kontrol

edebilmek için dijital elektrtronik bir higrostat bulunmaktadır. Duraksız oransal kontrolör sistemi aksesuar olarak kullanılabilir. Nozullar bir temizleme iğnesi vasıtasıyla kendi kendini temizleyebilir. Temizleme periyotları arasındaki süre; kontrol ünitesi içerisindeki zaman rölesi vasıtasıyla ayarlanabilir.

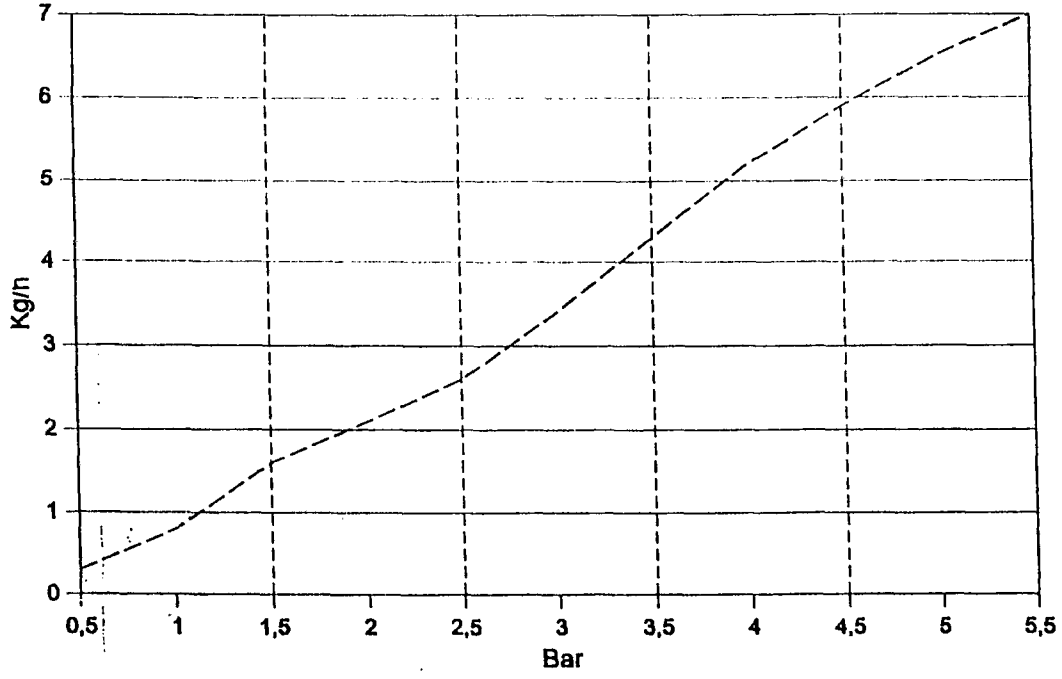
Nozullar vakum prensibiyle (enjektör hareketi ) çalışır. Yani nozul basınçlı hava ile donatıldığında, vakum üretmiş olur. Böylece vakum valfi açılır ve gerekli miktarda su nozula girer.

Su nozula sadece basınçlı hava (sıkıştırılmış) hava girdiğinde akar. Bu bir emniyet fonksiyonudur. Bu suyun kontrolsüz olarak akma veya damlama riskini önler. Basınçlı hava suyu çok küçük parçacıklara ayırır. Dolayısıyla küçük parçacıklara ayrılmış su buharı çöküntüsü önlenmiş olur.

Su ve basınçlı hava, nozul çıkışını terkedene kadar karışmayacağından kireçleme, bakteri üremesi gibi riskler ortadan kalkmaktadır. Sistem içme suyu tesisatına bağlanmalıdır. Basınçlı hava ve su kaynakları 5 $\mu$ 'luk filtrelerle donatılmıştır.

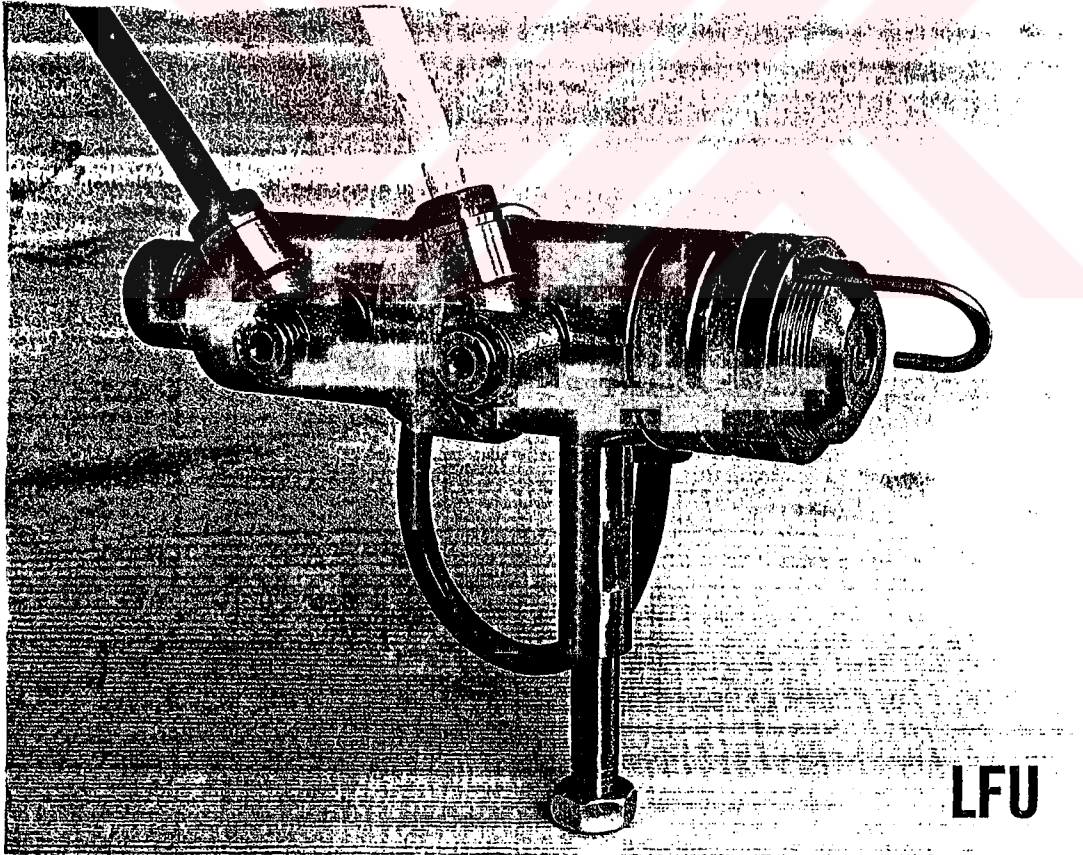


Şekil 5.5: Hava sarfiyatı.(Gökşin. A.H.,1997;S.5)



Şekil 5.6 : Su kapasitesi. ( Gökşin.A.H., 1997;S.6)

### 5.3.2. LFU Tipi nozul sistemi



Şekil 5.7 : LFU tipi nozul sistem. (Gökşin.A.H.,1997;S.7)

LFU nozul sistemi çok iyi aerosol buğu sağlayan ve kullanım alanı olan tüm endüstriyel aktivitelerin içinde kontrollü ve sabit hava nemliliğinin gerekli olduğu yerlerde kullanılan bir ultrasonik nemlendirme sistemidir.

Bağıl nemin % 98'e kadar varan yüksek seviyelere ulaşması için uğraşıldığında ya da materyallerin kağıt dokusu veya elektrostatik cilalama prosesi gibi materyallerin direkt nemlendirilmesine ihtiyaç varsa , çok ince buğunun olması gerektiğinde LFU nozul sistemi kullanılır. İnce aerosol buğu ve yüksek kapasite sistemlerinden dolayı nozul adyabatik soğutma için uygundur. Statik elektriğe izin vermeyen endüstrilerde de LFU nozul sistemi önemlidir. Örneğin; Elektronik ve plastik endüstrilerinde % 45'i aşan bağıl nem ile ilgili statik elektrik problemleri azaltılabilir.

Ana sübapla bağlantılı olan LFU-R kontrol paneli ve LFU nozul sistemi, 1-8 arası sayıda nozulları kontrol eder. Eğer daha fazla nozul gerekirse ana sübapların sayısı artar. Nozul her çeşit kalitedeki suya duyarsızlaştırılan, aside karşı tamamen paslanmaz çelikten yapılmıştır. Tüm boru donanımında polietilen esnek borudan yapılmıştır.

Yukarıda da anlatıldığı gibi bu sistem, basınçlı hava ve ultrasondan suyu çok ince aerosolün içine atomize eden nozuldan oluşur.

Kapasite: 4-17 kg/h

Hava sarfiyatı: 50-125 l/min

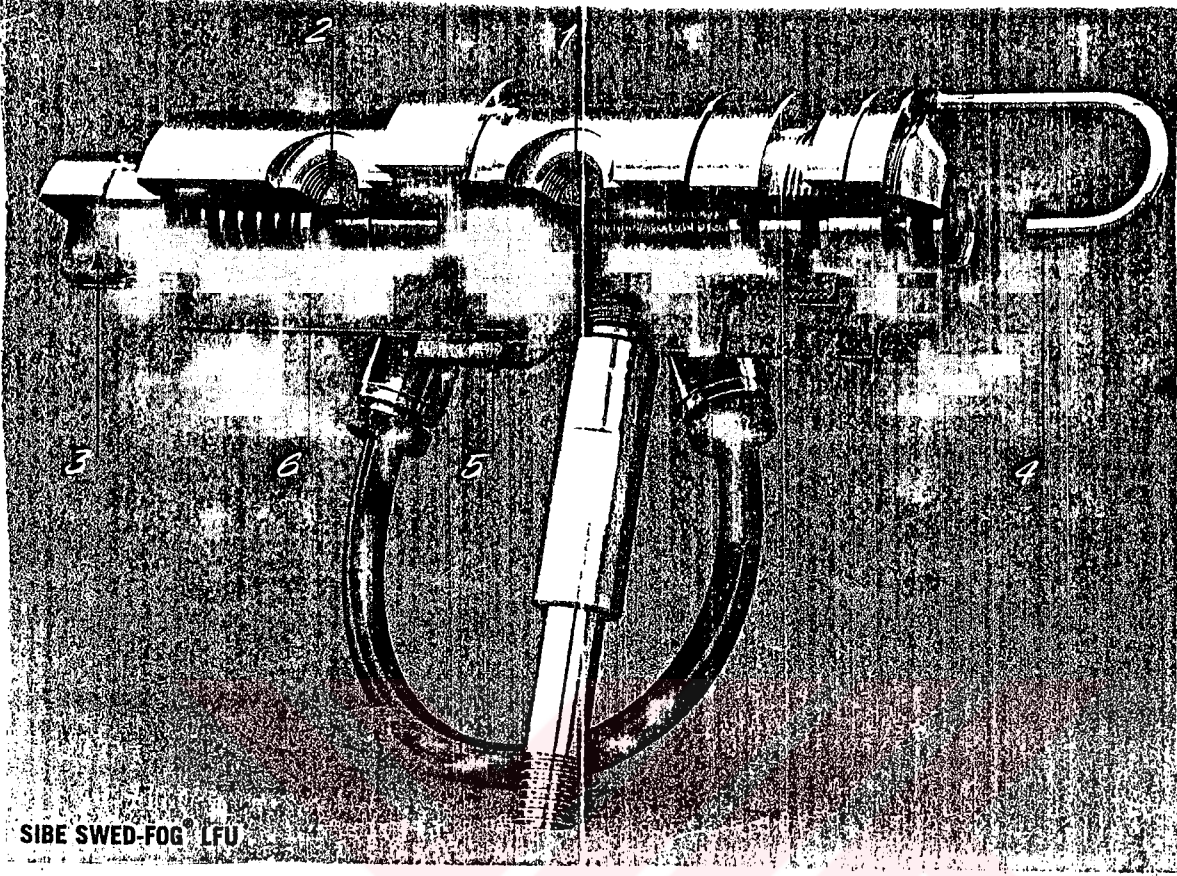
Damlacık boyutu: 0,5-1  $\mu$

LFU ses seviyesi: 45-65dB(A)

Elektrik bağlantısı: 220 V/10 A

Sıkıştırılmış hava nipele plastik hortumla bağlanır(1). Su kaynağı nipele bağlandıktan sonra nipelilerin her ikisi de sıkıştırılır(2). Su basıncı en az 3,5 bar olmalıdır. Eğer su basıncı daha az ise sisteme yardımcı bir pompa ilave etmek gerekir.

İstenildiğinde sıkıştırılmış hava basıncı redüksiyon valfi vasıtasıyla LFU-R (A) kontrol ünitesinde set edilir ve manometre (B) ile okunabilir. Su basıncı manometre üzerinde redüksiyon valfiyle 1,5 bar ile 3,5 bar arasında herhangi bir değer girilebilir. Nozulun arkasındaki vida (3) ile açma basıncı ayarlanabilir. Vida saat yelkovanı yönünde döndürüldüğünde basınç artmaya; tersi yönde ise basınç azalmaya başlar. Rezanatör (4) kısa ve geniş akış için saat yelkovanı yönünde; uzun ve dar akış için saat yelkovanının tersi yönünde çevrilir. Mesafe 0,5 m. ve 3,5 m. arasındadır.



Şekil 5.8 : LFU tipi nozulu oluşturan elemanlar.(Gökşin.A.H.,1997;S.8)

Nozul ünitesinin içine konulan basınç diyaframıyla (5); sıkıştırılmış hava valfi merkezindeki yay (6) açılır ve suyun girmesine müsaade eder.

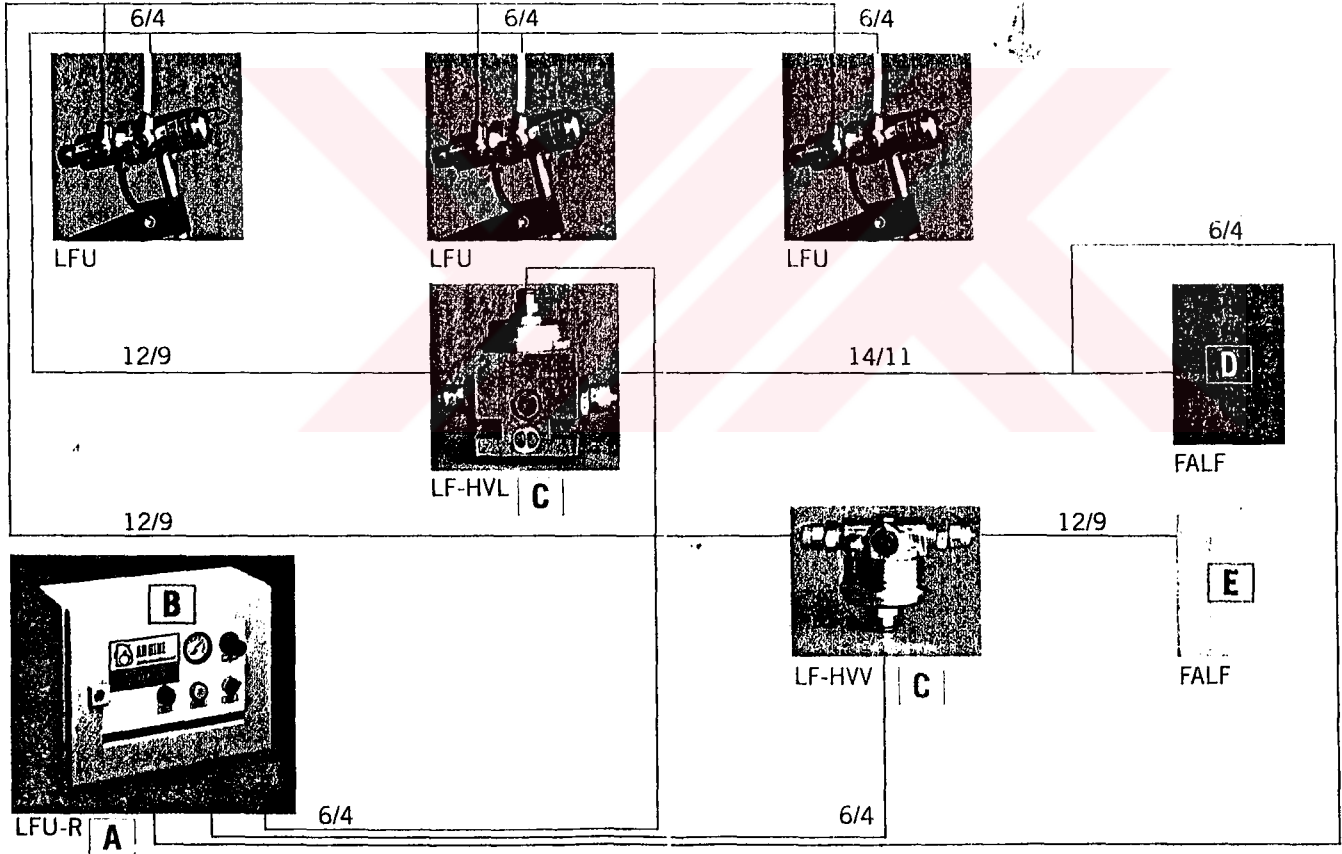
Su nozul gövdesi arasından sıyrılır ve sıkıştırılmış havayla su nozul gövdesinden çıkar. Dağıtılan aerosol buğu yüksek hızda rezonatör ucuna çarpar ve ultrasonun tesir sahası kuvveti meydana gelir. Ultrasonik nozulların tesir sahasında yaklaşık olarak 1  $\mu\text{m}$  damlacık boyutu büyüklüğünde bir buğu meydana gelir. Kaliteli hava; partikül filtresi (D) ve partikül su filtresi (E) gibi önceden alınan tedbirlerle de sağlanmaktadır. Partikül filtre en az 5 $\mu\text{m}$  kalitesinde olmalıdır.

#### 5.4. Buğu Açısını Ayarlayan Elemanlar

- 1-Hava giriş ağzı
- 2-Su giriş ağzı
- 3-Rezonatör
- 4-Kısma valfi

Basınçlı hava, esnek polietilen boruyla giriş ağzından (1) nozul gövdesine girer. Su, esnek polietilenli boruyla giriş ağzına (2) bağlanır. Su basıncı en az 1,5 bar olmalıdır. Eğer su basıncı 1,5 barın altındaysa, yardımcı pompa gerekir. Basınçlı havanın basıncı 5 barın üzerinde olmamalıdır. Su-hava karışımı yüksek hızda nozulu terkeder ve rezonatöre çarpar.(3)

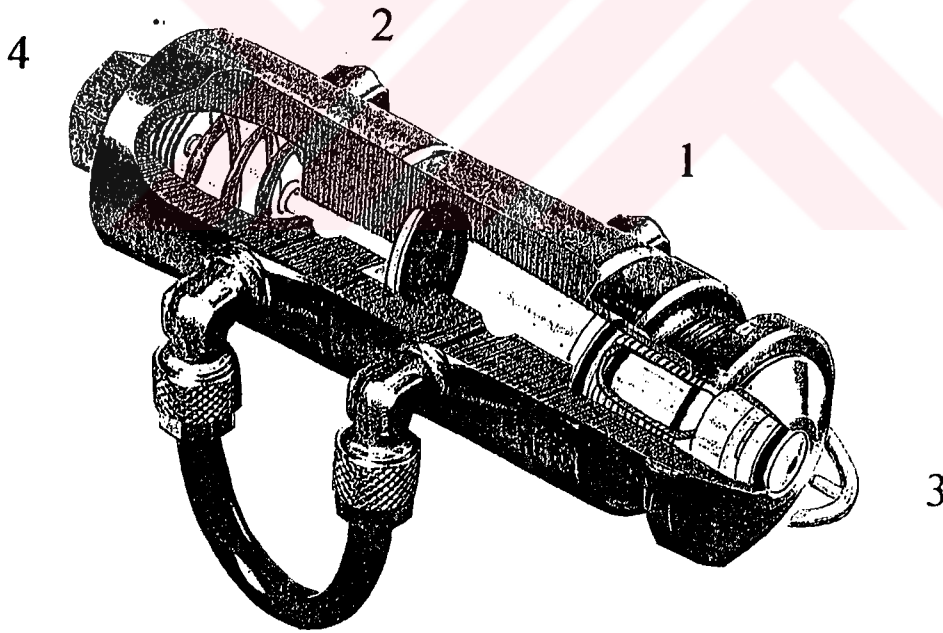
Su-hava karışımı rezonatöre çarptığında, ultrasonik şekillerin dalgalarını doğurur. Su böylece çok ince aerosol buğunun içine bölünür. Rezonatörü ayarlayarak buğunun açısını ve şeklini ayarlamak mümkündür.



Şekil 5.9 : LFU tipi nozulun bağlantı şeması.(Gökşin.A.H.,1997;S.8)

Su ve basınçlı hava arasındaki ilişki basınç düşürücü valfin (4) içinde ayarlanabilir. 2,5 –5 bar arasındaki tüm basınçlarda basınçlı hava, su ve hava arasındaki doğru oransal otomatik olarak görülebilir. Ayar yapılarak (4) istenilen damlacık boyutu elde edilir. Nozul kapasitesi, kontrol panelindeki hava regülatörüne göre yeniden ayarlanır.

Havanın bağıl nemi, dijital higrostatın üzerinden her zaman takip ve kontrol edilebilir. İstenilen değerin ardından sonra, nemlendirme akımı yüzdesi dijital göstericinin üzerinden okunabilir. Gösterilen gerçek değer istenilen değerin altındaysa , kontrol işareti kontrol paneline gider ve nemlendirme başlar. Gerçek değer, istenilen değere ulaştığında aksi işaret kontrol paneline gider ve nemlendirme durur. Gereken hassasiyete göre, kullanılan birçok değişik model vardır. İşaretler 0-10 V, 0-20 Ma ya da 100-138,5 ohm v.b. olabilir. Bu işaretlerin bilgisayarlara transferini mümkün kılar.



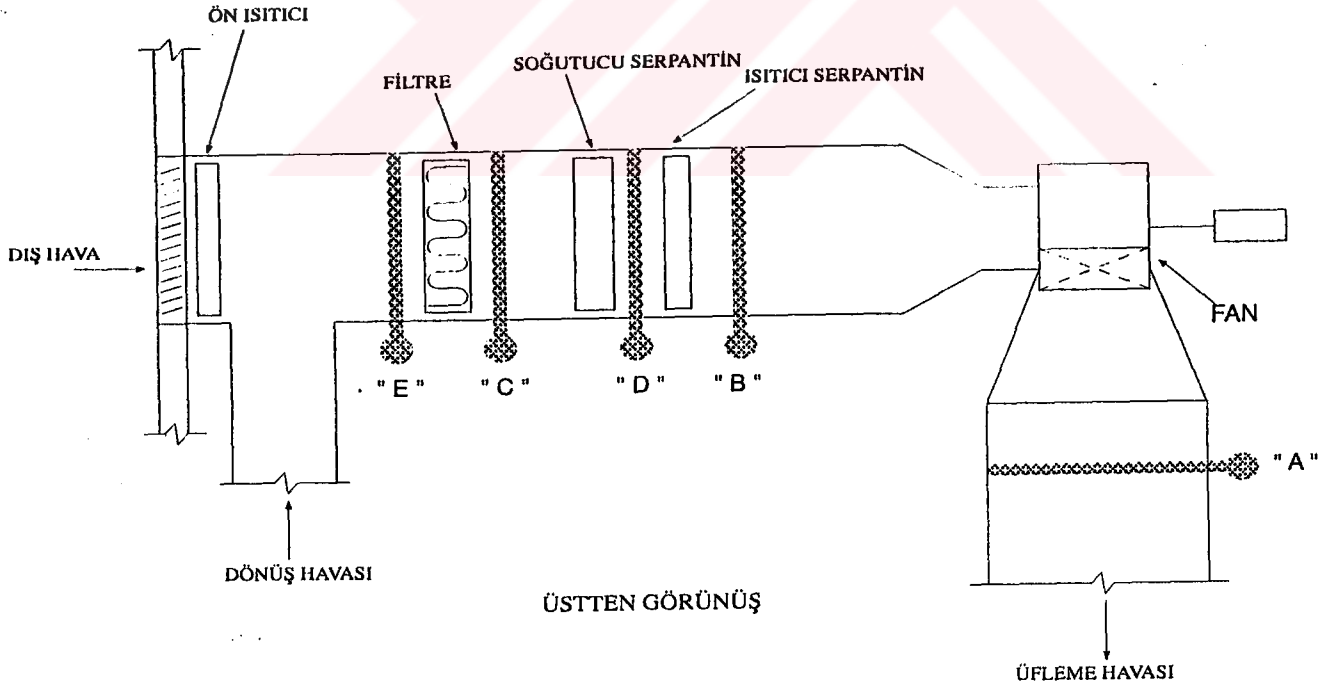
Şekil 5.10 : Buğu açısını ayarlayan elemanlar.(Gökşin.A.H.,1997;S.9)

### 5.5. Nemlendirici Yerleşimi

Genellikle bir nemlendirme için tek bir doğru yerleştirme pozisyonu yoktur. Daha çok sistem dizaynı, kullanımı ve uygulamasına bağlıdır. Bununla birlikte aşağıdaki örnekler daha genel durumlar için pratik uygulama klavuzu olabilir. En geneli, merkezi klima sistemidir. Şekil 5.11 tipik bir dizaynı göstermektedir.

A konumu ilk seçimdir. Burada absorpsiyon için, yerleştirilecek nemlendiricinin yeterli düz kanal mesafesine sahip olduğu farzedilmiştir. Eğer kanalda kısa mesafede damper, yönlendirici vs. gibi bir eleman varsa, hızlı absorpsiyon (emilme) için bir nemlendirici dizayn edilmeli veya montaj yeri değiştirilmelidir.

B konumu ikinci seçim olabilir. Buhar absorpsiyonunun vantilatöre girmeden tamamlanacağı kabul edilmelidir. Aksi takdirde fan zarar görebilir. Öte yandan rutubetli yerler potansiyel olarak mikroorganizmaların geliştikleri yerlerdir. Eğer gerekli kanal bağıl nem oranı yüksek ise havanın soğuk olması yüzünden, birbirine yakın yerleştirilmiş çoklu buhar dağıtım borularının hızlı absorpsiyonu gerçekleştirilmesi sağlanarak vantilatör korunabilir.



Şekil 5.11 : Nemlendirici yerleşimi.(Gökşin,A.H.,1997;S.9)

C konumu da bir olasılıktır. Fakat soğutma serpantini devrede olduğunda, nemlendirme buharının bir kısmı yeniden yoğuşacaktır.

D durumu, C durumundan daha kötü bir yerleşimdir. Çünkü yoğuşan buhar, altında yoğuşma tavaşı olmayan ısıtma serpantini hücrelerinde birikebilir. Ayrıca serpantinde yoğuşan buhar, kayıp enerji demektir. Daha önemli bir gerçekte yoğunlaştırılmış su buharının çok korozif olabilmesidir. Serpantinlerin zamanla zarar görmesinin nedeninin, yoğuşmuş nemlendirme buharı olduğu söylenebilir.

E durumu tamamen kötü bir seçim olacaktır. Çünkü filtreler ıslak hale gelir. Diğer bilinen sistem şekil 5.12'de görülen çok zonlu santrallerdir. Çok zonlu sistemlerde her bir zona ayrı nemlendirici kullanmak yerine tek bir nemlendirici kullanmak, ekonomi sağlayacaktır. Çok zonlu sistemlerin çok kompakt olması yüzünden, bunlarda nemlendirici cihazın uygulanması bazen güç olabilir. Buna rağmen iyi netice alınabilecek çözümler bulunabilir.

A konumu genellikle en iyisidir. Zon damperlerinin önünde maksimum absorpsiyon uzaklığı sağlanabilir. Kanal bağıl neminin % 50'yi aştığı yerlerde absorpsiyon mesafesini kısaltmak için çoklu buhar dağıtım borularının kullanılması gerekir. B konumu kabul edilemez. Çünkü filtrelerin ve fanın ıslanmasına neden olur. C durumu daha iyi bir pozisyondu fakat tipik olarak A'dan daha az hava akımı vardır. D konumu içinde durum aynıdır.

Bazı uygulamalarda bir zonun hava miktarı daha fazla olabilir ve bütün zonlar için nemlilik gerekebilir. Eğer böyle bir durum olursa bu özel zona nemlendirici yerleştirmek, klima santraline yerleştirmekten daha uygun olabilir. Bu durumda sistem çalışmaya başladıktan sonra bir süre için zonlar arasında bağıl nem farkı olacağı gerçektir. Ancak sistem çalıştıkça dengeye doğru bir yönelim olacaktır. Ama sürekli sıkı bir kontrol sağlanamayacaktır.

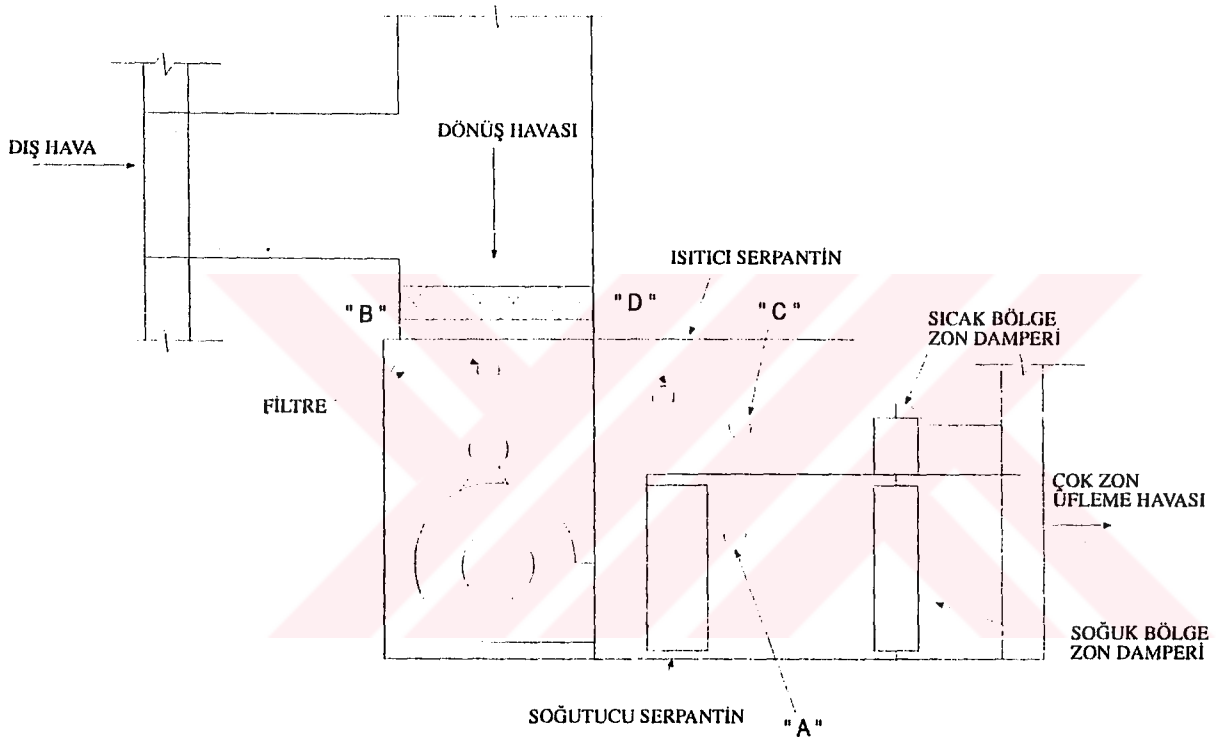
Şekil 5.13 ise bir klima sisteminde nemlendirici cihazın dirseğe yakın yerleştirilmesini göstermektedir.

Yönlendirici kanatların ıslanma ihtimali yüzünden dirseğin hava çıkış tarafı (A yerleşimi) B yerleşiminden daha iyi bir seçimdir. Montaj şartları yüzünden B yerleşimini uygulamak zorunda kalınırsa, hızlı absorpsiyon sağlayan bir cihaz dizaynına geçilmelidir.

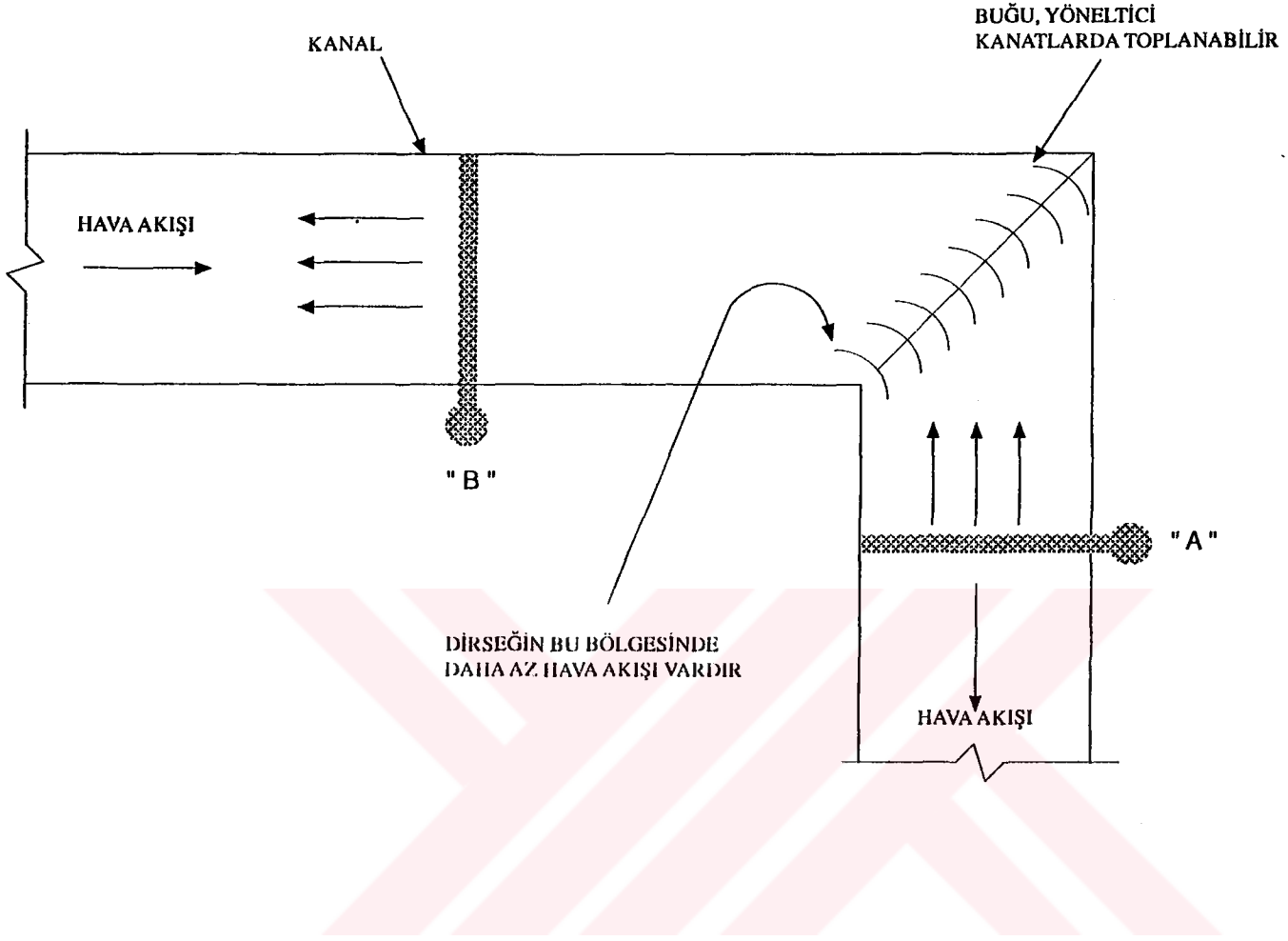
Buhar emilmesi ya da dağılımı, bir tip nemlendiriciden diğerine veya bir üreticiden diğerine farklılıklar gösterir. Bu nedenle montajı yapanın, nemlendiriciyle birlikte verilen özel montaj talimatını uygulaması önemlidir.

Adyabatik cihazlar, klima sisteminde buharlaşacak suyun mümkün olan bir ısıyı alabileceği bir yere yerleştirilmelidir. Birçok sistemde bu, ısıtma serpantininden sonra veya soğutma serpantininden öncedir. Bu, havanın ön ısıtılmasını sağlar ve soğutma serpantininde bir buğu

tutucu olarak kullanılmasını temin eder. Genellikle klima santralinin büyük tutulması, eklenen suyun buharlaşması için elverişli yerin temin edilmesini sağlar.



Şekil 5.12 : Çok zonlu santraller. (Gökşin.A.H.,1997;S.12)



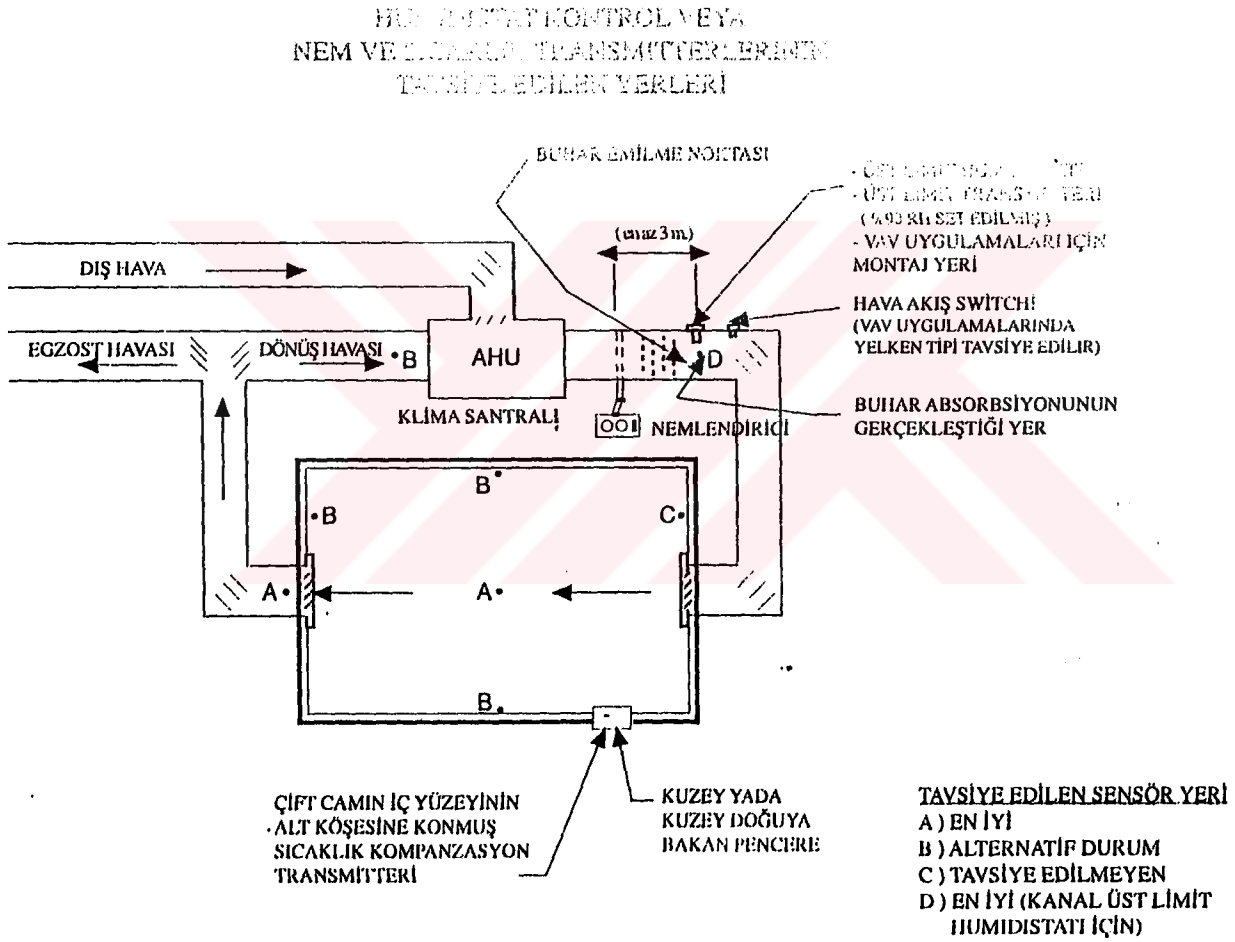
Şekil 5.13 : Nemlendirici cihazın dirseğe yakın yerleştirilmesi. (Gökşin.A.H.,1997;S.12)

### 5.6. Emniyet Kontrolleri

Her bir nemlendirme sistemi en az iki güvenlik kontrolü içermelidir. Birincisi havalandırma sisteminin fanı durduğunda nemlendiriciyi kapatan hava akım hissedicisi; ikincisi ise hava akımındaki aşırı nemlenmeyi önlemek için kanal üst limit humidistatıdır.

Genellikle hava akımını hisseden iki tip switch kullanılır. Bir tanesi statik kanal basıncından kumanda alan diyafram kumandalı switch; diğeri ise genelde yelken switch diye adlandırılan ve döndürülen bir şaftla monte edilmiş yaylı polyester kanattan oluşan switchdir. Hava hareketi kanalın şaftı döndürmesini sağlar ve switch ikaz verir. İkinci seçim hava hareketinin çok az veya hiç olmadığı fakat pozitif basıncın olduğu VAV sistemleri için daha iyi bir seçimdir.

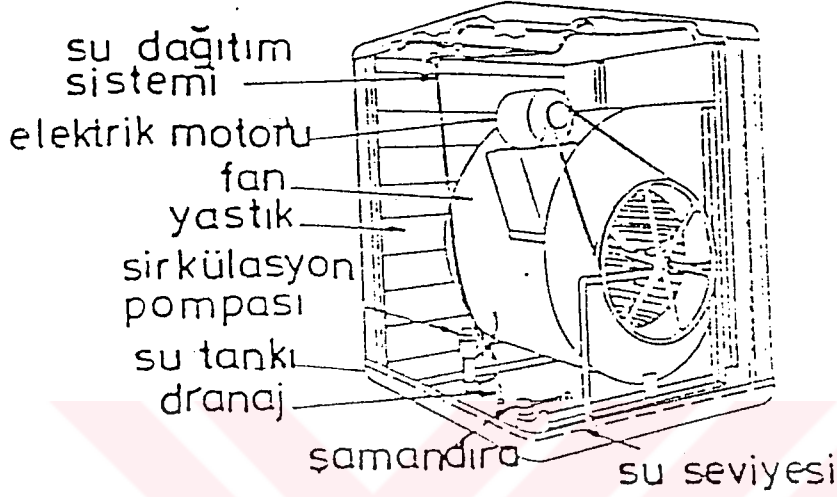
Üst limit humidistatı kanalda bağlı nem aşırı yükseldiğinde emniyet kontrolü yapmak için kanala monte edilmiş bir cihazdır. % 95'e varan RH değerlerinde üst limit humidistatı, fazla nemlendirmenin sebep olduğu kanal ıslanmasını önler. Humidistatın ıslanarak yanlış kontrol yapmasını önlemek için sensör nemlendiriciden yeterli uzaklıkta ( 3-4 m.) olmalıdır. Bu cihazlar on/off veya oransal kontrollü olabilir.



Şekil 5.14 : Emniyet kontrolleri. (Gökşin. A.H., 1997; S.13)

### 5.7. Islatılmış Yüzeyle Tip Evaporatif Soğutucu

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



Şekil 5.15 :Islatılmış yüzeyle tip soğutucu(Watt,J.R.,1963;S.254)

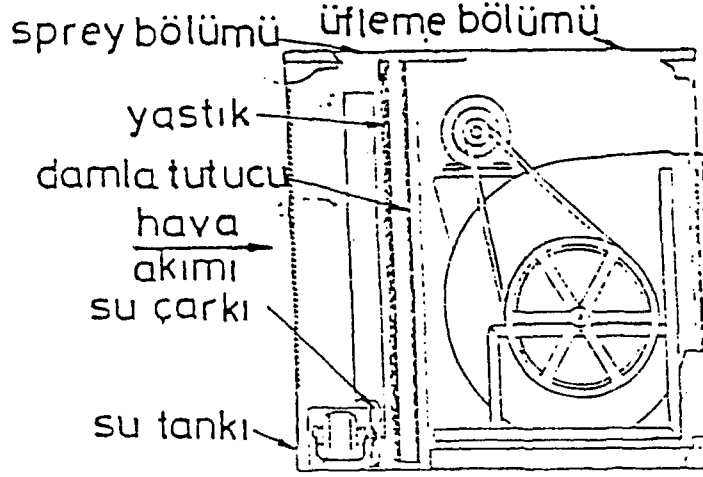
Şekil 5.15’de de görüldüğü gibi cihaz içindeki bir sirkülasyon pompası depodan aldığı suyu bu yüzeyler üzerine akıtarak ıslanmalarını sağlar. Bir aspiratör yardımıyla emilen hava , bu ıslak yüzeyler arasından geçerken serinler. Bu tip cihazlar havalandırma kanallarına konulabildiği gibi, bina içine, 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  $2\pm 3^{\circ}\text{C}$  yaklaşabilmektedir. Kapasiteleri 0,02 ile 10 m<sup>3</sup>/s arasında değişebilmektedir.

Islatılmış yüzeyle tip soğutuculardan diğer bir örnekte, şekil 5.16’da görülen su sıçratmalı paket tip soğutucudur.

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 m<sup>3</sup>/s değerine ulaşabilmektedir. Girişte hava hızı 1,5 ile 3 m/s arasında seçilebilir.

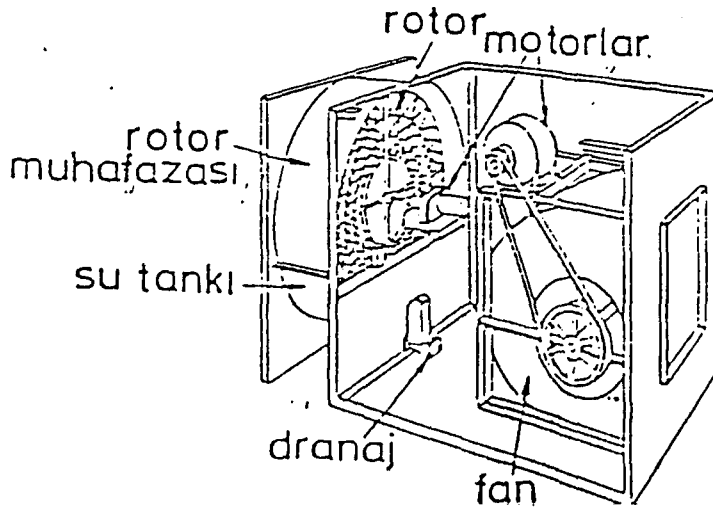


Şekil 5.16: Su sıratmalı tip paket tip soğutucu. (Watt, J.R., 1963; S.254)

### 5.8. Döner Silindirik Evaporatif Soğutucu

Bu tip soğutucular şekil 5.17'de 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 5.17: Döner silindirik evaporatif soğutucu. (Watt, J.R., 1963; S.255)

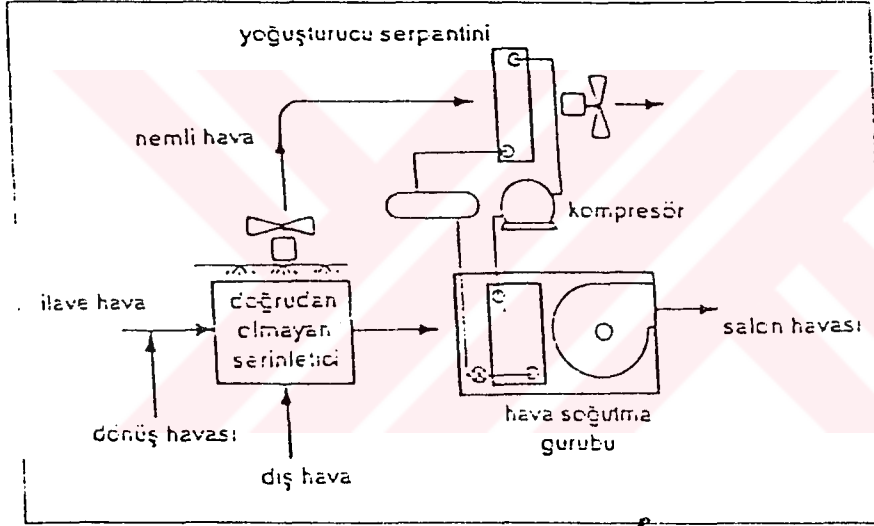
Her iki tipte de çıkış havası kuru termometre sıcaklığı, giriş havası yaş termometre sıcaklığının 2°C daha yukarısına kadar yaklaşabilir. Bunların hava kapasitesi 1 ile 6 m<sup>3</sup>/s arasında değişebilir. Girişteki hava hızı 0,5 ile 3 m/s, yük kaybı ise 120 Pa değerindedir.



## 6. 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.

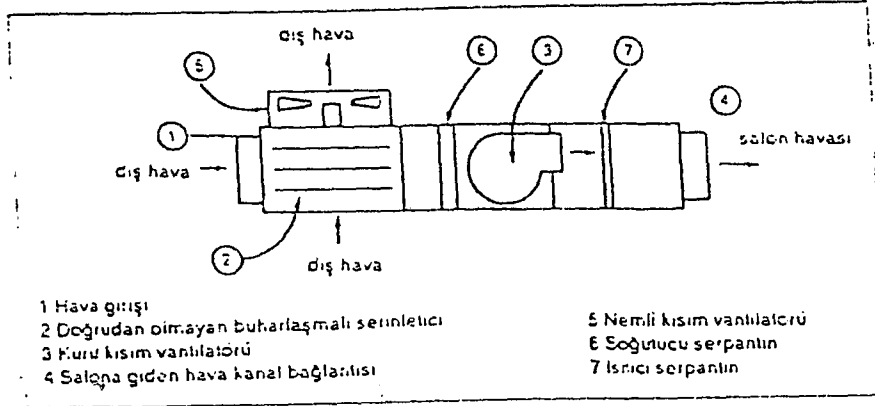
Bu tip cihazlar kendi başlarına kullanılabildikleri gibi, mekanik soğutmalı devrelerin bir n kademesi olarak da kullanılabilir.



şekil 6-1: Doğrudan olmayan evaporatif soğutucuların, n soğutucu olarak kullanılması.

(Watt,J.R.,1963;S.255)

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. (Watt, J.R., 1963; S.256)

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.

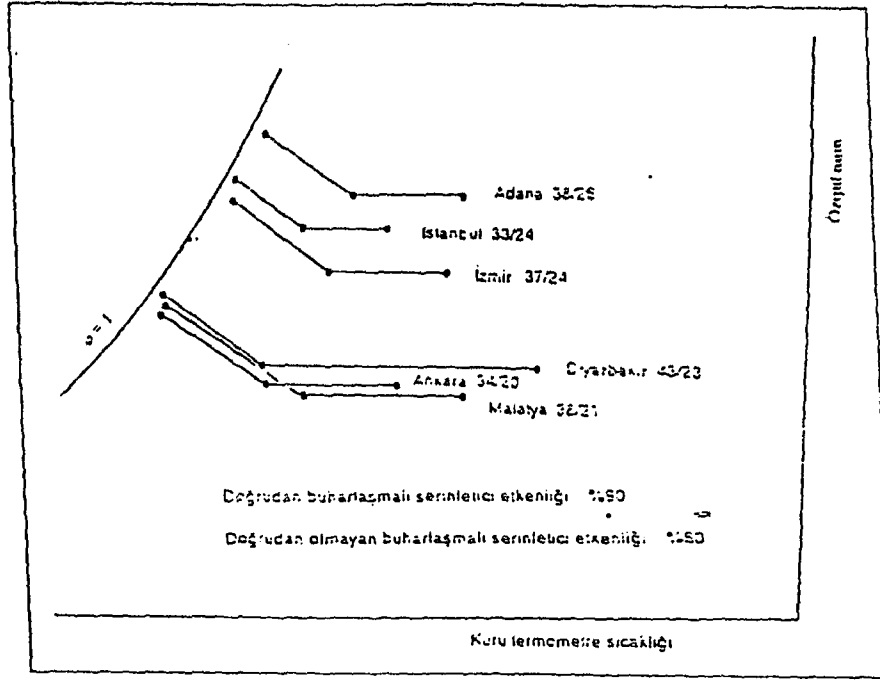
Tipik doğrudan olmayan buharlaşmalı serinleticilerin her iki hava devresindeki yük kaybı 50 ile 500 Pa arasında değişir. Etkenliğine bağlı olarak ikinci devredeki hava debisinin birinci devredeki hava debisine oranı 0,6 ile 1 arasındadır. Bu cihazların etkenlikleri ise % 40 ile % 80 arasındadır.

### 6.1. Türkiye'de Bazı Şehirlerde Evaporatif Soğutucunun İncelenmesi

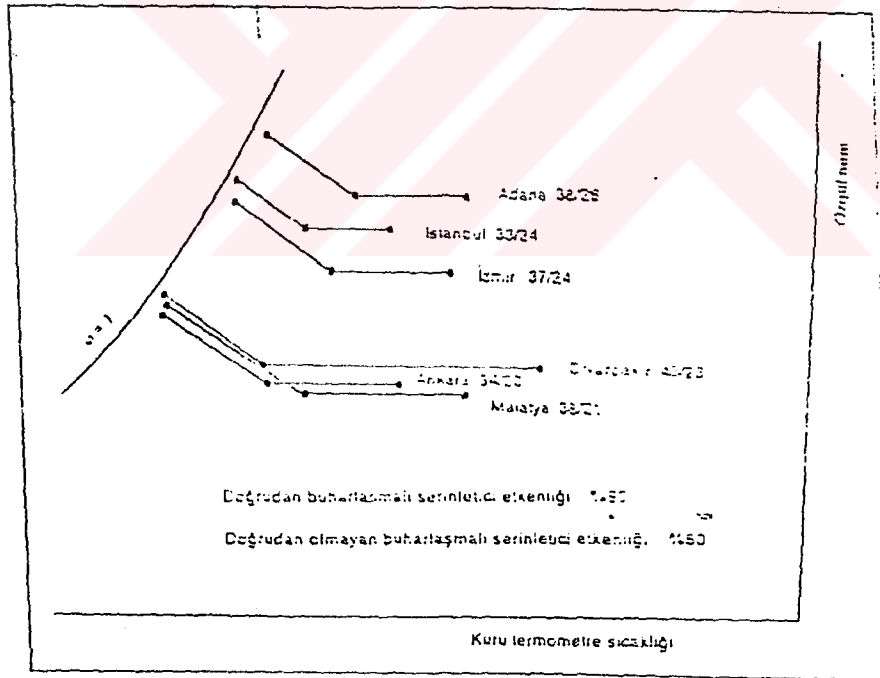
Son yıllarda iki kademeli evaporatif soğutucu uygulamalarına sıkça rastlanmaktadır. Genelde bu sistemlerin birinci kademesinde ise doğrudan evaporatif soğutucu kullanılır. Şekil 6-3'de Türkiye'deki bazı şehirlerde yaz aylarında yapılabilecek iki kademeli buharlaşmalı serinletici uygulamaları görülmektedir.

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

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



Şekil 6. 3: Türkiye’de bazı şehirlerde yaz yapılacak iki kademeli buharlaşmalı serinletme sonunda serinleticiden çıkan hava şartları.(Watt,J.R.,1963;S.257)



Şekil 6.4: Türkiye’deki bazı şehirlerde salon duyulur ısı oranının % 95 ve iç sıcaklığın 25,5 °C olması durumunda ulaşılan salon şartları.(Watt,J.R.,1963;S.256)

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



## 7. YENİ KULLANIM ALANLARINDA EVAPORATİF SOĞUTMA

Evaporatif soğutmanın kullanıldığı yeni kullanım alanlarından bazıları; meyve ve sebze depolarının soğutulması, tekstil fabrikalarının soğutulması, seralarda soğutma, çiftliklerde evaporatif soğutma, plastik endüstrisi, spreyci boyama fabrikaları, kağıdın nemlendirilmesi, soğuk depolar'dır.

### 7.1. Tekstil Fabrikalarında Soğutma

Tekstil proseslerinde işlenen malın mukavemeti, uniform olması, renk gibi önemli faktörlerle sonuçta malın kaliteli olarak imal edilmesi sorunu her zaman karşımıza çıkmaktadır. Bu özelliklerin oluşabilmesinde havanın şartlandırılması işlemi çok önemli bir rol oynamaktadır.

#### 7.1.1. Tekstil klima dizaynı ile ilgili özellikler

Bazı önemli faktörleri şöyle gruplandırabiliriz:

- 1-Mutlak nem ile ilgili özellikler
- 2-DI ve GI ile ilgili özellikler
- 3-Güneş ve iletimle ilgili özellikler
- 4-Dış hava ile ilgili özellikler

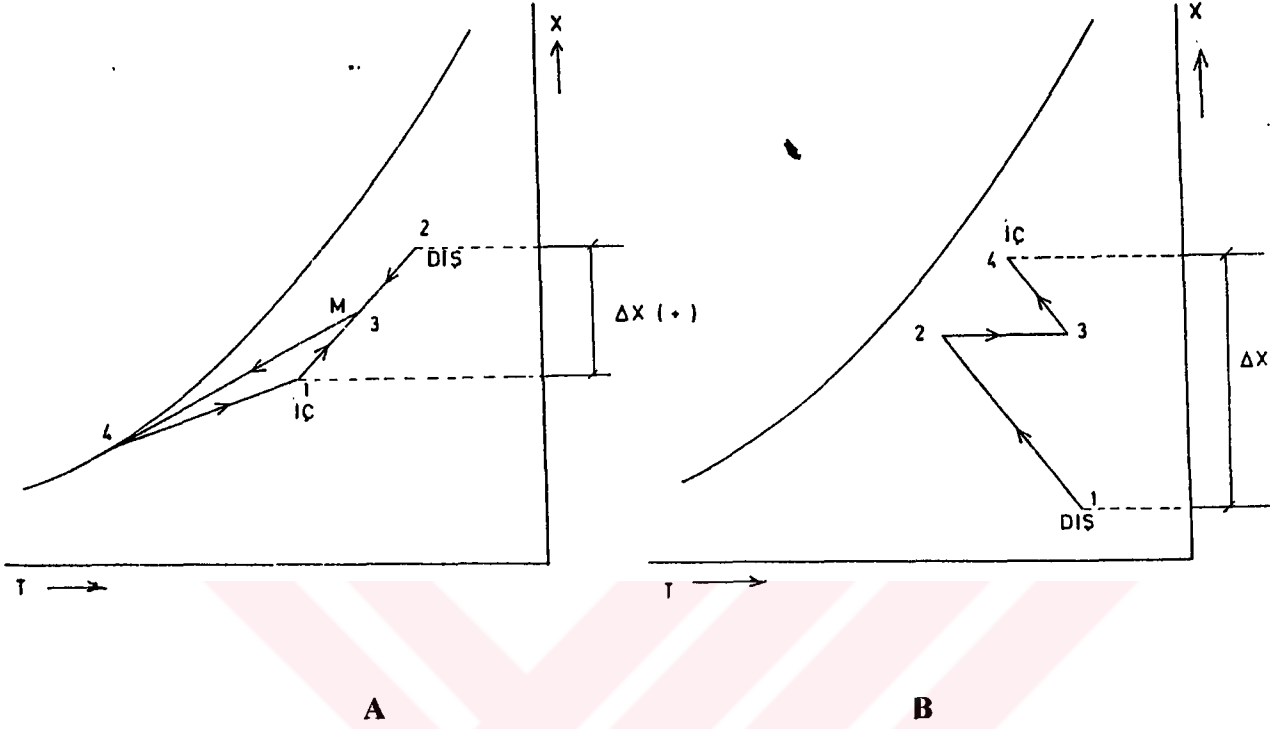
##### 7.1.1.1. Mutlak nem ile ilgili özellikler

İncelenen sistemde 33°C KT ve 24°C YT için noktanın nemlendirme sonucu gelinen (2) durumu ile konfor klimasında ulaşılan nokta arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu durumu aşağıdaki şekilde psikrometrik diyagramda çizerek inceleyelim.

A şeklinde görülen ve çoğunlukla konfor klimasında rastlanan özelliklerden birisi de X yani, mutlak nem farkının pozitif olmasıdır. ( $\Delta X = X_2 - X_1 > 0$ )

Sağlanan iç ve dış hava karışımı her zaman için istenen iç hava mutlak nem şartından büyüktür. Dolayısı ile (3) noktasındaki karışım havasının soğutularak mutlak neminin alınması gereklidir.

B şeklinde, (1) noktasında dış havanın mutlak nemi genellikle istenen (4) noktasındaki havanın mutlak neminden düşüktür. Bu durumda dış havanın olduğu gibi alınıp mutlak neminin artırılması gerekir. Yani dış hava, tekstil klimasında X miktarının artırılması bakımından yardımcı bir faktör olmaktadır. ( $\Delta X = X_1 - X_4 < 0$ )



Şekil 7.1: Mutlak nem ile ilgili özellikler.(Genceli.O.F.,1997;S.23)

#### 7.1.1.2.DI ve GI ile ilgili özellikler

Tekstil klimasında çalışan insanların saat başına yaydığı duyulur ısı insanlarınkinden oldukça yüksektir. Çalışan insanların bu durumu aynı zamanda GI hesabında da etken bir rol oynamaktadır. Sayısal bir örnek olarak ; incelenen sistemde ODI=467.000 kcal/h ve OGI=26.300 kcal/h olmaktadır. Buradan da anlaşıldığı gibi her zaman için GI miktarı DI miktarından küçük olmakta ve bu küçüklüğünden dolayı ihmal edilebilecek bir durum yaratmaktadır. Tekstil klima hesaplarında, hava debisi miktarı bu sebepten duyulur ısıya göre yapılmaktadır. Konfor klimasında , insan faktörü çok önemlidir. Oturulan mahallerde az sayıda bulunan makinelerin yaydığı duyulur ısı miktarı insanlardan oluşan duyulur ısı yanında daha düşüktür. Aynı durum gizli ısı içinde geçerlidir.

#### 7.1.1.3.Güneş ve iletim

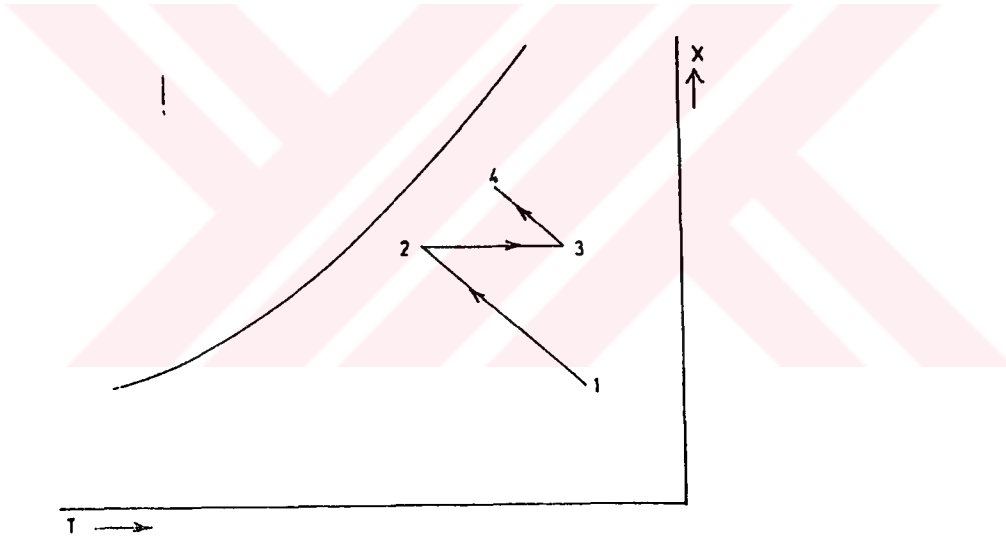
Tavandan dolayı oluşan ısı kazancı önemli ve büyük bir miktarı oluşturur. Duvarlar için hesaplanan yük tavana göre daima ikinci planda kalmakta ve son yıllarda inşa edilen fabrikalarda penceresiz yapıma yoluna gidilmektedir. Fabrika yapılırken cam

konstrüksiyonuna yer verilmemesi, tekstil klimasında daha uniform oda şartları elde etmeye yaramaktadır.

#### 7.1.1.4.Dış hava ile ilgili özellikler

Mutlak nem ile ilgili bilgilerden de görüldüğü gibi dış hava, özellikleri itibarı ile çok önemlidir. Yazın tekstil klimasında % 100 dış hava kullanılır. Kışında dış hava miktarı toplam havanın % 5 veya % 10'unu oluşturmaktadır. Otomatik kontrol sayesinde dış hava karışım oranları ayarlanabilir. Kışın, dış hava kullanılmasının sebebi mahalın havalandırma ihtiyacından kaynaklanmakta olup ayrıca, dolaşan havanın kalitesi içinde gereklidir.

#### 7.2.Evaporatif Soğutmalı Ve Atomizörlü Sistemlerde Tekstil Klima Sistemlerinin İncelenmesi



Şekil 7.2: Yaz işletmesinin psikrometrik diyagramda gösterilmesi.(Genceli,O.F.,19997;S.14)

- (1).Dış hava
- (2).Nemlendirici çıkışı
- (3).Atomizasyon başlangıcı
- (4).İç hava

Proses olarak;

(1)-(2) : Adyabatik nemlendirme

(2)-(3) : Odada ısınma

## (3)-(4) : Atomizasyon

Dokumhane iç koşulu olarak, yüksek bir nem değeri (%80-85) sağlanması gerekmektedir. Sıcaklık, yazın çok değişirken dış hava koşullarına göre ayarlanması güç bir değer olmaktadır. Sistem eğer, mekanik soğutmalı(kompresörlü)olarak dizayn edilirse sıcaklık ayarlaması  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  sınırlarında mümkün olur. İstanbul için, yaz dış koşulları olarak,  $33^{\circ}\text{C}$  KT,  $24^{\circ}\text{C}$  YT değerleri diyagramda (1) no'lu noktayı göstermektedir. Yazın tamamen dış hava kullanıldığından bu hava hiçbir işlem görmeden nemlendiriciye gider. Burada adyabatik nemlendirme sonucu (2) noktasına ulaşır. (2) noktası büyük ölçüde nemlendiricinin verimi ile ilgilidir. Nemlendirici veriminin % 80 alabiliriz. (2) noktası aynı zamanda da havanın dokumhaneye verildiği durumu temsil eder. Hava odada ısınmaya başlar , odanın yaş termometre çizgisini kestiği (3) noktasına ulaşır. İstenilen nem değerine ulaşmak için odada atomizasyon başlar ve (4) noktası değeri sağlanmış olur.

**7.3.Hesaplamalar**

İstanbul yaz işletmesi için dizayn değerleri;

$$33^{\circ}\text{C} \text{ KT} , 24^{\circ}\text{C} \text{ YT}$$

İstenen iç koşullar;

$$28^{\circ}\text{C}$$

$$\% 79 \text{ nem}$$

Sağlanacak iç koşullar, %79 bağıl nem ve  $28^{\circ}\text{C}$  KT olduğu zaman hava debisi ve atomizasyon su debisi hangi miktarlarda olmaktadır. Bunu Şekil 7.1'de alınan değerler doğrultusunda hesaplayalım.

Hava debisi:

Toplam ısı kazancı  $Q_t=495.249 \text{ kcal/h}$  olsun.

$$Q_t = m \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = t_3 - t_2 = 30,7 - 26,7 = 4^{\circ}\text{C}$$

$$m = Q_t / c_p \cdot \Delta t = 495.249 / 0,24 \cdot 4 = 515.885 \text{ kg/h}$$

Buradan,  $m = v \cdot \rho$  ve  $\rho = 1,2$  alınır;

$$v = m / \rho = 515.885 / 1,2 = 429.904 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bulunmaktadır.}$$

Atomizasyon su debisi :

$$V_a = \Delta X_a \cdot m / 1000$$

$$V_a = 1,1 \cdot 515.885 / 1000 = 567,4 \text{ kg/h} = 0,567 \text{ m}^3/\text{h}$$

Yıkayıcı kapasitesi :

$$V_N = \Delta X_N \cdot m / 1000$$

$$V_N = 2,8.515.885/1000 = 1444,4 \text{ kg/h} = 1,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bu sisteme nemlendirici veriminin artması durumunda;

İncelenen sistemin nemlendirici (yıkayıcı) verimi yüksek olsa, örneğin yıkayıcı çıkışındaki değeri % 90 mertebelerine ulaştığı farzedilirse ve dokumhane iç koşulları yine %79 nem, 28 °C KT'de kalmak üzere tesbit edildiğinde, yeni hava debisi ile yeni atomizasyon su debileri hangi miktarlarda olmaktadır, onları hesaplayalım. Anlatılan bu yeni durum Çizelge 7.2'de görülmektedir.

Hava debisi:

$$\Delta t = 29,9 - 25,4 = 4,5 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$m = 495.249/0,24 \cdot 4,5 = 458.564 \text{ kg/h}$$

$$v = 458.564/1,2 = 382.137 \text{ m}^3/\text{h}$$

Atomizasyon su debisi:

$$V_a = 0,8 \cdot 458.564/1000 = 366,8 \text{ kg/h} = 0,37 \text{ m}^3/\text{h}$$

Yıkayıcı kapasitesi:

$$V_N = 3,2 \cdot 458.564/1000 = 1467,4 \text{ kg/h} = 1,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

olmaktadır.

Bu iki sistemi karşılaştıracak olursak ; nemlendirici veriminin % 12,5 artması yani daha önce elde edilen % 80 nemin %90'a ulaşılması durumunda, hava debisi ile atomizasyon su debisinde gözle görülebilir bir azalma ulaşmaktadır. Hava debisinde,

$$\Delta V = 429.904 - 382.137 = 47.767 \text{ m}^3/\text{h}$$

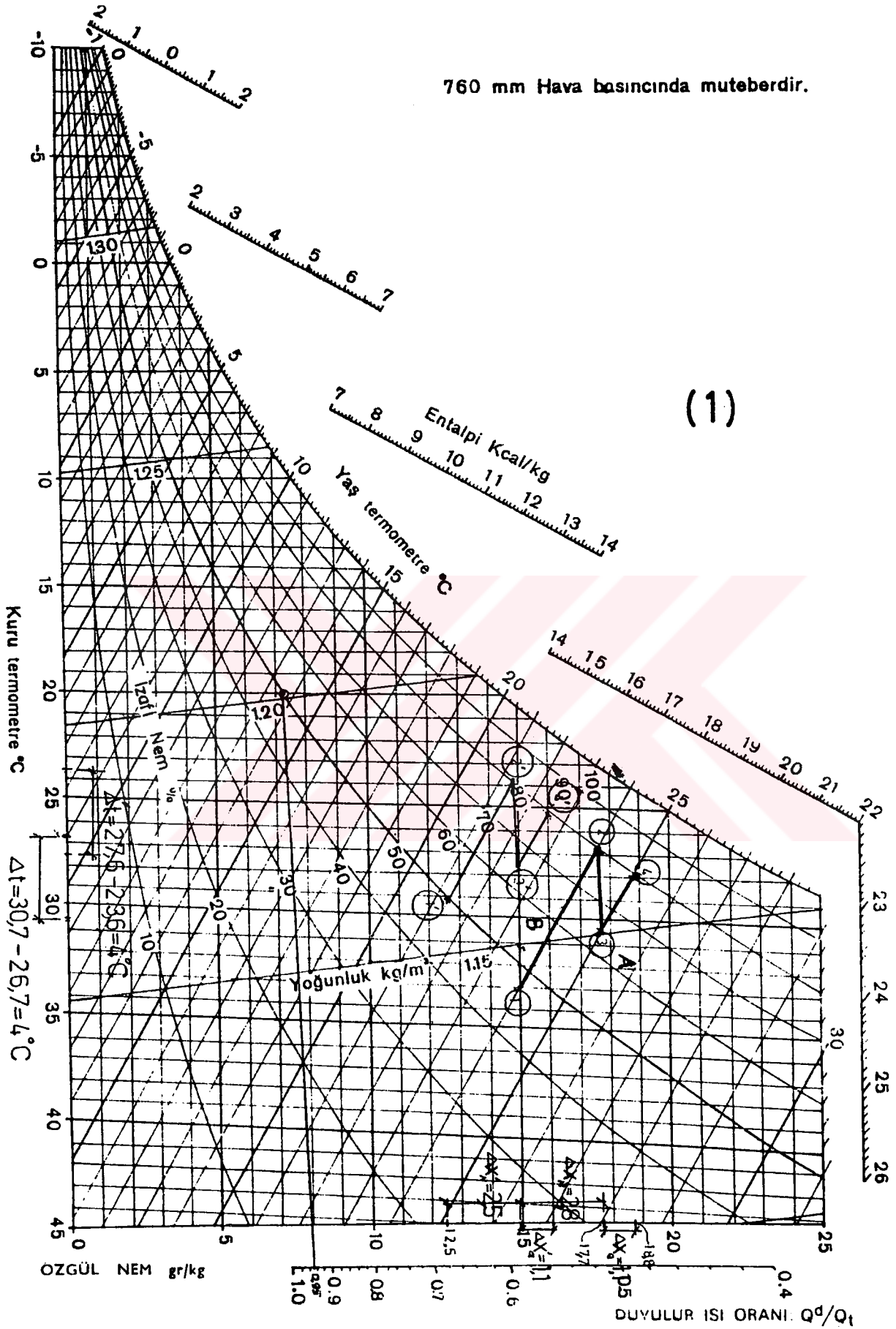
Atomizasyon su debisinde de,

$$\Delta V_a = 567,4 - 366,8 = 200,6 \text{ kg/h'lik bir düşüş sağlanmaktadır.}$$

Bu da hava debisinde yaklaşık % 11, atomizasyon su debisinde de % 35,3'lük bir azalmaya karşılık gelmektedir. Buna mukabil, yıkayıcı kapasitesi de

$\%(1.467,4 - 1.444,4/1.444,4) \cdot 100 = 1,5$ 'luk artış göstermektedir. Yıkayıcı su debisinde de % 1,5'luk artışı sistemin gerek tesis gerekse işletme masraflarında bir yük meydana getirmeyeceği gibi yıkayıcının yüksek verimde çalışması, atomizasyon su debisinde özellikle daha önemli olan hava debisinde azalma o sistemin daha ekonomik çalışmasını sağlayacaktır. Bu ekonomik olma durumunu, hava kanal kesitlerinin daha küçük çıkması, vantilatör gücünün daha az çıkması gibi nedenlerle açıklayabiliriz.

760 mm Hava basıncında muteberdir.



Şekil 7.3: Uygulamanın psikrometrik diyagramda gösterilmesi

### 7.3.1. Dış Hava Koşullarının Değişmesi Durumu:

#### 7.3.1.1. Dış hava sıcaklığının maksimum dizayn sıcaklığından küçük olması:

Yaz hava koşulları da değişken olduğundan buna bağlı olarak iç sıcaklık devamlı sabit değerde kalmaz. Evaporatif klimanın özelliği olarak iç sıcaklık dış sıcaklığın daima etkisi altındadır. Bununla ilgili örnek Şekil 7.1'de B diyagramı görülmektedir. Dış hava, 29 ° C

KT ve % 50 bağıl nem olduğu zaman hava debileri ve atomizasyon su debileri değerleri bir önceki duruma göre (33 ° C KT ve 24 ° C YT) değişmemektedir. Bunu şöyle açıklayabiliriz:

(1') noktasında hava, (2') noktasına kadar nemlendirilmektedir. (2') noktasının değeri yine % 80 olmaktadır. Çünkü sistemimizde yıkayıcı cihazının verimi ancak bu değere kadar ulaşabilmektedir. (2') koşullarındaki hava odaya verilmekte, (3') noktasına kadar odada ısınmaktadır. Atomizasyon işleri başladığı andan bitimine kadar havanın kg'ı başına yine 1,1 gr/kg su püskürtülmektedir. Sonra atomizasyon işlemi (4') bitmekte ve odanın nemi % 79'a yükseltilmektedir. Dolayısı ile  $\Delta X'$ ,  $\Delta t'$  A durumundaki  $\Delta X$  ve  $\Delta t$  değerleri ile aynı kalmaktadır. Yalnız nem değeri, %79 olmakta fakat sıcaklık 25,1 değerine ulaşmaktadır. Yani, dış koşullardaki sıcaklık 4°C ve bağıl nemde % 3 düştüğü zaman salon hava sıcaklığı 25,1 ° C KT'ye gelmektedir.

$$\Delta t' = t_3' - t_2' = 27,6 - 23,6 = 4^\circ\text{C}$$

$$\Delta X' = 16 - 14,9 = 1,1 \text{ gr/kg}$$

$$t_4' = 25,1^\circ\text{C}$$

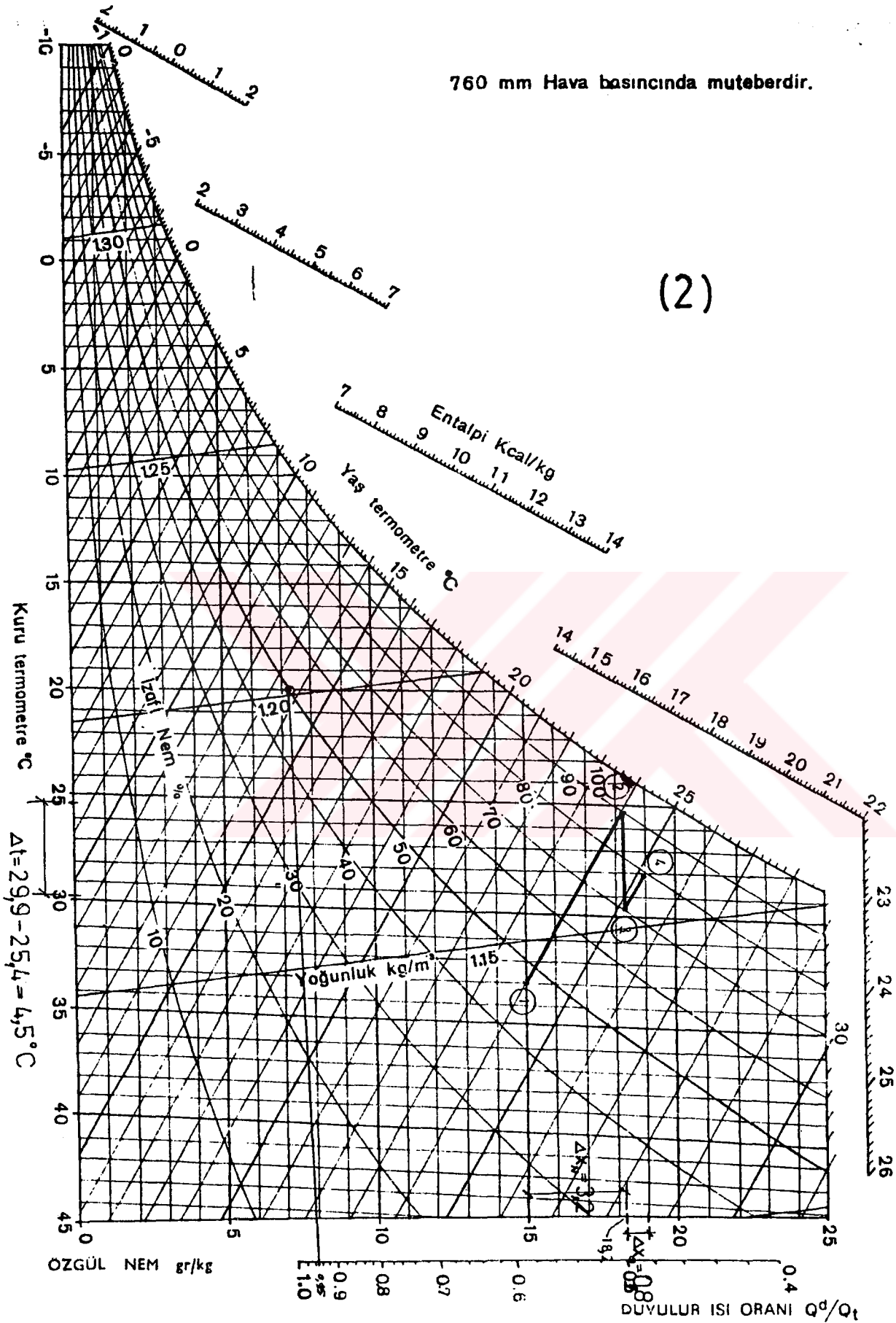
Halbuki, dış koşullar 33 ° C KT, 24°C YT olduğu zaman salon hava sıcaklığı 28° C olmaktadır. Her iki durum arasındaki sıcaklık diferansları,

$$(\Delta t)_{\text{salon}} = t_4 - t_4' = 28 - 25,1 = 2,9^\circ\text{C} \text{ bulunur.}$$

#### 7.3.1.2. Dış hava sıcaklığının maksimum dizayn sıcaklığından büyük olması:

Şekil 7.1'de A durumu, incelenen sistem için maksimum dizayn şekli olmakta, B durumu ise yaz dış hava koşullarının değiştiği, sıcaklığın düştüğü hali göstermektedir. A durumunun sağ tarafı dış hava sıcaklığının daha yüksek olması halini gösterir. Senenin yalnız iki ya da üç gününde bu hale ulaşılır. Dolayısı ile evaporatif klima sistemi hesaplamalarında gözönüne alınmaz.

760 mm Hava basıncında muteberdir.



Şekil 7.4: Uygulamanın psikrometrik diyagramda gösterilmesi

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Evaporatif soğutma; kuru ve sıcak iklimlere sahip bölgelerde bulunan mahallerin şartlandırılmasında en pratik ve en ekonomik yöntemdir. En büyük dezavantajı ancak belirli iklim bölgelerine 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,  $\frac{1}{4}$ 'ünde yarı başarılı ve kalan  $\frac{1}{4}$ '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.



**KAYNAKLAR**

- 1- Akaryıldız, E., (1998), "Havanın Yaş Termometre ve Adyabatik Doyma Sıcaklıkları", Termoklima Dergisi, Sayı:171, Sayfa:63-65
- 2- Genceli, O. F., (1997), Psikrometri, T.T.M.D. Teknik Yayınları, Sayı:2, Sayfa:11-13, İstanbul
- 3- Watt, J.R., (1963), Evaporative Air Conditioning, The Industrial Press, Sayfa:123-256, London
- 4- Gökşin, A.H., (1997), Daha İyi Bir Çevre İçin Nemlendirme Mühendisliği, Sayfa:3-13, İstanbul



## Ek 1: İllere göre evaporatif soğutmanın incelenmesi

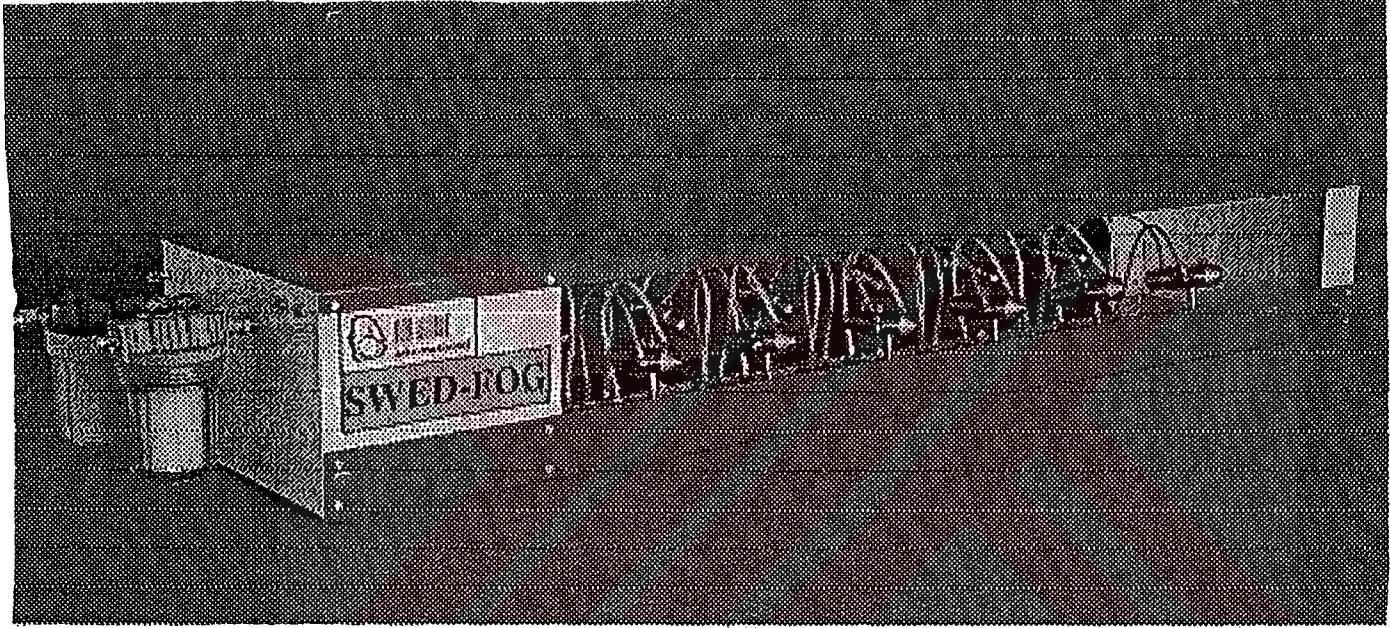
<b><u>İLİN ADI</u></b>	<b><u>DİZAYN KTS. (C)</u></b>	<b><u>DİZAYN YTS.(C)</u></b>	<b><u>BAŞARI DERECEŚİ</u></b>
Adana	38	26	konforsuz
Adıyaman	38	22	konforlu
Afyon	34	21	konforlu
Ağrı	34	25	kısmi konforlu
Amasya	31	21	kısmi konforlu
Ankara	35	21	konforlu
Antalya	39	28	konforsuz
Artvin	30	26	konforsuz
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
Erzurum	31	23	konforlu
Eskişehir	34	24	kısmi konforlu
Gaziantep	39	23	konforlu
Giresun	29	25	konforsuz
Gümüşhane	33	23	kısmi konforlu

<u>İLİN ADI</u>	<u>DİZAYN KTS. (C)</u>	<u>DİZAYN YTS.(C)</u>	<u>BAŞARI DERECEİ</u>
Hakkari	34	20	konforlu
Antakya	37	28	konforsuz
İskenderun	34	21	konforlu
Isparta	35	29	konforsuz
Mersin	31	21	kısmi konforlu
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
Muş	28	17	kısmi konforlu
Nevşehir	38	17	konforlu
Niğde	34	20	konforlu
Ordu	30	22	konforsuz
Rize	30	26	konforsuz
Sakarya	34	20	konforlu
Samsun	32	25	konforsuz
Siirt	40	23	konforlu
Sinop	30	25	konforsuz
Sivas	33	20	konforlu

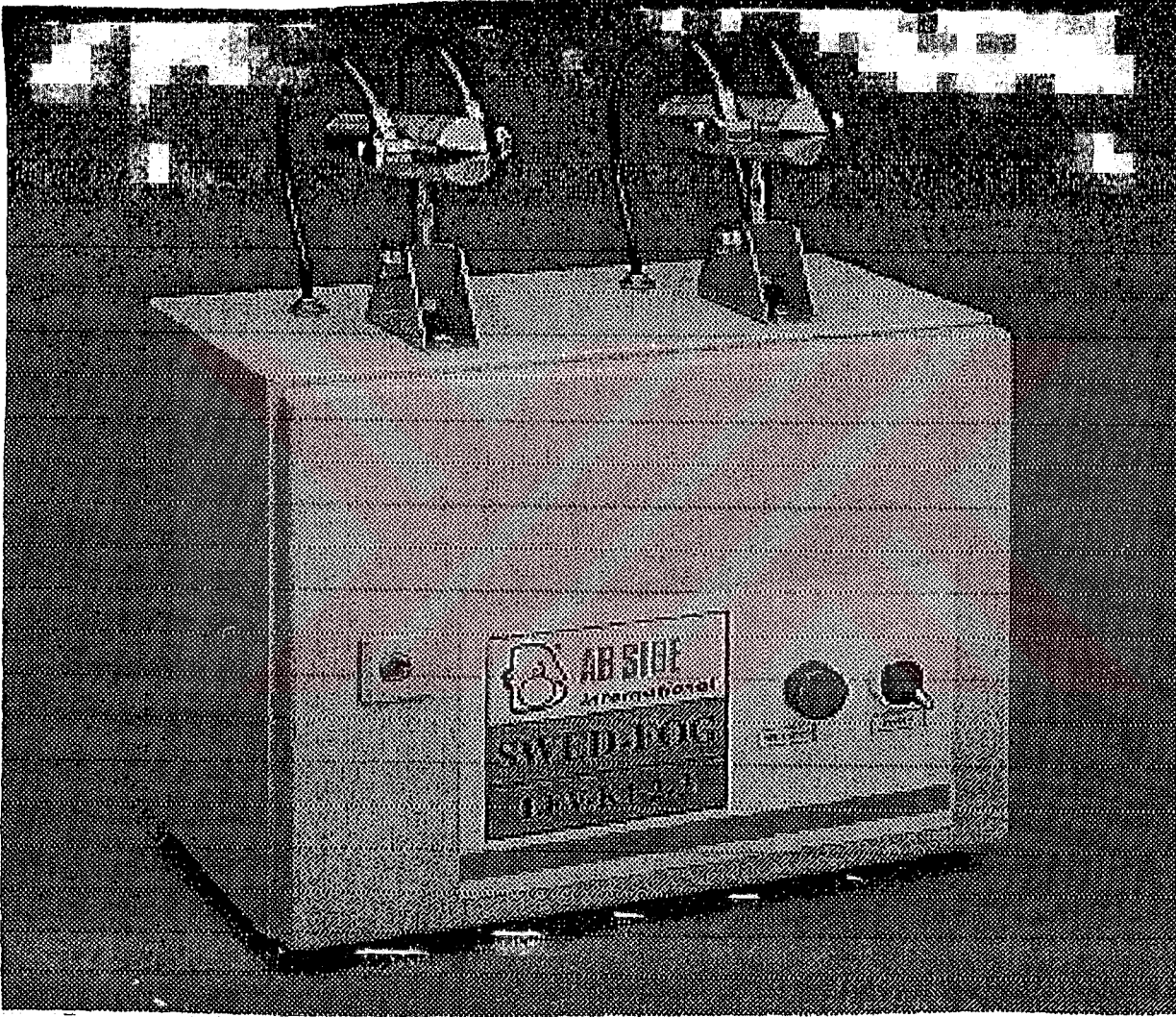
<b><u>İLİN ADI</u></b>	<b><u>DİZAYN KTS. (C)</u></b>	<b><u>DİZAYN YTS.(C)</u></b>	<b><u>BAŞARI DERECESİ</u></b>
Tekirdağ	33	25	konforlu
Tokat	29	20	kısmi konforlu
Trabzon	31	25	konforsuz
Tunceli	37	22	konforlu
Ş.Urfa	43	24	konforlu
Uşak	35	22	konforlu
Van	33	21	konforlu
Yozgat	32	20	konforlu
Zonguldak	32	25	konforsuz



Ek 2 : LFV-S4-6-8-10-12D tipi ünite



Ek 3 : LFV-K1-2-3 tipi ünite



**ÖZGEÇMİŞ**

<b>Doğum tarihi</b>	07.08.1976	
<b>Doğum yeri</b>	İstanbul	
<b>Lise</b>	1990-1993	Yahya Kemal Beyatlı Lisesi
<b>Lisans</b>	1993-1997	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
<b>Yüksek Lisans</b>	1997-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

**Çalıştığı Kurum:**

1999-Devam ediyor. Aknur Ltd. Şti.

