

67763

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN MERKEZİ

**SOĞUTMA KULELERİNİN**  
**MUKAYESESİ**

**Makina Müh. Akif Emre SAYER**

**F.B.E. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

67763

**Tez Danışmanı: Yar.Doç.Dr.Eyüp Akaryıldız**

**İSTANBUL,1997**

Y.Doç. Dr. Eyüp Akaryıldız

M. Ak

Prof. Dr. Döğün Özyürek

Y. Doç. Dr. Eyüp Akaryıldız

Emre

## İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ

ŞEKİL LİSTESİ

TEŞEKKÜR

TÜRKÇE ÖZET

YABANCI DİLDE ÖZET

BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1. Çalışma Prensipleri . 2

1.2. Dizayn şartları 5

BÖLÜM 2 SOĞUTMA KULELERİ 6

2.1. Direkt Temaslı Soğutma Kulesi Tipleri 9

a) Mekanik Olmayan (Doğal) Çekişli Kuleler 9

b) Doğal Akımlı Kuleler (Hiperbolik) 10

c) Mekanik Çekmeli Kuleler 12

2.2. İndirekt Temaslı Soğutma Kulesi Tipleri 13

a) Kuru Soğutma Kuleleri 13

2.3. Islak - Kuru Soğutma Kuleleri 15

2.4. Doğal Akımlı Kuleler ile Mekanik Akımlı Kulelerin  
Karakteristiklerinin Karşılaştırılması 172.5. Bir Karşıt Akışlı Kule İle Çapraz Akışlı Kulelerin İşletme  
Maliyetlerinin Mukayesesi 18

2.6. Kule Yapım Malzemeleri 20

2.7. Seçim Şartları	21
2.8. Yerleşim, Borulama ve Kapasite Kontrolü	22
2.9. Kule Ses Problemi	25
2.10. Kule Sis Oluşumu	26
<b>BÖLÜM 3 TERS AKIMLI SOĞUTMA KULESİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ</b>	<b>29</b>
3.1. Suyun Enerji Denkleminin Çıkarılışı	30
3.2. Havanın Enerji Denkleminin Çıkarılışı	30
3.3. Hava - Su Enerji Değişimi Denklemi	30
3.4. Kule Kesitinin Bulunması	32
<b>BÖLÜM 4 SOĞUTMA KULESİ TEORİSİ</b>	<b>35</b>
4.1. Nümerik İntegrasyon Tchebycheff Metodu	37
4.2. Örnek Hesap	39
<b>BÖLÜM 5 KULE HACMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER</b>	<b>51</b>
<b>BÖLÜM 6 SU TÜKETİMİNİ AZALTMAK İÇİN YAPILABİLECEK İŞLEMLER</b>	<b>54</b>
<b>SONUÇLAR</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>58</b>
EK 1	59
EK 2	60
EK 3	61

## ŞEKİLLER

Şekil 1.1	Ters akımlı soğutma kulesinde su ve hava arasındaki sıcaklık ilişkisi	3
Şekil 1.2	Soğutma kulesinden geçen havanın psikrometrik analizi	4
Şekil 2.1	Direkt temaslı soğutma kulesi	6
Şekil 2.2	İndirekt temaslı soğutma kulesi	7
Şekil 2.3	Dolgu tipleri	8
Şekil 2.4	Dikey püskürtmeli kule	9
Şekil 2.5	Yatay püskürtmeli kule	9
Şekil 2.6	Doğal akımlı hiperbolik kule	11
Şekil 2.7	Mekanik çekişli kuleler	12
Şekil 2.8	İndirekt kuru soğutma kulesi	14
Şekil 2.9	Direkt kuru soğutma kulesi	15
Şekil 2.10	Islak kuru soğutma kulesi	16
Şekil 2.11	Psikrometrik diyagram üzerinde ses oluşumunun tesbiti	26
Şekil 3.1	Ters akımlı soğutma kulesinin şematik gösterimi	28
Şekil 5.1	Kule hacmi - yaş termometre sıcaklığı değişimi	51
Şekil 5.2	Kule hacmi ile $M_w / M_a$ oranının değişimi	52
Şekil 5.3	Farklı $M_w / M_a$ oranları ile kule hacminin değişimi	53

**TEŞEKKÜR**

Tüm tez çalışmam boyunca bana her türlü desteği sağlayan ve yol gösteren Y.Doç. Dr. Sn Eyüp Akaryıldız'a , tez çalışmam süresince karşılaştığım sorunları aşmamda yardımcı olan Y.Doç.Dr. Sn. Nurten Vardar ve Öğretim Görevlisi Sn. Mustafa Bilge ' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Mak. Müh. Akif Emre Sayer

## ÖZET

Bu tezde ilk olarak soğutma kulelerinin çalışma prensipleri ve dizayn şartları açıklanmıştır. Daha sonra her tip soğutma kulesi incelenmiş ve kulelerin çalışma şartları ortaya konulmuştur. Bu kuleler maliyet , verim ve işletme masrafları açısından karşılaştırılarak belirli şartlar altında hangi tip soğutma kulesinin seçilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Bölüm 3'te bir ters akımlı soğutma kulesi şematik resmi çizilerek bir termodinamik analiz yapılmış ve kule hacmini belirleyen formül çıkarılmıştır.

Soğutma kulesi teorisi yazılmış, Tchebycheff yöntemi ile performans eğrileri çıkarılmıştır. Bunun için basit bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Daha sonra örnek uygulama ile bir soğutma kulesinin boyutları bulunmuş , performans eğrisi yardımı ile gerçek verim elde edilmiştir.

Son bölümde soğutma kulelerinde su tüketimi ve su kaynaklarının korunması konusu ele alınmıştır.

## SUMMARY

Firs I explained how a cooling tower work and what are the design conditions. And then I explained every type of cooling tower and their operation conditions, operation expenses and erection costs. I compaired them according to operation expenses , erection cost, efficiency etc. And I cleared that which one is the best for particular conditions.

In Chapter 3 , I drew a picture of counterflow cooling tower and did a thermodynamic analyz. This analyz led me to the height of cooling tower. For this I used Stevens Diagram.

I wrote Cooling Tower Theory and drew a cooling tower performance curve. I used Tchebycheff formulas. I solved a problem and found out the height of cooling tower and it 's real efficiency.

At the end I emphasized the importance of water sources and explain what we should do for using less water.

# Soğutma Kuleleri

## BÖLÜM 1.Giriş

Bir çok soğutma sisteminde ve endüstriyel proseste üretilen ve daha sonra çekilip atılması gereken bir ısı mevcuttur.Soğutucu kondenserlerinden veya endüstriyel proses ısı değiştiricilerinden üretilen ısının taşınmasında genellikle su kullanılır.

Geçmişte bu işlem, doğal bir su kaynağından veya şebekeden sürekli su çekilmesi, bu suyun prosesten geçerken ısıtılması ve ısınan suyunda direkt olarak kanalizasyona atılması veya tekrar kaynağına gönderilmesi ile gerçekleştirilirdi.Bugün ise şebeke suyu ile bunu gerçekleştirmek pahalıya malolmaktadır.Aynı şekilde soğutma suyunun doğal kaynaklardan çekilmesi göreceli olarak zordur ve ısıtılmış suyun tekrar kaynağına atılması suyun ekolojik dengesine de zarar vermektedir.

Isının direkt olarak atmosfere atılmasında suyu soğutmak amacıyla, hava soğutmalı ısı değiştiricileri kullanılabilir,fakat bu cihazların ilk maliyetleri ve fan enerji tüketimleri yüksektir.Bu cihazlar, sadece ortam havası kuru termometre sıcaklığının yaklaşık 11 °C civarında olması durumunda suyu ekonomik olarak soğutabilmektedir.Birçok soğutma sisteminde ve endüstriyel proseste ise soğutma suyu için bu sıcaklık seviyeleri yüksek kalmaktadır. Soğutma sistemlerindeki atık ısıyı dağıtmak (uzaklaştırmak) için sıkça kullanılan soğutma kuleleri bu problemlerin bir çoğunun üstesinden gelmektedir.

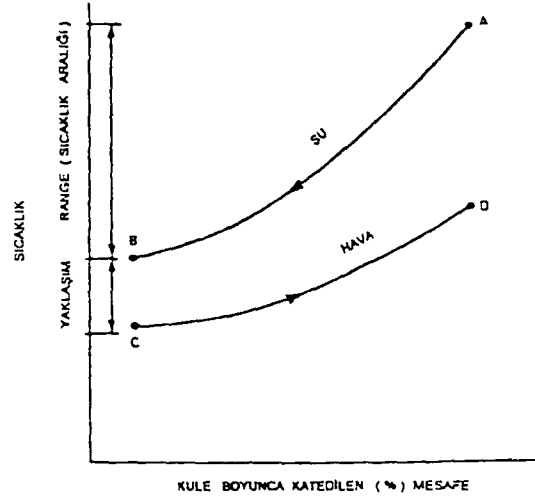
Soğutma kulesi sistemlerinin su tüketim oranları yukarıda bahsedilen tek geçişli sistemlerin sadece %5'i kadardır.Bu nedenle soğutma kuleleri en az pahalı olan sistemlerdir.Ayrıca deşarj edilen ısıtılmış su miktarı çok az olduğundan ekolojik etkiside az olmaktadır.Su soğutma kuleleri suyu ekonomik olarak ortam havası yaş termometre sıcaklığına 3-6 °C kadar yaklaştırebilmektedirler.

## 1.1.Çalışma Prensipleri ( 1 )

Soğutma kulesi , suyu soğutmak için ısı ve kütle transferi kombinasyonunu kullanan bir cihazdır.Soğutulacak su kulede hava ile su arasında geniş bir ısı transfer yüzeyi yaratacak şekilde memelerden püskürtülür.Atmosfer havasının sirkülasyonu ise aşağıdaki metodlarla sağlanır.Fanlar, konvektif akımlar,doğal rüzgar akımları veya püskürtmenin indüksüyon etkisi ile.Su ile havanın bağıl ısı seviyeleri suyun bir kısmının buharlaşmasına sebep olur.Sabit basınçta sıvı halden,buhar haline geçebilmesi için suyun ısı absorbe etmesi zorunludur.Bu ısı ise sıvı halde bulunmaya devam eden suyun diğer kısmından çekilir.Yani, atmosfer basıncında buharlaşma ısı, sirküle eden sudan alınır ve hava akımına transfer edilir.

Şekil 1.1 de, çapraz akımlı bir soğutma kulesinden geçen hava ve su arasındaki sıcaklık ilişkisi görülmektedir.Eğriler su sıcaklığındaki düşüşü (A'dan B'ye) ve hava yaş termometre sıcaklığındaki artışı göstermektedir.Suyun soğutma kulesine giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark (A -B) range (sıcaklık aralığı ) olarak tanımlanır.Sürekli hal rejiminde çalışan bir sistem için dolu bir ısı değiştiricisinden geçen suyun sıcaklığındaki artışta range (sıcaklık aralığı ) aynıdır.Bu range (sıcaklık aralığı) hesaplanırken soğutma kulesi boyutları ve kapasitesi değil ısı yükü ve su debisinden faydalanır.

Suyun çıkış sıcaklığı ile giren havanın yaş termometre sıcaklığı arasındaki fark (B-C) yaş termometre yaklaşım sıcaklığı olarak Şekil 1.1 'de tanımlanmaktadır.Yaklaşım sıcaklığı soğutma kulesi kapasitesinin bir fonksiyonudur ve verilen bir ısı yükü , debi ve hava giriş şartları için ; daha büyük bir soğutma kulesi daha küçük bir yaklaşım sıcaklığı (daha soğuk çıkış suyu)doğuracaktır.Bu yüzden , soğutma kulesinden atmosfere atılan ısı miktarı , soğutma kulesi üzerine kabul edilen ısı yüküne eşittir.(Isı transferinin yapıldığı sıcaklık seviyesi soğutma kulesinin ısı kapasitesi ile hesaplandığı sürece)



Şekil 1.1. Ters akımlı soğutma kulesinde su ve hava arasındaki sıcaklık ilişkisi

Soğutma kulesinin ısı performansı giriş havasının yaş termometre sıcaklığı ile değişmektedir. Giriş havası kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemin, ısı performans üzerindeki etkileri oldukça azdır, fakat suyun buharlaşma oranına etkisi vardır. Şekil 1.2' de soğutma kulesinden geçen havanın psikrometrik bir analizi görülmektedir. Ortam şartlarında A noktasında giren hava ısı ve kütle (nem) absorbe etmekte ve doyma şartlarında B noktasında çıkmaktadır (Çok düşük yüklerde, atılan hava doymuş hale gelmeyebilir). Sudan havaya transfer edilen ısı miktarı, havanın giriş ve çıkış şartlarındaki entalpileri farkıyla ( $h_B - h_A$ ) orantılıdır. Sabit entalpi doğruları ile yaş termometre sıcaklığı doğruları hemen hemen tam olarak çakıştığından, pratikte havanın entalpisindeki değişimler için, havanın yaş termometre sıcaklığındaki değişiklikleri eşit olarak kabul edilebilir.

Şekil 1.2 ' de AB vektörü iki parçaya ayrılmıştır. AC duyulur hava ısıtmasını (duyulur su soğuması), CB ise gizli hava ısıtmasını (gizli su soğuması) temsil etmektedir. Eğer hava giriş şartları aynı yaş termometre sıcaklığında fakat farklı kuru termometre sıcaklığında D noktasına değiştirilirse, toplam ısı transferinin aynı kaldığı, fakat duyulur ve gizli ısı kısımlarının değiştiği görülür. AB halinin evaporasyonla duyulur soğutulmasını ve havanın



## 1.2 Dizayn Şartları

Bir soğutma kulesinin ısı kapasitesi aşağıdaki parametreler vasıtasıyla tanımlanabilir

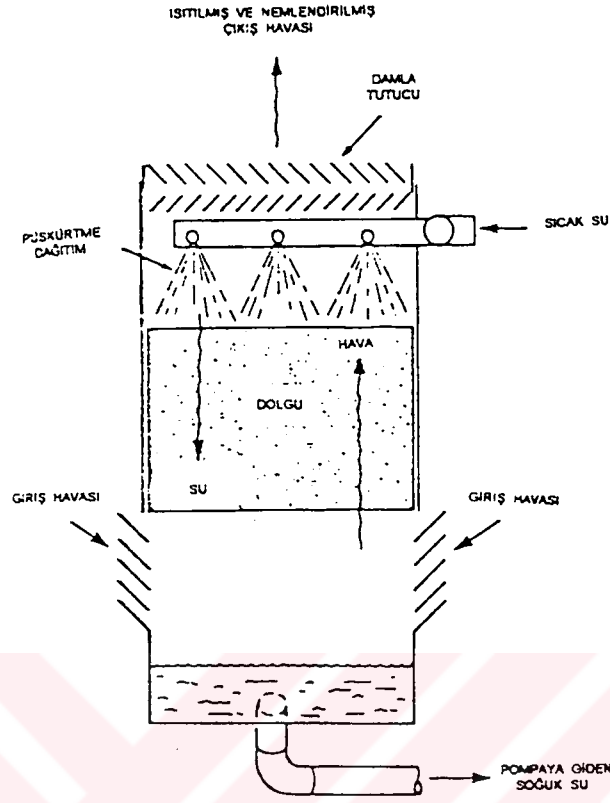
- 1) Giren ve çıkan suyun sıcaklıkları
- 2) Giren havanın yaş termometre veya giren havanın hem yaş hem de kuru termometre sıcaklıkları
- 3) Su debisi

Giren havanın kuru termometre sıcaklığı , evaporatif tip bir soğutma kulesinde soğutulan sudan buharlaştırılacak su miktarına etki etmektedir. Bu , aynı şekilde hiperbolik kulelerden geçen hava akışına etki etmekte ve direkt olarak kuru tarzda çalışan indirekt temaslı soğutma kulesi elemanı dahilinde ısı kapasiteyi tayin etmektedir.

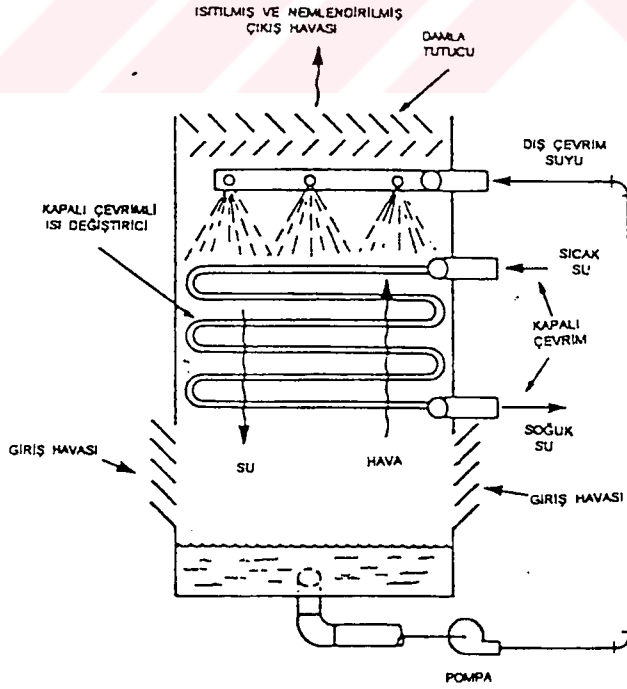
Klima uygulamasında soğutma kulelerinin ısı kapasitesi nominal kapasite olarak tanımlanır ( Bu tanımlama kondenser gücü (kw) başına 1.25 kw ısı dağılımı ve kw başına 25.6 °C yaş termometre sıcaklığında 35 °C 'den 29.4 °C 'ye soğutulan 54 mL/s debisindeki su sirkülasyonuna dayanarak yapılmıştır ). Spesifik uygulamalar için bununla beraber nominal tonaj oranları kullanılmaz ve ısı performans kapasitesi genellikle tayin edilmiş işletme koşullarında ki ( giren ve çıkan su sıcaklıkları , giren hava kuru ve yaş termometre sıcaklıkları) debilerle tanımlanır.

## BÖLÜM 2 Soğutma Kuleleri ( 2 )

İki temel tip evaporatif soğutma cihazı kullanılır. Birinci tip , ısınmış su ile atmosfer arasında temastan oluşmaktadır ( Şekil 2.1. ). Direkt temaslı cihaz suyu direkt olarak soğutma atmosferine maruz bırakır , o suretle ısı direkt olarak havaya transfer olur. İkinci tip ise ısıtılmış akışkan ile atmosfer arasındaki indirekt temastan meydana gelmektedir (Şekil 2.2 )



Şekil 2.1. Direkt temaslı soğutma kulesi



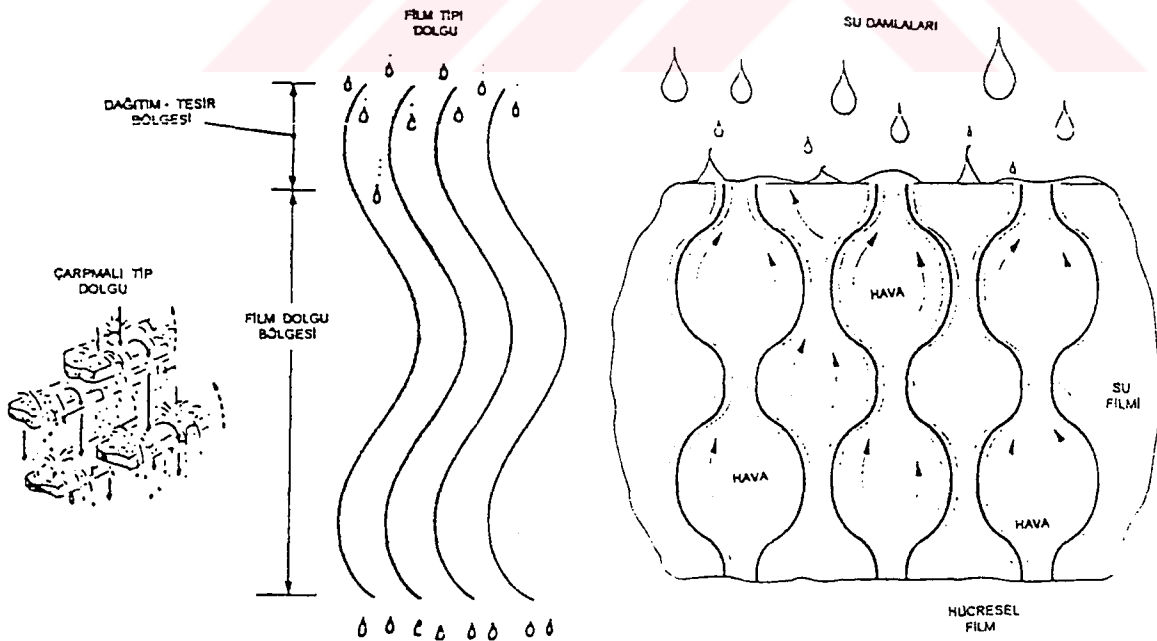
Şekil 2.2. İndirekt temaslı soğutma kuleleri

İndrekt temaslı kuleler (genellikle kapalı çevrimli sıvı soğutucular olarak tanımlanır) iki ayrı sıvı çevrimi içerir :

- 1) Suyun atmosfere serpantin boru demeti üzerinden temas ettirildiği iç çevrim
- 2) Serpantin boru demeti içinden soğutulan suyun sirküle ettiği iç çevrim. İşletme sırasında ısı , ç çevrimden serpantin boru cidarlarından , evaporatif olarak soğutulan dış su çevrimine göre akar .İç akışkan çevrimi hiçbir zaman atmosferle direk temas etmediğinden , bu tip üniteler su dışındaki akışkanların soğutulmasında veya havadan gelebilecek kirlilik ve pisliğin birinci soğutma çevrimine bulaşmasını önlemekte de kullanılabilir.

Püskürtmeli kulelerde su hayata bir ısı transfer aracı olmadan bırakılır. Havaya maruz bırakılan su yüzeyi miktarı spreyleyin etkinliğine ( verime ) bağlıdır. Su ile havanın temas süresi ise yüksekliğin ve su dağıtım sisteminin basıncının bir fonksiyonudur.

Temas yüzeyini artırmak için dolgu adı verilen ısı transfer aracı , hava akış yolu üzerinde su dağıtım sistemi altına yerleştirilir. Kullanılan iki tip , sıçramalı ve film tipidir (Şekil 2.3) Sırayla yerleştirilmiş sıçrama çubukları vasıtasıyla , sıçramalı tipte temas yüzeyi ve zamanı maksimize edilir .



Şekil 2.3. Dolgu Tipleri

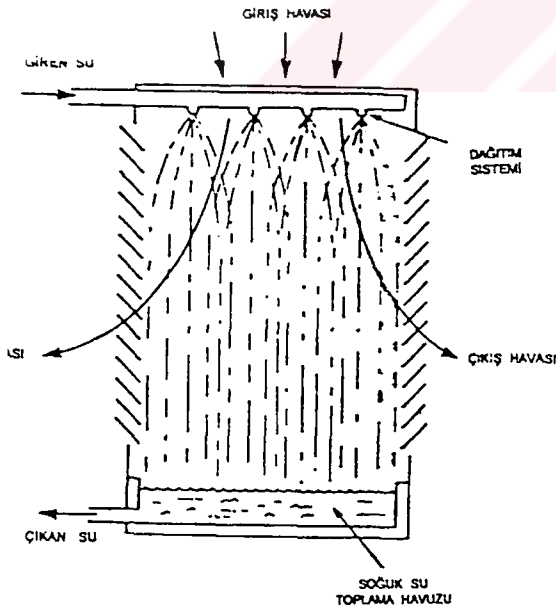
Her iki tipte hem ters akımlı , hem de çapraz akımlı kulelerde uygulanabilir .Klima ve soğutma uygulamalarında film tipi kule boyutlarının daha kompakt olmasına müsadeetmektedir. Bununla beraber sıçramalı tip başlangıçtaki hava ve su dağıtımına daha az duyarlıdır.

İndirekt temaslı kulelerin kapalı çevrimli bir ısı değiştiriciye ( genellikle boru demetli serpantin ) ihtiyacı vardır ( Şekil 2.2. ) .Bazı tipler dış ısı değişim yzzey alanını artırmak amacıyla ilave film içermektedir.

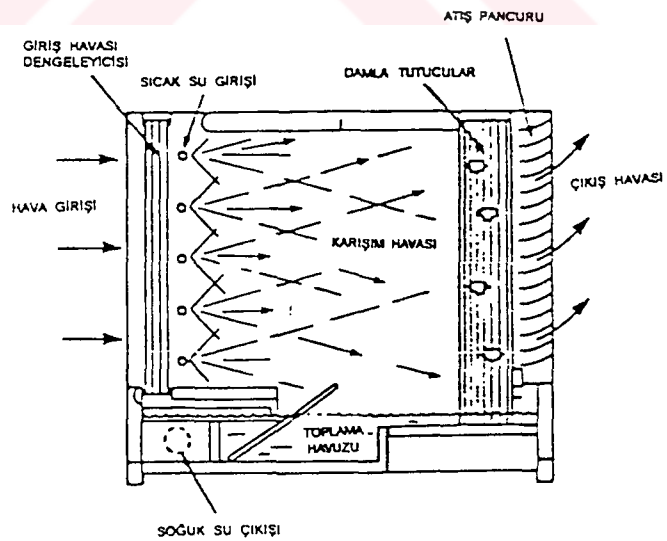
## 2.1. Direkt Temaslı Soğutma Kulesi Tipleri

### a) Mekanik Olmayan ( Doğal ) ekiřli Kuleler

Yoğunluk farkıyla veya püskürtülen su vasıtasıyla hava hareketini sağlayan bu cihazlar dolgu içermezler ve hava hareketi için mekanik bir cihaz ( fan ) kullanılmaz.Püskürtülen suyun aspirasyon etkisi dikey veya yatay olarak (Şekil 2.4 -2.5.) kule içinden hava akımının geçmesine sebep olur .



Şekil 2.4.Dikey Püskürtmeli Kule



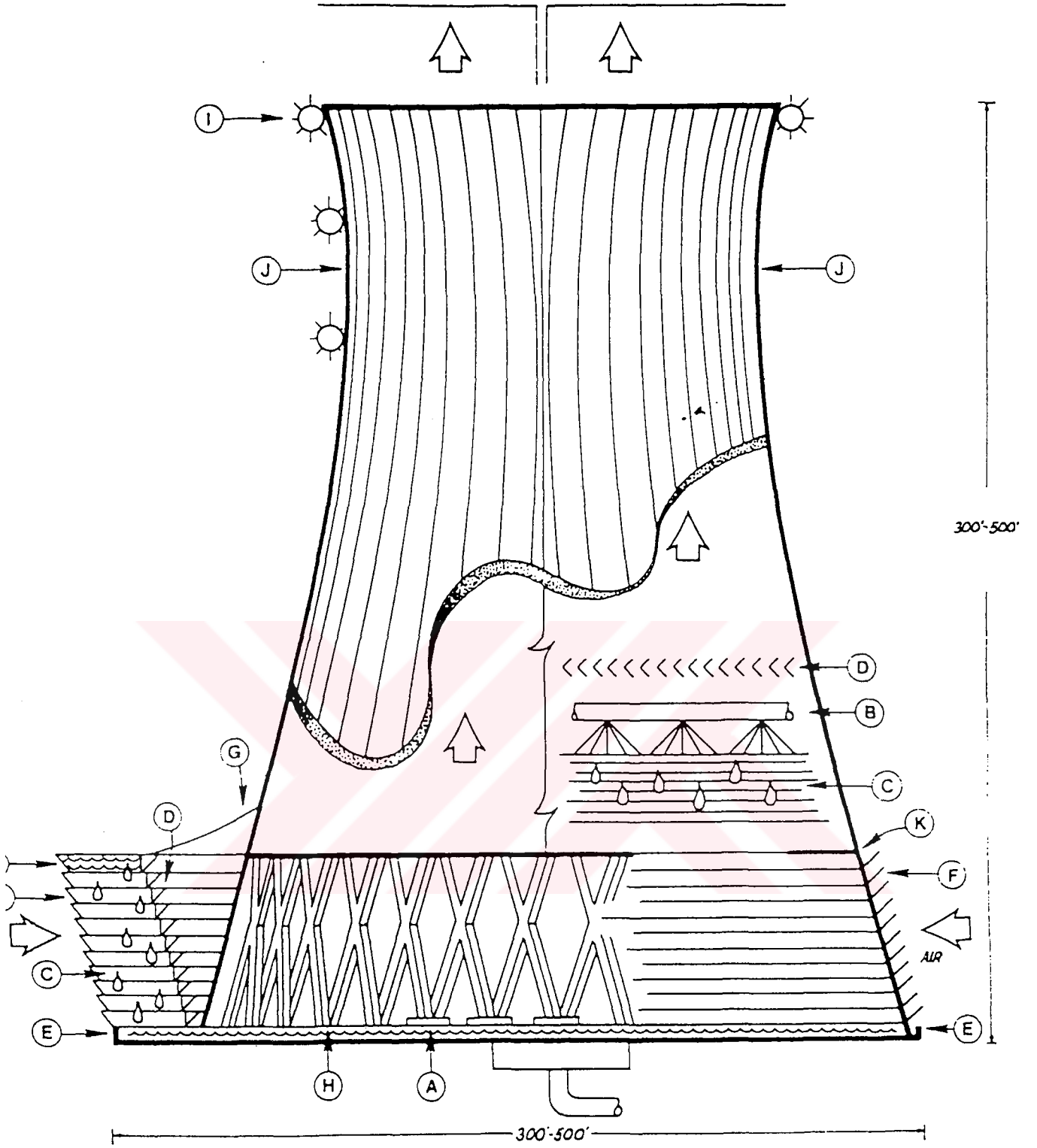
Şekil 2.5. Yatay Püskürtmeli Kule

Hava hızları ( hem giriş hem çıkış ) nispeten düşüktür , böyle kuleler karşı rüzgar etkisine hassastırlar ve bu yüzden normal olarak , sistemdeki işletme sıcaklıklarının kritik olmadığı düşük maliyetli ihtiyaçları karşılamak için kullanılır. Yüksek performanslı yatay püskürtmeli kulelerde su/hava temas yüzeyini artırmak için kullanılır . Azalan yük periyotlarında ve ortam şartlarındaki enerji kullanımını azaltabilmek için normal olarak çok hızlı veya kademeli pompalama sistemleri tavsiye edilmektedir.

#### b) Doğal Akımlı Kuleler ( Hiperbolik )

Doğal akımlı hiperbolik soğutma kuleleri Avrupa'da uzun süreden beri kullanılmasına rağmen , Amerika 'da yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır . Önceleri tahta yapıya sahip olan kuleler daha sonra çelik ve tahtadan yapılmaya başlanmıştır ( tahta çeliğin üzerinde ). Günümüz doğal hava akımlı hiperbolik kuleleri genel olarak betondan yapılmaktadır.Kullanılan malzemenin yanında zamanla kulenin biçimi de değişmiştir. Önceleri silindirik olan yapı zamanla tepesi kesilmiş koni şeklini almıştır . Şu andaki biçim ise kuleye büyük bir sağlamlık ve hava ile kulenin uyumunu sağlayan hiperboliktir .

Doğal hava akımlı soğutma kulesinde havayı hareket ettirmek için fan kullanılmaz , hava akışı atmosferik hava ile kule içindeki ısınmış hava arasındaki yoğunluk farkı ile gerçekleşir . Tabandan giren soğuk hava tepeden atılır .



A-Kaide

B-Su Dağıtımı

C-Dolgusu

D-Savrulma Önleyici

E-Soğuk Su Havzası

F-Hava Giriş Mazgalları

H-Çapraz Payanda

I-Engel İşaret Feneri

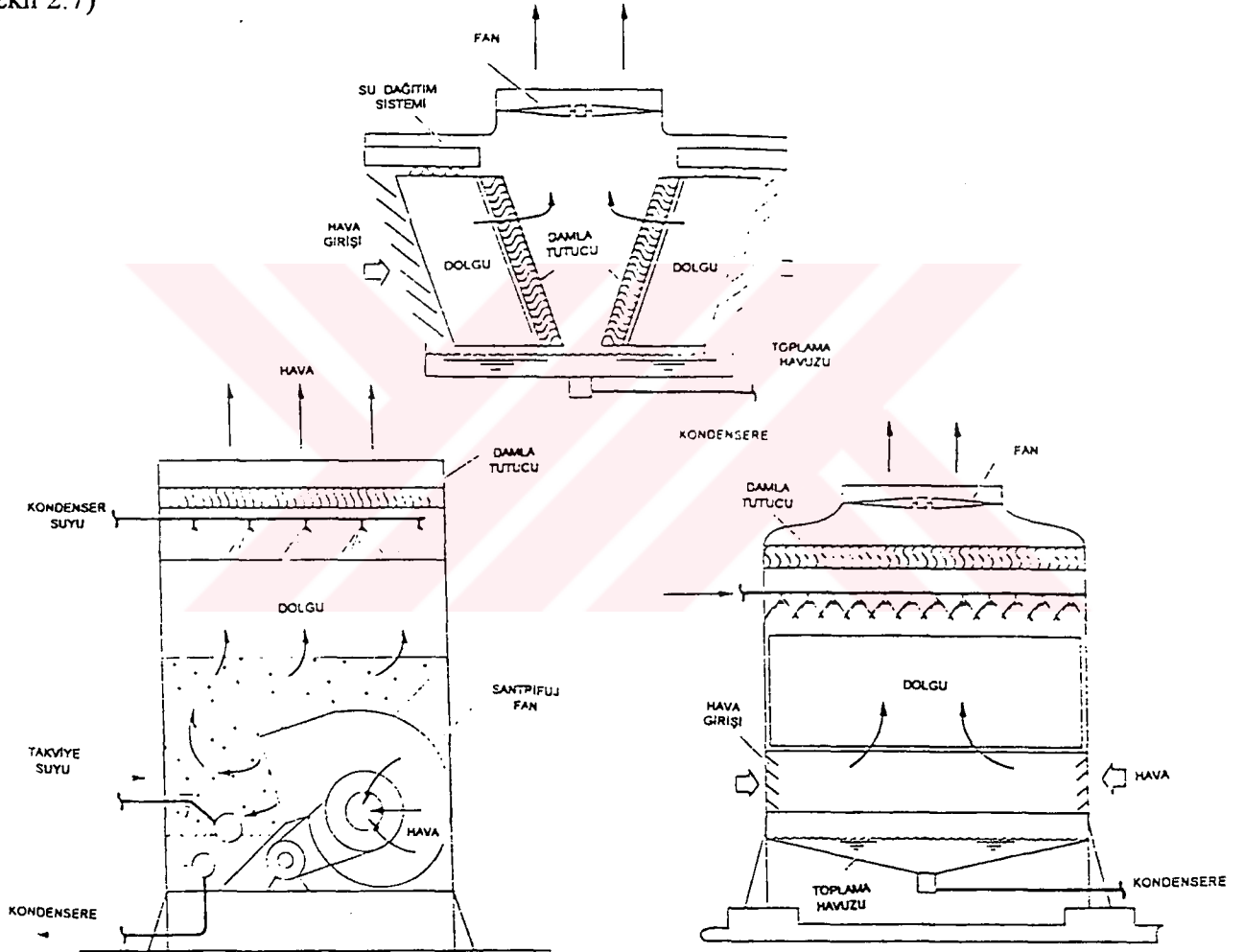
J-Boğaz Çapı

K-Tablalı Tavan

Şekil 2.6 Doğal Akımlı Hiperbolik Soğutma Kulesi

### c) Mekanik Çekmeli Kuleler

Mekanik çekmeli kulelerde fanlar giriş havası tarafında veya çıkış havası tarafında bulunabilir . Dış basınç ihtiyacına , müsaade edilebilir ses seviyelerine ve enerji kullanım ihtiyaçlarına bağlı olarak fanlar genellikle santrifüj veya pervaneli tip olabilir . Hava yukarı doğru akış yaparken , su aşağı doğru akar (Karşıt akımlı ısı transferi ) veya hava yatay akış yaparken, su yine düşey yönde aşağı doğru akar (Çapraz akımlı ısı transferi ) .Hava girişi tek veya çift girişli olabilir . (Şekil 2.7)



Şekil 2.7. Mekanik Çekmeli Kuleler

Kuleler genellikle ya fabrika montajlıdır yada tesis edileceği yerde montaj için birkaç parçadan oluşmuştur . Fabrika montajlı kulelerin çoğunluğu metal konstrüksiyonludur ; genellikle de galvanizli çeliktir . Diğer konstrüksiyonlar ise işlenmiş ağaç , paslanmaz çelik ve plastik malzeme kullanılarak yapılmaktadır . Sahada montajı yapılan kuleler genellikle

koruyucu kaplanmış kırmızı kereste veya fiberglas takviyeli plastik ile işlenmiş köknar ağacından imal edilirler . Kaplanmış metaller , öncelikle de çelikler bütün bir kule ve parçaları için kullanılırlar . Beton veya seramik malzemelerin kullanılması daha büyük boyutlarda sınırlanmıştır .

Bugün en fazla kullanılan soğutma kulesi tipi mekanik çekmeli kulelerdir .Mekanik çekmeli kuleler , büyük güç istasyonları uygulamaları dışında hiperbolik kulelere göre daha ekonomiktir .

Çapraz akışlı kuleler termal anlamda daha az verimlidir. Pratikte ise hem karşıt hemde çapraz akışlı kuleler uygulama tipine göre avantajlara ve dezavantajlara sahiptir .Her iki kule tipide aynı verimde çalışır .Karşıt akışlı kule daha ucuzdur ve daha az yer kaplar . Bununla beraber çapraz akışlı kuleler personelin favorisidir . Bunun sebebi su dağıtım sistemi , dolgu ,nem ayırıcıve kulenin iç kısımlarına ulaşmak ve bakımını yapmak kolaydır .

Çapraz akışlı kule yaklaşımın (suyun çıkış sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı arasındaki fark ) 16-18 °F olduğu ortamlarda daha iyi çalışır . Bunun sebebi çapraz akışlı kule karşıt akışlı kule kadar termal olarak verimli değildir . 8-10 °F yaklaşım ise karşıt akımlı kule için idealdir .

## **2.2. İndirek Temaslı Soğutma Kulesi Tipleri**

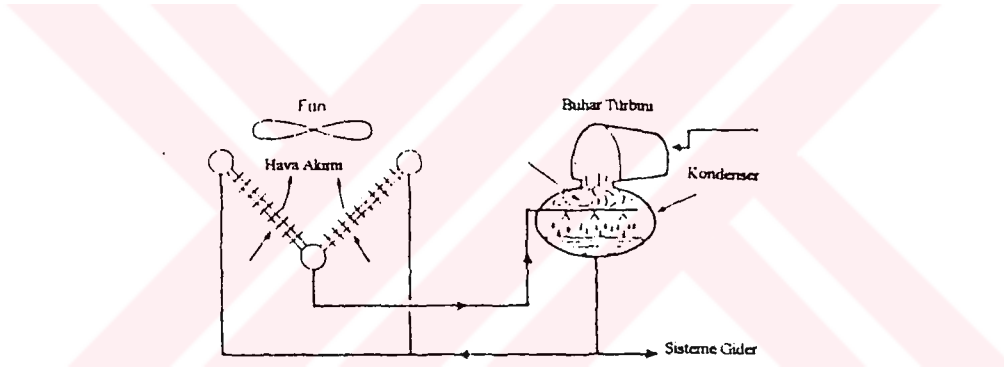
### **a) Kuru Soğutma Kuleleri**

Belirli şartlar altında ;örneğin yüksek yaş termometre sıcaklığında , su kaynaklarının yeterli olmadığı durumlarda , blöf suyunun atılmasında sorunlarla karşılaşıl durumun dakuru soğutma kuleleri tercih edilir . Bu tür kuleler direkt veindirekt olmak üzere ikiye ayrılırlar .

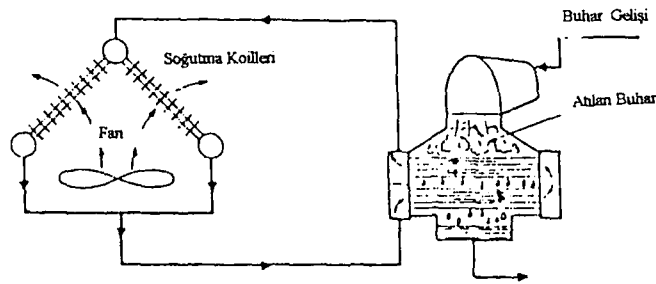
1) İndirekt kule

2) Direkt kule

İndirekt kulede atılan buharı yoğuşturmak için bir yüzey yada kondenser kullanılır .Direkt sistemde ise buhar soğutma kulelerinde bir yüzey ya da kondenserle temasa geçmeden yoğuşturulur . Bu tür kuleler de suyun içindeki yabancı maddelerin artması nedeniyle suyun bir kısmının sistemden atılması durumu olmadığından doğaya zarar verilmez . Blöf ve buharlaşma olmadığından su kaybı yoktur . Sistemde buharlaşmanın olmaması sis oluşumunu engeller . Buzlanma yoktur . Mekanik kulelerle karşılaştırıldığında bakımları daha ucuzdur . Çünkü mekanik akımlı kulelerde kullanılan ve suyun kalitesini korumak için kullanılan kimyasal maddeler kullanılmaz . Suyla ilgili kireçlenme , korozyon , çamur meydana gelmez . Kuru kuleler kütle transferi ve duyulur ısı transferinin bir arada gerçekleştiği mekanik akımlı kuleler kadar termal olarak verimli değildir . Aynı zamanda kurulması ve çalıştırılması daha pahalıdır . (Şekil 2.8 -2. 9)



Şekil 2.8.İndirekt Kuru Soğutma Kulesi



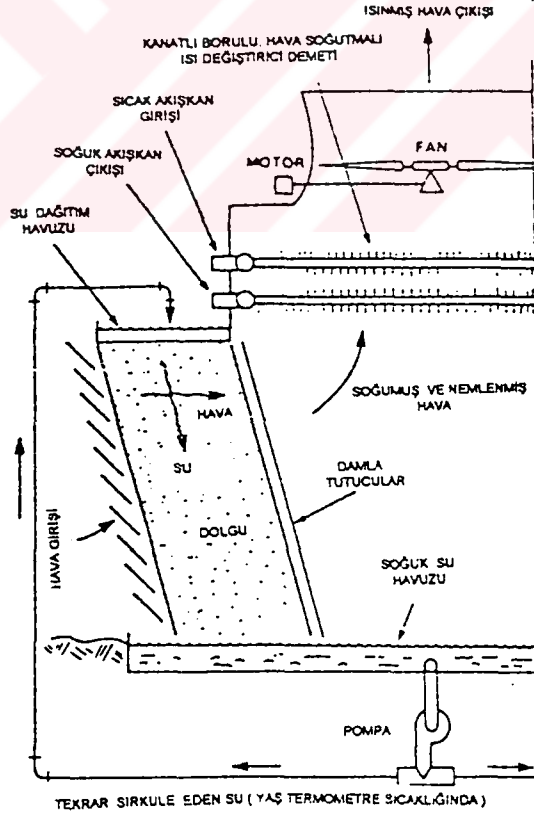
Şekil 2.9. Direkt Kuru Soğutma Kulesi

### 2.3. Islak Kuru Soğutma Kuleleri

Bu tür soğutma kuleleri hem kuru hemde ıslak (buharlaşmalı ) soğutma kulelerinin özelliklerini içerir . Bu tür kuleler hem su tüketimini azaltır hem sis, duman oluşumu olasılığını azaltır .İki bölümden oluşan kulede dış hava ikiye ayrılır , kuru ve yaş bölümlerini geçtikten sonra birleşerek dışarı atılır .

Su tüketiminin az olması için bu sistemde sıcak suyun büyük bir kısmı kuru bölümde soğutulur. Fakat bununla beraber kuru soğutma 10-20 °C altında gerçekleştirildiğinden yazın belirli sıcaklıklarda sadece evaporatif soğutma meydana getirilir . Bu gibi durumlarda kuru bölümde hava geçişini önleyen bir engelleyici vardır .

Tüm avantajlarına rağmen ıslak kuru kule tüm ıslak (evaporatif ) ya da tüm kuru soğutma kulesi sistemlerinin istenilenleri veremediğinde göz önünde bulundurulur.(Şekil 2.10)



Şekil 2.10. Islak-Kuru Soğutma Kulesi

**2.4.Doğal Akımlı Kuleler ile Mekanik Akımlı Kulelerin Karasteristiklerinin Karşılaştırılması ( 3 )**

	Mekanik Akımlı	Doğal Akımlı
Yer	Hava gereksinimi , sis ve gürültü gibi konular gözönünderutularak sistemden belirli oranda uzak kurulur	Sisteme yakın kurulabilir . Pompa harcamaları azalır Kuruluş yeri güç sistemlerinde atılan gazlarla karşılaşmamalıdır
Yapı Malzemeleri	Tahta , metal yapı olabilir . Zelzeleye rüzgara kulenin kendi ağırlığına mekanik ekipmanların sarsıntılarına dayanıklı olmaktadır	Rüzgara dayanıklı ince beton yapı
İlk Yatırım	Daha az pahalı tahta , asbestos sement ve plastik metaryellerden yapılabilir Fanların maliyeti yüksek.	Oldukça pahalı beton ve asbestos sement kullanılır
Çalıştırma Bakım Harc	Fan ve pompa için önemli miktarda enerji Mekanik elemanlar ve transmisyon elemanlarının bakımı önemlidir.	Çalıştırma ve bakım her yönü. ile daha ucuzdur
Sis	Bu mekanik akımlı kulelerin ana problemi. Yerleşim kısıtlamalarına yol açar.Bu da artı masraftır.	Yüksek olması nedeniyle bu gibi bir sorunla karşılaşmaz
Uygulamalar	Çok büyük sistemler dışında mekanik akımlı soğutma kuleleri daha ucuzdur..	İklim şartları ve ısı yükleri göz önünde bulundurulduğunda doğal akımlı kuleler güç endüstrisi içindir..

## 2.5. Bir Karşıt Akışlı Kule İle Çapraz Akışlı Kulenin Elektrik Maliyetlerinin Mukayesesi ( 4 )

Pompa kafası kilowatt ve beygir gücüne göre hesaplanır. Kulenin dizaynından dolayı çapraz akışlı kuleler karşıt akışlı kulelerle karşılaştırıldığında daha fazla pompa kafasına ihtiyaç duyarlar.

Ek 1. fazla pompa basma yüksekliğinin meydana getirdiği artı masrafı dolar üzerinden göstermektedir.

$$\text{BHP} = \frac{\text{GPM.Pompa. Basma Yüksekliği}}{3960. \text{Verimlilik}}$$

Çapraz akışlı kule ile karşıt akışlı kule arasındaki 30 feet' lik ( 9.15 m ) fark 20000 GPM su için 190 HP fazla beygir gücüne yol açar. Bu miktar Ek 1 e göre (Her yıl için 8760 saat ) 55244 dolar fazla yol açar.

Elektri tüketimi farkını anlayabilmek için her ikisi birden 20000 GPM su pompalayan bir karşıt akışlı kule bir de çapraz akışlı kule alalım.

### 1. Fan Motorları

Karşıt Akışlı : 300 HP

Maliyet : 82 629 + 39 906 = 122 532 dolar

Çapraz akışlı : 240 HP

Maliyet : 82629 + 16784 = 99 413 dolar

## 2. Pompa Motorları

Karşıt Akışlı : 30 foot pompa kafası

$$\text{BHP} = \frac{20000.30}{3960.0,80} = 190 \text{ HP} \quad (40\text{HP} + 150 \text{ HP})$$

Maliyet : 61570 + 16784 = 78354 dolar

Çapraz Akışlı :60 foot için pompa kafası

$$\text{BHP} = (20000. 60) / 3960.0,80 = 380 \text{ HP} \quad (200+150+30)$$

## 3. Toplam Yıllık Tüketim

Karşıt Akışlı : 200886 dolar

Çapraz Akışlı : 256130 dolar

Bu hesaba göre karşıt akışlı kule 55244 dolar daha az elektrik harcar .Bunu 10 yıllık değerlendirirsek yıllık elektrik artışları gözönünde tutularak bu miktar 1 000 000 dolar daha az tüketim olarak ortaya çıkar. Buradan görüldüğü gibi her ne kadar ilk satın alma maliyeti fazla olsa da karşıt akışlı kuleler , çapraz akışlı kulelere göre daha iyi bir seçimdir.

## 2.6.Kule Yapım Malzemeleri

Soğutma kulesi inşasında malzemeler genellikle koroziye suya ve atmosferik şartlara dayanıklı olmasına göre seçilir.

## **Ağac**

Bütün statik parçalar için ( metal donanım hariç ) yaygın olarak ağaçlar kullanılır.Kızılağaç ve köknar koruyucu kimyasallarla kaplanırlar .Bu mikrobiosid kimyasallar;beyaz karınca ve mantar gibi ağaca zarar veren organizmaların saldırılarını önlerler.

## **Metaller**

Küçük ve orta boy tesisler için çinko ile galvenize edilmiş çelik ve / veya aliminyum / çinko kaplama kullanılır.Metal donanımlar için sıcak daldırma galvanizleme ve kadmiyum ile çinko kaplama kullanılır.Büyük sistemler imalattan sonra bazen sıcak daldırma galvanizleme işleminden geçirilirler. Prinçler ve bronzlar ; özel metal donanımları , fittingler ve boru aksamı malzemeleri için seçilirler.Paslanmaz çelikler , ( özellikle 302,304 ve 316 ) çoğunlukla metal levhalar , tahrik şaftları ve koroziif ortamlardaki metal donanımlar için kullanılırlar. Pik demir ise ; fan göbekleri , motor veya dişli redüksiyon yuvaları ve boru açma kapama elamanları için genel bir tercih olmaktadır.Özel amaçlı parçalar için epoksi kömür bileşiği , poliüratan ve polivinilklorid kaplı metal kullanılır. Son dönemlerde kulenin tamamı için veya anahtar parçalar için özel polimerize edilmiş korozyon koruyucu sistemler ilave edilmiştir.

## **Plastikler**

Fiber glas takviyeli polyester malzemeler geniş olarak boru aksamları ,fan silindirleri , fan pervaneleri, kaplama ve kanatçıkları ve yapısal bağlantı elemanları için kullanılırlar. Akış orifisleri ve dolgu çubukları gibi enjeksiyonla dökülmüş parçalar için polipropilen ve ABS kullanılır . PVC ise artan bir şekilde dolgu damlacık tutucu ve pancur malzemesi olarak kullanılıyor . Büyük borulama sistemlerinde plastik takviyeli harç kullanılır.

## **Beton , Taş Tuğla ve Kiremit**

Beton genellikle sahada montajı yapılırken soğutma kulelerinin soğuk su havuzları için kullanılır ve yaygın olarak borulamada , kaplamada ve büyük kulelerin yapısal sistemlerinde öncelikle de güçendüstrisinde kullanılır. Özel kremit , tuğla ve taşlar estetik şartlar önemli olduğunda kullanılır.

### **2.7.Seçim Şartları**

Spesifik bir uygulama için uygun bir soğutma ekipmanı seçimi değişik faktörlerin gözönüne alınmasını gerektirir : Soğutma gücü , ekonomi , servis ihtiyacı ve çevresel şartlar . Bu faktörlerin çoğu birbiri ile ilişkilidir , fakat herbiri ayrı olarak değerlendirilmelidir.

Çok sayıda farklı su soğutma cihazı soğutma gücü ihtiyacını karşılayabildiğinden , nihai cihaz seçimini etkileyen önemli şartlar yükseklik , uzunluk , genişlik , tasarım alanı hava debisi, pompa ve fan enerji tüketimi , kule yapım malzemeleri, su kalitesi ve kullanılabilirlik gibi ayrıntılar olmaktadır.

Optimum seçim genel olarak ekonomik bir değerlendirmeden sonra yapılır. Ekonomik değerlendirmenin İki genel metodu ömür süresi fiyatlandırma ve geri ödeme analizidir. Bu prosedürlerden her biri , toplam sahip olma , işletme ve bakım maliyetlerine alternatif cihaz seçimleri arasında karşılaştırma yapma metodunu temin ederler.

Başlangıç maliyet karşılaştırmaları aşağıdaki faktörlere göre yapılabilir.

- 1) Cihaz yapım maliyeti
- 2) Diğer sistemlerle aşağıdaki ayrıntıları içeren ortak maliyetler
  - a ) Havuz temel ızgarası ve işgal edilen hacim değeri
  - b ) Pompalar ve ana taşıyıcıların maliyeti
  - c ) Pompa ve fan motorlarının elektrik tesisatı

d ) Elektrik kontrol ve tertibatı

e ) Kuleye kadar ve kuleden dışarı olan borulama maliyeti ( Bazı tasarımlar diğerlerinden daha fazlagiriş ve çıkış bağlantılarına ihtiyaç gösterirbu da borulama maliyetine etki eder).

f) Alt birikme havuzu , taşma borusu vs. ( Eğer imalatçı tarafından konulmuşsa )

g) Shutoff ve kontrol valfleri ( Eğer imalatçı tarafından konulmuşsa )

h) Kule üzerinde kullanıcılar için yürüme yolları , merdivenler ve benzeri araçlar.

## 2.8.Yerleşim, Borulama ve Kapasite Kontrolü

### Yerleşim

Bir soğutma kulesi serbest hava hareketine maruz açık bir alana yerleştirilebildiğinde, normal olarak bir problem ile karşılaşmaz. Bununla beraber kuleler çoğunlukla bina içlerine veya etrafi çevrilmiş hacimlere yerleştirilirler. Böyle durumlarda aşağıdaki faktörler gözönüne alınmalıdır :

1) Sistem etrafında yeterli ve engellenmemiş bir hacim temin edilmeli ve fanlara yeterli hava tedarik edilmelidir.

2) Kuleden çıkan hava, tekrar sirkülasyon yapacak şekilde yönlendirilmemelidir. (çıkan hava nemli havanın bir kısmı tekrar kuleye girer) Tekrar sirkülasyon giriş yaş termometre sıcaklığını artırır ; sıcak ve soğuk su sıcaklıklarının artmasına neden olur ve soğuk havalardaki operasyon boyunca giriş ağzında buzlanmayı artırabilir. Havanın tekrar sirkülasyonu olasılığı çok kısımlı kule tesisatlarında özellikle dikkate alınmalıdır.

Soğutma kulesinin gerçek yerleşimi genellikle aşağıdakilerden bir veya daha fazlasının bir sonucudur : yapısal destek ihtiyaçları, teçhizat ve donanım sınırlamaları, yerel kanun ve yönetmelikler, soğutma kulesine yedek yardımcı hizmet ve servislerinin getirilmesinin maliyeti ve mimari uyumluluk. Planlama kademesi süresince uygun yer seçiminde ise sis, rüzgar vb. şartlar en iyi şekilde ele alınır.

## **Borulama**

Borular standart ticari uygulamalara uygun olarak boyutlandırılmalıdır. Bütün borular, sistem parçaları arasında bir miktar esneklik temin etmek suretiyle ; genişleme ve büzölmelere müsaade edecek şekilde dizayn edilmelidir. Eğer kulenin birden fazla giriş bağlantısı varsa, her üniteye akışı (debiyi) uygun şekilde dengelemek için dengeleme (balancing) valfleri takılmalıdır. Üniteleri bakım onarım için ayırmak gerekcek ise mutlaka shutoff valfleri kullanılmalıdır.

Bir veya daha fazla kule paralel çalıştıklarında, kule alt birikme havuzları arasında ; ünitelere giren çıkan borulardaki dengesizlikleri ve tıkalı orifis ve süzgeçler gibi engellerden dolayı ortaya çıkan debi değişimlerini idare etmek için eşitleme hattı (borusu) tesis edilir. Soğutma kulesinin durma esnasında taşmasını önlemek ve ilk çalışma anında yeterli pompa çalışmasını temin etmek için ; bütün ısı değiştiricileri ve olabildiğince çok kule borusu soğutma kulesindeki suyun işletme seviyesinin altında tesis edilmelidir. İşletme esnasında su emiş hattına hava girmesini önlemek için ; kule havuzları uygun miktardaki suyu taşıyacak şekilde boyutlandırılır. Kule havuzlarının işletme ve taşma seviyeleri arasında yeterli yedek hacimleri vardır.

## **Kapasite Kontrolü**

Birçok soğutma kulesi sisteminde ortam yaş termometre sıcaklığı ve soğutma yükü, normal çalışma sezonu boyunca önemli değişikliklere uğramaktadır. Bu nedenle öngörölen yoğuşma sıcaklıklarını veya proses şartlarını koruyabilmek için, birtakım kapasite kontrol yöntemlerine ihtiyaç olabilir.

Soğutma kulelerinde kapasite kontrolünün en basit metodu fan cycling (devir) kontrolüdür. Çıkış suyu sıcaklığının hassas kontrolünün önemli olmadığı, çok soğuk iklimlerde, fan çevrimi uygun ve pahalı olmayan bir kapasite kontrol metodudur. Bununla beraber çok yüksek devirde motora zarar vermemek için dikkatli olmak lazım.

İki hızlı fan motorları, fan çevrimi ile birlikte olduğunda ; sadece fan çevrimli duruma göre kapasite kontrol adımlarını iki katına çıkarabilmektedir. Bu olay, fan çevrimli kapasite kontrolün sadece bir adımına sahip olacak tek - fan motorlu ünitelerde kısmen faydalıdır. İki hızlı fan motorları soğutma kulelerinde genellikle birincil kapasite kontrol metodu olarak kullanılırlar ve aynı şekilde azalan yük şartlarında, enerji tüketiminin azalması da avantaj olarak ilave edilebilir.

Santrifüj üfleme fanlarında, modülasyon damperleri soğutma kulesi kapasite kontrolü için geniş bir tarihe sahiptirler. Birçok durumda modülasyon damperleri iki hızlı motorlarla birlikte kullanılıyor. Son dönemlerde geliştirilmekte olan ve fan hızlarında çeşitliliğe izin veren frekans modülasyonlu kontrol cihazları ölçülebilir kapasite kontrolü ve enerji yönetimi imkanı verirler.

Soğutma kulesi içinden geçen hava akımını artırmak için, su enjeksiyonu kullanan soğutma kuleleri kapasite kontrolü için değişik pompalama düzenekleri kullanabilirler. Kapasite kontrolü ve aynı şekilde enerji tüketiminde azalma sağlayan pompalama düzenekleri seri olarak bağlanmış çok sayıda pompaları veya iki kademeli pompaları içermektedir. Kapasite kontrolü için suyu by - pass etme modülasyonu yalnızca soğutma kulesi imalatçısına danışıldıktan sonra kullanılmalıdır.

## **2.9.Kulede Ses Problemi**

Soğutma kuleleri ve diğer evaporatif soğutma cihazları gibi dış ünitelerin seçimi ve yerleştirilmesinde ses önemli bir kriter olmaktadır. Toplumlar artan bir şekilde dış cihazların izin verilen ses seviyelerini sınırlayan yasal düzenlemeler yapmaktadır. Mevcut bir yasa olmasa bile, bir kule tesisi yakınında oturan veya çalışan insanlar, çevrelerinde istenmeyen bir ses olursa buna karşı çıkabileceklerdir. Ses problemini halletmenin maliyeti orjinal kule maliyetini aşabileceğinden, böyle bir problem daha sistem dizaynının ilk kademesinde göz önüne alınmalıdır.

Verilen bir çevrede kabul edilebilir kule sesini belirleyebilmek için, ilk adım ilgili alanda bir ses kriteri tayin etmektedir. Bu mevcut bir yasada belirtilebileceği gibi, oradaki yaşama ve çalışma alanında kabul edilebilecek ses seviyelerinin hesap veya tahminleri de olabilir. İkinci adım kritik alandaki kulenin ürettiği ses seviyesini tespit etmektedir. Burada kuleden kritik alana olan mesafe ve kule tesisinin geometrisinin etkileri gözönüne alınır. Çoğunlukla kule imalatçısı kendi ünitesine ait ses bilgilerini tedarik edebilir. Son olarak tesisin kabul edilebilirliğini tayin etmek için, tespit edilen kule ses seviyesi ile gürültü kriteri karşılaştırılır.

Genel olarak tesisin sebep olabileceği ses probleminin çeşitli çözümleri mevcuttur. Kuleyi mümkün mertebe sese duyarlı bölgelerden uzakta tesis etmek, her zaman için iyi bir uygulama olmuştur. Gece gibi sese duyarlı kritik zaman dilimlerinde ve düşük yük periyotlarında kule ses seviyesini düşürmek için, iki hızlı fan motorları dikkate alınmalıdır. Bununla beraber, düzensiz değişen bir ses, sabit bir ses seviyesine göre dah az kabul edilebilir olduğundan, fan motor çevrimini seviyede tutmak gerekir.

Çok kritik durumlarda, sese duyarlı alan ile kule arasında engelleyici duvarlar olması gibi etkili çözümler bulunabilir. Birçok imalatçıda kule için özel dizayn edilmiş ses düşürücüler temin edilebilir. Bunları kuleye yerleştirmek ise pratiktir.

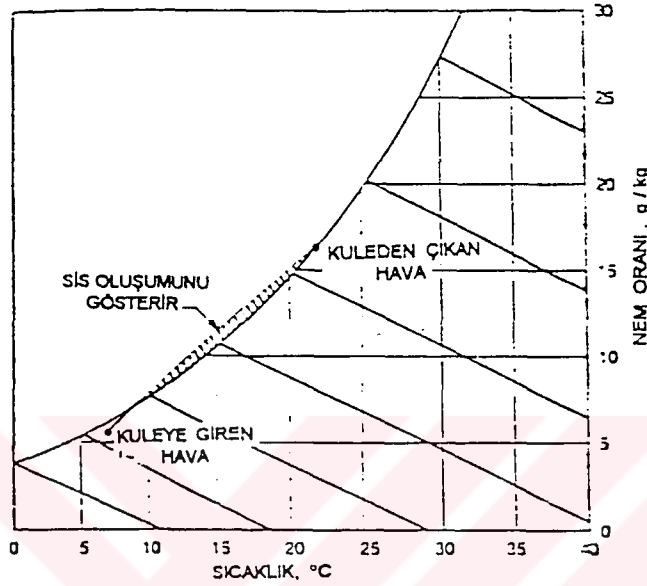
## **2.10.Kulede Sis Oluşumu**

Bir soğutma kulesinden çıkan hava esas olarak doymuş haldedir. Belirli çalışma şartları altında, kuleyi çevreleyen ortam havası, kuleden deşarj edilen hava akımı içindeki nemin tamamını absorbe edemez ve fazlalık kısmı sis olarak ortaya çıkar.

Sislenme olayı psikrometrik diyagram üzerinde havanın kule girişi şartlarını temsil eden noktadan, kule çıkış şartlarını temsil eden noktaya doğru çizilen düz bir çizgi ile önceden tespit edilebilir.(Şekil 2.11).

Doyma eğrisini bu şekilde çapraz kesen bir doğru sis oluşumunu gösterir; doyma eğrisinin solundaki bu kesişme alanı ne kadar büyükse havadaki sis dumanıda o derece yoğun olacaktır.

Sisin kalma süresi veya direnci, sisi dağıtan ortam havası ile olan mekanik ve konvektif karışım derecesine ve orjinal yoğunluk derecesine bağlıdır.



Şekil 2.11 Psikrometrik diyagram üzerinde sis oluşumunun tespiti

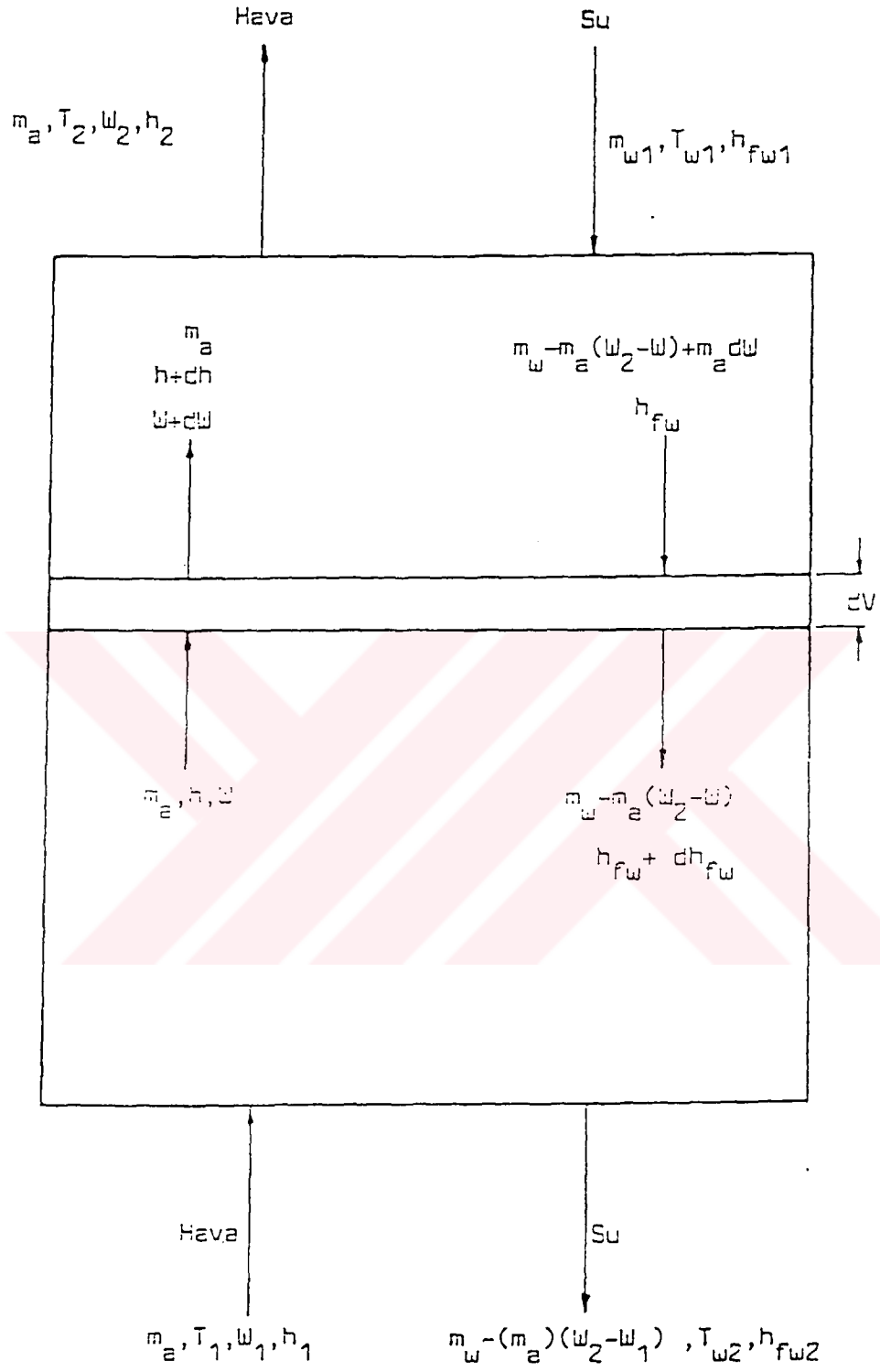
Sis oluşumunu azaltmanın veya önlemenin metodları değişik şekillerde olabilir. Bunlar kule egzost havasını ısıtan doğalgaz brülörleri veya buhar eşanjörleri olabileceği gibi, kule çıkışında püskürtülen kimyasallarda olabilir. Bununla birlikte bu çözümler genellikle maliyeti artırmakta ve her zaman etkili olmamaktadır.

Sahada monte edilen büyük tesislerde, ıslak-kuru soğutma kulesi kombinasyonları sis duman kontrolünde çok daha pratik araçlar ortaya koymaktadır.

Bu kombinasyonda bir kulenin kanatlı borulu normal buharlaştırıcı kısmı ısı değiştiricisinin kuru yüzeyi ile seri veya paralel olarak biraraya getirilir. Böyle ünitelerde buharlaştırıcı kısmını terkeden doymuş çıkış havası, kule çıkışında ikincil bir doymuş hava karışımı üretmek için, kule içinde kanatlı eşanjör kısmından sıcak ve nispeten kuru bir hava ile karıştırılır.

Bununla beraber, çoğunlukla sis oluşumu için en pratik çözüm, kulenin görünür sis dumanlarının ortaya çıkmasına itiraz edilmeyecek bir yere yerleştirilmesidir. Bu sebepten dolayı soğutma kulesi yerleri seçilirken, potansiyel sis oluşumu ve bunun kule civarındaki çok pencereli alanlar veya trafik arterleri gibi alanlar üzerindeki etkileri gözönüne alınmalıdır.





Şekil 3.1 Ters Akışlı Soğutma Kulesinin Termodinamik Analizi İçin Şematik Resim

### **BÖLÜM 3. Ters Akımlı Soğutma Kulesinin Termodinamik Analizi ( 5 )**

Yukardaki şekil (3.1) de kullanılan terimlerin tanımlanmasında yarar vardır. Buna göre;

$M_w$  : Birim zamanda giren soğutulacak su miktarı (kg/h)

$M_a$  : Birim zamanda geçen hava miktarı (kg kuru hava/h)

$W_1$  : Giriş havası özgül nemi (kg buhar/kg kuru hava)

$W$  : dV kontrol hacmine giren havanın özgül nemi (kg buhar/kg kuru hava)

$W_2$  : Çıkış havası özgül nemi (kg buhar/kg kuru hava)

$t_1$  : Giriş havası kuru termometre sıcaklığı (°K)

$t_2$  : Çıkış havası kuru termometre sıcaklığı (°K)

$t_{w1}$  : Giriş su sıcaklığı (°K)

$t_{w2}$  : Çıkıştaki su sıcaklığı (°K)

$h_{fw1}$  : Giren suyun özgül entalpisi (kJ/kg su)

$h_{fw2}$  : Çıkan suyun özgül entalpisi (kJ/kg su)

$h_1$  : Giren havanın özgül entalpisi (kJ/kg kuru hava)

$h_2$  : Çıkan havanın özgül entalpisi (kJ/kg kuru hava)

$M_w - M_a(W_1 - W_2)$  : Çıkan su miktarı (kg/h)

$M_w - M_a(W_2 - W) + M_a dV$  : Kontrol hacmine giren su miktarı (kg/h)

$M_w - M_a(W_2 - W)$  : Kontrol hacmini terkeden su miktarı (kg/h)

$h_{fw}$  : Kontrol hacmine giren suyun entalpisi (kJ/kg su)

$h_{fw} + dh$  : Kontrol hacmini terkeden suyun entalpisi (kJ/kg su)

$h$  : Kontrol hacmine giren havanın özgül entalpisi (kJ/kg kuru hava)

$h + dh$  : Kontrol hacminden çıkan havanın özgül entalpisi (kJ/kg kuru hava)

### 3.1. Suyun Enerji Denkleminin Çıkarılışı

dV hacmine giren ve çıkan su debilerini o kısımlardaki enerjilerle çarpıp farklarını almak suretiyle enerji değişimini elde ederiz.

$$q_{su} = (M_w - M_a (W_2 - W) + M_a dW) h_{fw} - (M_w - M_a (W_2 - W)) (h_{fw} + dh_{fw}) \quad (3.1.1)$$

$$q_{su} = M_w h_{fw} - M_a (W_2 - W) h_{fw} + M_a dW h_{fw} - M_w h_{fw} + M_a (W_2 - W) h_{fw} - \quad (3.1.2)$$

$$M_w dh_{fw} + M_a (W_2 - W) dh_{fw}$$

$$q_{su} = M_a dW h_{fw} - M_w dh_{fw} \quad (3.1.3)$$

### 3.2. Havanın Enerji Denkleminin Çıkarılışı

Yine dV hacmine giren ve çıkan hava debilerini o kesitteki enerjilerle çarpıp farklarını almak suretiyle enerji değişimi elde edilir .

$$q_{hava} = M_a (h + dh) - M_a h \quad (3.2.1)$$

$$q_{hava} = M_a h + M_a dh - M_a h \quad (3.2.2)$$

$$q_{hava} = M_a dh \quad (3.2.3)$$

### 3.3. Hava Su Enerji Değişimi Denklemi

$$q_{su} = q_{hava} ; \quad (3.3.1)$$

$$mdh = M_a (W_{sw} - W) h_{fw} - M_w dh_{fw} \quad (3.3.2)$$

$$\frac{M_a dh}{1} = \frac{M_a dW h_{fw}}{2} - \frac{M_w dh_{fw}}{2} \quad (3.3.3)$$

1 no' lu terimin açılımı :

$$M_a dW = h_D . A_v . dV ( W_{sw} - W ) \quad (3.3.4)$$

$$M_a dW h_{fw} = h_D . A_v . dV ( W_{sw} - W ) h_{fw} \quad (3.3.5)$$

$$dW = ( W_{sw} - W ) \text{ kabul edilir .} \quad (3.3.6)$$

$$M_a = h_D . A_v . dV \text{ yazılabilir .} \quad (3.3.7)$$

2 no ' lu terimin açılımı :

$$- M_w dh_{fw} = h_D . A_v . dV ( t_w - t ) + h_D . A_v . dV ( W_{sw} - W ) h_{fgw} \quad (3.3.8)$$

Bu ifadeler ana denklemde yerine yazılırsa ;

$$M_a dh = h_D . A_v . dV ( W_{sw} - W ) h_{fw} + h_D . A_v . dV ( W_{sw} - W ) h_{fgw} + h_D . A_v . dV ( t_w - t ) \quad (3.3.9)$$

$$M_a dh = h_D . A_v . dV ( W_{sw} - W ) h_{fgw} + h_D . A_v . Le . C_{p_a} ( t_w - t ) \quad (3.3.10)$$

$$Le = \frac{h_c}{h_d \cdot C_p} \text{ dir.}$$

$$M_a dh = h_D \cdot Av \cdot dV [(W_{sw} - W) h_{gw} + Le C_{p_a} (t_w - t)] \quad (3.3.12)$$

$$dh = (W_{sw} - W) h_{gw} + Le \cdot C_{p_a} (t_w - t) \quad (3.3.13)$$

$$h_{sw} - h = C_{p_a} (t_w - t) + r t (W_{sw} - W) \quad (3.3.14)$$

$$dh = Le ((h_{sw} - h) - r t (W_{sw} - W)) + (W_{sw} - W) h_{gw} \quad (3.3.15)$$

$$\frac{dh}{dw} = Le \left[ \frac{(h_{sw} - h)}{(W_{sw} - W)} \right] + h_{gw} - r t Le \quad (3.3.16)$$

olarak entalpi nem değeri elde edilir.

### 3.4 Kule Kesitinin Bulunması

$$M_a dW = h_D \cdot Av \cdot dV (W_{sw} - W) \text{ idi} \quad (3.4.1)$$

$$dV = \frac{M_a}{h_D \cdot Av} \frac{dw}{(W_{sw} - W)} \quad (3.4.2)$$

$$\int dV = \frac{M_a}{h_D \cdot Av} \int \frac{dw}{(W_{sw} - W)} \quad (3.4.3)$$

$$V = \frac{M_a}{h_D \cdot Av} \int \frac{dw}{(W_{sw} - W)} \quad (3.4.4)$$

Bu integral çözümünü için yaklaşık bir uygulama ;

$$y_1 = W_{sw1} - W_2 \quad (3.4.5)$$

$$y_2 = W_{sw2} - W_1 \quad (3.4.6)$$

$$y_m = W_{swm} - W_m \quad (3.4.7)$$

$$W_{swm} = \frac{W_{sw1} - W_{sw2}}{2} \quad W_m = \frac{W_1 + W_2}{2} \quad (3.4.8)$$

$$h_D \cdot Av = \frac{M_a \cdot W_2 - W_1}{V \cdot f \cdot y_m} \quad \text{formülden V çekilerek} \quad (3.4.9)$$

$$h_D \cdot A_v = (M_a/S) (M_w/S)^{0.2} \cdot 0,45 \quad (3.4.10)$$

$$V = \frac{M_a \cdot W_2 - W_1}{h_D \cdot A_v \cdot f \cdot y_m} \quad \text{olarak kule hacmi bulunur.}$$

f değeri de  $y_m/y_1$  ve  $y_m/y_2$  değerleri için Stevens Ek 2 diyagramından elde edilir



## BÖLÜM 4 Soğutma Kulesi Teorisi ( 6 )

Plan alanı  $1 \text{ m}^2$ , soğutma hacmi  $V$ , su temas yüzeyi  $a$ , su akım miktarı  $M_w$ , hava akım miktarı  $M_a$  olan bir soğutma kulesi düşünelim.  $T$  sıcaklığındaki su,  $T_a$  kuru termometresıcaklığında,  $h_a$  entalpisi ve  $W_a$  nem oranına sahip hava ile çevrilidir. ara yüzeyi  $T'$  sıcaklığındaentalpisi  $h'$  ve nem oranı  $W'$  olan doymuş bir hava film tabakası kabul edelim.

Sudan ara yüzeye toplam enerji transferi,

$$dq_w = M_w.c .dT = KM_w(a. dV ) ( T - T' ) \quad (4.1)$$

Ara yüzeyden havaya ısı transferi,

$$dq_s = K_g ( a. dV )( T' - T_a ) \quad (4.2)$$

Su buharının film tabakasından havaya difüzyonu

$$d_m = K' ( a. dV ) ( W' - W_a ) \quad (4.3)$$

Buharlaştırma gizli ısını bir sabit olarak alırsak ( $r$ ), ara yüzeyden havaya gizli ısı transfer miktarı ,

$$r.dm = dq_L = r.K' ( a. dV ) ( W' - W_a ) \quad (4.4)$$

Proses,  $T_a = T$  olduğu zaman dengeye ulaşır ve hava bu sıcaklıkta doymun duruma gelir. Adyabatik şartlar altında dengeye, adyabatik doyma sıcaklığında veya havanın

termodinamik yaş termometre sıcaklığında ulaşır. Bu sıcaklık bir soğutma kulesinde ulaşılabilir endüyük sıcaklıktır .

Merkel , Lewis bağıntısını kullanarak , kütle ve ısı transferlerini birleştiren ve entalpi farkının itici güç olduğu ortak bir bağıntı ortaya koymuştur ;

$$\frac{K_G}{K' C_{p_m}} = 1 \quad (4.5)$$

Toplam enerji transferi denkleminiz ,

$$dq_w = dq_s + dq_L \quad (4.6)$$

$$M_w \cdot c \cdot dT = K_G (a \cdot dV) (T' - T_a) + r K' (a \cdot dV) (W' - W_a) \quad (4.7)$$

(4.5) no lu eşitlikten  $K_G$  ' yi çekip üstteki eşitlikte yerine koyalım ;

$$M_w \cdot c \cdot dT = K' C_{p_m} (a \cdot dV) (T' - T_a) + r K' (a \cdot dV) (W' - W_a) \quad (4.8)$$

$$M_w \cdot c \cdot dT = K' \cdot a \cdot dV (C_{p_m} (T' - T_a) + r (W' - W_a)) \quad (4.9)$$

$$M_w \cdot c \cdot dT = K' \cdot a \cdot dV [ (C_{p_m} T' + r W') - (C_{p_m} T_a + r W_a) ] \quad (4.10)$$

$$M_w \cdot c \cdot dT = K' \cdot a \cdot dV (h' - h_a) = M_a dh_a \quad (4.11)$$

Ara yüzey şartlarının bilinmemesi zorluğunu , film direncini ihmal ederek ortadan kaldırabiliriz.

Böylece ;

$$M_w c dT = M_a dh_a = K a dV (h - h_a) \quad \text{olur veya ;} \quad (4.12)$$

$$\frac{K a V}{M_w} = \int \frac{dT}{h-h_a} \quad (4.13)$$

$$\frac{K a V}{M_a} = \int \frac{dh_a}{h-h_a} \quad (4.14)$$

Genel soğutma kulesi pratiğinde , evaporasyon ihmal edilir ve (4.12) no ' lu bağıntıdan ;

$$(M_w/M_a) dT = dh_a \quad (4.15)$$

#### 4.1 Nümerik İntegrasyon : Tchebycheff Metodu ( 7 )

Kule karakteristiği olarak tanımlayabileceğimiz (4.13) veya (4.14) no lu bağıntılardaki integralin nümerik olarak hesabı , Tchebycheff metodu ile yapılabilir .

Buna göre ;

$$\frac{K a V}{M_w} = \int \frac{dT}{h - h_a} = \frac{T_1 - T_2}{4} \frac{1}{h_i} \quad (4.1.1)$$

$$h_1 = T_2 + 0.1 ( T_1 - T_2 ) \text{ sıcaklığındaki } ( h - h_a ) \text{ değeri} \quad (4.1.2)$$

$$h_2 = T_2 + 0.4 ( T_1 - T_2 ) \text{ sıcaklığındaki } ( h - h_a ) \text{ değeri} \quad (4.1.3)$$

$$h_3 = T_1 - 0.4 ( T_1 - T_2 ) \text{ sıcaklığındaki } ( h - h_a ) \text{ değeri} \quad (4.1.4)$$

$$h_4 = T_1 - 0.1 ( T_1 - T_2 ) \text{ sıcaklığındaki } ( h - h_a ) \text{ değeridir.} \quad (4.1.5)$$

ve yine ,

$$h_{a1} = h_1 + 0.1 ( M_w/M_a )( T_1 - T_2 ) \quad (4.1.6)$$

$$h_{a2} = h_1 + 0.4 ( M_w/M_a ) ( T_1 - T_2 ) \quad (4.1.7)$$

$$h_{a3} = h_2 - 0.4 ( M_w/M_a ) ( T_1 - T_2 ) \quad (4.1.8)$$

$$h_{a4} = h_2 - 0.1 ( M_w/M_a ) ( T_1 - T_2 ) \text{ 'dir.} \quad (4.1.9)$$

$$h_2 = h_1 + ( M_w/M_a ) ( T_1 - T_2 ) \quad (4.1.10)$$

Tchebycheff metodu ile elde edilen  $KaV / M_w$  değerleri , sabit yaş termometre ve sabit soğutma aralıklarında , değişen  $M_w/M_a$  değerlerine göre grafiğe geçirildiğinde soğutma kulesi performans eğrileri elde edilmiş olur .

Ticari soğutma kulelerinde hava akım miktarları çok ufak bir aralıkta değiştiği için aşağıdaki eşitlik kabul edilebilir , hata sınırları içinde kullanılabilir.

$$\frac{Ka V}{M_w} = c ( M_w / M_a )^n \quad (4.1.11)$$

## 4.2 Örnek Hesap

Kondenser yükü 500000 Kcal/h olan bir sistemde chiller ile birlikte çalışacak olan soğutma kulesinin şartları aşağıdaki gibidir :

Havanın Şartları ;

$$K.T. = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Y.T. = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Suyun Şartları ;

$$T_g = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\phi} = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Soğutma Aralığı} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Yaklaşım} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Soğutma kulesine giren nemli havanın kuru termometre sıcaklığı çıkan havanın kuru termometre sıcaklığına eşit olup havanın hızı  $v = 1.5 \text{ m/s}$  ve  $m_a = m_w$  dir.

Buna göre ;

- Kulede buharlaşan su miktarını bulun,
- Kulenin yüksekliğini belirleyiniz
- $T_{yaş} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ve soğutma aralığı  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  için performans eğrisini çizip gerçek verimi bulunuz.

$$Q_{kond} = 500\ 000 \text{ kcal/h}$$

Kondenser ısı dengesi ;

$$Q_{\text{kond su}} = Q_{\text{kond hava}}$$

$$Q_{\text{kond su}} = m_w \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

$$500000 = m_w \cdot 1 \cdot (37 - 27)$$

$$m_w = 50000 \text{ kg/h}$$

$$m_a = m_w$$

$$m_a = 50000 \text{ (kg/h)}$$

$$Q_{\text{kond hava}} = m_a \cdot (h_2 - h_1)$$

$$500000 = 50000 \cdot (h_2 - 15.3)$$

$$h_2 = 25.3 \text{ kcal/h dir.}$$

$T_{a2} = 35^\circ \text{C}$  ise  $W_2 = 21.1 \text{ gr/kg}$  olduğu psikrometrik diyagramdan belirlenir.

Ayrıca , T.Y. =  $22^\circ \text{C}$  ve  $T_{a1} = 35^\circ \text{C}$  şartları için

$$W_1 = 11.2 \text{ gr/kg dir.}$$

$$m_{\text{buh}} = m_a \cdot (W_2 - W_1)$$

$$m_{\text{buh}} = 50000 \cdot (21.1 - 11.2) \cdot 10^{-3}$$

$$m_{\text{buh}} = 495 \text{ kg/h}$$

$$b) \quad V = \frac{M_a}{h_D A v} \frac{W_2 - W_1}{f y_m}$$

$$h_D A v = m_a / S (m_w / S)^{0.2} \cdot 0.45$$

$$m_a = 50000 \text{ kg/h}$$

$$m_a = 50000 \text{ kg/h} \cdot 0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{Havanın yoğunluğu} = 1.2 \text{ kg/m}^3 = 1/1.2 = 0.9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m_a = 45000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m_a = 45000.1/3600 = 12.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_D A v = m_a / S (m_a / 1,2 \cdot S)^{0.2} \cdot 0,45$$

$$h_D A v = (m_a / S)^{1.2} \cdot 0,47$$

$$T_{w1} = 37 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{ise} \quad W_{sw1} = 39.3 \text{ g/kg}$$

$$T_{w2} = 27 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{ise} \quad W_{sw2} = 22.8 \text{ g/kg}$$

$$y_1 = W_{sw1} - W_2$$

$$y_1 = 39.3 - 21.1$$

$$y_1 = 18.2 \text{ g/kg}$$

$$y_2 = W_{sw2} - W_1$$

$$y_2 = 22.8 - 11.2$$

$$y_2 = 11.6 \text{ g/kg}$$

$$W_{sm} = \frac{W_{sw1} + W_{sw2}}{2}$$

$$W_{sm} = \frac{24.8 + 11.2}{2}$$

$$W_{sm} = 31.05 \text{ g/kg}$$

$$W_m = \frac{W_1 + W_2}{2}$$

$$W_m = \frac{21,1 + 11,2}{2}$$

$$W_m = 16.15 \text{ g/kg}$$

$$y_m = W_{sw} - W_m$$

$$y_m = 31,05 - 16,15$$

$$y_m = 14.9 \text{ g/kg}$$

$$y_m/y_1 = 14.9/14.5$$

$$\frac{y_m}{y_1} = 1.027$$

$$\frac{y_m}{y_2} = \frac{14.9}{11.6}$$

$$\frac{y_m}{y_2} = 1.285$$

Stevens diyagramından  $f = 0.95$  olduğu belirlenir.

$$V = \frac{m_a (W_2 - W_1)}{h_D A v f y_m}$$

$$V = \frac{m_a (21,1 - 11,2)}{h_D A v (0,95 \cdot 14,9)}$$

$$V = \frac{m_a \cdot 0.67}{h_D A v}$$

$$V = 0,67 \cdot m_a \cdot 2,13 (S/m_a)^{1,2}$$

$$V = 1,43 \cdot S^{1,2} (1/m_a)^{0,2}$$

$$\text{Hacim } V = S \cdot z$$

$$S \cdot z = 1,43 \cdot S^{1,2} \cdot (1/m_a)^{0,2}$$

$$z = 1,43 (S/m_a)^{0,2}$$

$$\text{Hız } v = 1.5 \text{ m/s idi}$$

$$z = 1,43(8,33/12,5)^{0,2}$$

$$z = 1.3 \text{ m.}$$

c) Yaş termometre sıcaklığı 22 °C ve soğutma aralığı 10 °C için hazırlanmış grafiğimizden değişen  $M_w/M_a$  oranları için  $KaV/M_w$  değerlerini , yaklaşım = 5 ° C eğrisi üzerinden tespit edelim.

$M_w/M_a$	$KaV/M_w$
1.00	0.2650
1.10	0.2670
1.20	0.2700
1.30	0.2730
1.40	0.2760

Elimizde başka spesifik veri bulunmadığını kabul edersek 4.1 11 eşitliğinden ;

$$KaV/M_w = c (M_w/M_a)^n \quad (n = -0.6)$$

$$\ln KaV/M_w = \ln c - 0.6 \ln (M_w/M_a)$$

$$\ln(0.2650) = \ln c - 0.6 \ln (1.0)$$

$$c = 0.2650$$

$M_w/M_a$	$\ln M_w/M_a$	$0.6 \ln M_w/M_a$	$\ln KaV/M_w$	$KaV/M_w$
1.00	0	0	-1.3280	0.2650
1.10	0.0414	0.0248	-1.3528	0.2585
1.20	0.0792	0.0475	-1.3755	0.2575
1.30	0.1139	0.0684	-1.3964	0.2475
1.40	0.1461	0.0877	-1.4157	0.2427

İimdi kuleyi test ettiğimizi ve gerekli ölçümleri yaparak aşağıdaki verileri elde ettiğimizi düşünelim ;

Yaş termometre sıcaklığı : 22 °C

Sıcak su sıcaklığı : 40 ° C

Soğuk su sıcaklığı : 28 ° C

Soğutma aralığı : 12 ° C

Yaklaşım : 6 ° C

Test  $M_w/M_a$  oranını aşağıdaki eşitlikle hesaplayabiliriz :

$$(M_w/M_a)_{test} = (M_w/M_a)_{dizayn} \cdot M_{w\ test}/M_{wdizayn} \cdot (HP_{dizayn}/HP_{test})^{1/3}$$

$$M_{wdizayn} = 10\ 000\ \text{kg/h}\ (\text{kabul})$$

$$M_{wtest} = 9\ 000\ \text{kg/h}\ (\text{kabul})$$

$$HP_{dizayn} = 0.34\ (\text{kabul})$$

$$HP_{test} = 0.30\ (\text{kabul})$$

$$(M_w/M_a)_{test} = \frac{1.9000 \cdot (0,34.0,30)^{1/3}}{10000}$$

$(M_w/M_a)_{test} = 0.94$  olarak bulunur.

Tekrar tchebycheff nümerik integrasyon metoduyla  $Ka/M_w$  değerini hesaplayalım.

(Tablodan)  $\sum 1/\Delta h = 0.0831$

$$KaV/M_w = \frac{T_1 - T_2}{4} \cdot \frac{1}{h} = \frac{12 \cdot (0.0831)}{4}$$

$KaV/M_w = 0.2494$  değeri elde edilir.

T	$h_w$	$h_a$	h	1/h
28	90.50	65		
29.2	96.42	66.13	30.29	0.0330
32.8	116.42	69.51	46.91	0.0213
35.2	131.56	71.76	59.80	0.0167
38.8	157.92	75.15	82.77	0.0121
40	167.70	76.28		

$\sum 1/\Delta h = 0.0831$

Kule karakteristiği olarak tanımladığımız  $KaV/M_w$  değerlerinin Tchebycheff göre hesaplanması oldukça uzun işlemler gerektirdiğinden , bu hesap metodu yerine bir bilgisayar programı şekline sokulmasının , performans eğrilerinin çiziminde büyük kolaylıklar sağlayacağı açıktır.Ek 3 performans eğrisi çiziminde kullanılan bilgisayar programını şematik olarak gösterilmiştir .

Tchebycheff metoduna göre hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak elde edilen veriler grafiğe geçirilmiştir.Grafikte yatay eksen  $M_w/M_a$  oranını , düşey eksen  $KaV/M_w$  değerlerini göstermekte olup elde edilen bir eğri boyunca yaklaşım sabit kalmıştır.

Şimdi ilgili grafiğimizde bu noktayı işaretleyelim ve bu noktadan kule karakteristik eğrisine paralel olacak şekilde bir hat çizelim. Bu hattın yaklaşım =  $5^\circ C$  eğrisini kestiği noktadan aşağı inerek  $M_w/M_a$  değerini okuyalım :

(  $M_w/M_a$  ) gerçek = 0.82

Artık kulenin % kaç verimle çalıştığını hesaplayabiliriz.

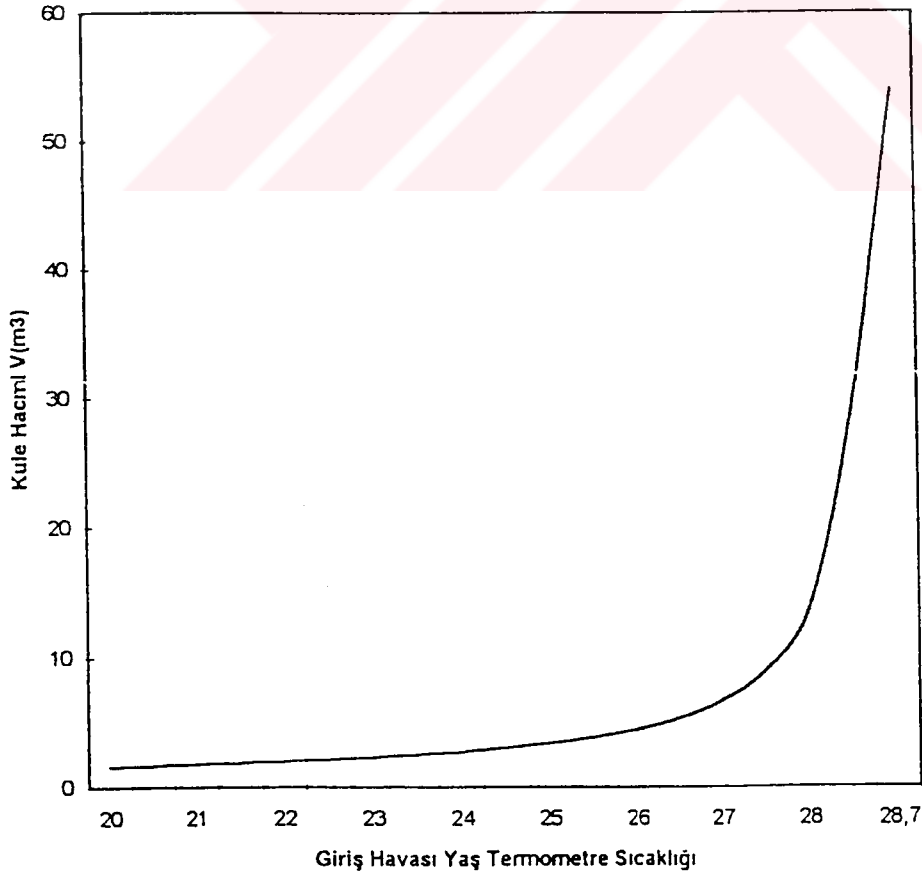
$$\text{Kule Verimi} = \frac{(M_w/M_a)_{\text{gerçek}}}{(M_w/M_a)_{\text{dizayn}}} \cdot 100$$

$$\text{Kule Verimi} = 0.82 / 1.00 \cdot 100$$

**Kule Verimi = % 82**

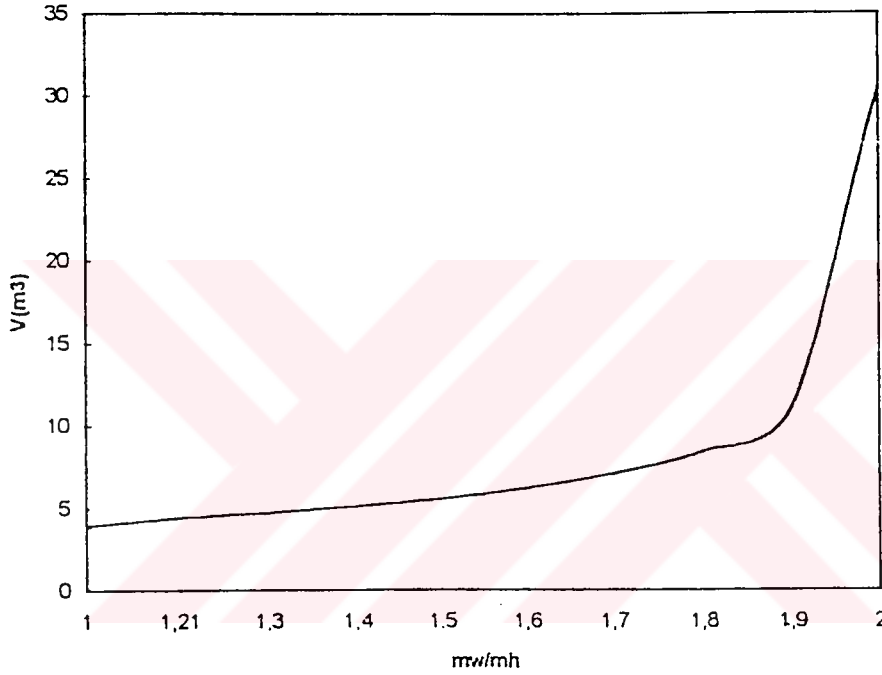
### 3ölüm 5. Kule Hacmini Etkileyen Faktörler

Kule hacmini etkileyen en önemli faktörlerden birisi giriş havasının yaş termometre sıcaklığıdır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.1) görüldüğü gibi giriş havası yaş termometrele lineer olmayan bir bağıntı ile değişmektedir. Ancak belli bir sıcaklık aralığında değişimin lineere yakın bir artışla gerçekleştiği görülür. Yani, kule hacmi bu aralıkta yaş termometre sıcaklığının artmasıyla lineere yakın bir şekilde artmaktadır. Fakat bir noktaya geldiğimizde bu artış aniden hızlanmakta ve sonsuza gitmektedir. Öncelikle kule hacminin artmasının sebebini açıklayalım. Yaş termometre sıcaklığının artması demek, yaklaşım sıcaklığının azalması veya küçülmesi demektir. Bir başka deyişle kuleye giren havanın yaş termometre sıcaklığı ile kuleden çıkan suyun sıcaklığı arasındaki fark azalmaktadır. Kule hacmi sabit tutulduğu takdirde, yaklaşım sıcaklığının azalması hava ve soğutulacak su arasındaki ısı geçişinin azalmasına, yani kule soğutma kapasitesinin düşmesine sebep olur. Aşağıdaki şekil de ise kulenin soğutma kapasitesi yani toplam ısı geçiş miktarı sabit tutulmak istenmiştir. Bu ise bütün diğer veriler sabit tutulduğundan, ancak ısı transfer alanının artırılması ile mümkündür.



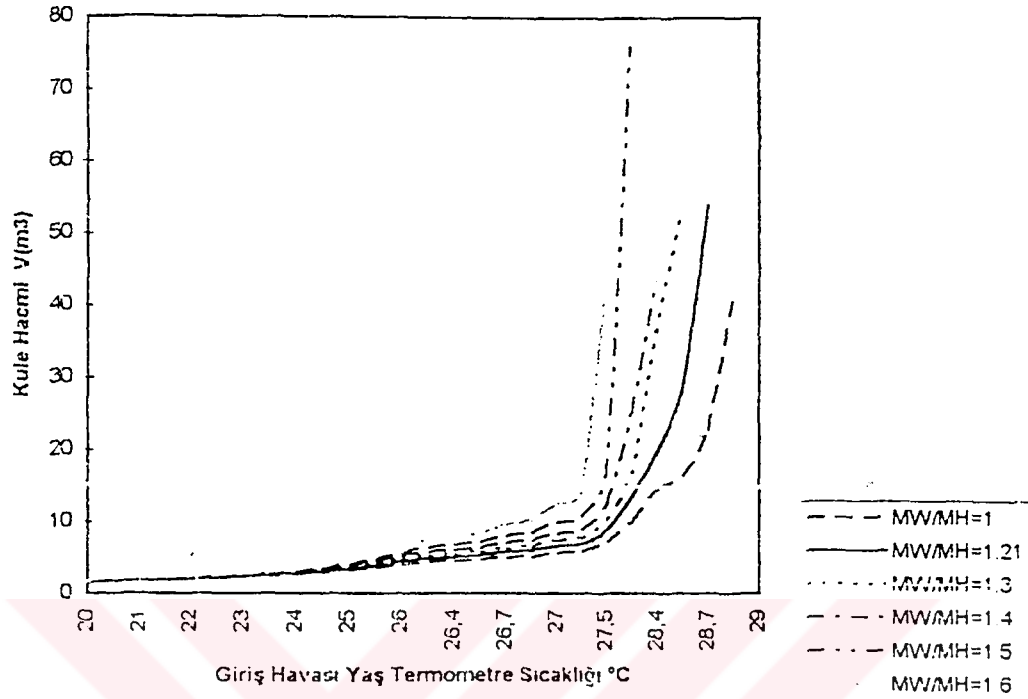
Şekil 5.1 Kule Hacmi - Yaş Termometre Sıcaklığı Değişimi

Kule hacminin artışı 26 °C den sonra hızlanmakta ve 29 °C ye yaklaşırken ,sonsuz. doğru artmaktadır.Kule hacmini etkileyen diğer bir faktörde su debisi/hava debisi oranıdır.  $M_w/M_a$  oranı 1.0 - 2.0 arasında değişmekte olup ; bu değişim sırasında  $M_w/M_a$  oranı 2.0dedeğerine yaklaşıldıkça kule hacmide artmaktadır.(Şekil 5.2)



Şekil 5.2 Kule Hacmi İle  $M_w/M_a$  Oranının Değişimi

Şekil (5.3) ise kule hacminin farklı  $M_w/M_a$  oranları için giriş havası yaş termometre sıcaklığı ile olan değişimi verilmektedir. Görüldüğü gibi her bir eğri Şekil (5.2)deki eğriye benzer bir yörünge çizmekte ve belli noktalarda hızlı bir artış gerçekleştirmektedir. Burada yapabileceğimiz diğer yorumda kule için verilen diğer değerler sabit iken  $M_w/M_a$  oranının artması kule hacminin artmasına sebep olmakta , çünkü daha fazla su soğutulur.



Şekil 5.3 Farklı Mw/Ma Oranları İle Kule Hacminin Değişimi

Yapılan işlem ile 725 gaMw/Ma daha az su kullanılır.Kimyasal maddeler için yapılanharcamakazanılan su miktarı ile karşılaştırıldığında önemsiz olduğu görülür.

Suyun iyileştirilmesi soğutma kulelerini , buharlaşmalı kondenserleri , hava soğutmalı kondenserleri ve pompa sistemlerini ; kireç , korozyon ve biyolojik kirlenmeden korur .

### Kireçlenme

Kireç ısı transferini etkiler ve çalışma masraflarını artırır.En etkili kireç önleyiciler ; Phosponates (AMP , HED , PMC ) , Polymers ve Surfactants.

### Korozyon:

Sistem ile su ile su arasında meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu metal yada alaşımların azalmasıdır. Korozyon ısı transferini ve akımı engeller.Korozyonu engelleyici maddeler metal üzerinde çok ince bir tabaka oluşturur ve korosiv maddelerin geçişini engeller .En yaygın korozyon engelleyiciler şunlardır :Chromates, Orthophosphates,Molybdates , Silikats.

### Biyolojik Kirlenme

Biyolojik kirlenmeye sudaki bakteri , mantar ve diğer organizmalar sebep olur .

Kireçlenme ve korozyon gibi biyolojik kirlenme de ısı transferini ve pompalamayı engeller nozulları ve kontrol valflerini tıkar.

Soğutma kulesinin ilk günden itibaren temiz tutulması soğutma kulesinde oluşan ; legionella hastalığından sonra dahada önem kazanmıştır.

Biyolojik iyileştirme için kullanılan kimyasal maddelere biosayd denir.Bunlar mikropları ve biostatları öldürür, gelişmesini engeller.Bunlar ikiye ayrılır : Oxidizing ,

Nonoxidizing.Oxidizing biosayd lar inorganik maddelerdir ; Chlorin gazı , bromin ve ozon. Diğer grup ise genellikle organik maddelerdir ; Ammonium , DBNPA.

Kimyasal maddelerin yanında suyun temiz tutulması için filtrelerde kullanılır.Su deposuna yad su avna akım hatlarına konulan filtreler kir , toz , duman , organik partikülleri tutar

ve suyu temiz tutar .Bunlar enrji tüketimini , bakım harcamalarını , suyun iyileştirilmesi için kullanılan kimyasal madde harcamalarını azaltır. Ekipmanların ömrünü arttırır.



## SONUÇ

Yaptığımız araştırma ve incelemelerde İşletme maliyeti açısından karşılaştırılan Karşıt ve Çapraz akışlı soğutma kulelerinden karşıt akışlı kulelerin daha az elektrik maliyetine yol açtığı görülmüştür. Karşıt akışlı kulede hava yukarı doğru ilerler ve aşağı düşen su ile karşılaşır. Kuleye konulan dolgu malzemesiyle temas yüzeyi artırılarak en iyi termal verim elde edilir. Termal verimin iyi olması karşıt akışlı kulelerin diğer tip kulelere göre daha küçük olmasına (daha az dolgu malzemesi kullanılır) bu da hem kuruluş maliyetinin az olmasını hemde pompa ve fan gibi araçların daha ucuz ve işletme maliyetinin daha az olmasını sağlamıştır.

Doğal akımlı kule ile mekanik (fanlı) soğutma kuleleri karşılaştırılmış, iç hava dış hava yoğunluk farkı ile hava akımını sağlayan doğal öakımlı kulelerin bu akımın oluşumu için çok yüksek yapıldığı ve ilk maliyetin diğerlerine göre çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Fakat fan ve pompa maliyet, çalışma masrafları gözönünde bulundurulduğunda soğutulacak su miktarının çok fazla olduğu elektrik santrali vb. güç sistemleri için en uygun seçimin doğal akımlı hiperbolik kuleler olduğu ortaya çıkmıştır.

Mekanik akımlı soğutma kuleleri, ıslak- kuru ve kuru soğutma kuleleri ile karşılaştırılmış, mekanik akımlı kulelerin kuruluş ve işletme maliyetinin daha ucuz olduğu belirlenmiştir. Buharlaşmaya dayalı soğutmanın az yada hiç olmaması nedeniyle yeterli termal verimin elde edilemediği ıslak-kuru, kuru soğutma kulelerinin sadece sis oluşumu ve su kaynakları azlığı gibi sorunlarla karşılaşıldığında kullanılması gerektiği anlaşılmıştır.

Soğutma kulesi teorisi ve Tchebycheff metodu kullanılarak bilgisayar yardımı ile soğutma kulesi performans eğrileri elde edilmiştir.

Karşıt akışlı kule için yaptığımız termodinamik analiz ve çizdiğimiz Kule Hacmi- Giriş Yaş Termometre Sıcaklığı, Kule Hacmi-  $M_w/M_a$  (Hava miktarının su miktarına oranı) grafikleri kule hacmini etkileyen faktörlerin, giriş havası yaş termometre sıcaklığı ve  $M_w/M_a$  olduğunu göstermiştir. Buna göre yaş termometre sıcaklığı yükseldikçe ve  $M_w/M_a$  oranı büyüdükçe alınan ısı miktarı azalmakta bu nedenle soğutma kapasitesini karşılamak için kule ebatlarını büyültmek gerekmektedir.

## BÖLÜM 6 Su Tüketimini Azaltmak İçin Yapılabilecek İşlemler

Sistem suyunun mümkün olduğunca fazla kullanılması modern soğutma kulesinin amacıdır. 5-10 çevrim sonunda sistem %5 oranında buharlaşma ve blöf ile su kaybetmektedir. Bir yağ rafinerisinin 50 000-100 000 gal/mın. su kullandığı göz önünde bulundurulursa kaybedilen suyun önemi ortaya çıkar. Buharlaşma sırasında sadece su buharlaşır ve gerisinde mineraller ve diğer çözülmemiş katıları bırakır. Bunun yanında sisteme verilen yeni su yabancı madde oranını ilk andakinin üç katı fazlasına çıkarır. Çözünmeyen katıların oranı artarsa belirli bir süre sonra su doyma noktasına gelir ve yüzeyde toplanır ;ısı transferini engeller , su tüketimini arttırır. Suyun kullanılma sayısı sudaki toplam çözülmemiş katı madde konsantrasyonunun eklenen suyun TDS oranıyla bölünür. Örneğin yerli su 300 ppm CaCO<sub>3</sub> ' a ulaştığında doymuş olur.

Eğer sisteme eklenen suyun konsantrasyonu 100 ppm CaCO<sub>3</sub> ise suyun kullanma çevrim sayısı  $300/100 = 3$  kez ' dir.

Bir örnek verilirse eğer toplam sirkülasyonun 300gpm olduğu sistemde buharlaşma 3 gpm (2900 gaMw/Maün ) , blöf 1.5 gpm (1450 gaMw/Maün) ve eklenen su 4.5 gpm (4350 gaMw/Ma)'dür.

Eklenen suyun miktarı bazı uygulamalarda azaltılabilir. Doyma noktasının 300 ppm 'den 500'ppm CaCO<sub>3</sub> e artırılması suyun  $500/100 = 5$  kez sirküle edilmesini sağlar.

Aşağıdaki tablo suyun iyileştirilmesi işlemlerinin su kaybını nasıl azalttığını göstermektedir.

	1. Hal	2.Hal
Sirkülasyon Sayısı	3	5
Buharlaşma(gpm)	3	3
Blöf(gpm)	1.5	0.75
Eklenen Su(gpm)	4.5	3.75

## KAYNAKLAR

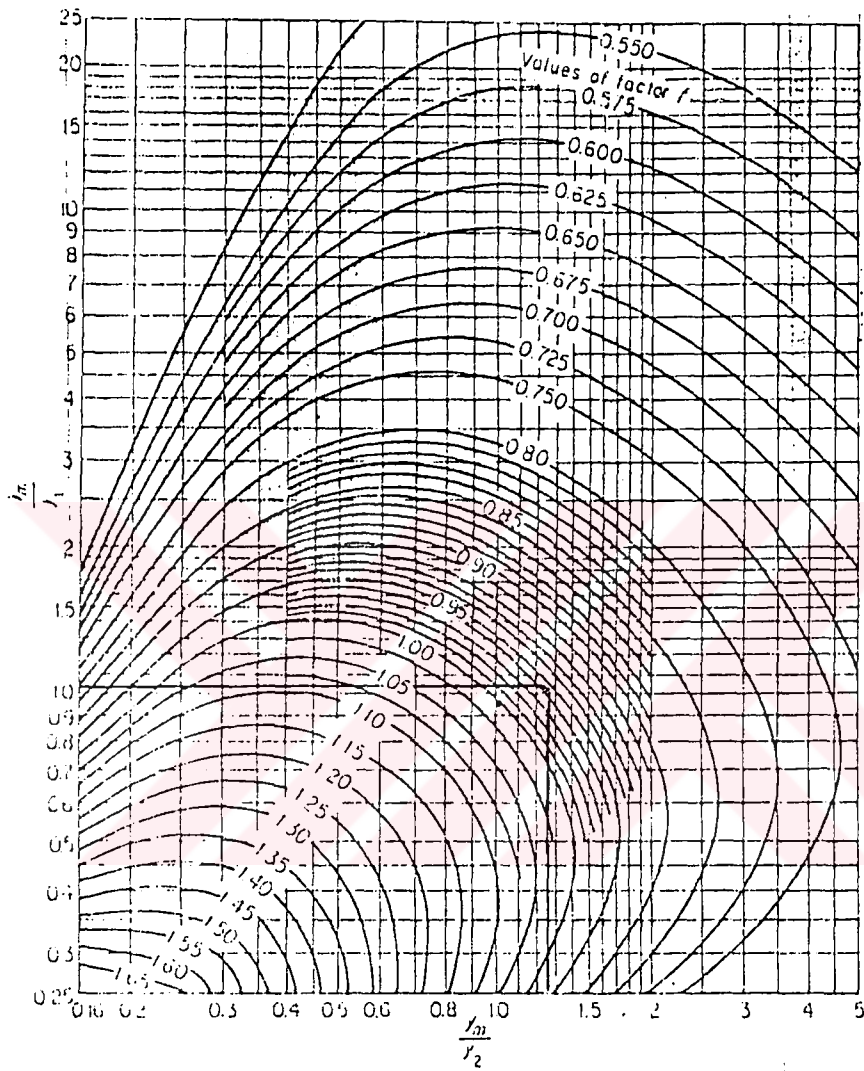
- ( 1 ) SUTHERLAND , J. W. Analysis of Mechanical - Draugh Counterflow Cooling Tower , Journal of Heat Transfer , Trans of ASME Cilt 105, s. 576-583(1983)
- ( 2 ) Cooling Towers Performance : Theory and Experiments ASHRAE Transactions Research , Cilt 100 Bölüm 2 ( 1996 )
- ( 3 ) ASHRAE Handbook of Systems and Equipments Chapter 37 (1992)
- ( 4 ) Cooling Towers , Robert Burger (1993)
- ( 5 ) OSTERLE , F . , On The Analysis of Counterflow Cooling Towers I. Journal of Heat and Mass Transfer Cilt 34 , (1991)
- ( 6 ) American Society of Heating , Refrigerating and Air Condition Engineers, Guide and Data Handbook , Chapter 46 (1965)
- ( 7 ) Cooling Towers Institute , Cooling Tower Manual , Chp. 2 Basic Concept of Cooling Tower Operations (1977)
- ( 8 ) Shan , K , Wang , Handbook of Air Conditioning and Refrigeration Mc Graw - Hill , New York , (1994)
- ( 9 ) Maurice D. Galey , JR. , Cooling Tower Water Treatment Alternatives , Heating/ Piping/ Air Conditioning , July (1990)

## EK 1

Aşağıdaki tablo fazla pompa kafasının getirdiği artı masrafı dolar üzerinden göstermektedir.

Motor Tipi	Tam Yükl. 1800RPM	Yılda 8760 Saat Çalışma ile Saatteki Maliyeti (\$)					
HP		.03	.04	.05	.06	.07	.08
10	10.14	2665	3553	4441	5330	6218	7106
15	15.67	4118	5491	6863	8236	9609	10982
20	20.06	5271	7029	8786	10544	12301	14058
25	24.93	6551	8735	10919	13103	15287	17484
30	28.58	7551	10014	12518	15022	17525	20258
40	38.32	10070	13427	16784	20141	23789	26589
50	47.10	12378	16504	20630	24756	28882	33258
60	57.21	15035	20046	25058	30070	35081	40236
75	71.10	18685	24913	31142	37370	43599	49254
100	91.11	23944	31925	39906	47887	55869	63258
125	118.4	31134	41512	51890	62268	72686	82356
150	140.5	36492	49256	61570	73884	86254	98523
200	188.6	49577	66103	82629	99154	115680	123658

EK 2

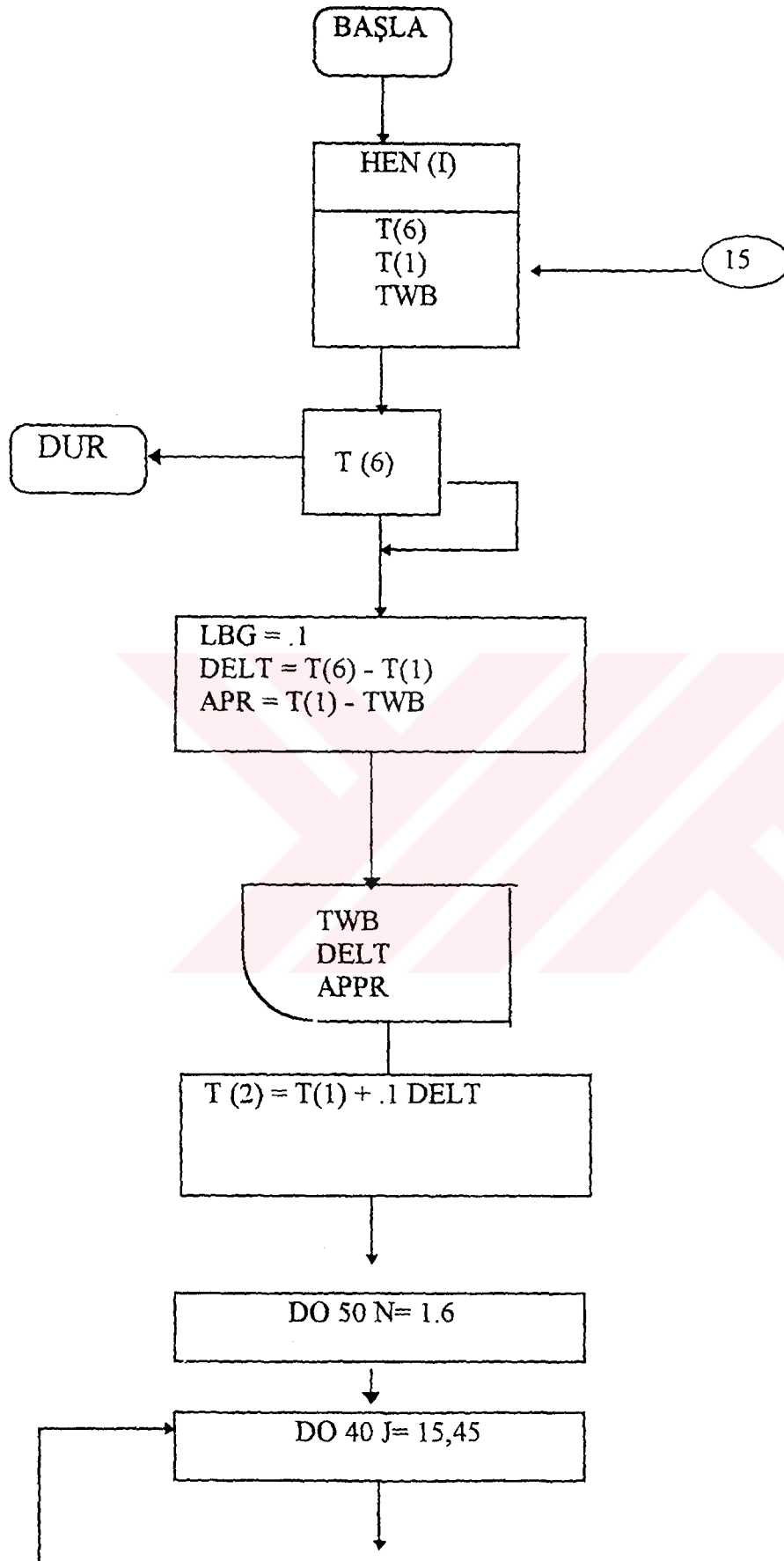


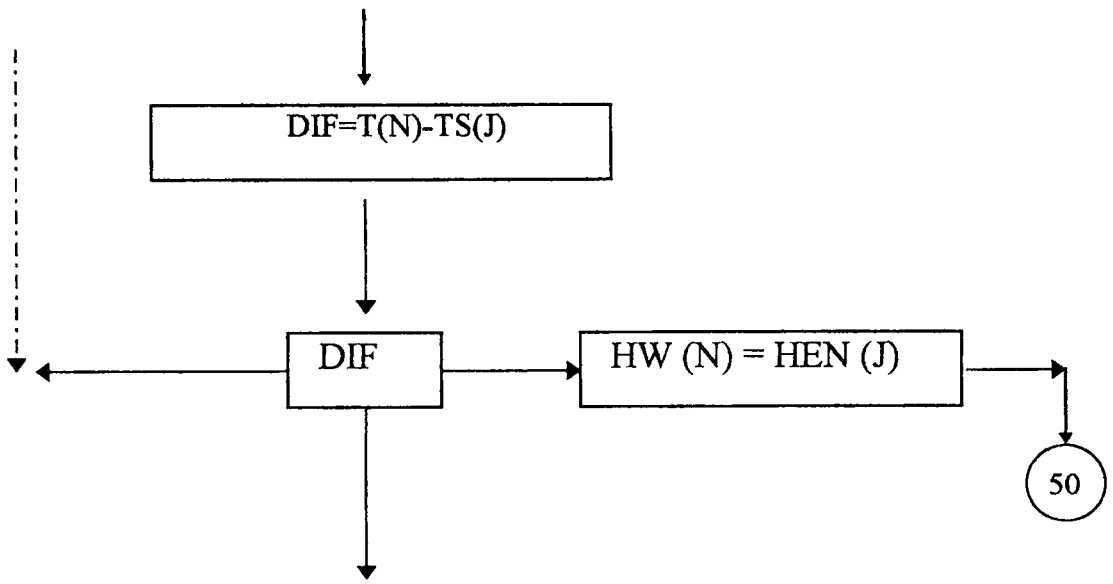
The Stevens diagram.

## PROGRAMDA KULLANILAN DEĞİŞKENLER

- LBG : su / hava oranı ;
- TWB : yaş termometre sıcaklığı, ( $^{\circ}$  C) ;
- DELTA : soğutma aralığı, ( $^{\circ}$  C) ;
- CTC : kule karakteristiği, (=  $KaV / L$ ) ;
- TS (I) : hava sıcaklığı, ( $^{\circ}$  C) ;
- T (I) : Tchebycheff metoduna göre hesaplanan su ara sıcaklıkları, ( $^{\circ}$  C) ;
- HEN (I) : TS sıcaklığındaki doymuş havanın entalpisi, (kJ / kg) ;
- HW (I) : Tchebycheff metoduna göre hesaplanan su ara sıcaklıklarındaki Hava - su buharı karışımının entalpisi, (kJ / kg) ;
- HA (I) : Tchebycheff metoduna göre hesaplanan Hava - su buharı karışımının entalpisi, (kJ/kg).

EK 3 Performans Eğrileri Çiziminde Kullanılan Bilgisayar Programının Akış Şeması





$I = J - 1$   
 $HW(N) = \dots$

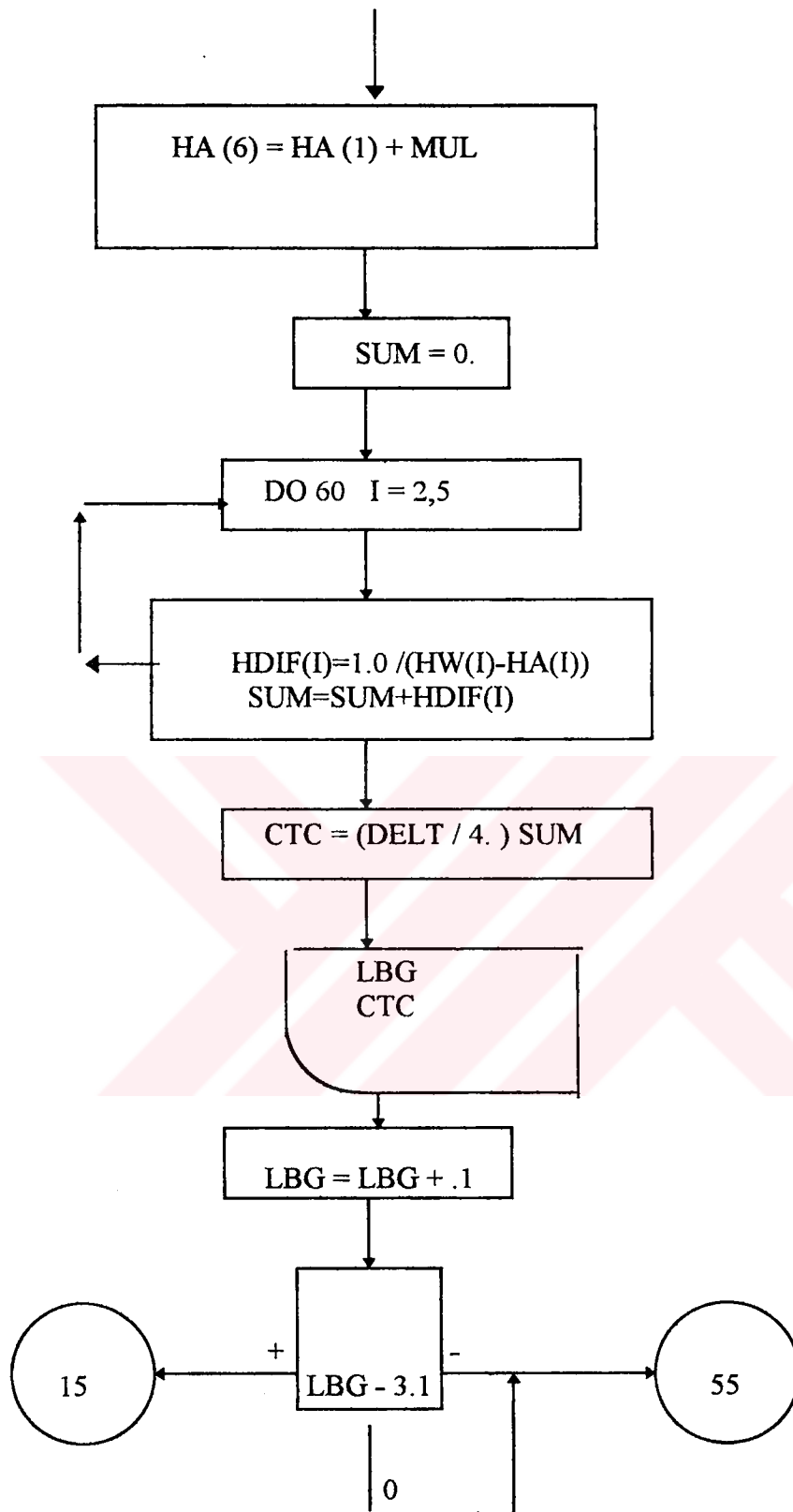
50

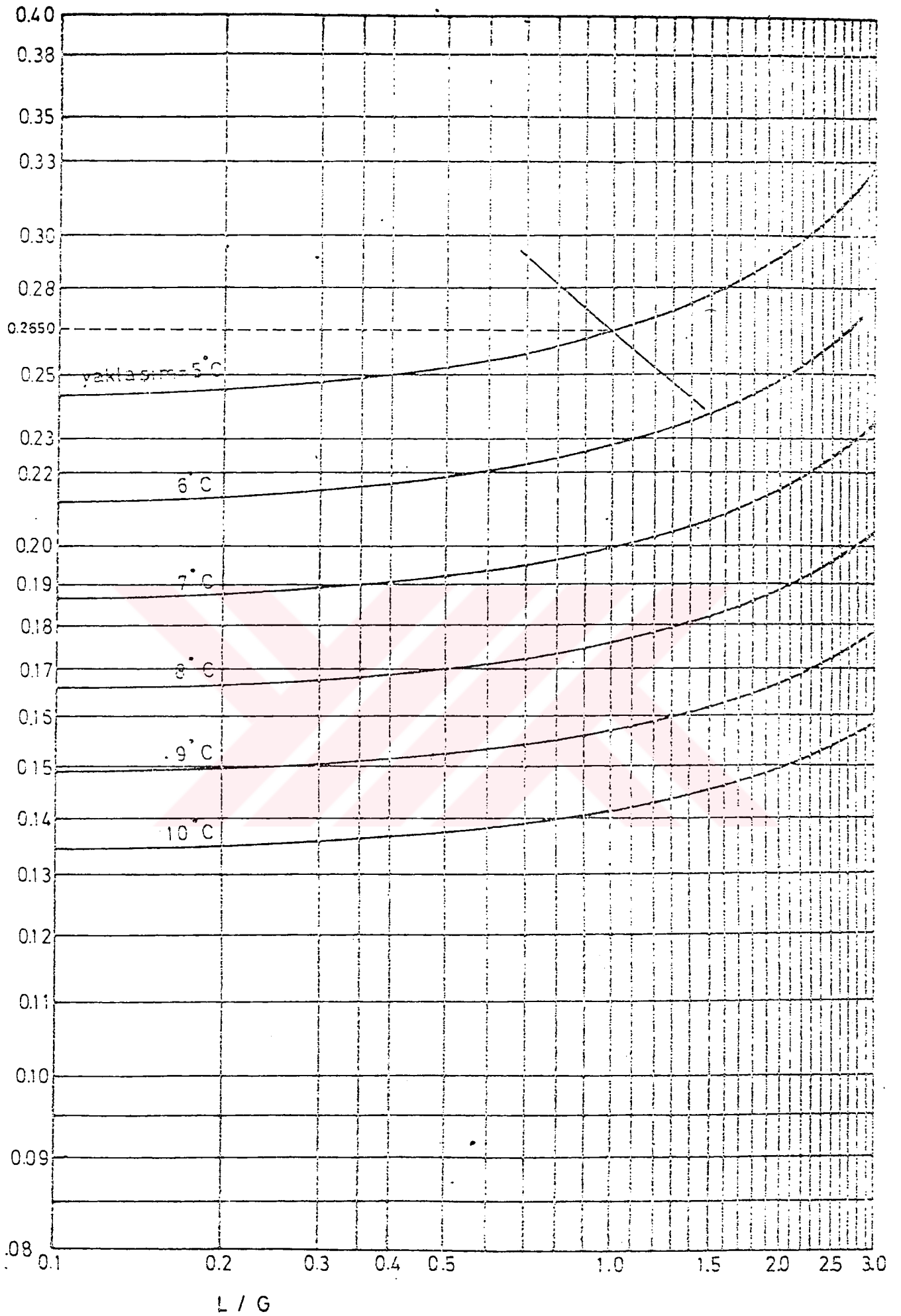
$K = TWB$   
 $HA(1) = HEN(K)$

55

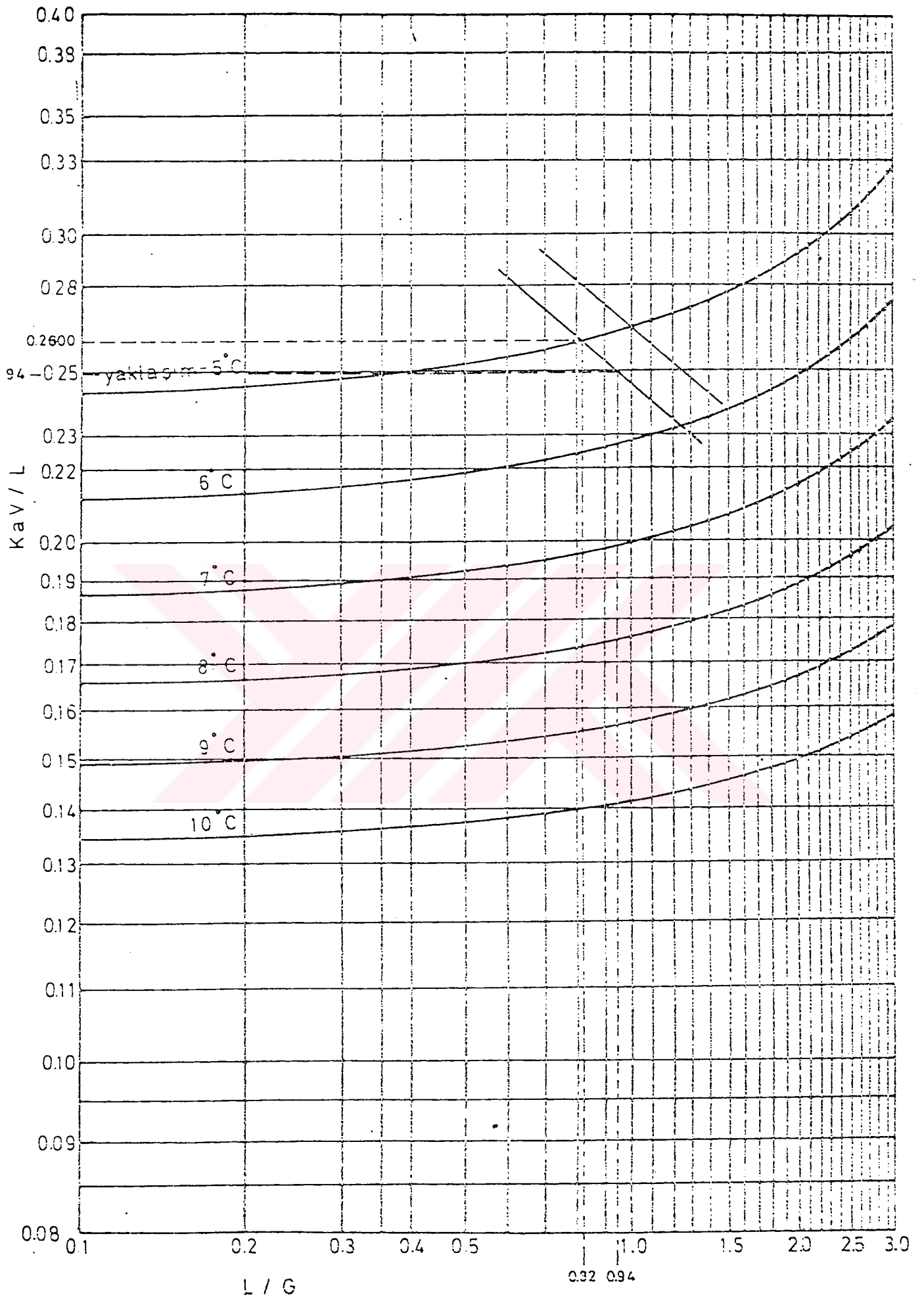
$MUL = LBG \cdot DELT$







YAŞ TERMOMETRE SICAKLIĞI = 22 °C  
 SOĞUTMA ARALIĞI = 10 °C



YAS TERMOMETRE SICAKLIĞI = 22°C  
 SOĞUTMA SAPAKLIĞI = 10°C

## ÖZGEÇMİŞ

İsim	Akif Emre Sayer	
Doğum Tarihi	31 Ocak 1972	
Doğum Yeri	İstanbul	
Eğitim	1986 - 1989	Pertevniyal Lisesi
	1989 - 1993	Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Lisans Programı
	1993- 1997	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Isı Poses Yüksek Lisans Programı.