

**TC
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERS AKIMLI SOĞUTMA KULESİ
PERFORMANS ANALİZİ**

HASAN GÜL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MALATYA
Aralık 2012**

Tezin Başlığı: Ters Akımlı Soğutma Kulesi Performans Analizi

Tezi Hazırlayan: Hasan GÜL

Sınav Tarihi: 28.12.2012

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Oğuz BOZKIR

Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU

Yard. Doç. Dr. İ. Gökhan AKSOY

İnönü üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ters Akımlı Soğutma Kulesi Performans Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve göreneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden olduğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Hasan GÜL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERS AKIMLI SOĞUTMA KULESİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Hasan Gül

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

54 + xii sayfa

2012

Danışman: Doç. Dr. Oğuz BOZKIR

Soğutma kuleleri yaygın şekilde kullanılan ısı ve kütle transferi yapan cihazlardır. Bu tezin amacı ters akımlı soğutma kulelerinde farklı sıcaklık ve debide akan hava ve su akışının deneysel olarak inceleyerek en etkin çalışma aralığını bulmaktır. Modelin geçerliliği yapılacak olan deneyler sonucunda elde edilen verilerle kontrol edilecektir.

Yapılan bu çalışmada su ve havanın farklı kütleli debi ve sıcaklıkta olduğu durumlarda deneyler yapılmış ve soğutma kulesinin en etkin çalıştığı durumlar tespit edilmiştir. Aynı deneyler metal ve alüminyum dolgu malzemeleri ile yapılarak en etkin çalışan malzeme belirlenmiştir.

Çalışmalar neticesinde metal dolgu malzemesinin en etkin malzeme olduğu tespit edilmiştir. Ancak paslanma özelliğinden dolayı soğutma kulesinde dolgu malzemesi olarak kullanılamamaktadır. O nedenle yakın değerinde etkinliğe sahip ve paslanmayan alüminyum malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Soğutma kulesi, dolgu malzemesi, etkinlik, su debisi, hava debisi, paslanma, alüminyum

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS OF COUNTER-FLOW COOLING TOWER

Hasan Gül

İnönü University
Graduate School Of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

54 + xii pages

2012

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Oğuz BOZKIR

Cooling towers, which transfer heat and mass, are widely used machines. The aim of this study is to find the most efficiency range with experimental results by using different flow rate and temperature of water and air. The validity of model is satisfied with the result by doing experiments.

In this study, experiments were made at different mass flow rate and temperature of water and air and were found at the most efficient range. According to results, same experiments were made with metal and aluminium packing material. Then, the most efficient material is defined.

According to the results, metal packing material is the most efficient one as packing material. But it can not be used as packing material because of oxidation. Instead of metal material, aluminium with no oxidation feature is used as packing material with nearly same efficiency.

Keywords : Cooling tower, packing material, efficiency, water flow, air flow, oxidation, aluminium

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőması sırasında yardım, öneri ve desteğini esirgemeden beni yönlendiren danışman hocam Sayın Do. Dr. Oğuz BOZKIR'a;

Tez çalışmasında yapılan deneyler sırasında gereken malzemelerin imalatında bana yardım eden, üretim için gereken makineleri kullanmamı sağlayan İnönü Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Öğretim Üyesi Sayın Yard. Doç. Dr. Mehmet ALTUĞ ve Öğretim Görevlisi Sayın Erol AYDEMİR'e;

Yüksek lisans yapmam için beni cesaretlendiren ve her türlü desteği veren MSB ANT Doğu Bölge Elemendik 2. İşletme Müdürü Sayın Cengiz ALTAŐ'a;

Ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans çalıőmalarım süresince de benden desteğini esirgemeyen başta sevgili eőim Zerrin GÜL olmak üzere tüm aileme,

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE UYGULAMALAR	7
2.1. Hava ve Suyun Direk Temas Yoluyla Isı Transferi	7
2.2. Temel Psikometrik Kavramlar	9
2.2.1. Kuru Termometre Sıcaklığı	9
2.2.2. Çiğ Noktası Sıcaklığı	9
2.2.3. İzafi (Bağıl Nem).....	9
2.2.4. Özgül Nem (Nem Oranı).....	9
2.2.5. Soğutma	10
2.2.6. Yaklaşım.....	10
2.3. Su Soğutma Kulesi Çalışma Prensibi	10
2.4. Soğutma Kulesi Türleri	14
2.4.1. Hava Akış Türüne Göre Soğutma Kuleleri	14
2.4.1.1. Doğal Taşınımli Soğutma Kuleleri.....	14
2.4.1.2. Mekanik Taşınımli Soğutma Kuleleri.....	14
2.4.2. Temas Şekillerine Göre Soğutma Kuleleri	15
2.4.3. Havanın Akış Yönüne Göre Soğutma Kuleleri	16
2.4.3.1. Karşı Akışli Soğutma Kuleleri	16
2.4.3.2. Çapraz Akışli Soğutma Kuleleri	17
2.4.4. Fanın Bulunduğu Yere Göre Soğutma Kuleleri	17
2.4.4.1. Zorlanmış Tip Soğutma Kuleleri.....	17
2.4.4.2. Çekme Tip Soğutma Kuleleri	18
2.5. Soğutma Kulesi Bileşenleri	18
2.5.1. Fan	18
2.5.2. Fıskiye (Nozzle).....	18
2.5.3. Damla Tutucu	19
2.5.4. Dolgu Malzemesi	19
2.5.4.1. Polipropilen (Bigudi) Tipi.....	20
2.5.4.2. Film Tipi.....	20
2.5.4.3. Sıçratmalı Tip	20

2.5.4.	Su Tankı	21
2.5.5.	Besleme Su Tankı	21
3.	MATERYAL ve YÖNTEM	22
3.1.	Kapsam ve İçerik	22
3.2.	Deney Teçhizatı.....	22
3.3.	Deney Teçhizatı ile İlgili Bilgiler.....	24
3.4.	Deneysel Çalışmalar.....	25
3.4.1.	Deney Çalışma Prosedürü ve Veri Toplama	25
3.4.2.	Hesaplama Yöntemleri	25
3.4.2.1.	Entalpi Farkı Metodu.....	26
3.4.2.2.	Psikometrik Analiz	28
3.4.2.3.	Termodinamik Analiz	28
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	31
4.1.	Deney Sonuçları	31
4.1.1.	Orijinal Malzeme	31
4.1.2.	Metal Malzeme	39
4.1.3.	Alüminyum Malzeme	44
4.2.	Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Karşılaştırılması	46
5.	DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER.....	50
6.	KAYNAKÇA.....	51
7.	ÖZGEÇMİŞ	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

α_a	Isıl yayılım katsayısı (m^2/s)
ε	Etkinlik
Δh_a	Hava entalpi farkı (kJ/kg)
Δh_m	Logaritmik ortalama entalpi (kJ/kg)
ΔP	Dolgudaki basınç düşümü (mm SS)
$\Delta P'$	Ağız diferansiyel basınç (mm SS)
a	Birim hacim için transfer yüzey alanı (m^2/m^3)
A_v	Su damlasının yüzey alanı (m^2/m^3)
c_{pa}	Nemli havanın özgül ısısı (KJ/kg K)
c_{pw}	Suyun özgül ısısı (KJ/kg K)
d_a	Kuru hava
d_b	Kuru termometre
D_a	Kütlesel difüzyon katsayısı (m^2/s)
h	Kuru havanın entalpisi (kJ/kg)
h_a	Hava-su buharı karışımının yaş termometredeki entalpisi (kJ/kg)
$h_{a,i}$	Giren havanın entalpisi (kJ/kg)
$h_{a,o}$	Çıkan havanın entalpisi (kJ/kg)
$h_{a,wi}$	Giren suyun sıcaklığındaki havanın entalpisi (kJ/kg)
$h_{a,wo}$	Çıkan suyun sıcaklığındaki havanın entalpisi (kJ/kg)
h'	Suyun entalpisi (kJ/kg)
h''	Temas eden film tabakasının entalpisi (kJ/kg)
i	Giriş
K	Ortalama kütle transfer katsayısı (kgm^2/s)
L	Dolgu uzunluğu (m)
Le	Lewis sayısı (α/D)
Me	Merkel sayısı ($\frac{\Delta h_a}{\Delta h_m}$)
\dot{m}_a	Kütlesel debi (kg/s)
\dot{m}_w	Suyun kütlesel debisi (kg/s)
\dot{m}_w/\dot{m}_a	Suyun hava debisine oranı
NTU	Transfer birim sayısı
o	Çıkış
\dot{Q}	Isıl güç (kW)
\dot{Q}_{max}	Mümkün olan maksimum ısı güç (kW)
R	Su soğutma aralığı ($^{\circ}C$)
SS	Su sütunu
T	Toplu havanın sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T'	Toplu suyun sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T''	Temas eden film tabakasının sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{db,i}$	Giren havanın kuru termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{db,o}$	Çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{w,i}$	Su giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{w,o}$	Su çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{wb,i}$	Giren havanın kuru termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{wb,o}$	Çıkan havanın yaş termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
v	Buhar
V	Kulenin efektif hacmi (m^3)
ω_{aB}	Kuleden çıkan hava-su karışımının özgül hacmi (m^3/kg)
w	Su
w_b	Yaş Termometre

w_v	Su buharı
\dot{W}	Pompa işi (kW)
x	Toplu havanın özgül nemi ($\text{kg}_{wv} / \text{kg}_{da}$)
x'	Toplu suyun özgül nemi ($\text{kg}_{wv} / \text{kg}_{da}$)
x''	Temas eden film tabakasının bağıl nemi ($\text{kg}_{wv} / \text{kg}_{da}$)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Karşı Akımlı Soğutma Kulesi Şeması.....	1
Şekil 1.2.	Soğutma Kulesinde Aralık ve Yaklaşım.....	2
Şekil 1.3.	Orijinal Dolgu Malzemesi.....	6
Şekil 2.1.	Hava ve Su Arasında Isı Transferi	7
Şekil 2.2.	Soğutma Kulesinde Buharlaştırma	8
Şekil 2.3.	Aralık ve Yaklaşım	10
Şekil 2.4.	Soğutma Kulesi Şematik Görünüm	11
Şekil 2.5.	Karşı Akışlı Soğutma Kulesinde Hava ile Suyun Sıcaklıkla İlişkisi	12
Şekil 2.6.	Soğutma Kulesindeki Havanın Psikometrik Analizi.....	13
Şekil 2.7.	Doğal Taşınımli Soğutma Kuleleri.....	14
Şekil 2.8.	Mekanik Taşınımli Soğutma Kuleleri.....	14
Şekil 2.9.	Doğrudan Temaslı Soğutma Kulesi.....	15
Şekil 2.10.	Temas Olmayan Soğutma Kulesi.....	15
Şekil 2.11.	Karşı Akışlı Soğutma Kulesi.....	16
Şekil 2.12.	Çapraz Akışlı Soğutma Kulesi.....	17
Şekil 2.13.	Zorlanmış Tip Soğutma Kuleleri.....	17
Şekil 2.14.	Çekme Tip Soğutma Kuleleri	18
Şekil 2.15.	Su Dağıtım Sistemi	19
Şekil 2.16.	Buhar Tutucu	19
Şekil 2.17.	Bigudi Tipi Dolgu Malzemesi	20
Şekil 2.18.	PVC Film Tipi.....	20
Şekil 2.19.	Sıçratmalı Tip Dolgu Malzemesi.....	21
Şekil 2.20.	Besleme Su Tankı.....	21
Şekil 3.1.	Çalışma Model Kulesi	22
Şekil 3.2.	Ortalama Entalpi Farkı Grafiği.....	26
Şekil 3.3.	Soğutma Kulesinde Isı ve Kütle Transferi	28
Şekil 3.4.	Soğutma Kulesi Kontrol Hacmi.....	29
Şekil 4.1.	(Q=1.6 kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı	32
Şekil 4.2.	(Q=1.1 kW)Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı	32
Şekil 4.3.	(Q=0.6 kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı	33
Şekil 4.4.	(Q=0.6 kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki	33
Şekil 4.5.	(Q=1.1 kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki	34
Şekil 4.6.	(Q=1.6 kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki	35
Şekil 4.7.	Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı (Q=0.6 kW)	35
Şekil 4.8.	Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı (Q=1.1 kW)	36
Şekil 4.9.	Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı (Q=1.6 kW)	36
Şekil 4.10.	Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki (Q=0.6 kW ve P=5 mm SS)	37
Şekil 4.11.	Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki (Q=1.1 kW ve P=10 mm SS)	37
Şekil 4.12.	Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki (Q=1.6 kW ve P=15 mm SS)	37
Şekil 4.13.	Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki (Q=1.6 kW ve P=5 mm SS)	38
Şekil 4.14.	Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki (Q=0.6 kW ve P=15 mm SS)	38

Şekil 4.15.	(Q=1.6 kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı	39
Şekil 4.16.	(Q=1.1 kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı	39
Şekil 4.17.	(Q=1.1 kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki	40
Şekil 4.18.	(Q=1.6 kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki	41
Şekil 4.19.	Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı (Q=1.1 kW)	42
Şekil 4.20.	Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı (Q=1.6 kW)	42
Şekil 4.21.	Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki (Q=0.6 kW ve P=15 mm SS)	43
Şekil 4.22.	Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki (Q=1.1 kW ve P=15 mm SS)	43
Şekil 4.23.	Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki (Q=1.6 kW ve P=15 mm SS)	44
Şekil 4.24.	Etkinlik ve Su Debisi Arasındaki İlişki	45
Şekil 4.25.	Yaklaşım ile Su Debisi Arasındaki İlişki	45
Şekil 4.26.	Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Etkinlik ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi.47	
Şekil 4.27.	Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Yaklaşım ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi.....	48
Şekil 4.28.	Dolgu Malzemelerinde Su Besleme Miktarı ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi.....	49

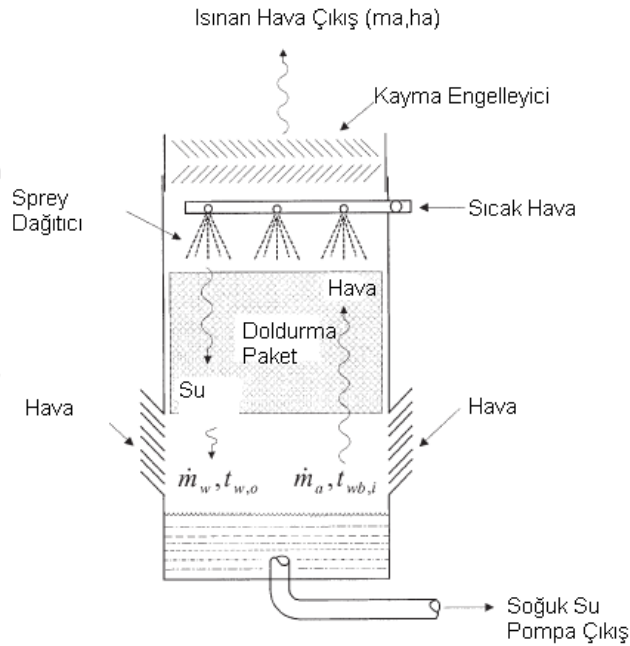
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Dolgu Malzemesi Bilgileri.....	24
Çizelge 4.1.	(Q=1.6 kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Yaklaşımı Deney Sonuçları	31
Çizelge 4.2.	(Q=1.1 kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki	34
Çizelge 4.3.	(Q=1.1 kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki	40
Çizelge 4.4.	(Q=1.6 kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki	41
Çizelge 4.5.	Etkinlik ve Su Debisi Arasındaki İlişki.....	45
Çizelge 4.6.	Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Etkinlik ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi	46
Çizelge 4.7.	Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Yaklaşım ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi.....	47
Çizelge 4.8.	Dolgu Malzemelerinde Su Besleme Miktarı ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi.....	48

1.GİRİŞ

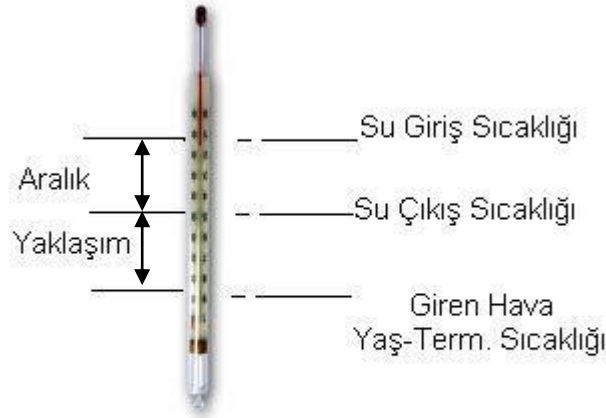
Soğutma Kuleleri ılık su buharının ısını havaya vermek suretiyle su soğutmak üzere tasarlanmış cihazlardır. Bu kuleler termik santraller gibi güç üretim tesisleri için çok büyük kapasitelerde dizayn edilebildikleri gibi, çoğunlukla kimya ve proses endüstrisi uygulamalarında karşılaşıldığı üzere orta ve küçük ölçekli kapasitelerde de tasarlanmaktadır. Soğutma Kulelerinin kuru tip ısı eşanjörlerine göre avantajlarından birisi suyun atmosferik yaş termometre sıcaklığına kuru termometre sıcaklığına göre daha fazla yaklaşmasıdır[1]. Birkaç çeşit soğutma kulesi tipi bulunmaktadır. En çok kullanılan modeli ise suyun üst taraftan sprej olarak girdiği ve aşağı doğru aktığı mekanik sürücülü türüdür. Dış hava ise fan yardımıyla kuleye girer ve su buharı ile çapraz veya karşı akımlı olarak temas eder. Eğer fanlar kulenin alt tarafında ve havayı suya karşı üst tarafa doğru üflüyorsa zorlanmış tip kule, eğer fanlar yukarıda ise çekme tip kule olarak sınıflandırılır[1,2]. Büyük ölçekli atmosferik kulelerde fan bulunmaz ve ısınan havanın kaldırma kuvveti etkisiyle yükselmesi ile çalışır ve nozzle tipi baca şekli ile hava devir daimi sağlanır[1].

Soğutma Kuleleri' nde hava ve suyun birbiriyle daha uzun süre ve daha büyük bir yüzeyde temas edebilmesi için dolgu malzemesi kullanılır. Bu sayede ısınan su havayla daha uzun süre temas eder ve yaş termometre sıcaklığına daha fazla yaklaşır. Dolgu malzemeleri Şekil 1.1' de [1,2] de gösterildiği gibi suyun daha yavaş akması için genellikle tahtadan veya fiberglas malzemedendir. Bu yapı soğutma kulelerinin tipini yaş, karşı ve çapraz akımlı olarak değiştirdiği gibi, etkinliğini de artırdığı için aynı kapasite daha küçük ebatlardaki kuleler ile de sağlanabilmektedir.



Şekil 1.1 Karşı Akımlı Soğutma Kulesi Şeması

Soğutma Kulesinin etkinliği Şekil 1.2' de görüldüğü üzere aralık ve yaklaşıma bağlı olarak değişir. Aralık soğutma kulesinde suyun sıcaklığındaki azalma, yaklaşım ise giren havanın yaş termometre sıcaklığı ile çıkan suyun sıcaklığı arasındaki farktır.



Şekil 1.2 Soğutma Kulesinde Aralık ve Yaklaşım

Soğutma Kulesinde ısı transferi sudan kızgın olmayan havaya doğru olur. Isı transferi için 2 zorlayıcı kuvvet vardır: kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark ve su yüzeyi ile havadaki su buharı arasındaki buhar basınç farklarıdır.

Soğutma Kuleleri üzerine 1946'dan bu güne birçok araştırma yapılmış olup özellikle karşı akışlı soğutma kulesinin ısı ve kütle transfer analizi üzerine yapılan çalışmalar incelenecektir.

Jameel-Ur-Rehman Khan et al. [1] daha önce bu konuda yapılan araştırmaları inceleyerek bir soğutma kulesinin risk tabanlı termal performansını fouling model yardımıyla incelediler. Yaptıkları hassas analizler farklı değerlerdeki kütleli debi oranlarını tasarım hesaplarında kullandılar. Yaptıkları araştırma neticesinde soğutma kulelerinin diğer ısı eşanjörlerine göre, buharlaşma yoluyla ısı transferi sırasında yaş termometre sıcaklığına kuru termometre sıcaklığına göre daha fazla yaklaştığını tespit ettiler.

Khan [2] karşı akışlı soğutma kulelerinin performans karakteristiği üzerinde çalışmalar yaptı.

Simpson ve Sherwood [3] karşı akışlı soğutma kulelerinde 6 farklı dolgu malzemesi ile yapılan deneysel verileri yayınladılar. Bulunan veriler soğutma kulelerinin değerlendirilmesinde ve tasarım hesaplarında kullanılabilir. Simpson ve Sherwood'a göre hava ve suyun debisi, dolgu malzemesi ve su giriş sıcaklığına bağlılığı dikkate alınarak ortalama kütle transfer katsayısı doğrulanabilir.

Kelly ve Swenson [4] sıçramalı tip dolgu malzemeli soğutma kulesinde ısı transferi ve basınç düşümü üzerine çalışmalar yaptılar. Yaptıkları çalışmada su-hava debisiyle birlikte kulenin performansını ilişkilendirdiler ve su-hava debisi oranının, dolgu

yüksekliğinin ve dizilişinin ve az da olsa su giriş sıcaklığının kulenin karakteristiğine etkileri olduğunu buldular.

Eaton [5] karşı akışlı soğutma kulelerinde ısı transferini analiz etti ve toplam ısı transferinin %60-90'nının suyun buharlaşması yoluyla yapılan ısı transferi olduğu sonucuna vardı.

Majumdar et al. [6] mekanik zorlamalı ve doğal akışlı kuleleri göz önüne alarak kütle, enerji ve momentum dengesine dayanan 2 boyutlu model sundular. Yaptıkları çalışmada değişen çalışma ve tasarım değişikliklerinin kulenin etkinliğine etkisi olduğunu gösterdiler.

Dreyer ve Erens [7] benzer çapta olan damlalar oluşturabilen dolgu kavramı kullandılar. Isı ve hız birlikte düşünülebilir ve başlangıçtaki damla dağılımı kabul edilebilir. Böylelikle sprey ve yağmur bölgesi kulenin tasarım hesaplarında kullanılabilir.

Mohiuddin ve Kant [8] karşı ve çapraz akışlı mekanik ve doğal taşınımlı soğutma kulesi tasarımında detaylı yöntemi tanımladılar. Bu çalışmanın ilk bölümünde kule tasarımının farklı adımları tartışıldı. İkinci bölümünde ise takip eden dolgu, doğal taşınımlı kuleler, doğal taşınımlı kuleler için fan tasarımı, besleme su oranını, su dağıtma ve damla tutucular gibi tasarım adımlarını açıkladılar.

Mohiuddin ve Kant [9] soğutma kulesinin tasarımında kullanılacak çok değerli bilgiler sundular. Bir soğutma kulesinin performansı $K\alpha V/L$ oranıyla belirlenir. Bu orana kulenin karakteristiği ve transfer birim sayısı (NTU) denir.

Bedekar et al. [10] film tipi dolgu malzemeli soğutma kuleleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu araştırmada su çıkış sıcaklığı, su-hava oranı (L/G) ve etkinliğe bağlı olarak sonuçlar elde ettiler. Araştırmalarına göre su-hava oranı(L/G) arttıkça kulenin performansı diğer soğutma kulesi tiplerinde olduğu gibi azalıyor.

De Villiers ve Kroger [11] farklı geometri ve konfigürasyonlar için ilişki üzerine inceleme yaptılar ve efektif damla yarıçapını hesaplamak için kullanılabilecek kütle transfer ilişkisini açıkladılar.

Halasz [12] karşı akışlı, paralel ve çapraz akışlı soğutma kulelerinde belirlenen çalışma koşullarını değerlendirmek için bir model uyguladı. Halasz soğutma kulesi etkinliği ve maksimum ve minimum su debisi arasındaki oran ile transfer birim sayısı (NTU) arasındaki ilişkiyi kurdular.

Mehmet Sait Söylemez [13] karşı akışlı soğutma kulelerinin ebadı ve performansını tahmin etmek için yeni bir integral metodu sundu. Yaptığı deneylerin sonuçlarını tahmini formülün geçerliliğini sağlamak üzere kullandı.

Goyashi ve Missenden [14] farklı tipteki oluklu dolgu malzemesi kullanarak hazırlanmış soğutma kulesinde kütle transferi ve basınç düşümünü deneysel olarak incelemişlerdir. Kullandıkları dolgu malzemeleri pürüzsüz ve pürüzlü yüzeylere

sahiplerdi. Yaptıkları çalışmada kütle transfer katsayısı ile basınç düşümünü gösterdiler.

Milosavljevic ve Heikkila [15] farklı dolgu malzemeleri kullanarak soğutma kulesinin performans analizini yapmak için deneyler yaptılar. 7 farklı dolgu malzemesi kullanarak farklı hava ve su debilerinde bunların basınç düşümü üzerindeki etkisini gösteren deneyler yaptılar.

Jameel-Ur-Rehman Khan et al. [16] detaylı bir karşı akışlı soğutma kulesi kullanarak performans karakteristiği üzerinde araştırmalar yaptılar. Modelin geçerliliğini daha önce yapılan araştırmalara bağlı olarak kontrol ettiler. Kulenin termal performansı değişken hava ve su sıcaklıkları ile doğrudan ilişkili olduğunu açık bir şekilde açıkladılar. Bu değişkenler kulenin yüksekliği boyunca taşınım ve iletim yoluyla olan ısı transferinin doğrudan etkilemektedir.

Fisenko [17] doğal akışlı soğutma kulelerinin performanslarını tahmin etmek için matematiksel bir metot geliştirdi.

Lebrun ve Silvia [18] soğutma kulesini kuleye giren ve çıkan havanın yaş termometre sıcaklığının asıl kuvvet olduğu ısı eşanjörü olarak göz önüne aldılar. Bu modelde genel ısı transfer katsayısı hava ve suyun debilerinin bir fonksiyonu olarak verilebilir.

J.C. Kloppers ve D.G. Kröger [19] 1.5x1.5 kesit alanına sahip karşı akışlı soğutma kulesinde damlama, sıçrama ve zar tipi akışlardaki basınç kayıpları üzerinde çalıştılar. Kullandıkları ampirik denklemlerle farklı hava ve su debilerinde basınç kayıplarındaki ilişkiyi açıkladılar.

Fisenko [20] mekanik zorlamalı soğutma kulelerinin performansları, ısı ve kütle transferi ve damlacıkların düşüş dinamiği hakkında yeni bir matematiksel metot geliştirdi. Mekanik zorlamalı soğutma kulelerinde hava ve suyun kütledebilerinin kulenin termal etkinliği üzerinde etkisi olduğu sonucuna vardı. Model sınır değer problemi ve basit diferansiyel denklemleri simgeliyordu.

J.C. Kloppers ve D.G. Kröger [21] yaş soğutma kulelerinde buharlaşmayla soğumada ısı ve kütle transferine ilişkin detaylı ispatlar yaptılar. Soğutma Kulesinin çalışması hakkındaki bu ispatları yaparken Merkel, Poppe ve Rögener ile e-NTU metotlarını kullandılar. Merkel'in 1920'de yaptığı çalışma bazı varsayımlar yaparak işlemleri elle çözülebilir hale getiriyordu. Fakat bu varsayımlardan dolayı sonuç tam olarak doğru bulunamıyordu.

Ghassem Heidarinejad et al. [22] karşı akışlı soğutma kulelerinde nümerik simülasyon yaptı. Bu modelin avantajı su kayıp oran hesabı, değişken Lewis faktörü, atmosferik hava basıncı, kule hacmi ve etkinliliği dikkate alınır.

Kloppers ve Kroger [23] Lewis Faktörünün doğal akışlı ve mekanik zorlamalı soğutma kulelerinin performansı üzerine olan etkisini araştırdılar. Eğer Lewis Faktörünün aynı tanımı dolgu test analizlerinde ve sonraki soğutma kulesi performans analizlerinde kullanılırsa su çıkış sıcaklığının doğru bir şekilde tahmin edilebileceğini buldular.

M.Lemouari et al. [24] dikey kesitli dolgu malzemeli karşı akışlı soğutma kulesinin termal performansı üzerinde araştırmalar yaptılar. 0,42 m yüksekliğinde, zigzag formda yerleştirilmiş 4 galvaniz levha kullanılarak hazırlanmış dolgu malzemesi kullandılar. Bu çalışmalarında farklı su giriş sıcaklıkları için hava ve suyun debilerinin kule performansını nasıl etkilediklerini incelediler. Dolgu malzemesi kule boyunca hava ve suyun daha fazla temas etmesini sağladığı için kulenin performansında önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmanın asıl amacı dikey kesitli dolgu malzemeli karşı akışlı soğutma kulesinin termal performansını incelemektir.

Farhad Gharahheizi et al. [25] kulenin karakteristiği (KaV/L), su-hava debileri oranı (L/G) ve 2 tip dolgu malzemesindeki etkinliği incelediler. Bu dolgu malzemeleri dikey ve düşey kesitli olarak düzenlenmiştir. Yapılan deneyler dolgu malzemesinin tipi ve düzeni kulenin performansını etkilediği göstermektedir. Ayrıca deneyler artan L/G oranında kulenin performansında düşüş olduğunu göstermiştir. Sonuçlar dikey kesitli dolgu malzemesinin düşey kesitli dolgu malzemesine göre daha etkin olduğunu göstermiştir.

Elsagrag [35] seramik tipi dolgu malzemeli soğutma kulesinde ısı ve kütle transfer katsayıları üzerinde deneysel çalışmalar yaptı. Boyutsal analizden elde edilen kütle transfer katsayısını su ve hava debileri oranlarını ilişkilendirmede kullandı.

Al-Waked ve Behnia [26] kapalı ve doğal akışlı soğutma kulelerinin çalışmasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) programını kullandılar. Bu çalışmada farklı çalışma parametreleri ve rüzgâr koşullarında ısı performansını incelediler.

Jin, Cai ve Chiang [27] basit bir soğutma kulesi modelinde Merkel teorisi ve NTU metodunu kullanarak enerji korunumu ve yönetimini sundular. Soğutma kulesinin etkinliğinin zamanla farklı çalışma koşullarına bağlı olarak değiştiğini buldular. Sundukları model kule yapılan parametre düzenlemeleriyle değişiklikleri yansıtılabiliyordu.

M.Lucas et al. [28] farklı su ve hava debilerinde farklı damla tutucular kullanarak karşı akışlı soğutma kulelerinin performans analizi üzerinde incelemeler yaptılar.

Karami ve Heidarinejad [29] karşı akışlı soğutma kulelerinde kütle ve ısı transfer karakteristiği üzerinde çalışmalar yaptılar. Kütleli debi oranında artış olduğunda kulenin etkinliğinin arttığını ancak sıcaklık oranının düştüğünü gözlemlediler.

Marques et al. [30] karşı akışlı soğutma kulesinin açık ve kapalı çevrim analizlerini incelediler.

Eser Can KARA [31] yaptığı deneysel çalışmada soğutma kulesine giren farklı sıcaklık ve debide hava ve suyun soğutma kulesinin etkinliğini ne yönde etkilediğini incelemiştir.

Bu tez çalışmasında ise ters (karşı) akışlı soğutma kulelerinin termal performansı, su-hava oranı, etkinliği, dolgu ve damla engelleyici malzemesi, transfer birim sayısı (NTU) dolgu malzemesi (Şekil 1.3) değiştirilerek incelenecektir.



Şekil 1.3 Orijinal Dolgu Malzemesi

2. KURAMSAL TEMELLER VE UYGULAMALAR

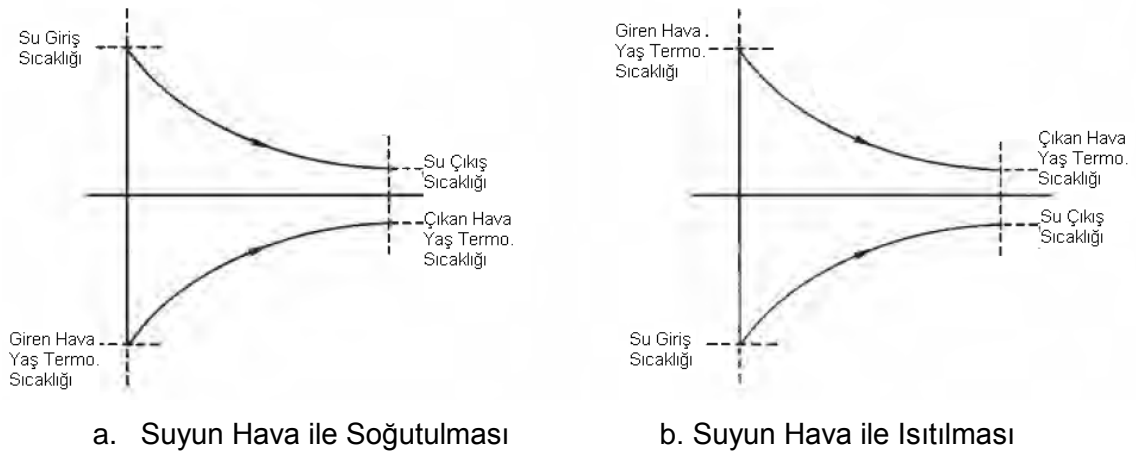
2.1. Hava ve Suyun Direk Temas Yoluyula Isı Transferi

Suyun sıcaklığından farklı yaş termometre sıcaklığına sahip olan hava, su ile temas ederse ısı transferi ile birlikte nem transferi de meydana gelir [33].

Eğer suyun sıcaklığı havanın yaş termometre sıcaklığından fazla ise su yüzeyinden havaya ısı transferi olması nedeniyle suyun sıcaklığı azalır ve havanın yaş termometresi sıcaklığı artar. Benzer şekilde, eğer suyun sıcaklığı havanın yaş termometre sıcaklığından düşük ise suyun sıcaklığı artar ve havanın yaş termometresi sıcaklığı azalır[33].

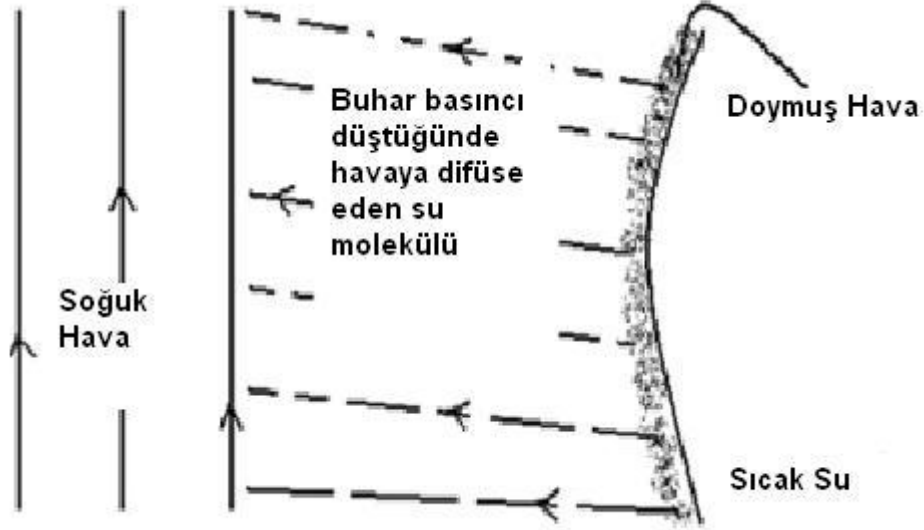
Hava ve su arasında gerçekleşen ısı transferi sonucunda suyun sıcaklığı hiçbir şekilde giren havanın yaş termometre sıcaklığına kadar düşmez veya artmaz. Hava daha sıcak bir su ile temas ederse suyun sıcaklığı düşer ve havanın yaş termometre sıcaklığı artar. Bu durum Şekil 2.1a' da gösterilmiştir. Su çıkış sıcaklığı her zaman giren havanın yaş termometre sıcaklığından fazladır[33].

Hava yaş termometresinin suyun sıcaklığından fazla olduğu durumda ise bir önceki durumun tam tersi gerçekleşir. Suyun sıcaklığı artar ve havanın yaş termometre sıcaklığı azalır. Ancak hiçbir zaman suyun sıcaklığı giren havanın yaş termometre sıcaklığına kadar artmaz. Bu durum Şekil 2.1b' de gösterilmiştir. Havanın yaş termometre sıcaklığı her zaman suyun sıcaklığından fazladır[33].



Şekil 2.1 Hava ve Su Arasında Isı Transferi [33]

Eğer sıcak su damlası yüzeyi veya hava akımıyla temas eden bir film tabakası düşünülürse;



Şekil 2.2 Soğutma Kulesinde Buharlaşma [32]

Suyun havadan daha sıcak olduğu varsayımında su aşağıdaki şekilde soğutulur:

- i. **Radyasyon:** Bu şekilde ısı transferi oldukça küçüktür ve ihmal edilebilir düzeydedir[31-32].
- ii. **İletim ve Taşınım:** Bu şekilde ısı transferi sıcaklık farkı, transfer yüzey alanı ve havanın hızı gibi etkilere bağlıdır[31-32].
- iii. **Buharlaşma:** Bu en fazla etkisi olan ısı transfer şeklidir. Soğuma su moleküllerinin ortam havasına ısı transfer yüzeyinden dağılması olması ile gerçekleşir. Bu moleküller daha sonra diğerleriyle yer değiştirirler ve bunun için gereken enerji kalan sıvıdan alınır[31-32].

Sıvı Yüzeyinden Buharlaşma:

Sıvı yüzeyinden ortam havasına olan buharlaşma oranı sıvı yüzeyinde oluşan buhar basınç farkına bağlıdır. Bu basınçlar ortam sıcaklığındaki doyma basıncı ve ortam havasının buhar basıncıdır[31-32].

Kapalı ortamlarda buharlaşma bu iki basıncın buhar dengeleri eşit oluncaya kadar devam eder. Bununla birlikte doymamış hava sürekli devir daim edilirse, sıvı yüzeyi buharlaşmaya bağlı soğutma etkisinin havadan suya iletim ve taşınım yoluyla olan ısı transferine eşit soğutma etkisindeki denge sıcaklığına erişir[31-32].

Adyabatik (dışarıdan ısı kazancı ve kayıplarının olmadığı durum) şartlar altındaki yüzeyin ulaştığı denge sıcaklığı yaş termometre sıcaklığıdır[31-32].

Uygun hava akışı ve sonsuz ebattaki soğutma kulesinde su soğutma kulesinden giren havanın yaş termometre sıcaklığında çıkar. Bu nedenle soğutma kulesinden çıkan suyun sıcaklığı ile yerel yaş termometre sıcaklığı arasındaki fark soğutma kulesinin etkinliğinin göstergesidir[31-32].

“Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşım” soğutma kulesinin testinde, teknik özellik belirlemede, tasarımında ve seçiminde rol oynayan önemli parametrelerden biridir [31-32].

2.2. Temel Psikrometrik Kavramlar

2.2.1.Kuru Termometre Sıcaklığı: Havanın içindeki nemin ve radyasyonun etkisi olmaksızın herhangi bir termo eleman, termometre, termokupl vb. bir sıcaklık ölçme aleti ile yapılan ölçüme elde edilen sıcaklığa denir [32].

2.2.2.Çiğ Noktası Sıcaklığı: Nemli hava sabit basınçta soğutulduğunda, içindeki su buharının yoğuşmaya başladığı andaki sıcaklığa çiğ noktası sıcaklığı denir[32].

2.2.3.İzafi (Bağıl Nem): Nemli hava içindeki su buharın kısmi basıncı P_b , sıcaklığı T ve aynı T sıcaklığında doymuş hava içindeki su buharının doyma basıncı (T sıcaklığına karşılık gelen su buharının doyma basıncı) P_{dt} olmak üzere izafi nem;

$$\phi = \frac{P_b}{P_{dt}} \quad [31-32] \quad (2.1)$$

ifadesi ile bulunur. Havanın izafi nemi higrometre ile ölçülür. Havanın izafi nemi

$0 < \phi < 1$ arasında bulunur.

$\phi = 0$ Kuru Hava (içinde hiç su buharı yok)

$\phi = 1$ Doymuş Hava

$0 < \phi < 1$ Doymamış Hava

2.2.4.Özgül (Mutlak) Nem (Nem Oranı): Birim kg kuru hava içindeki su buharı miktarına denir. Nemli hava içindeki su buharı miktarı m_b ve kuru hava miktarı m_h olmak üzere, özgül nem;

$$\omega = \frac{m_b}{m_h} = \frac{kg_{su_buhari}}{kg_{kuru_hava}} \quad [31-32] \quad (2.2)$$

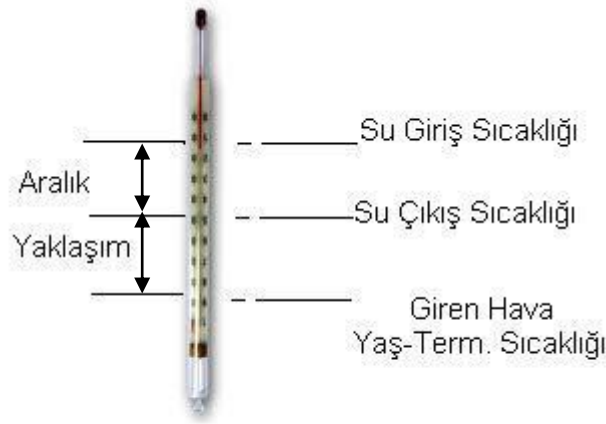
şeklinde bulunur. Gerekli düzenlemeler yapılırsa özgül nem;

$$\omega = 0,622 \frac{\phi P_{dt}}{P - \phi P_{dt}} \quad [31-32] \quad (2.3)$$

şeklinde bulunur. Burada $\omega = f(\phi, T, P)$ fonksiyonu olup yukarıdaki denklemden de görüldüğü gibi özgül nem ω , izafi nem, sıcaklık ve toplam basınç P nin fonksiyonu olarak bulunur. Bu üç değer nemli havanın ölçülebilen değerleridir.

2.2.5.Soğutma (Aralık): Soğutma kulesine giren akışkanın sıcaklığı ile soğutma kulesini terk eden akışkanın sıcaklığı arasındaki farka soğutma denir[24,32].

2.2.6.Yaklaşım: Soğutma kulesinden çıkan suyun sıcaklığı ile giriş havasının yaş termometre sıcaklığı arasındaki farka yaklaşım denir [32].

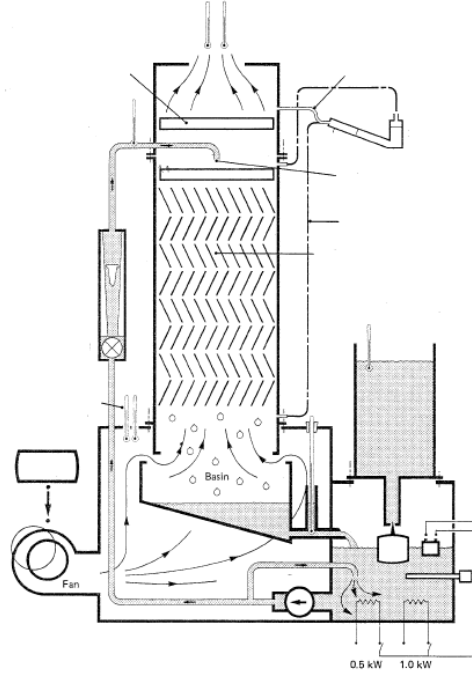


Şekil 2.3 Aralık ve Yaklaşım

2.3. Su Soğutma Kulesi Çalışma Prensibi

Su soğutma kulelerinde, işletmeden ısınmış gelen su, özel olarak imal edilmiş su dağıtım sistemi ve fiskiyeler yardımı ile kulenin tüm kesitine yukarıdan aşağı doğru homojen olarak püskürtülür. Püskürtülen su kütleleri, kule dolguları arasından süzülerek parçalanır. Dış ortamın nemine sahip hava, motor fan grubu yardımı ile dolgular üzerinden aşağıdan yukarıya doğru emilir. Dolgu soğutma yüzeyinde hava ile buluşan su havaya ısı vererek soğur ve az bir kısmı buharlaşır. Soğuyan su kulenin soğuk su havuzunda toplanarak işletmeye gönderilir. Suyun buharlaşması sonucu nemi artan hava (doyma oranına yakın), kulenin en üstünde bulunan fan bacasından atmosfere atılır[31,32,36].

Bir soğutma kulesinde çevre havası ile temas haline gelen suyun bir kısmı buharlaşır ve su sıcaklığının düşmesine neden olur. Buharlaşan su Şekil 2.4' te [32] de görüldüğü üzere hava içine nem olarak girerek, havanın özgül neminin ve izafi neminin artmasına sebep olur. Soğutma kulesinde su teorik olarak en fazla giriş havasının yaş termometre sıcaklığına kadar soğutulabilir. Kule ne kadar etkili ise pratikte yaş termometre sıcaklığına o kadar yaklaşılabilir. Pratikte su sıcaklığı giriş havasının yaş termometre sıcaklığının 4 veya 5°C üzerindeki sıcaklığa kadar soğutulabilir. Soğutma kulesinin su havuzuna, buharlaşan su miktarına eşit miktarda besleme suyu ilave edilmelidir[31].



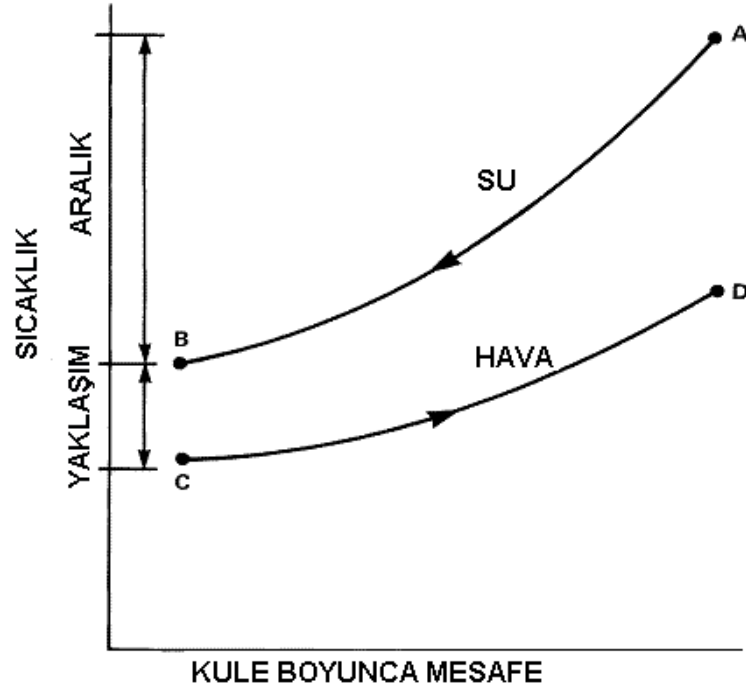
Şekil 2.4 Soğutma Kulesi Şematik Görünüm

Termodinamik esaslarına göre; buharlaşan her bir gram suyun faz (hal) değişimini gerçekleştirebilmesi için yaklaşık 540 Kalori enerji transferi gerekmektedir[36].

Bu yaklaşımla; sistemde dolaşan suyun her 6 °C soğuması için yaklaşık su debisinin % 1'nin buharlaşması gerekmektedir. Bu miktar aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$\text{Buharlaşma Miktarı (m}^3\text{/h)} = 0.00085 \times 1.8 \times \text{Debi (m}^3\text{/h)} \times (T_{w,i} - T_{w,o}) \quad [36] \quad (2.4)$$

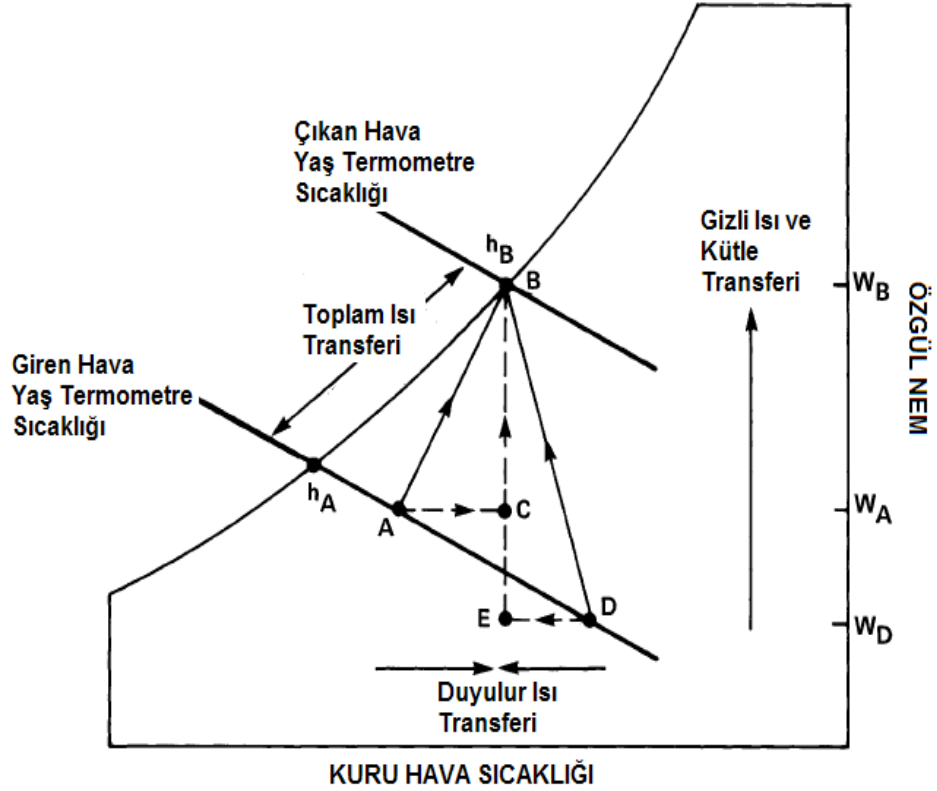
Su ve havanın karşıt-akışlı bir soğutma kulesinde geçtiği sıradaki sıcaklık ilişkisi Şekil 2.5' te [31] gösterilmektedir. Eğriler su sıcaklığındaki düşüşü (A noktasından B noktasına) ve havanın yaş termometre sıcaklığındaki artışı (C noktasından D noktasına) gösterir. Soğutma kulesine giren ve çıkan su arasındaki sıcaklık farkı (A eksi B) aralıktır. Yatışkın bir durumda çalışan bu sistem için, aralık; su sıcaklığının yük ısı değiştiricisinden artışı aynıdır, soğutma kulesinden ve ısı değiştiricisindeki akış oranının aynı olmalarını sağlar. Buna göre, aralık; yüklenmiş ısı ve su akımı oranıyla belirlenir, soğutma kulesinin boyutundan veya ısı yeteneği ile değil[31].



Şekil 2.5 Karşı Akışlı Soğutma Kulesinde Hava ile Suyun Sıcaklıkla İlişkisi

Çıkan su sıcaklığı ve giren hava yaş termometre sıcaklığı arasındaki fark (B-C) yaş termometre sıcaklığına yaklaşım ya da soğutma kulesinin yaklaşımıdır. Yaklaşım soğutma kulesinin fonksiyonudur ve büyük soğutma kuleleri daha yakın yaklaşımlar (daha soğuk çıkan su) üretir. Böylece, ısının transfer edildiği sıcaklık düzeyi soğutma kulesinin ısı yeteneği ve giren hava yaş termometre sıcaklığı ile belirlenirken, soğutma kulesi tarafından atmosfere taşınan ısı miktarı, her zaman kuledeki yüklü ısıya eşittir [31].

Soğutma kulesinin ısı performansı giren hava yaş termometre sıcaklığına bağlıdır. Giren havanın kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem, soğutma kulelerinin ısı performansı üzerinde önemsiz bir etkiye sahiptir, ama soğutma kulesi içindeki su buharlaşma oranını etkiler. Soğutma kulesinden geçen havanın psikrometrik analizi, bu etkiyi açıklar. Hava, soğutma kulesine A noktasında girer, ısıyı ve kütleyi (nem) sudan emer ve B noktasından doymuş durumda kuleden çıkar (çok hafif yüklerde, boşaltılan hava doymayabilir)(Şekil 2.6). Sudan havaya transfer edilen ısı miktarı, giriş ve çıkış durumları arasındaki hava entalpisindeki farkla orantılıdır ($h_B - h_A$). Sabit entalpi çizgilerinin eğimi ile sabit yaş termometre sıcaklık çizgilerinin eğimlerinin birbirlerine çok yakın olması nedeniyle hava entalpisindeki değişim, havanın yaş termometre sıcaklığındaki değişim tarafından belirlenebilir[31].



Şekil 2.6 Soğutma Kulesindeki Havanın Psikometrik Analizi

Şekil 2.6' da [31] AB vektörüyle gösterilen havanın ısınması, su soğutulurken hava tarafından emilen ısının hissedilebilir kısmını gösteren AC bileşenine ve ısının gizli kısmını gösteren CB bileşenine ayrılabilir. Eğer giren hava, aynı yaş termometre sıcaklığında fakat daha yüksek kuru termometre sıcaklığında D noktasına dönüştürülürse, DB vektörüyle gösterilen toplam ısı transferi aynı kalır, fakat hissedilebilir ve gizli bileşen derecede değişir. Su, ısı ve kütleyi havaya bıraktığı sırada EB gizli ısıyı gösterirken, DE hissedilebilir hava soğumasını gösterir. Böylece, aynı su-soğutma yükü için, gizli ısı transferinin, hissedilebilir ısı transferine oranı, önemli derecede değişebilir[31].

Gizli ısının, hissedilebilir ısıya oranı, soğutma kulesinin su kullanımının analizinde önemlidir. Kütle transfer (buharlaşma) sadece gizli ısı transferinde meydana gelir ve buharlaşma özgül nemdeki değişikliklerle orantılıdır. Çünkü giren hava kuru, termometre sıcaklığı ya da bağıl nem, gizli ısının, hissedilebilir ısı transferi oranını etkiler, aynı zamanda buharlaşma oranını da etkiler. Şekil 2.6' da, AB durumundaki $(W_B - W_A)$ buharlaşma oranı, DB durumundakinden $(W_B - W_D)$ daha azdır. Çünkü gizli ısı transferi (kütle transferi) toplamın küçük bir kısmını gösterir [31].

Tipik tasarım durumundaki buharlaşma, her 6°C su sıcaklık aralığı için, su akış oranının yaklaşık % 1' dir; ama çalışan bölümün üzerindeki ortalama buharlaşma oranı,

tasarım oranından daha azdır. Çünkü toplam ısı transferinin hissedilebilir bileşeni giren hava sıcaklığı düştükçe artar.

Buharlaştırmadan kaynaklanan su kaybına ek olarak, boşalan havaya, sıvı taşınımından ve kalan su kalitesindeki düşmeden dolayı da kayıplar ortaya çıkar.

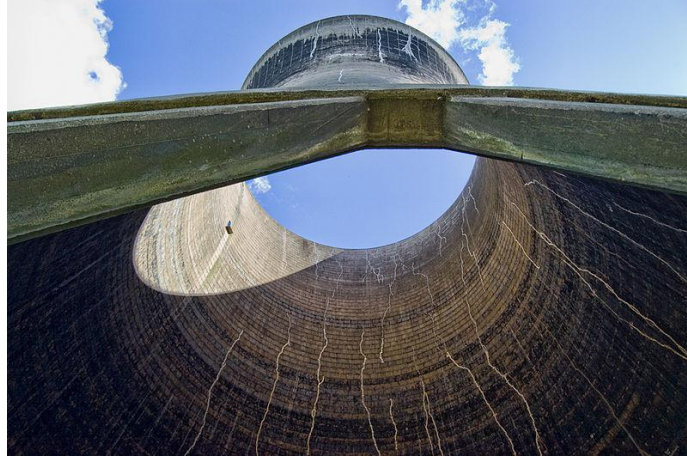
2.4. Soğutma Kulesi Türleri

2.4.1. Hava Akış Türüne Göre Soğutma Kuleleri

Hava akış türüne göre soğutma kuleleri 2 gruba ayrılır:

2.4.1.1. Doğal Taşınımlı Soğutma Kuleleri

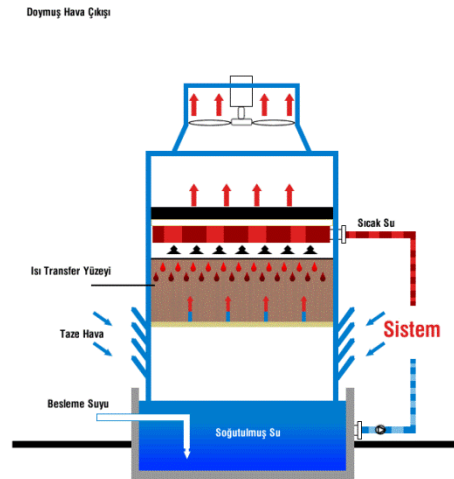
Bu tür kulelerde fan bulunmaz ve ısınan havanın yoğunluk farkı ile yükselmesi ile çalışır ve nozzle tipi baca şekli ile hava devir daimi sağlanır.



Şekil 2.7 Doğal Taşınımlı Soğutma Kuleleri [37]

2.4.1.2. Mekanik Taşınımlı Soğutma Kuleleri

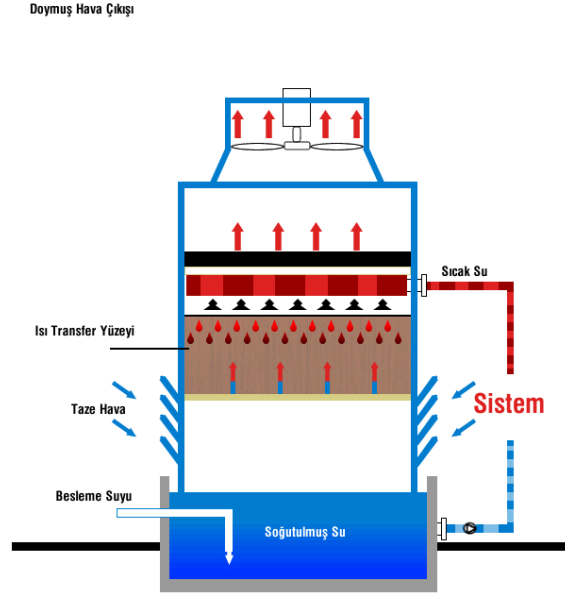
Bu tür kulelerde ısınan hava fan yardımı ile dışarı atılır. Soğutma oranı fanın çapı ve işletim hızına bağlı olarak değişir[36].



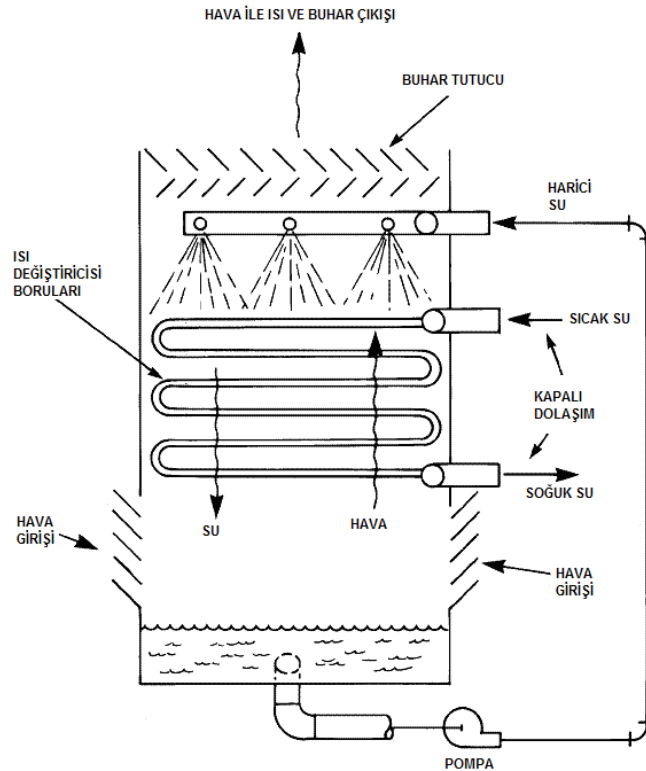
Şekil 2.8 Mekanik Taşınımlı Soğutma Kuleleri

2.4.2 Temas Şekillerine Göre Soğutma Kuleleri

2 temel buharlaştırıcı soğutma aracı tipi kullanılır. Bunlardan birincisi, doğrudan temas veya açık soğutma kulesi (Şekil 2.9)[36] suyu doğrudan soğutma atmosferine verir, böylece kaynak ısı yükünü doğrudan havaya transfer eder. 2.tip soğutma kulesi (Şekil 2.10) [31], genellikle kapalı devre soğutma kulesi olarak adlandırılır ve ısınan akışkan ve atmosfer arasındaki dolaylı teması içerir.



Şekil 2.9 Doğrudan Temaslı Soğutma Kulesi



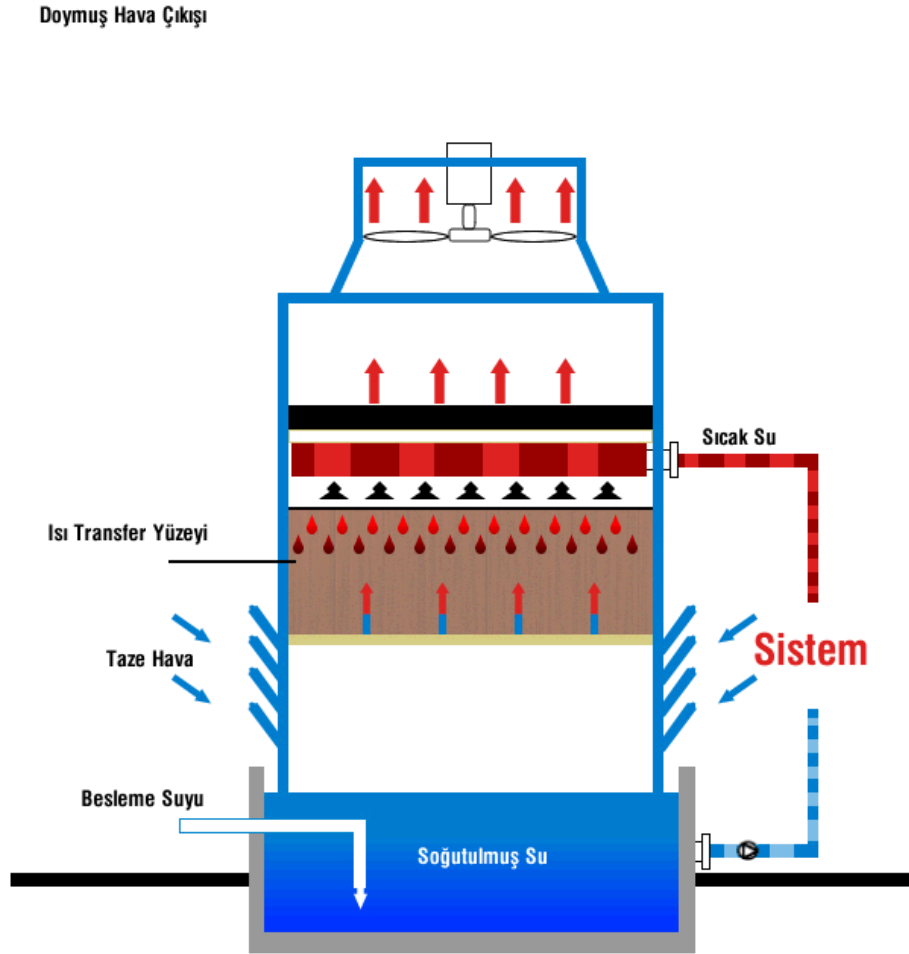
Şekil 2.10 Temas Olmayan Soğutma Kulesi

Doğrudan temas araçlarından en temeli, suyu herhangi bir ısı transfer aracı ya da dolumu olmadan havaya çıkararak sprey-dolu kulelerdir. Bu araçta havaya çıkarılan su yüzeyi miktarı, spreyleyinin etkinliğine bağlıdır ve temas zamanı su dağıtma sisteminin basıncına ve yükselmesine bağlıdır[31].

2.4.3 Havanın Akış Yönüne Göre Soğutma Kuleleri

2.4.3.1 Karşı Akışlı Soğutma Kuleleri

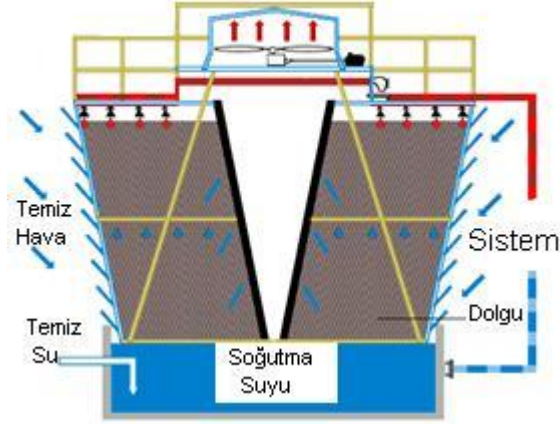
Bir karşı akım soğutma kulesinde, su aşağı doğru hareket ederken hava ise yukarı doğru hareket eder (Şekil 2.11) [36]. Bu tür soğutma kulelerinin bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Karşı akışlı soğutma kuleleri çapraz akışlı soğutma kulelerine göre daha az yer kaplar ama daha yüksek olurlar. Bu sebeple daha yüksek basma kapasiteli pompalara ihtiyaç duyarlar. Buna ek olarak yükselen hava alçalan suyla daha fazla temas ettiğinden daha fazla basınç kaybına uğrar. Buna rağmen artan kule yüksekliği daha uzun aralık ve daha kısa yaklaşım sağlar. Bunun sonucu olarak karşı akışlı kuleler daha iyi bir performans sergilerler.



Şekil 2.11 Karşı Akışlı Soğutma Kulesi

2.4.3.2 Çapraz Akışlı Soğutma Kuleleri

Bu tür soğutma kulelerinde su aşağıya doğru akarken hava dolgu boyunca yatay olarak hareket eder. Çapraz akışlı soğutma kuleleri Şekil 2.12' de [36] görüldüğü gibi daha fazla hava emme alanına sahiptir ve bu da daha düşük basınç kaybını ve düşük fan ihtiyacı sağlar.

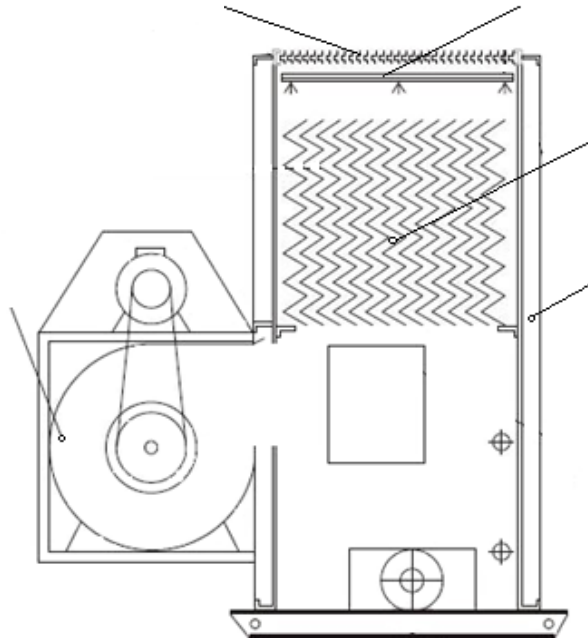


Şekil 2.12 Çapraz Akışlı Soğutma Kulesi

2.4.4. Fanın Bulunduğu Yere Göre Soğutma Kuleleri

2.4.4.1. Zorlanmış Tip Soğutma Kuleleri

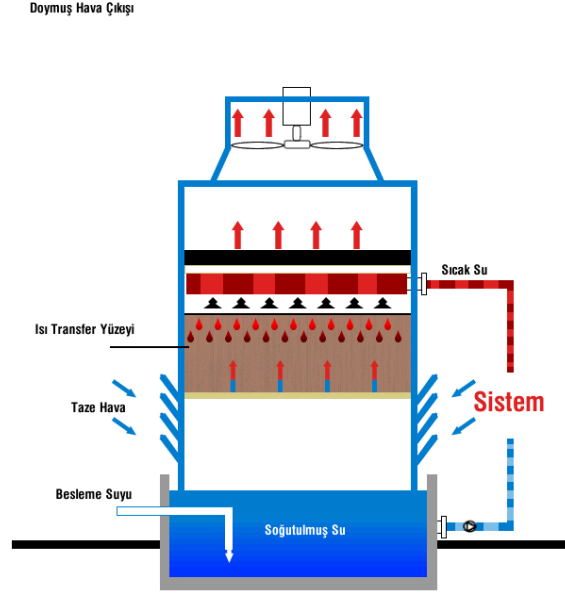
Bu tür soğutma kulelerinde Şekil 2.13'te [31] görüldüğü üzere fan kulenin alt kısmında bulunur ve dışarıdan havayı emerek içeri alır ve havayı yukarı doğru iter. Santrifüj fan nedeniyle daha yüksek hava direnci için uygundur. Ayrıca fan daha sessiz bir şekilde çalışır.



Şekil 2.13 Zorlanmış Tip Soğutma Kuleleri

2.4.4.2. Çekme Tip Soğutma Kuleleri

Bu tür kulelerde fan kulenin üst tarafında bulunur ve havayı içeriden alarak dışarı atar. Havanın içeride fazla dolaşım yapmadan dışarı atılmasını sağlar. Bunun nedeni ise hava çıkış hızının giriş hızından 3-4 kat daha fazla olmasıdır[36].



Şekil 2.14 Çekme Tip Soğutma Kuleleri [36]

2.5. Soğutma Kulesi Bileşenleri

Soğutma kulelerinde fan, fıskiye (lüle), buhar tutucu, dolgu malzemesi, su tankı, yedek su tankı olmak üzere ana 6 bileşen bulunmaktadır.

2.5.1.Fan

Fan dışarıdan alınan çevre havasını, lülelerden püskürtülen suyla temas ederek kulenin üst tarafından dış ortama verilmesini sağlayan parçadır. Kulenin alt tarafında ise dışarıdan havayı emerek kulenin üst kısmına doğru üfler. Bu tip fanlar yüksek hava direnci olan durumlarda kullanılır. Fan aynı zamanda kulenin üst tarafında da bulunabilir. Bu kulelerde fan dışarıdan havayı emerek kendine doğru çeker ve yine kulenin üst tarafından dışarı atar[31-34].

2.5.2.Fıskiye (Lüle)

Lüleler kulenin üst tarafında bulunur ve sistemden ısınarak gelen suyun temas yüzeyini artırmak için kulenin içinde bulunan dolgu malzemesinin üzerine püskürtür [31-34].



Şekil 2.15 Su Dağıtım Sistemi

2.5.3.Damla Tutucu

Hava dolgu malzemesinden geçerken suyla temas eder ve üzerine oldukça fazla nem alır. Nemli havanın sistemden bu şekilde atılması buharlaşmadan kaynaklanan oldukça fazla su kaybına neden olur. Bunu engellemek için dolgu malzemesinin üzerinde Şekil 2.16'da [34] görüldüğü gibi buhar tutucu bulunmaktadır. Damla Tutucu nemli havanın buharını alarak su kaybını azaltır ve bu sayede işletme maliyetinin artmasını engeller.



Şekil 2.16 Damla Tutucu [34]

2.5.4.Dolgu Malzemesi

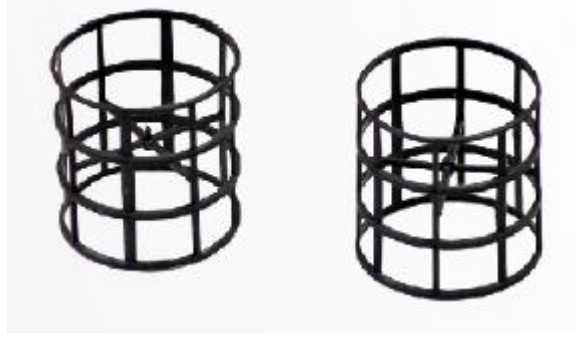
Soğutma Kuleleri sistemden ısınarak gelen suyun üzerindeki ısıyı dış ortamdaki emilen havaya vererek soğuması ilkesine bağlı olarak çalışır. Suyun kulede daha fazla kalması ve hava ile temas yüzeyinin fazla olması etkinliği artıracığından dolayı kulenin içinde dolgu malzemesi kullanılır[31-34]. Dolgu malzemeleri çok farklı yapı ve malzemedeki imal edilebileceği gibi yapılan araştırmalar PVC'den imal edilmiş olan dolgu malzemelerinin en etkin olduğunu göstermiştir. Bu nedenle günümüzde yapılan soğutma kulelerinde PVC dolgu malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Soğutma kulelerinde daha önceleri plastik bazlı dolgu malzemeleri kullanılmaktaydı. Fakat ısınması sonucu çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı sınırlamalar getirilmiştir.

Soğutma kulelerinde genel olarak 3 farklı tipte dolgu malzemesi kullanılmaktadır. Bunlar film akış tipi, sıçratmalı tip ve tel kafes (bigudi) tipi elemanlar olarak adlandırılabilir[34].

2.5.4.1. Polipropilen (Bigudi) Tipi

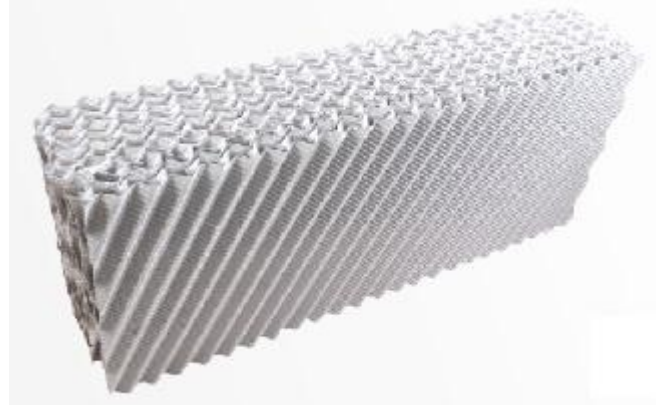
Orta kirli sularda, ortamın kirli ve tozlu olduğu, suyun kireçlenmeye eğimli olduğu sistemlerde kullanılır. Polipropilen malzemeden imal edilmiş bu dolgular 90°C'ye kadar dayanıklıdır. Kullanım ve temizlenmesi kolay olan bir dolgu malzemesidir [34].



Şekil 2.17 Bigudi Tipi Dolgu Malzemesi [34]

2.5.4.2. Film Tipi

Dolgu elemanı birden çok film tabakasının birleştirilmesinden oluşturulur. Bu elemanlarda su akışı, ince su filmi tabakaları halinde olmaktadır. Böylelikle su akışı ile hava akışı arasında maksimum ısı transferi alanı oluşturulması amaçlanır. Etkin ısı transfer katsayıları çok yüksek olup yanmama özellikleri bulunmaktadır. Bu elemanların hava akışına karşı olan direnç değerleri düşüktür. Örnek bir PVC malzemeden imal edilmiş film tipi dolgu malzemesi Şekil 2.18'de [34] gösterilmektedir.



Şekil 2.18 PVC Film Tipi [34]

2.5.4.3. Sıçratmalı Tip

Araları rahat geçişli çیتالardan oluşur. Sıçratmalı tip dolgu yağlı sularda, ortamın çok kirli ve tozlu olduğu, suya katı maddenin 100 ppm'den fazla olduğu, suyun kireçlenmeye eğimli olduğu sistemlerde tercih edilir. Polipropilen malzemeden imal edilmiş bu dolgular 90°C'ye kadar dayanıklıdır[34].



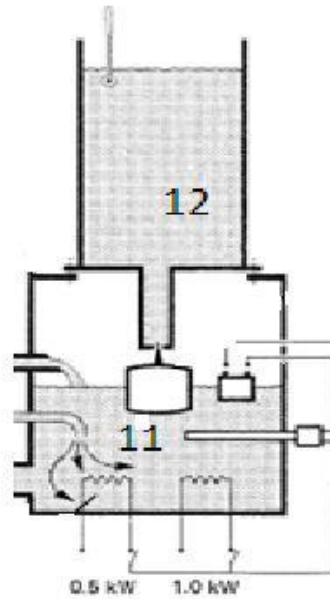
Şekil 2.19 Sıçratmalı Tip Dolgu Malzemesi [34]

2.5.4. Su Tankı

Soğutma Kulesinde sistemden gelen sıcak suyun fıskiyelerden çıkıp aşağıya doğru indikten sonra kulenin tabanında toplandığı tanktır. Soğuyan su bu tanktan tekrar sisteme doğru pompalanır [31-33].

2.5.5. Besleme Su Tankı

Soğutma kulelerinde suyun havayla temasında ısı transferi gerçekleşir. Bu transfer sırasında hava belli bir miktarda suyu üzerine alır ve kulenin üzerinde dış ortama verilir. Nemli hava dışarı atılması sistemde su kaybına neden olur. Bunu engellemek için kuleye damla tutucu eklenmesine rağmen su kaybı engellenemez. Bu sebeple sisteme kaybolan su miktarını eklemek için besleme su tankı bulunmaktadır. Bu sayede sistemde bulunan su miktarı her zaman dengeli bir seviyede tutulur[32].



Şekil 2.20 Besleme Su Tankı [32]

3. MATERYAL ve YÖNTEM

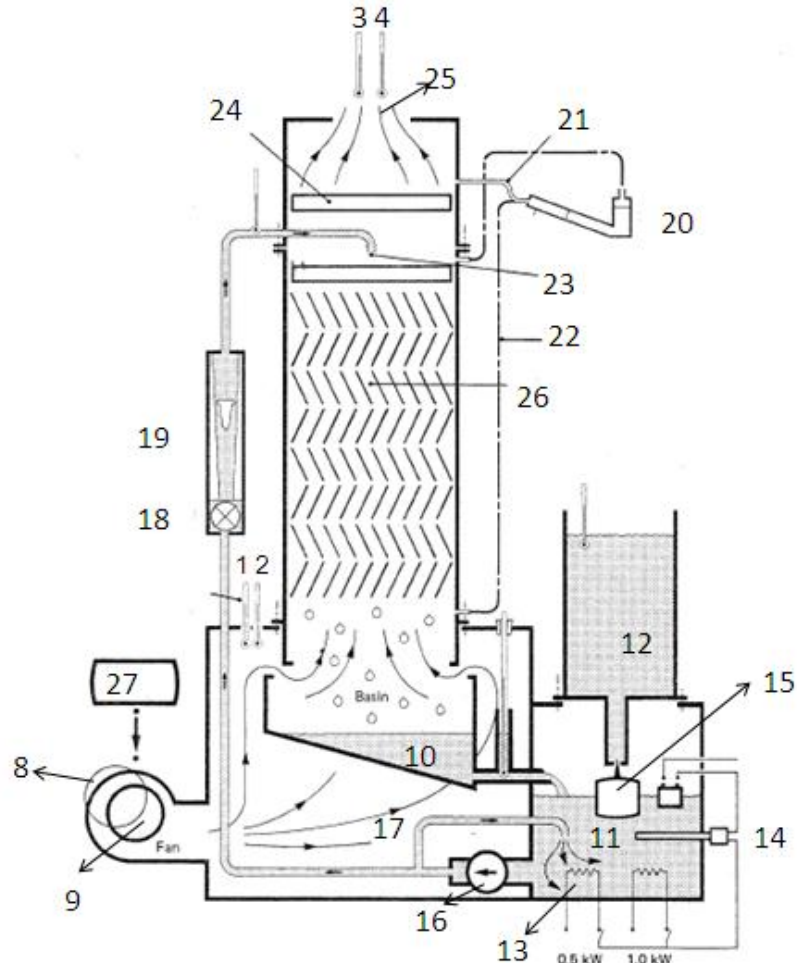
3.1. Kapsam ve İçerik

Soğutma Kulesinde amaç sistemden ısınarak gelen suyun hava ile temas ettirilerek soğutulmasını sağlamaktır. Suyun hava ile temas süresini ve yüzeyini artırmak için kulede dolgu malzemesi olarak adlandırılan malzemeler kullanılır.

Ters akımlı soğutma kulesinin performans analizi üzerine yapılan bu tez çalışmasında kulede farklı malzemelerden yapılmış üç değişik dolgu malzemesi kullanılarak sonuçların mukayesesi yapılmıştır. Bu amaçla yapılan olan deneysel çalışmalarda prototip bir soğutma kulesi kullanılmıştır.

3.2. Deney Teçhizatı

Bu deney çalışmasında Malatya İnönü Üniversitesi Meslek Yüksekokulu'nda bulunan P.A. HILTON Ltd. tarafından üretilmiş H890 model prototip bir soğutma kulesi kullanılmıştır. Soğutma kulesi deneyine ait deney tesisatı aşağıdaki Şekil 3.1' de [32] görülmektedir.



Şekil 3.1 Çalışma Model Kulesi

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Giren Hava Kuru Ter. Sıcaklığı | 15. Akış Vanası |
| 2. Giren Hava Yaş Ter. Sıcaklığı | 16. Pompa |
| 3. Çıkan Hava Kuru Ter. Sıcaklığı | 17. Sirkülasyon |
| 4. Çıkan Hava Yaş Ter. Sıcaklığı | 18. Akış Kontrol Vanası |
| 5. Giren Su Sıcaklığı | 19. Debi ölçer |
| 6. Çıkan Su Sıcaklığı | 20. Eğik manometre |
| 7. Fan | 21. Orifis Diferansiyel Basınç |
| 8. Damper | 22. Dolgu Basınç Düşüşü |
| 9. Hava Dağıtma Odası | 23. Su Dağıtıcı |
| 10. Su Tankı | 24. Damla Engelleyici |
| 11. Yükleme Tankı | 25. Orifis |
| 12. Besleme Tankı | 26. Dolgu |
| 13. Su Isıtıcı (0.5-1.0 kW kapasiteli) | 27. Hava Isıtıcı |
| 14. Termostat | |

Kullanılan H890 model soğutma kulesi hava ve suyu ait giriş debilerini ve sıcaklıklarını değiştirmemize imkân sağlamaktadır. Şekil 3.1’de de görüldüğü üzere akış kontrol vanası kullanılarak su debisi 0 ile 50 g/s arasında istenilen değere ayarlanabilmektedir. Isıtıcı sistemi kullanarak ise 0.5, 1.0 ve 1.5 kW’lık bir soğutma yükü oluşturulabilmektedir. Fakat üzerinde bulunan termostat sayesinde su sıcaklığı hiçbir zaman 50°C’ nin üzerine çıkmamaktadır. Fan yardımıyla hava kuleden yukarıya doğru üflenir ve damper kullanılarak sisteme istenilen debide hava sisteme üflenebilmektedir. Hava ısıtıcı ile 0, 0.5 ve 1.0 kW lık güç ile hava ısıtılabilir [32].

Prototip soğutma kulesinin ölçüleri 150 x 150 x 600 mm olup dolgu malzemesi ahşap bazlı bir malzemeden üretilmiştir. Dolgu 10 parçalı 8 kat malzeme kullanılarak hazırlanmış ve tüm parçalar belli bir açı ile yerleştirilmiştir. Bu sayede suyun hava ile daha uzun süre teması sağlanmış ve ısı transfer oranı artırılmıştır. Bu deney çalışmasında mevcut dolgu malzemesi galvanizli sac malzeme ve alüminyum ile değiştirilecek olup yapılacak deneysel çalışmalarla alınan değerler karşılaştırılacak ve hangi malzemenin daha etkin bir tasarım olduğu tespit edilecektir [32].

Kulenin üst tarafına çıkan su buharı miktarını azaltmak üzere damla engelleyici yerleştirilmiştir. Bu şekilde kuleden buharlaşma yoluyla kaybolan su miktarı azaltılacak ve işletme maliyeti düşürülecektir.

3.3. Deney Teçhizatı ile İlgili Bilgiler

3.3.1. Orifis Sabiti: $\dot{m}_a = 0.0137 * \frac{x}{V_B} = 0.0137 * \frac{x}{(1+w_B)V_{aB}}$ [32] (3.1)

\dot{m}_a = Kuru Hava Kütlesel Debi (kg/s)

x = Orifis Diferansiyel Basınç Farkı (mm SS)

V_B = Kuleden çıkan hava-su buharı karışımının özgül hacmi ($m^3 kg^{-1}$)

V_{aB} = Kuleden çıkan kuru havanın özgül hacmi ($m^3 kg^{-1}$)

3.3.2. Pompanın Gücü: 0.1 kW

3.3.3. Sistemin Su Kapasitesi: 3.8 litre (Besleme Tankı dahil)

3.3.4. Kulenin Ölçüleri: 150mm x 150mm x 600 mm

3.3.5. Dolgu Bilgileri: Kuledeki dolgu malzemesine ait bilgiler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Dolgu Malzemesi Bilgileri

	Orjinal Malzeme	Metal Malzeme	Alüminyum
Sıra Sayısı	8	8	8
Sıradaki Plaka Sayısı	10	10	10
Dolgu Toplam Alanı m^2	1.19	1.19	1.19
Dolgu Yüksekliği m	0.48	0.48	0.48
Dolgu Yoğunluğu Alan/Hacim m^{-1}	110	110	110

3.3.6. Sabitler ve İletim Faktörleri:

Suyun Özgül Isı Kapasitesi (c_{pw}) = 4.18 kJ $kg^{-1} K^{-1}$

Havanın Özgül Isı Kapasitesi (c_{pa}) = 1.005 kJ $kg^{-1} K^{-1}$

1 bar = $10^5 Nm^{-2}$ = 100 k Nm^{-2}

1 kW = 3412 Btu h^{-1}

Hava için $R = 0.2871 kg(k mole)^{-1}$

Su(SS) için $M = 18 kg(k mole)^{-1}$

Evrensel Gaz Sabiti (R_o) = 8.3143 kJ(k mole) $^{-1} K^{-1}$

3.4. Deneysel Çalışmalar

3.4.1. Deney Çalışma Prosedürü ve Veri Toplama

Bu deney çalışmasında amaç farklı dolgu malzemeleri kullanılarak, hava ve suyun farklı debi ve sıcaklıklarında kulenin performans analizini yapmaktır. Bu amaçla:

- Giren havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları
- Çıkan havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları
- Giren suyun ve çıkan suyun sıcaklıkları
- Hava debisi
- Su debisi (debi ölçer kullanılarak)
- Dolgu malzemesindeki basınç düşüşü

verileri toplanmış olup, karşılaştırma yapılmıştır.

Deney çalışmasında veriler her 5 dakikada bir olmak üzere toplam 3 veri alınmış olup, bütün verileri alana kadar geçen süre içerisinde değerlerde ihmal edilebilecek ölçülerde değişimler meydana gelmiştir. 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasında sistem dengeye ulaştığından dolayı değerlerde ufak değişiklikler meydana geldiğinden daha fazla ölçüm yapılmasına gerek duyulmamıştır.

Soğutma kulesinden buharlaşma yoluyla kaybolan su miktarı besleme tankından yapılan ölçümle hesaplanmaktadır. Çünkü besleme tankının altında bulunan su kontrol vanası şamandıra gibi çalışarak sisteme eksilen miktar kadar su eklenmesini sağlamaktadır.

Alınan tüm veriler Microsoft EXCEL programına alınmış olup bu program aracılığıyla karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır.

Soğutma kulesi orjinal dolgu (odunsu) malzemesi kullanılarak değişkenleri ayrı ayrı olarak 3 farklı değerde toplam 81 adet deney yapılmıştır. Bu deneylerin etkinlikleri kıyaslanarak en etkin 30 deney seçilmiştir. Seçilen bu deneylerde değişkenlerin deneyleri sac ve alüminyum dolgu malzemesi kullanılarak tekrar yapılmış ve 3 malzeme arasında oluşan farklılıklar analiz edilmiştir.

3.4.2. Hesaplama Yöntemleri

Soğutma kulesi analizlerinde kullanılan yöntemleri ilk olarak MERKEL(1925) yapmıştır. Fakat Merkel'in yaklaşımı oldukça basit ve hesaplanan verilerde sadece yakın değerler vermektedir. Çünkü Merkel analizleri yaparken birkaç tane yaklaşım kabulleri yapmaktaydı [1,2,21].

Bu yaklaşım kabulleri:

- Lewis Sayısı (Nemli havada ısı ve kütle transferi oranı) sabit ve 1'e eşittir. Lewis Sayısı:

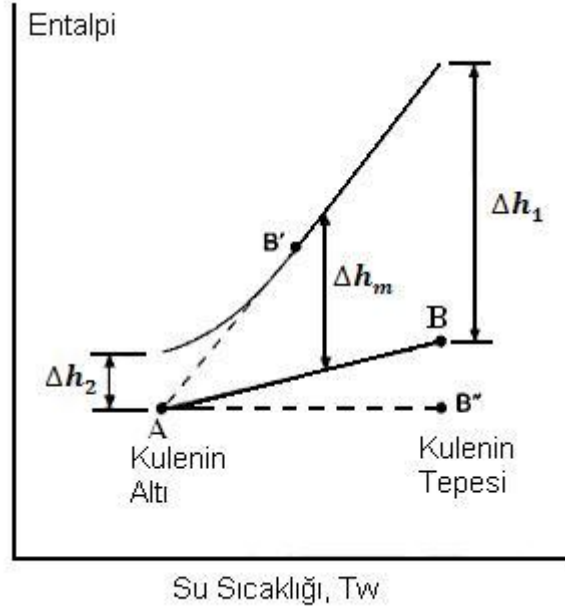
$$L_e = \frac{\alpha_a}{D_a} [22,31] \quad (3.2)$$

(α_a ve D_a nemli havanın ısı ve kütle yayılım katsayısı)

- Sıvı film tabakasındaki ısı ve kütle transfer direnci ihmal edilecektir.
- Kulenin kesit alanının her yerinde suyun kütledebisi sabit olup, bu buharlaşmayla su kaybının olmadığı anlamına gelir.
- Su buharı-hava karışımının özgül ısı sabit basınçta kuru havaninkiyle aynıdır.
- Isı ve kütle transferi akışa normal yöndedir.
- Duvarlardan çevreye ısı ve kütle debisi ihmal edilecektir.
- Kulenin fanından hava ve suya yapılan ısı transferi ihmal edilecektir.
- Kulenin kesit alanı sabittir.

3.4.2.1. Entalpi Farkı Metodu

Soğutma kulesinde çıkan havanın nemini tam olarak bilmek oldukça zordur. Bu nedenle kulenin performansını farklı bir metot olan entalpi farkı metodu ile çözmek gerekir. Şekil 3.2' de [31] soğutma kulesinden geçen nemli havanın entalpi farkı grafiği görülmektedir.



Şekil 3.2 Ortalama Entalpi Farkı Grafiği

Soğutma kulesinde su sıcaklığında (T_w) kızgın havanın ince bir film tabakası bulunmaktadır. Bu havanın entalpisi ($h_{a,w}$) dış ortamdaki havanın entalpisinden (h_a) daha büyüktür.

Δh_1 ve Δh_2 arasındaki entalpi farkı Şekil 3.2' de gösterilmiş olup aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\Delta h_1 = h_{a,wi} - h_{a,o} \quad [31] \quad (3.2)$$

$$\Delta h_2 = h_{a,wo} - h_{a,i} \quad [31] \quad (3.3)$$

$h_{a,o}$ ve $h_{a,i}$ giren ve çıkan havanın entalpisi, $h_{a,wi}$ giriş su sıcaklığındaki ($T_{w,i}$) havanın entalpisi ve $h_{a,wo}$ çıkış su sıcaklığındaki ($T_{w,o}$) havanın entalpisi.

Δh_1 ve Δh_2 entalpilerini kullanarak logaritmik ortalama entalpi farkı (Δh_m) aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\Delta h_m = \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{\ln \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2}} \quad [31] \quad (3.4)$$

Havanın entalpi farkı ise denklem 3.5 ile hesaplanır:

$$\Delta h_a = \Delta h_{a,o} - \Delta h_{a,i} \quad [31] \quad (3.5)$$

Sistemde kullanılmak üzere bir soğutma kulesi seçerken kapasite, temin, fiyat ve etkinlik gibi birçok faktörü göz önünde bulundurmak gerekir. Bir soğutma kulesinin etkinliği:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad [31] \quad (3.6)$$

Isı transfer gücü (\dot{Q}) aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_{a,o} - h_{a,i}) \quad [31] \quad (3.7)$$

Teorik olarak hava kuleden giriş suyu sıcaklığında ayrıldığında olabilecek olan maksimum ısı transfer gücü \dot{Q}_{max} gerçekleşir. Buradan \dot{Q}_{max} aşağıdaki (3.8) formülü kullanılarak güncellenebilir:

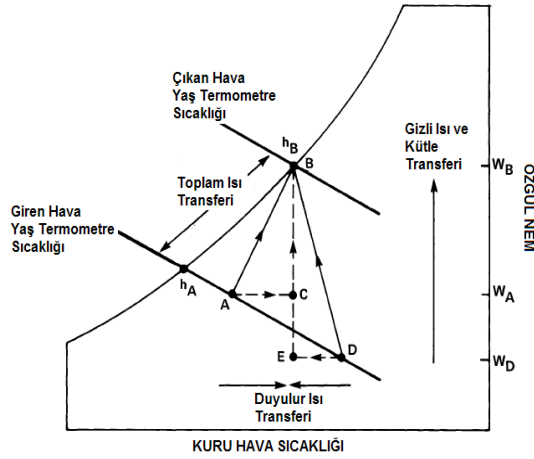
$$\dot{Q}_{max} = \dot{m}_a (h_{a,wi} - h_{a,i}) \quad [31] \quad (3.8)$$

Denklem 3.6'te yazılan denklemde 3.7 ve 3.8 denklemlerinden elde edilenlerle sadeleştirme yapılırsa etkinlik (ε) için aşağıdaki formül elde edilir:

$$\varepsilon = \frac{h_{a,o} - h_{a,i}}{h_{a,wi} - h_{a,i}} \quad [1,2,10,28,30,31] \quad (3.9)$$

3.4.2.2. Psikrometrik Analiz

Şekil 3.3' te [31], soğutma kulesine A ve D ile gösterilen iki farklı konumda giren havaya ait ısı ve kütle transferleri görülmektedir. Suyun buharlaşması nedeniyle oluşan gizli ve duyulur ısı geçişlerinin toplamı, toplam soğutma gücünü verir. A ve D noktaları havanın soğutma kulesine girdiği özellikteki durumları göstermektedir. Isının transfer edilmesinden ve suyun buharlaşmasından sonra hava kuleden B noktasında gösterilen özellikleriyle ayrılır[31].



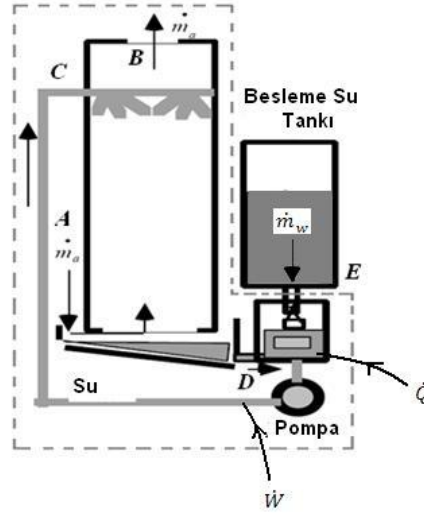
Şekil 3.3 Soğutma Kulesinde Isı ve Kütle Transferi

Toplam ısı transferi havanın kuleye girerken ve kuleden ayrılırken sahip olduğu entalpi ($h_{a,o} - h_{a,i}$) değerleri arasındaki farkın hesaplanmasıyla bulunur[31].

Şekil 3.3' te [31] görülen AC çizgisi duyulur ısıyı, CB çizgisi ise buharlaşma yoluyla meydana gelen gizli ısıyı göstermektedir. Eğer hava soğutma kulesine D noktasındaki özelliklerle girse ED çizgisi duyulur ısıyı, EB çizgisi ise kütle yoluyla transfer edilen gizli ısıyı ifade edecekti. Bu kapsamda hava suyu öncelikle duyulur şekilde ısıtacak ve daha sonra suyun buharlaşmasıyla gerçekleşen kütle transferiyle daha fazla ısı vererek soğuyacaktır.

3.4.2.3. Termodinamik Analiz

Soğutma Kulesinde termodinamik analiz yapılırken “Kütle ve Enerji Korunumu” olarak bilinen Termodinamiğin 1. Kanunu’ndan yararlanılmaktadır. Bu kanun kapsamında kütle ve enerji hiçbir şekilde yok olmaz, yoktan var edilemez sadece başka formlara dönüşür. Kütle ve Enerji Dengesi Şekil 3.4' te [32] görüldüğü üzere soğutma kulesinde alınan basit bir kontrol hacmi ile hesaplanabilir.



Şekil 3.4 Soğutma Kulesi Kontrol Hacmi

Isı kule içerisinde transfer edilir. Bu transferin bir kısmı sudan havaya, bir kısmı ise çevreye olur. Soğutma kulesinde iş (W) pompa tarafından yapılır. Dış ortamdan alınan hava soğutma kulesine A noktasından girer ve kule besleme suyu ise E noktasında girer. Besleme tankından kuleye giren su miktarı teorik olarak kuleden buharlaşma yoluyla dışarı giden su miktarına eşit olur.

Sabit durum altında kütle korunumu yasası gereğince kuleye giren hava ve su buharının kütleli debisi kule giriş ve çıkışında sabit olmalıdır. Bu sebeple sabit koşullarda;

Kütle Dengesi:

$$(\dot{m}_a)_A = (\dot{m}_a)_B = (\dot{m}_a) \quad [31] \quad (3.10)$$

Ayrıca,

$$(\dot{m}_v)_B = (\dot{m}_v)_A = (\dot{m}_w)_E \quad [31] \quad (3.11)$$

(a, v, w sırasıyla hava, buhar ve suyu ifade etmektedir.)

Kuru havanın (\dot{m}_a) kütleli debisi tüm soğutma kulesi boyunca sabit olup nemli havanın kütleli debisi ise buharlaşan su oranına bağlı olarak artış göstermektedir. Buharın hava oranı (ω) psikrometrik diyagramda başlangıç ve sonuç noktası olarak bilinir.

$$\omega_B - \omega_A = \frac{\dot{m}_{w,E}}{\dot{m}_a} \quad [31] \quad (3.12)$$

Ayrıca Termodinamiğin 1. Kanunu doğrultusunda su tarafından ortama verilen ısı ortam havası tarafından emilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda;

Enerji Dengesi:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{H}_{Çıkış} - \dot{H}_{Giriş} \quad [31] \quad (3.13)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = [(h_a + xh_v)_B - (h_a + xh_v)_A] - \dot{m}_w h_{w,E} \quad [31] \quad (3.14)$$

(Pompanın yaptığı iş (\dot{W}) – işaretlidir çünkü yapılan iş sisteme girer.)

Eğer havanın entalpisi buharın entalpisini içeriyorsa bu miktar kuru havanın birim kütlesi için ifade edilir ve denklem 3.13 aşağıdaki şekilde tekrar düzenlenebilir:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}_a (h_B - h_A) - \dot{m}_w h_{w,E} \quad [31] \quad (3.15)$$

Denklem 3.14'te geçen $\dot{m}_w h_{w,E}$ terim diğerleriyle karşılaştırıldığında oldukça küçük bir ifade olup genellikle ihmal edilir.

Psikrometrik Diyagramda verilen özgül hacim değerleri belirtilen toplam basınçta 1 kg kuru hava içindir. Bununla birlikte 1 kg kuru havaya ek olarak x kg su buharı toplanarak 1 + x kg toplam kütle hesaplanır.

Buradan kuru hava ve su buharının özgül hacmi $\frac{\omega_a}{1+x}$ [31] olarak bulunur.

Orifisten dışarı çıkan havanın kütleli debisi:

$$\dot{m} = 0.0137^* \sqrt{\frac{\Delta P'}{\omega_B}} \quad [31] \quad (3.16)$$

(v_B gerçek özgül hacimdir.)

Kuru havanın kütleli debisi = (1/1+x) * kuru hava ve su buharının kütleli debisi

$$\dot{m}_a = (1/1+x) * 0.0137^* \sqrt{\frac{\Delta P' (1+x_B)}{v_B}} \quad [31] \quad (3.17)$$

Basınç farkı ($\Delta P'$) eğik bir manometre ile ölçülür ve havanın kütleli debisi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\dot{m}_a = 0.0137^* \sqrt{\frac{\Delta P'}{\omega_{aB}(1+\omega_B)}} \quad [31] \quad (3.18)$$

Burada $\Delta P'$ atmosfer ile hava arasındaki basınç farkı olup ω_{aB} ise kuleden çıkan hava su karışımının özgül hacmidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Deney Sonuçları

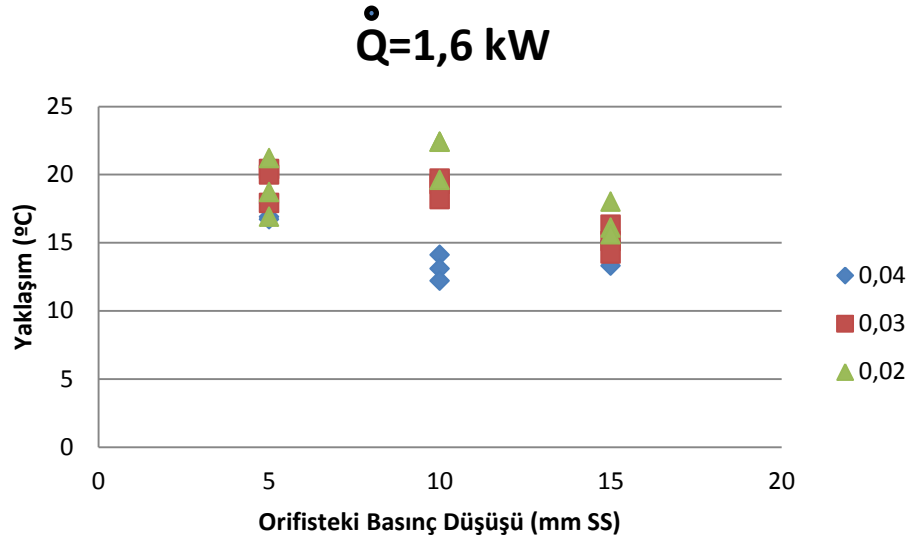
4.1.1 Orijinal Malzeme

Bu deney çalışmasında 4 farklı değişkenin soğutma kulesi performansına olan etkisi incelendi. Bu değişkenler hava ve suyun sıcaklıkları ve debileridir. Yapılan deneylerde her değişken için 3 farklı değer alınarak diğer değişkenlerin sabit tutulduğu toplam 81 adet deney yapılmıştır.

Suyun debisi olarak 20, 30 ve 40 g/s, suyun giriş sıcaklığını değiştirmek üzere 0.5, 1 ve 1.5 kW değerleri test edilmiştir. Hava debisi için ise 5,10 ve 15 mm SS orifis basıncı olacak şekilde damper ayarlanmıştır. Hava sıcaklığı için ise 0, 0.5 ve 1 kW ısı üretecek ısıtma sistemi kullanılmıştır.

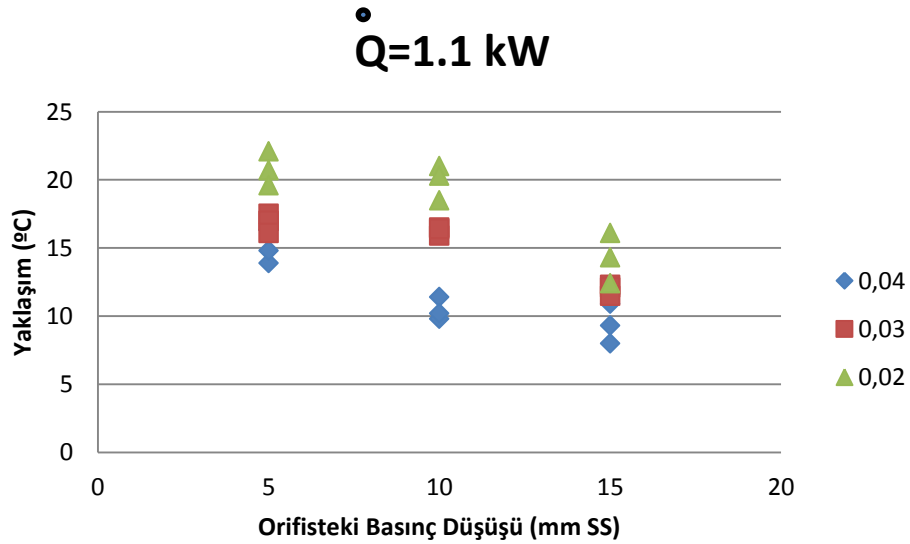
Çizelge 4.1 ($\dot{Q}=1.6$ kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Yaklaşımı Deney Sonuçları

Yaklaşım (°C)	Orifis Basınç Farkı (mm SS)	Su Debisi (kg/s)
16.9	5	0.04
17.9	5	0.04
16.7	5	0.04
14.1	10	0.04
13.1	10	0.04
12.2	10	0.04
15.1	15	0.04
15.1	15	0.04
13.3	15	0.04
20.4	5	0.03
20	5	0.03
17.9	5	0.03
19.3	10	0.03
19.7	10	0.03
18.2	10	0.03
16.3	15	0.03
15.1	15	0.03
14.2	15	0.03
21.2	5	0.02
18.7	5	0.02
16.9	5	0.02
22.4	10	0.02
22.4	10	0.02
19.6	10	0.02
18	15	0.02
16.1	15	0.02
15.6	15	0.02

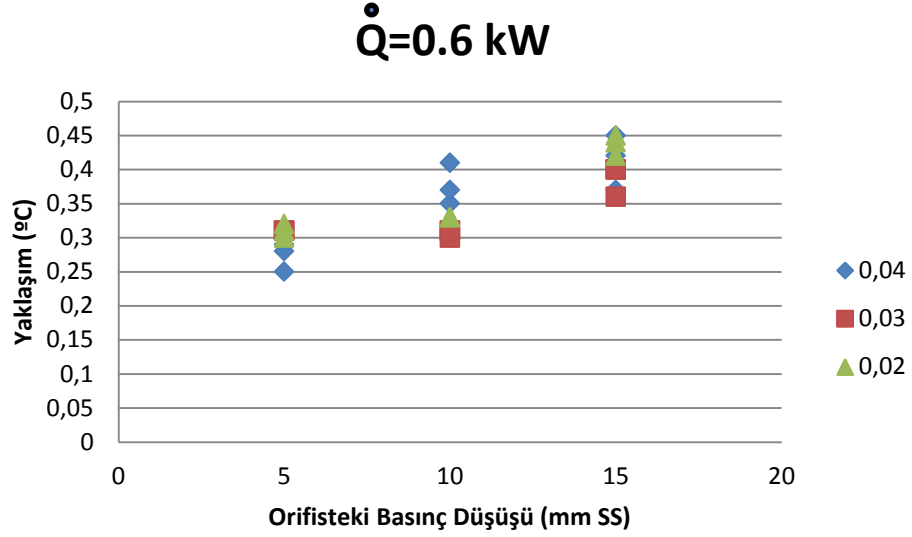


Şekil 4.1 ($\dot{Q}=1.6$ kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı

Şekil 4.1’ de görüldüğü üzere su 1.6 kW enerjiyle ısıtılıyor ve 0.04, 0.03 ve 0.02 kg/s su debilerinde ve orifiste gerçekleşen farklı basınç kayıplarında su çıkış sıcaklıklarının giren havanın yaş termometre sıcaklığına yaklaşma miktarları incelenmiştir. Tablodan anlaşılacağı üzere su debisi arttıkça yaklaşım miktarı azalmaktadır. Genel olarak soğutma kulesi en iyi yaklaşımı hava ve su debilerinin birlikte arttığı ve maksimum seviyeye geldiği noktada gerçekleştirmektedir.

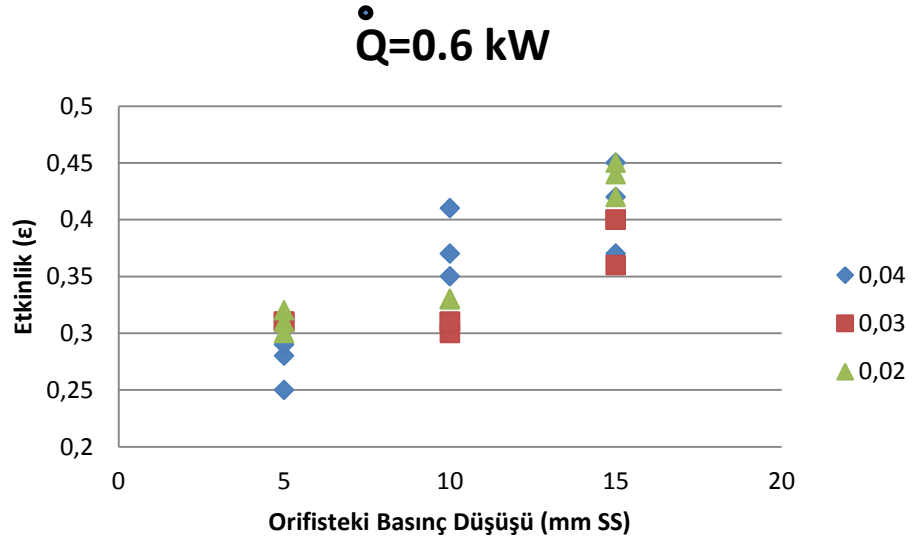


Şekil 4.2 ($\dot{Q}=1.1$ kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı



Şekil 4.3 ($\dot{Q}=0.6$ kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı

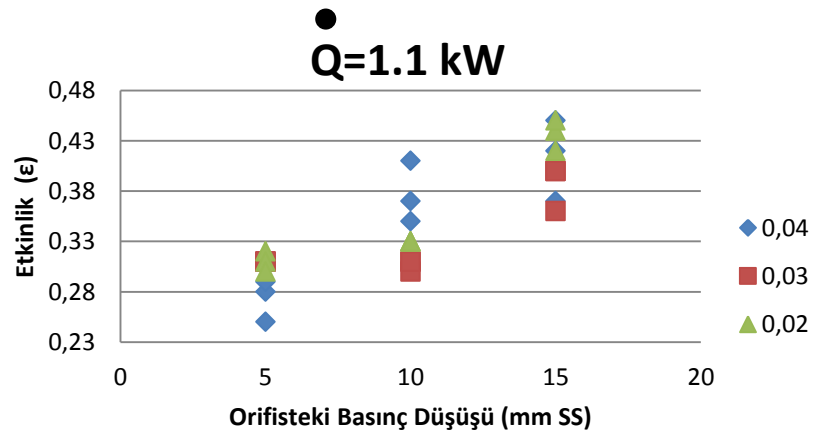
Yukarıdaki tablolarda görüldüğü üzere sabit su ısıtma miktarında hava debisi arttıkça suyun çıkış sıcaklığı giren havanın yaş termometre sıcaklığına daha fazla yaklaşmaktadır. Bu durumda soğutma kulesinin etkinliğini artırmak için kuleye giren havanın debisini artırılabilir. Bu durum kule tasarımında seçilecek olan fanın tespit edilmesinde dikkate alınmalıdır.



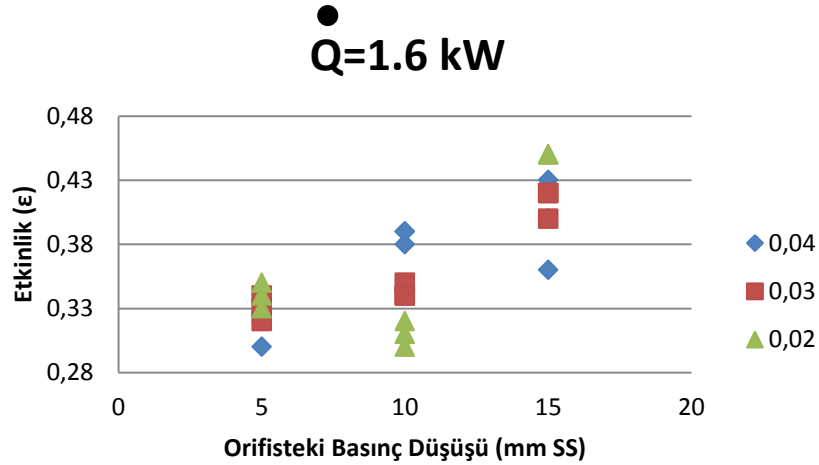
Şekil 4.4 ($\dot{Q}=0.6$ kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki

Çizelge 4.2 ($\dot{Q}=1.1$ kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki

\dot{Q} (W)	Etkinlik	Orifis Basınç Farkı (mm SS)	Su Debisi (kg/s)
1.1	0.25	5	0.04
1.1	0.28	5	0.04
1.1	0.29	5	0.04
1.1	0.35	10	0.04
1.1	0.41	10	0.04
1.1	0.37	10	0.04
1.1	0.37	15	0.04
1.1	0.42	15	0.04
1.1	0.45	15	0.04
1.1	0.31	5	0.03
1.1	0.31	5	0.03
1.1	0.31	5	0.03
1.1	0.3	10	0.03
1.1	0.31	10	0.03
1.1	0.31	10	0.03
1.1	0.36	15	0.03
1.1	0.4	15	0.03
1.1	0.4	15	0.03
1.1	0.32	5	0.02
1.1	0.31	5	0.02
1.1	0.3	5	0.02
1.1	0.33	10	0.02
1.1	0.33	10	0.02
1.1	0.33	10	0.02
1.1	0.42	15	0.02
1.1	0.44	15	0.02
1.1	0.45	15	0.02

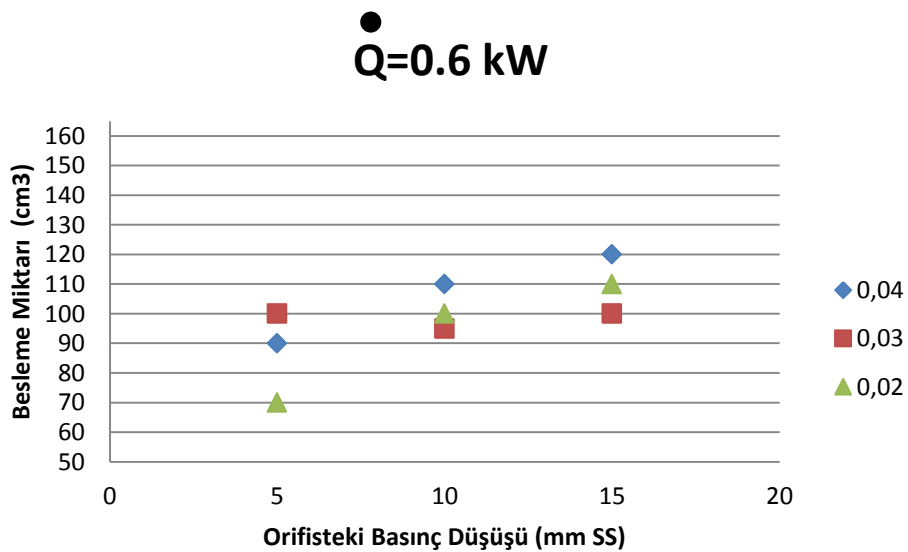


Şekil 4.5 ($\dot{Q}=1.1$ kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki

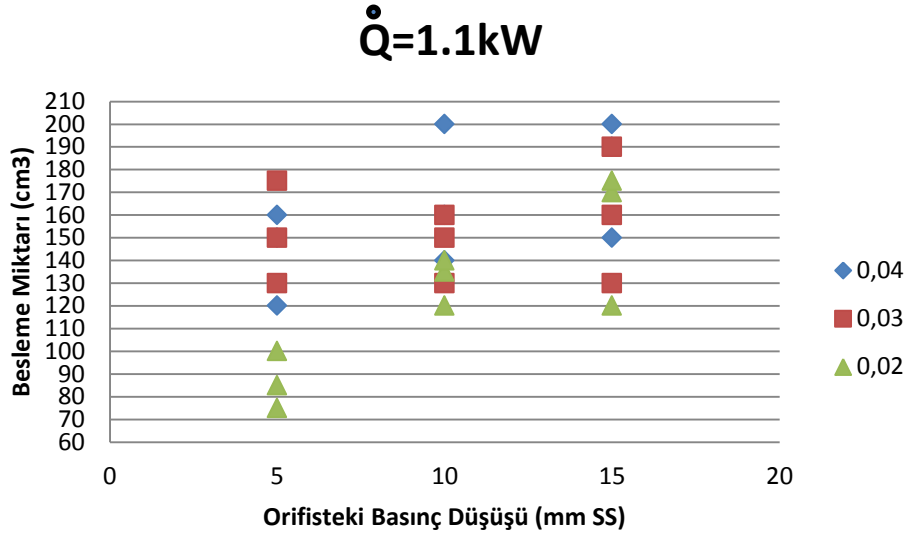


Şekil 4.6 ($\dot{Q}=1.6$ kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki

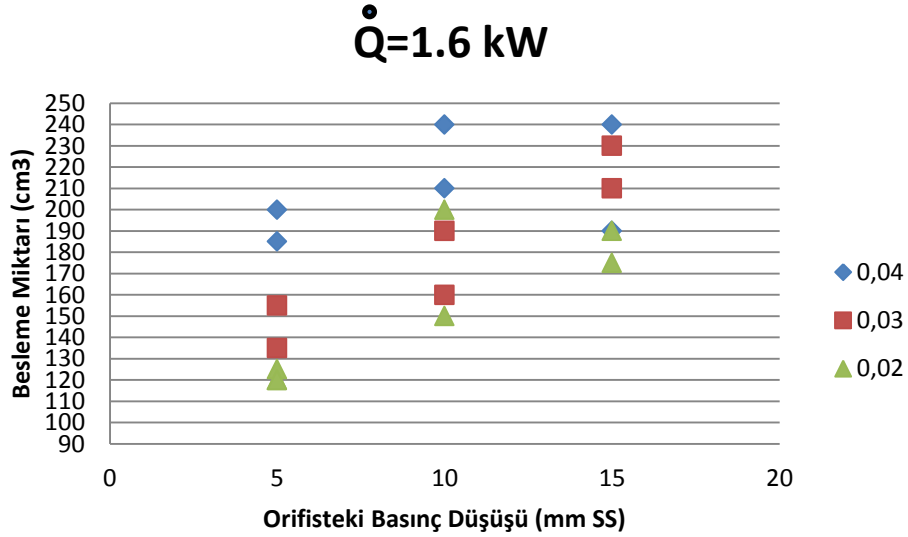
Yukarıdaki 3 şekilde görüldüğü gibi su ve hava debileri soğutma kulelerinin etkinliklerine ters orantılı olarak etki etmektedir. Yani sabit su ısıtma miktarında su debisi artarken hava debisi azalıyorsa kulenin etkinliğinde önemli bir değişiklik meydana gelmemektedir. En etkin durum su debisinin az, hava debisinin fazla olduğu durumdur. En düşük etkin durum ise bunun tam tersi olduğu durumdur. Örneğin 1,6 kW'lık su ısıtma durumunda, damperin tam olarak açık bulunduğu durumda (yani orifisteki basınç düşüşünün 15 mm SS olduğu durum) ve su debisinin 0,02 kg/s olduğunda kule etkinliği 0,45 olarak ölçülmüştür. Diğer bir deneyde ise yine su ısıtma miktarı 1,6 kW olduğunda, damperin yaklaşık olarak 1/3'lük kısmı açık olduğunda (yani orifisteki basınç düşüşünün 5 mm SS olduğu durum) ve su debisinin 0,04 kg/s olduğunda kule etkinliği 0,3 değerine düşmüştür.



Şekil 4.7 Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı ($\dot{Q}=0.6$ kW)



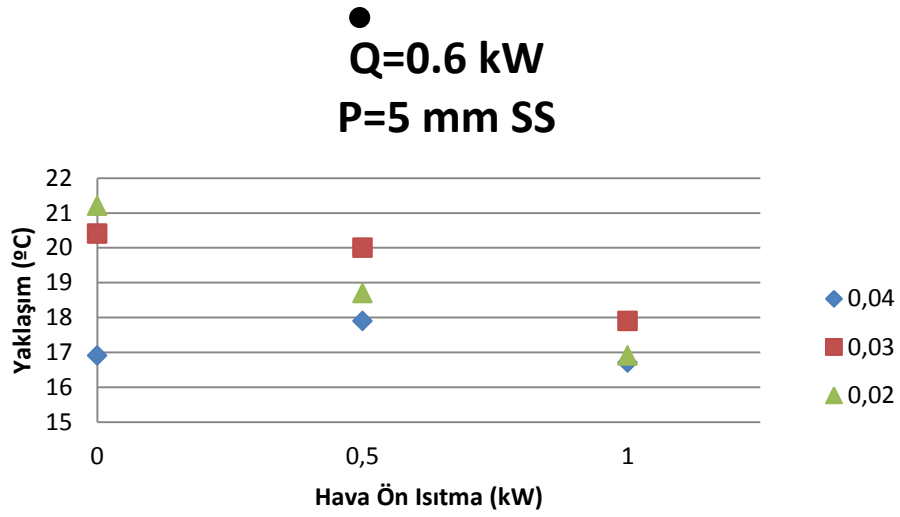
Şekil 4.8 Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı ($\dot{Q}=1.1\text{ kW}$)



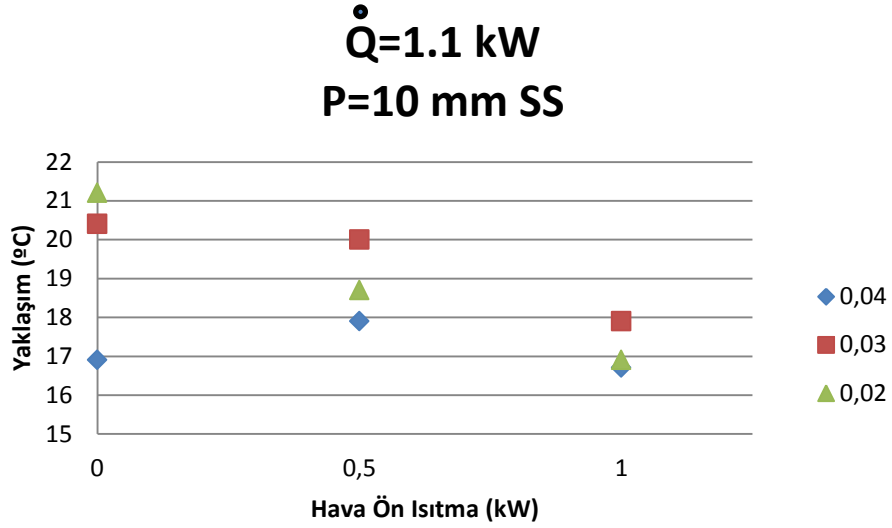
Şekil 4.9 Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı ($\dot{Q}=1.6\text{ kW}$)

Yukarıdaki şekillerde de görüldüğü üzere değişkenlerden diğer 2'si (su ısıtma miktarı, su debisi) sabit tutularak yapılan deneylerde hava debisi arttıkça besleme miktarı artmaktadır. Bunun sebebi birim zamanda su ile temas eden hava miktarı artmakta ve daha fazla miktarda suyun buharlaşarak kaybolmasında neden olmasıdır. Diğer değişken olan havanın ısıtılması da havanın ön ısıtmadan geçerek soğutma kulesine girdiği durumdur. Bu durumda hava üzerine daha fazla su buharı alabildiği için buharlaşma yoluyla kaybolan su miktarı artmıştır.

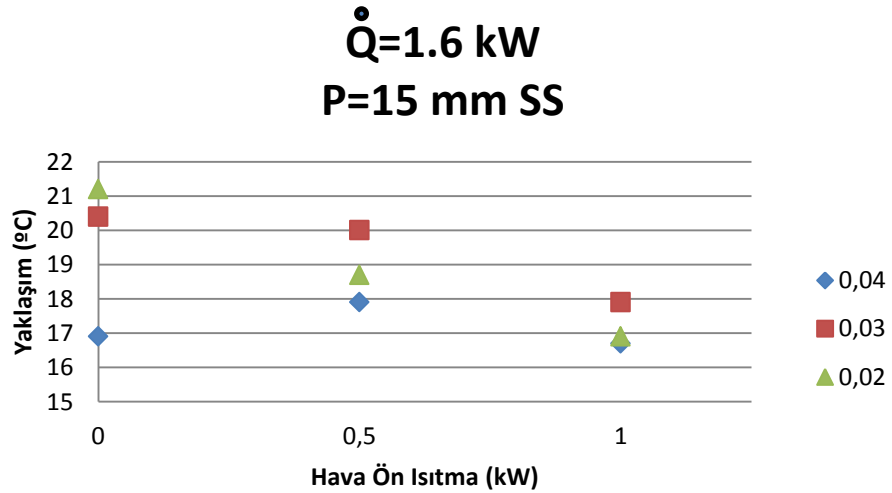
Buharlaşma yoluyla kaybedilen su miktarı işletme maliyetlerini artıracığı için tasarımda önemli bir etkenidir. Bu nedenle soğutma kulesinin tasarımında ve uygulanacak olan mekâna göre seçiminde dikkat edilecek hususlardan biridir.



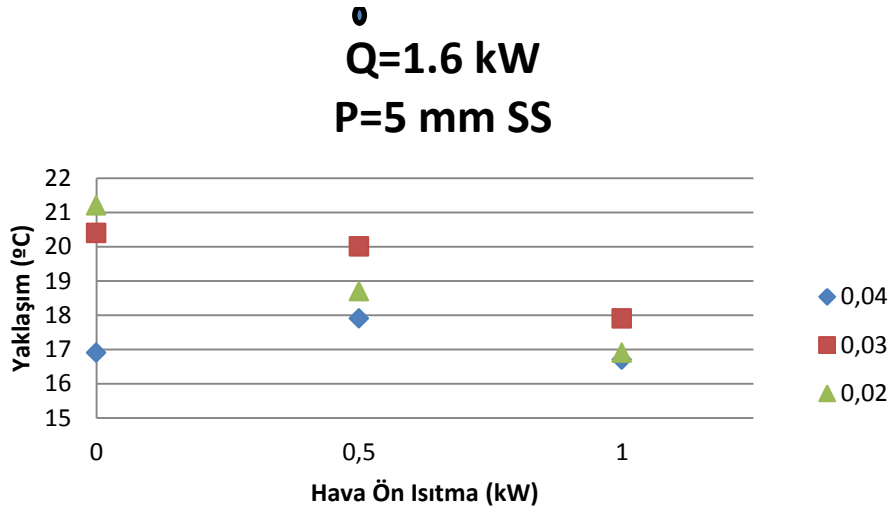
Şekil 4.10 Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki ($\dot{Q}=0,6$ kW ve $P=5$ mm SS)



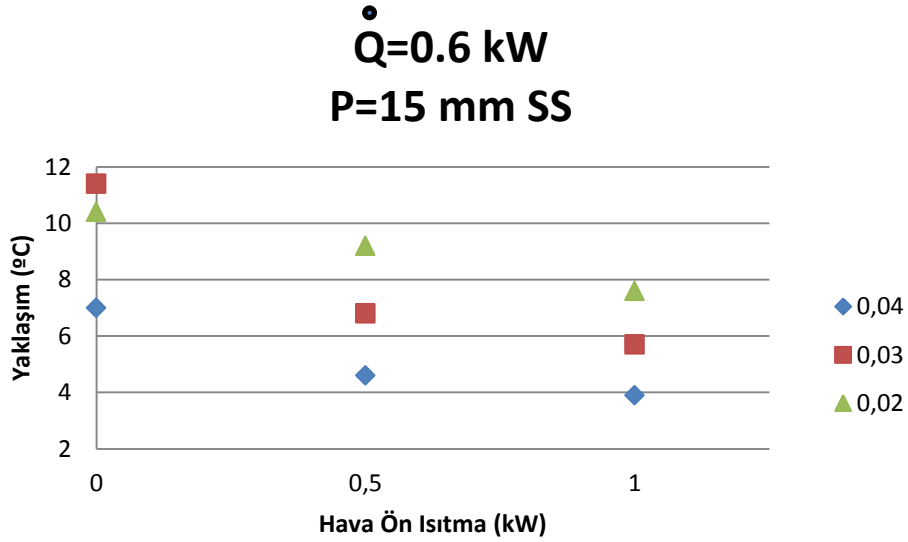
Şekil 4.11 Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki ($\dot{Q}=1.1$ kW ve $P=10$ mm SS)



Şekil 4.12 Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki ($\dot{Q}=1.6$ kW ve $P=15$ mm SS)



Şekil 4.13 Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki ($\dot{Q}=1.6$ kW ve $P=5$ mm SS)



Şekil 4.14 Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki ($\dot{Q}=0.6$ kW ve $P=15$ mm SS)

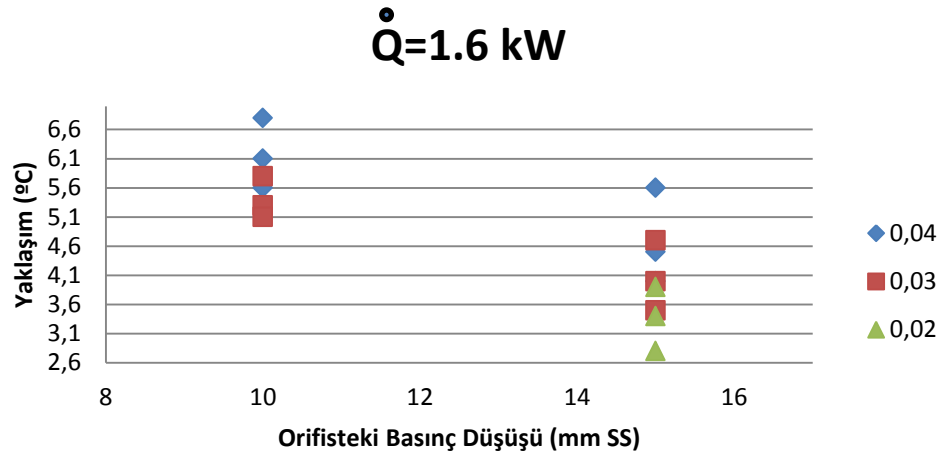
Yukarıdaki şekillerde de görüldüğü gibi eğer su ısıtma miktarı ve hava debisi sabit tutulduğunda hava soğutma kulesine girerken ne kadar ısıtılırsa su çıkış sıcaklığı giren havanın yaş termometre sıcaklığına o derecede yaklaşmaktadır. Bu durum soğutma kulesinin daha etkin çalışmasını sağlamaktadır.

Ayrıca hava debisi artarken su debisi de azalıyorsa yaklaşım miktarı daha az olmakta yani kule daha etkin çalışmaktadır. Örneğin 0.04 kg/s su debisi ve hava 0.5 kW enerji ile ısıtıldığında su ısıtma miktarı 1.6 kW ve basınç düşümü 5 mm SS olduğu zaman yaklaşım 17.9°C olmaktadır. Yine 0,04 kg/s su debisi ve hava 0.5 kW enerji ile ısıtıldığında su ısıtma miktarı 0.6 kW ve basınç düşümü 15 mm SS olduğu zaman ise yaklaşım 4.6°C olmaktadır.

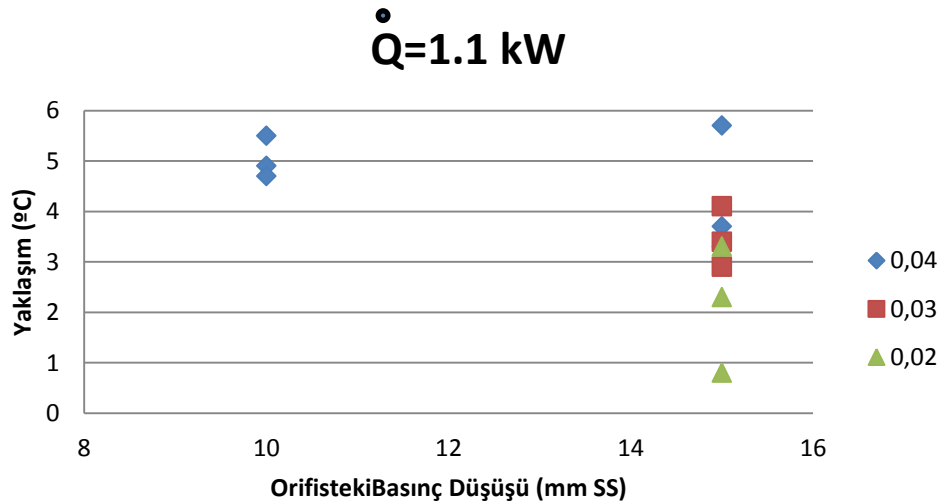
4.1.2. Metal Malzeme

Bu deney çalışmasında dolgu malzemesi olarak metal malzeme seçilmiş ve mevcut olan 80 adet orijinal malzeme çıkartılarak yerine sac malzemedan parçalar yerleştirilmiştir.

Orijinal malzeme ile yapılan deneyler sonucunda su ve hava debilerinin soğutma kulesi etkinliğine ters orantılı olarak etki ettiği tespit edilmiş olup metal malzeme ile yapılan deneylerde en etkin olduğu aralık seçilerek deneyler yapılmıştır. Su debisi 30 ve 40 gr/sn, su ısıtmasının 0.5, 1 ve 1.5 kW, hava debisi basınç düşüşünün 10 ve 15 mm SS olduğu ve hava ısıtmasının 0, 0.5 ve 1 kW olarak değiştirildiği toplam 36 adet deney yapılmıştır.



Şekil 4.15 ($\dot{Q}=1.6$ kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı



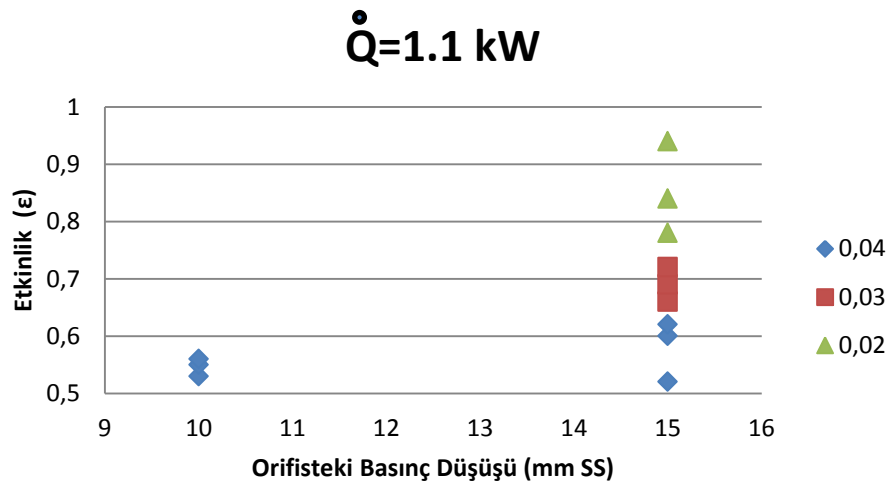
Şekil 4.16 ($\dot{Q}=1.1$ kW) Farklı Basınç Kayıpları Durumunda Su Çıkış Sıcaklığının Giren Hava Yaş Termometre Sıcaklığına Yaklaşımı

Şekil 4.15 ve 4.16'da görüldüğü üzere su 10 ve 15 mm SS basınç düşüşü olduğu ve 0.02, 0.03 ve 0.04 kg/s olduğu durumlarda deney yapılmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlara göre aynı debide hava miktarı arttıkça yaklaşım miktarının azaldığı ve soğutma kulesinin daha etkin çalıştığı tespit edilmiştir. Aynı miktarda hava debisinde de su debisinde azalma olduğunda yaklaşım miktarının azaldığı sonucuna varılmıştır.

15 mm SS basınç düşümü, 1.1 kW su ısıtması ve 1 kW hava ısıtmasında yapılan deneylerde eğer su debisi 0.04 kg/s olursa yaklaşım 3°C ve etkinlik %62 oluyor. Aynı değerlerde eğer su debisi 0,02 kg/s olursa yaklaşım 2.3°C ve etkinlik %83 oluyor. Tespit edilen değerlere göre hava debisi aynı olduğu zaman su debisindeki azalma kulenin daha etkin çalışmasını sağladığı anlaşılmıştır.

Çizelge 4.3 ($\dot{Q}=1.1$ kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki

\dot{Q} (W)	Etkinlik	Orifis Basınç Farkı (mm SS)	Su Debisi (kg/s)
1,1	0.53	10	0.04
1.1	0.55	10	0.04
1.1	0.56	10	0.04
1.1	0.52	15	0.04
1.1	0.6	15	0.04
1.1	0.62	15	0.04
1.1	0.66	15	0.03
1.1	0.69	15	0.03
1.1	0.72	15	0.03
1.1	0.78	15	0.02
1.1	0.94	15	0.02
1.1	0.84	15	0.02

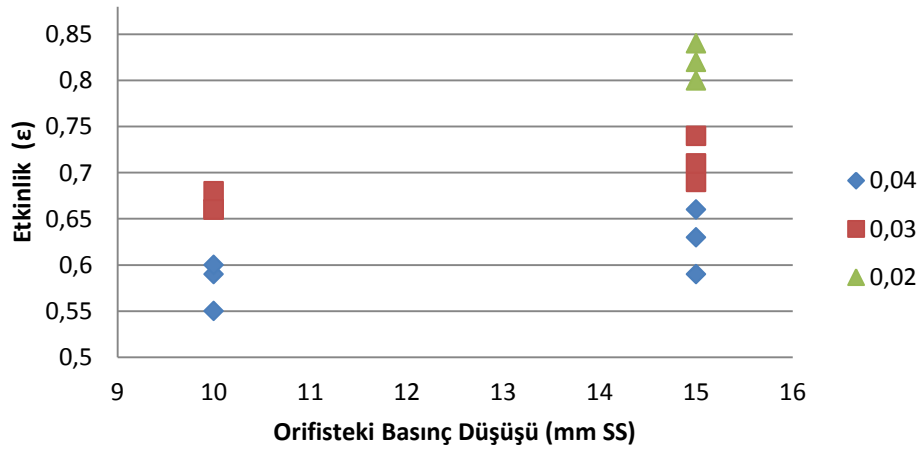


Şekil 4.17 ($\dot{Q}=1.1$ kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki

Çizelge 4.4 ($\dot{Q}=1.6$ kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki

\dot{Q} (W)	Etkinlik	Orifis Basınç Farkı (mm SS)	Su Debisi (kg/s)
1.6	0.55	10	0.04
1.6	0.59	10	0.04
1.6	0.6	10	0.04
1.6	0.59	15	0.04
1.6	0.63	15	0.04
1.6	0.66	15	0.04
1.6	0.66	10	0.03
1.6	0.68	10	0.03
1.6	0.66	10	0.03
1.6	0.69	15	0.03
1.6	0.71	15	0.03
1.6	0.74	15	0.03
1.6	0.8	15	0.02
1.6	0.82	15	0.02
1.6	0.84	15	0.02

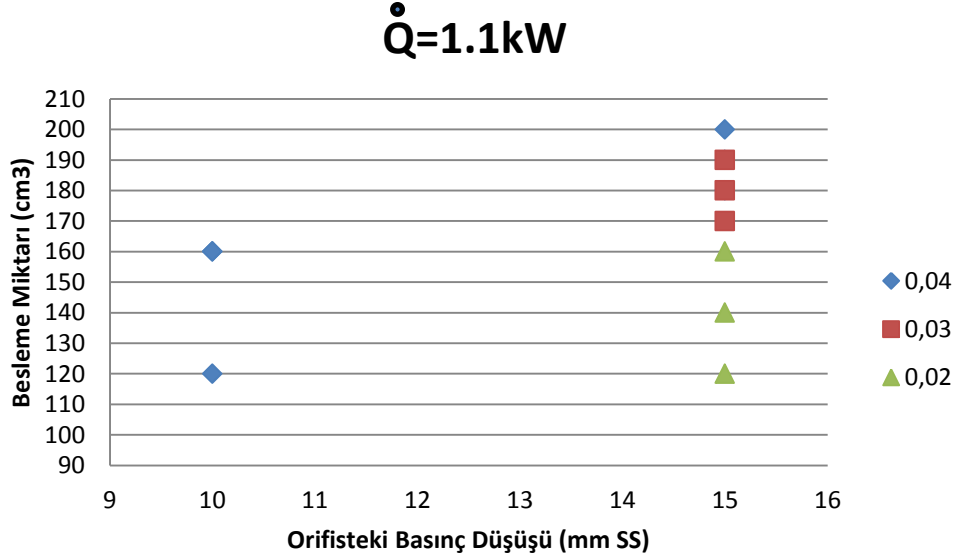
$\dot{Q}=1.6$ kW



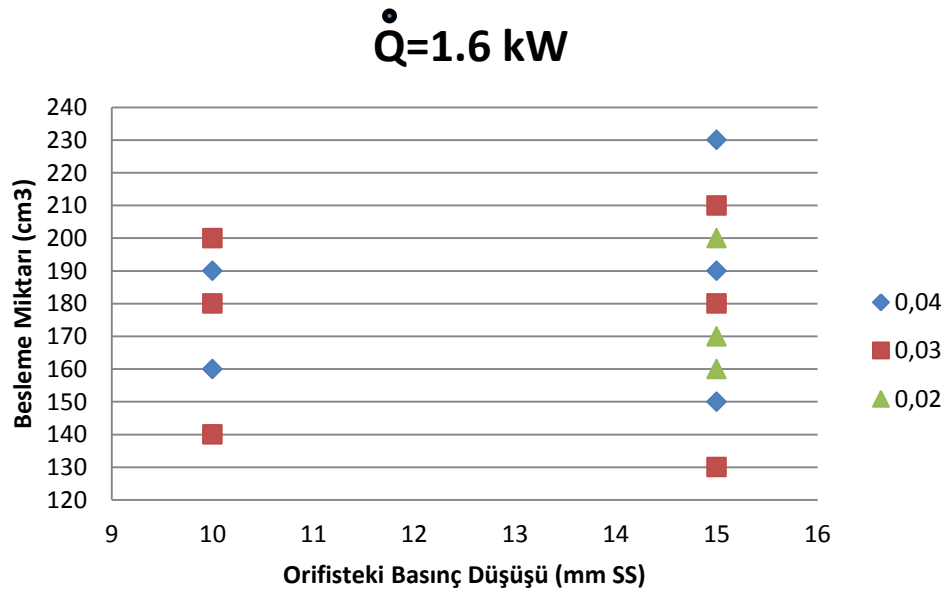
Şekil 4.18 ($\dot{Q}=1.6$ kW) Farklı Su Debilerinde Etkinlik ile Hava Debisi Arasındaki İlişki

Yukarıdaki şekillerde gösterildiği gibi su ısıtması sabit olduğu durumlarda yapılan deneylerde eğer hava debisi sabit tutulursa su debisindeki azalma soğutma kulesi çalışma etkinliğinin artmasını sağlamaktadır. Sabit su ısıtma ve sabit debide yapılan deneyler birbirleriyle karşılaştırıldığında hava debisinin artması kule etkinliğini artırdığı gözlemlenmiştir.

0.04 kg/s su debisi, 1.6 kW su ve 0.5 kW hava ısıtması ile yapılan deneylerde hava debisi 10 mm SS basınç düşümünde etkinlik %59, hava debisi 15 mm SS basınç düşümünde etkinlik %63 olmaktadır.



Şekil 4.19 Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı ($\dot{Q}=1.1\text{ kW}$)

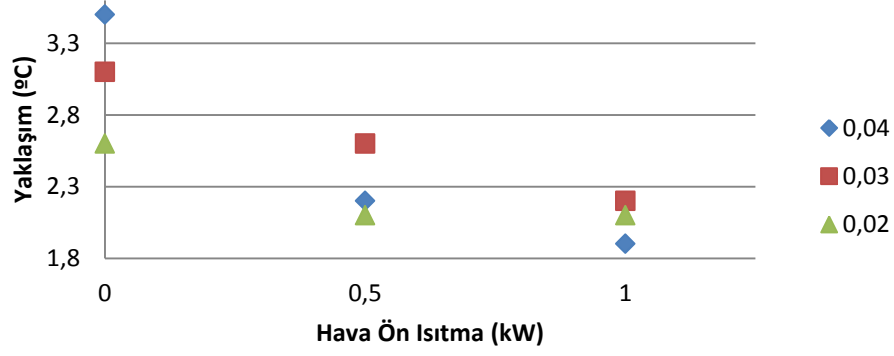


Şekil 4.20 Soğutma Kulesi Besleme Suyu Miktarı ($\dot{Q}=1.6\text{ kW}$)

Şekil 4.19 ve 4.20'de görüldüğü üzere aynı değişkenlerin sabit olduğu sadece hava debisinin değiştirilmesi ile yapılan deneylerde hava debisi arttıkça sisteme eklenen su miktarı artmaktadır. Çünkü hava debisinin artması birim zamanda su ile temas eden hava miktarını arttırmakta olup kule etkinliğini artırmakta ve aynı zamanda

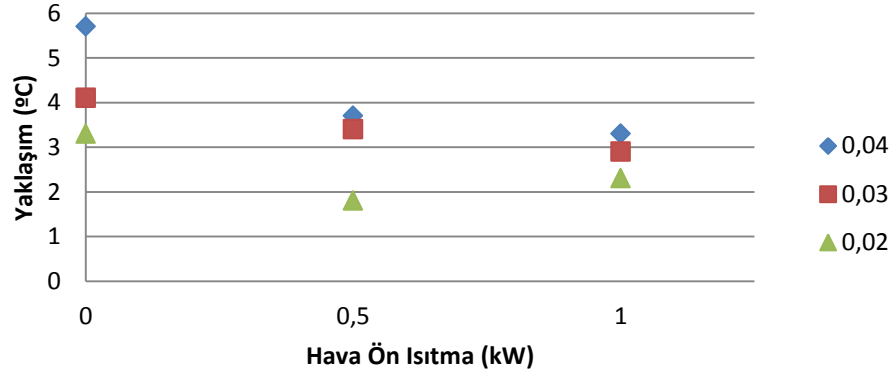
daha fazla buharlaşmaya neden olmaktadır. Buharlaşmanın daha fazla olması sisteme sürekli daha fazla su eklenmesine neden olup işletme maliyetlerini artırmaktadır.

$\dot{Q}=0.6$ kW
P=15 mm SS



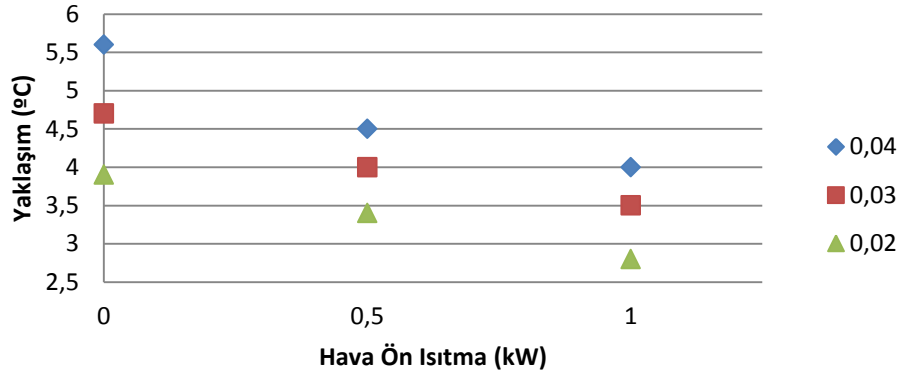
Şekil 4.21 Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki ($\dot{Q}=0.6$ kW ve P=15 mm SS)

$\dot{Q}=1.1$ kW
P=15 mm SS



Şekil 4.22 Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki ($\dot{Q}=1.1$ kW ve P=15 mm SS)

$\dot{Q}=1.6$ kW
P=15 mm SS



Şekil 4.23 Yaklaşım ile Hava Ön Isıtma Arasındaki İlişki ($\dot{Q}=1.6$ kW ve P=15 mm SS)

Yukarıda sunulan Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23'ten anlaşılacağı gibi aynı miktarda aynı su debisinde yapılan deneylerde eğer soğutma kulesine giren hava ısıtılırsa üzerine daha fazla nem alabileceğinden dolayı yaklaşım miktarı artar ve kule daha etkin çalışır hale gelir.

Su Isıtma miktarı 1.6 kW ve hava debisi basınç düşümü 15 mm SS olduğu deneyde, su debisi 0.03 kg/s hava ön ısıtma 0 kW olursa yaklaşım 4.7°C, hava ön ısıtma 0.5 kW olursa yaklaşım 4°C ve hava ön ısıtma 1 kW olursa yaklaşım 3.5°C oluyor. Yani deney sonuçlarından da anlaşılıyor ki kuleye giren hava önceden ısıtılırsa yaklaşım miktarı azalıyor ve kule çalışma etkinliği artıyor.

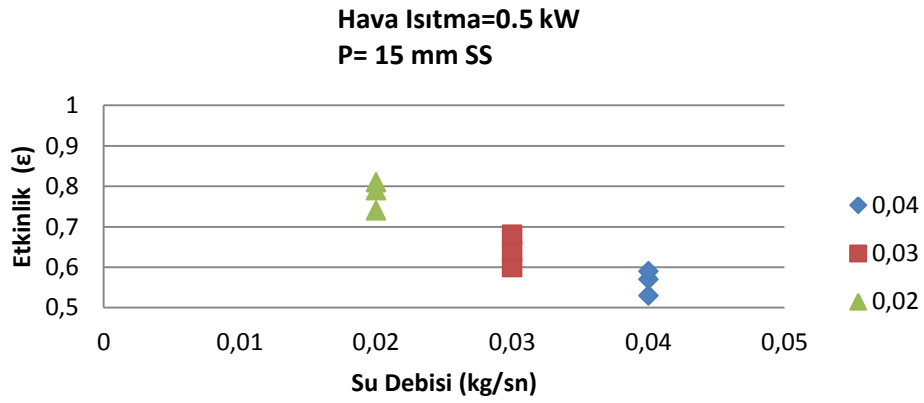
4.1.3. Alüminyum Malzeme

Bu deney çalışmasında ise dolgu malzemesi olarak PVC pencerelerin çerçevelerinden kesilerek elde edilmiş alüminyum kullanılmıştır. Alüminyum malzemedan kule dolgu malzemesi olarak kullanılmak üzere aynı ebatta 80 adet plaka kesilerek kuleye yerleştirilmiştir.

Daha önce orijinal ve metal malzeme ile yapılan deneylerde metal malzemelerin daha etkin olduğu tespit edildiğinden alüminyum malzeme ile 12 adet farklı su ve hava debilerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde normal şartlarda ortamdan alınan havanın sıcaklığı sabit olduğundan hava ısıtması 0.5 kW olarak sabitlenmiştir. Su ısıtma miktarı 0.5, 1 ve 1.5 kW olarak debisi ise 0.02, 0.03 ve 0.04 kg/s olarak değiştirilmiş olup hava debisi ise basınç düşümü 10 ve 15 mm SS olacak şekilde ayarlanmıştır.

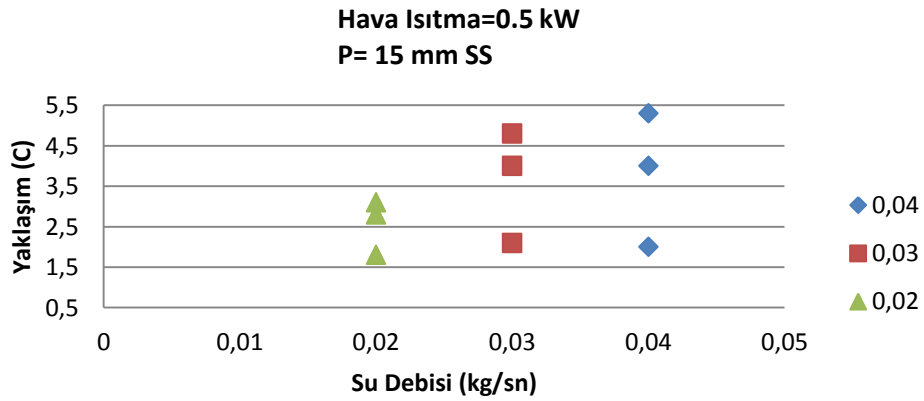
Çizelge 4.5 Etkinlik ve Su Debisi Arasındaki İlişki

Hava Isıtma (W)	Etkinlik	Su Debisi (kg/s)	Orifis Basınç Farkı (mm SS)
0.5	0.53	0.04	15
0.5	0.57	0.04	15
0.5	0.59	0.04	15
0.5	0.6	0.03	15
0.5	0.64	0.03	15
0.5	0.68	0.03	15
0.5	0.74	0.02	15
0.5	0.79	0.02	15
0.5	0.81	0.02	15



Şekil 4.24 Etkinlik ve Su Debisi Arasındaki İlişki

Şekil 4.24'te görüldüğü üzere aynı hava ısıtması ve debisinde yapılan deneyler sonucunda su debisi artırıldığında etkinlik düşmektedir. Örneğin su ısıtması 1.6 kw olduğu durumda yapılan deneylerde su debisi 0.02 kg/s olacak şekilde ayarlanırsa etkinlik %79'dur. Eğer su debisi 0.04 kg/s'ye artırılırsa etkinlik %57'ye düşmektedir.



Şekil 4.25 Yaklaşım ile Su Debisi Arasındaki İlişki

Şekil 4.25'te görüldüğü üzere aynı şartlarda yapılan deneyler neticesinde su debisi arttığında yaklaşım miktarı azalmaktadır. Yaklaşım ve etkinliğin ters orantılı olduğu düşünülürse yaklaşımın azalması etkinliğin arttığını göstermektedir. Şekil 4.24 ve 4.25 birlikte değerlendirilirse aynı değerlerde yapılan deneylerde etkinliğin azaldığı noktada yaklaşım miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum yapılan deneylerin teorik bilgileri desteklediği görülmektedir.

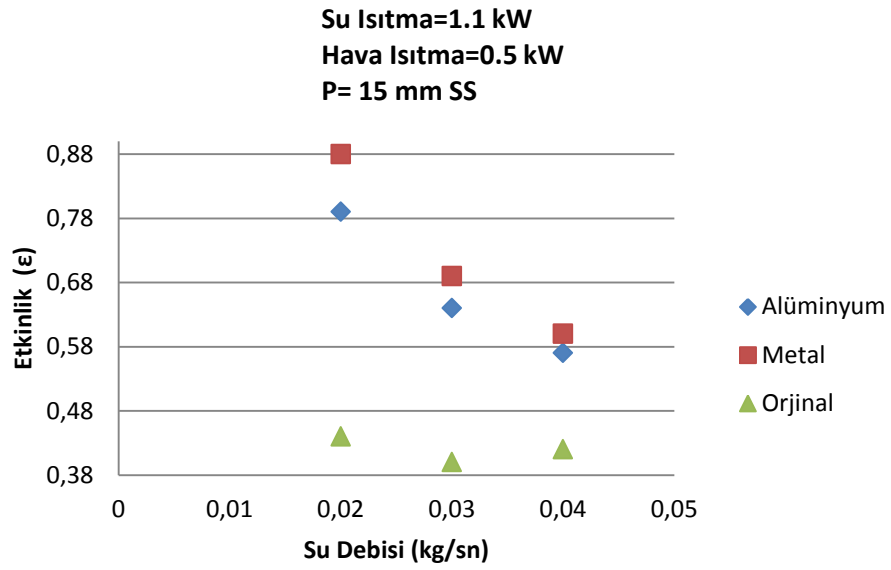
Örnek olarak su debisi 0.02 kg/s olduğu deneyde yaklaşım miktarı 2.8°C oluyor. Su debisi 0.03 kg/s olursa yaklaşım 4°C oluyor.

4.2. Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Karşılaştırılması

Bu tez çalışmasında soğutma kulesinin farklı dolgu malzemelerinde etkinliğinin nasıl değişeceği yönünde deneyler yapılmıştır. Bu çalışmanın tespitinin yapılabilmesi için soğutma kulesi orijinal malzemesi, metal sac malzeme ve alüminyumdan olmak üzere 3 farklı dolgu malzemesi kullanılarak toplam 129 adet deney yapılmış ve değişkenlerin farklı durumlarda etkinliğe ne yönde etki ettiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6 Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Etkinlik ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi

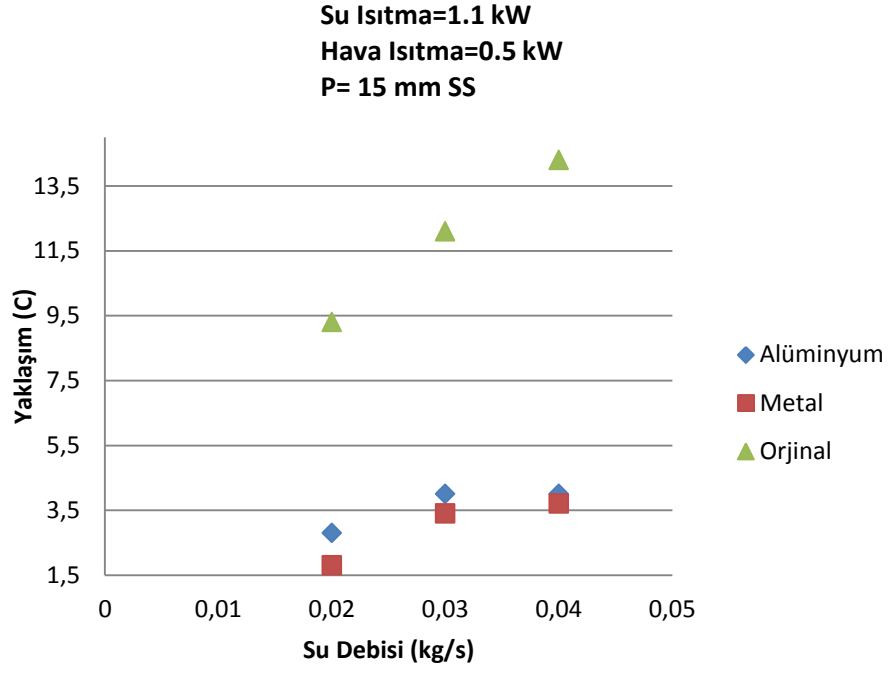
Hava Isıtma (W)	Etkinlik	Su Debisi (kg/s)	Malzeme	Orifis Basınç Farkı (mm SS)
0.5	0.57	0.04	Alüminyum	15
0.5	0.64	0.03	Alüminyum	15
0.5	0.79	0.02	Alüminyum	15
0.5	0.6	0.04	Metal	15
0.5	0.69	0.03	Metal	15
0.5	0.88	0.02	Metal	15
0.5	0.42	0.04	Orijinal	15
0.5	0.4	0.03	Orijinal	15
0.5	0.44	0.02	Orijinal	15



Şekil 4.26 Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Etkinlik ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi

Çizelge 4.7 Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Yaklaşım ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi

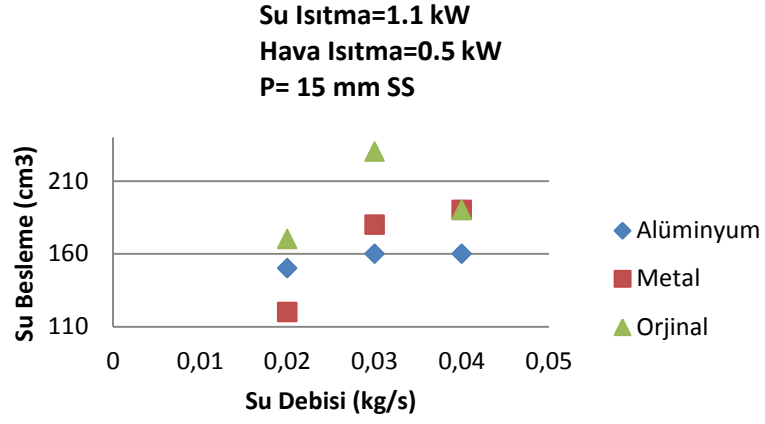
Yaklaşım (°C)	Su Debisi (kg/s)	Malzeme	Orifis Basınç Farkı (mm SS)
4	0.04	Alüminyum	15
4	0.03	Alüminyum	15
2.8	0.02	Alüminyum	15
3.7	0.04	Metal	15
3.4	0.03	Metal	15
1.8	0.02	Metal	15
14.3	0.04	Orijinal	15
12.1	0.03	Orijinal	15
9.3	0.02	Orijinal	15



Şekil 4.27 Üç Farklı Dolgu Malzemesinin Yaklaşım ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi

Çizelge 4.8 Dolgu Malzemelerinde Su Besleme Miktarı ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi

Su Besleme (cm ³)	Su Debisi (kg/s)	Malzeme	Orifis Basınç Farkı (mm SS)
160	0.04	Alüminyum	15
160	0.03	Alüminyum	15
150	0.02	Alüminyum	15
190	0.04	Metal	15
180	0.03	Metal	15
120	0.02	Metal	15
190	0.04	Orijinal	15
230	0.03	Orijinal	15
170	0.02	Orijinal	15



Şekil 4.28 Dolgu Malzemelerinde Su Besleme Miktarı ve Su Debisi Arasındaki İlişkisi

Yukarıda gösterilen Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28'de su ısıtma miktarının 1.1 kW, hava ısıtma miktarının 0.5 kW ve orifisteki basınç düşüşünün 15 mm SS olduğu ve su debisinin 0.04, 0.03 ve 0.02 kg/s olarak değiştirildiği deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak hazırlanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda aynı şartlarda sırasıyla metal sac, alüminyum ve soğutma kulesinin orijinal malzemesinin etkin olduğu tespit edilmiştir. Örneğin 0.03 kg/s su debisinde etkinlik metal sac malzemedede %69, alüminyum malzemedede %64 ve orijinal malzemedede ise %40'tır. Yine aynı şartlarda yapılan deneyler neticesinde yaklaşım miktarı metal malzeme için 3.4°C, alüminyum malzeme için 4°C ve orijinal malzeme için 12.1°C olarak tespit edilmiştir.

5. DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının tamamlanabilmesi için üç farklı dolgu malzemesi kullanılarak su debisinin 0.02-0.04 kg/s, su ısıtmasının 0.5-1.5 kW, hava ısıtmasının 0.5-1.5 kW ve orifisteki hava basınç düşüşünün 5-15 mm SS aralıklarında toplamda 129 adet deney yapılmıştır.

Yapılan deneylerde 80 adet plakadan oluşan dolguda üç farklı malzeme seçilmiş ve bu malzemelerin soğutma kulesi etkinliğinde değişkenlerin belirlendiği aralıklarda etkinliğe olan etkisinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Soğutma kulesinde hava ve su debilerinin etkinliğe ters orantılı olarak etkilediği gözlemlenmiştir. Maksimum etkinliği elde etmek için hava debisinin artırılması ve su debisinin azaltılması gerekmektedir. Ancak bu durum mevcut soğutma yükünü karşılayamayacağı gibi daha büyük fanların kullanımını da zorunlu hale getirecektir.

Yapılan deneyler neticesinde metal malzemenin diğer dolgu malzemelerine göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Ancak yapılan deneylerde metal malzemenin paslanma özelliği nedeniyle kısa bir süre sonra kullanılamaz hale geldiği görülmüştür. Eğer soğutma kulesi dolgu malzemesi olarak metal sac malzeme tercih edilirse tüm plakalar kısa süre sonra paslanacak ve değiştirilmesi kaçınılmaz hale gelecektir. Bunun sonucu olarak bir takım masraflar olacak ve kulenin işletme maliyeti artacaktır. Ayrıca metal dolgu malzemesi ile yapılan deneylerde buharlaşmanın daha fazla olduğu ve sisteme sürekli taze su eklendiği görülmüş olup sisteme sürekli su eklenmesi işletme maliyetine olumsuz yönde etki etmektedir. Bu nedenle mevcut soğutma kulelerinde etkinliği metal malzemeye yakın olan ve paslanmaya karşı dirençli alüminyum malzeme tercih edilir. Bu malzemenin paslanmaması nedeniyle değişimi gerekmemekte olup işletme maliyetini olumlu yönde etkilemektedir.

Son yıllarda yapılan soğutma kulelerinde dolgu malzemesi olarak PVC'de tercih edilmektedir. Bunun sebebi etkinlik açısından metal ve alüminyuma yakın olması ve metal malzeme de olduğu gibi paslanma durumunun söz konusu olmamasıdır. Aynı zamanda üretim maliyetlerinin alüminyuma göre daha ucuz olması ilk yatırım maliyetleri açısından önemli bir unsurdur.

Bu tez çalışmasında farklı üç dolgu malzemesi kullanılarak en etkin malzemenin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Deneylerde plakalar soğutma kulesine çapraz olarak yerleştirilmiş ve bu şekilde deneyler yapılmıştır. Alüminyum ve PVC'nin farklı şekilleri ile hazırlanan dolgular kuleye yerleştirilerek başka çalışmalar yapılabilir ve en etkin şekildeki dolgu üretim maliyetleri ve sağladığı enerji kazancı göz önünde bulundurularak mevcut soğutma kulelerinde kullanılabilir. Ayrıca soğutma kulesindeki en önemli ve etkinliği etkileyen parçalardan biri olan damla tutucuların farklı yapıdaki ve şekildeki tutucularla değiştirilerek en iyi damla tutucunun seçimi yapılabilir.

6.KAYNAKÇA

- [1] J.R. Khan, B.A. Qureshi, S.M. Zubair, *A comprehensive design and performance evaluation study of counter flow wet cooling towers*, International Journal of Refrigeration 27, 914–923.
- [2] J.R. Khan, M. Yaqub, S.M. Zubair, *Performance characteristics of counter flow wet cooling towers*, Energy Conversion and Management 44, 2073–2091.
- [3] W.M. Simpson, T.K. Sherwood, *Performance of small mechanical draft cooling towers*, Am Soc. Refrig. Eng. 52(1946), 535–43, 574–76.
- [4] N.W. Kelly and L.K. Swenson, *Comparative performance of cooling tower packing arrangements*, Chemical Engineering Progress 52 (1956), 263–268.
- [5] T.E. Eaton, *Evaporative heat removal in wet cooling towers*, Cooling Tower Institute Technical Papers TP79-12 (1979), p. 28.
- [6] A.K. Majumdar, A.K. Singhal, D.B. Spalding, *Numerical modeling of wet cooling towers – part1: mathematical and physical models*, J Heat Transfer 1983;105(4), 736–43.
- [7] A. A. Dreyer and P. J. Evens, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1996, 39, 109.
- [8] A.K.M. Mohiuddin, K. Kant, *Knowledge base for the systematic design of wet cooling towers. Part I: selection and tower characteristics*, International Journal of Refrigeration 19 (1), 43–51.
- [9] A.K.M. Mohiuddin, K. Kant, *Knowledge base for the systematic design of wet cooling towers. Part II: fill and other design parameters*, International Journal of Refrigeration 19 (1), 52–60.
- [10] S. V. Bedekar, P.Nithiarasu, K.N.Seetharamu, *Experimental investigation of the performance of a counter-flow packed-bed mechanical cooling tower*, Energy (Oxford) 1998; 23(11): 943 – 7.
- [11] E. De Villiers, D.G. Kroger, *Analysis of heat, mass and momentum transfer in the rain zone of counter flow cooling towers*, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 121 (4), 751–755.
- [12] B. Halasz, *A general mathematical model of evaporative cooling devices*, Revue Générale de Thermique 1998;37(4):245–55.
- [13] M.S. Söylemez, *Theoretical and experimental analyses of cooling towers*, ASHRAE Trans 1999;105(1):330–7.
- [14] H.R. Goshayshi and J.F. Missenden, *The investigation of cooling tower packing in various arrangements*, Applied Thermal Engineering 20 (2000) 69–80.
- [15] N. Milosavljevic and P. Heikkila, *A comprehensive approach to cooling tower design*, Applied Thermal Engineering 21 (2001) 899–915.

- [16] J.R. Khan, B.A. Qureshi, S.M. Zubair, *A comprehensive design and performance evaluation study of counter flow wet cooling towers*, International Journal of Refrigeration 27 (2004) 914–923.
- [17] S.P. Fisenko, A.I. Petruchik, A.D. Solodukhin, *Evaporative cooling of water in a natural draft cooling tower*, International Journal of Heat and Mass Transfer 45, 4683–4694.
- [18] J. Lebrun, C.A. Silva, *Cooling tower –model and experimental validation*, ASHRAE Trans 2002;108:751–9.
- [19] J.C. Kloppers and D.G. Kröger, *Loss coefficient correlation for wet cooling tower fills*, Applied Thermal Engineering 23 (2003) 2201–2211.
- [20] S.P. Fisenko, A.A. Brin, A.I. Petruchik, *Evaporative cooling of water in a mechanical draft cooling tower*, International Journal of Heat and Mass Transfer 47, 165–177.
- [21] J.C. Kloppers and D.G. Kröger, *A critical investigation into the heat and mass transfer analysis of counter flow wet-cooling towers*, International Journal Heat and Mass Transfer, 48 (2005), 765–777.
- [22] G. Heidarinejad, M. Karami and S. Delfani, *Numerical Simulation of counter-flow wet-cooling towers*, International Journal of Refrigeration, 32(2009), 996-1002
- [23] J.C. Kloppers and D.G. Kröger, *The Lewis factor and its influence on the performance prediction of wet-cooling towers*, International Journal of Thermal Sciences 44, 879–884.
- [24] M. Lemouari, M. Boumaza, I.M. Mujtaba, *Thermal performances investigation of a wet cooling tower*, Applied Thermal Engineering 27, 902–909.
- [25] F. Gharagheizi, R. Hayati, S. Fatemi, *Experimental study on the performance of mechanical cooling tower with two types of film packing*. Energy Convers Manage, (48) 2007, 277–80.
- [26] R . Al-Waked and M. Behnia, *CFD simulation of wet cooling towers*, Appl Therm Eng 2006;26 (4), 382–95.
- [27] Jin Guang-Yu, Cai Wen-Jian, Lu Lu, Lee Eng Lock, Chiang Andrew, *A simplified modeling of mechanical cooling tower for control and optimization of HVAC systems*, Energy Convers Manage 2006;48(2),355–65.
- [28] M. Lucas, P.J. Martinez, A. Viedma, *Experimental study on the thermal performance of a mechanical cooling tower with different drift eliminators*, Energy Conversion and Management, 50,490–497.
- [29] M. Karami and G. Heidarinejad, *Investigation of Performance characteristics of counter flow wet cooling towers*, Accepted to Oral Presentation and Publication in 16th International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineering (ISME), May 14–16, Kerman, Iran.
- [30] C.A.X. Marques, C.H. Fontes, M. Embirucu, R.A. Kalid, *Efficiency control in a commercial counter flow wet cooling tower*, Energy Conversion and Management, 50,2843–2855.

- [31] E.C.Kara, “*Heat and mass transfer analysis of a counter flow cooling tower under various air and water flow arrangements*” M.Sc. Thesis, Çukurova University Turkey, 2010
- [32] P.A. HILTON Ltd. H890 Model Soğutma Kulesi Kullanma Kılavuzu
- [33] The TRAIN Company Trane Airconditioning Kullanma Kılavuzu
- [34] Niba Su Soğutma Kuleleri Sanayi ve Ticaret A.Ş., Soğutma Kulesi Broşürü
- [35] E. Elsarrag, *Experimental study and predictions of an induced draft ceramic tile packing cooling tower*, Energy Conversion and Management, 47(2006),2034-2043.
- [36] ENSOTEK CTP Su Soğutma Kuleleri ve Teknolojileri Mühendislik San.Tic. Ltd. Şti, Soğutma Kulesi Broşürü
- [37] Anonim, <http://www.flickr.com/photos/tjblackwell/4965435399/>

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Gül 1986 yılında İzmir’de doğdu. İlköğrenimine 1992 yılında Malatya Mustafa Kemal ATATÜRK İlköğretim okulunda başladı. 1997 yılında Malatya Anadolu Lisesini kazanarak ortaokul ve lise eğitimine burada devam ederek 2004 yılında mezun oldu. 2004 yılında girdiği Öğrenci Seçme Sınavı ile İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliğini kazandı ve 2009 yılında mezun oldu. 2010-2011 Eğitim yılında İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimi başladı. 2010 yılından beri MSB ANT Doğu Bölge 2. İşletme Müdürlüğü’nde Makine Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evlidir.