

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nem Alma Prosesinde Buharlaştırıcı Yapısının Yoğuşma Verimine Etkisi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan SIR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Programı

Mayıs 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nem Alma Prosesinde Buharlaştırıcı Yapısının Yoğuşma Verimine Etkisi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gökhan SIR
(503101107)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seyhan Uygur Onbaşıoğlu

Mayıs 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503101107 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gökhan SIR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Nem Alma Prosesinde Buharlaştırıcı Yapısının Yoğuşma Verimine Etkisi**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Seyhan Uygur Onbaşıoğlu**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Feridun Özgüç**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail Teke
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **04 Haziran 2012**

Aileme ve Dostlarima,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında kendisi ile tanışma fırsatı bulduğum, tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübelerini esirgmeden katkıda bulunan, olumlu öneri ve eleştirileri ile beraber bu çalışmayı yöneten çok değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Seyhan Uygur ONBAŞIOĞLU'na en derin sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam için imkân ve olanaklarını sunarak bana destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Dr. Cemil İNAN, Sn. Yük. Müh. Yalçın GÜLDALI, Sn. Dr. Faruk BAYRAKTAR'a ve Termodinamik Teknoloji Aile Lideri Sn. Dr. Emre OĞUZ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışma hayatım ve tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile çalışmaların her aşamasında desteklerini sunan, değerli fikir ve görüşleri ile bu tez çalışmasına büyük katkıda bulunan, çalışmalar süresince gösterdikleri ilgi ve içten yaklaşımlarından ötürü Sn. Mak. Yük. Müh. Önder BALIOĞLU'na çok teşekkür ederim. Tez çalışmalarım kapsamında bilgi ve tecrübelerini benle paylaşarak bana yardım eden Sn. Mak. Yük. Müh. Serdar KOCATÜRK, Sn. Mak. Yük. Müh. Onur HARTOKA ve Sn. Mak. Yük. Müh. Yavuz ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar sırasında deney düzeneklerinin kurulması, devreye alınması, bu süre zarfında çıkan teknik problemlerin çözümü gibi konularda yardımlarını ve tecrübelerini esirgmeden katkıda bulunan başta Sn. Volkan GÜNEY, Sn. Fikri ÇAVUŞOĞLU, Sn. Ercan KURTULDU, Sn. Ümit PEHLİVAN, Sn. Sefa UÇAR olmak üzere tüm Arçelik A.Ş. Ar-Ge Termodinamik Ailesi ve Temizleme Teknolojileri Ailesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarının sıkıntılı zamanlarını, beraber geçirdiğimiz keyifli anlar ve arkadaşlıklarıyla unutturun, bana her konuda destek olan başta çok değerli dostlarım; Ahmet Burak TOP, Gökmen PEKER, Onur POYRAZ, Çağlar ŞAHİN, Güven ERAKTAŞ, Yusuf KOÇ, Demet BÜYÜKKOYUNCU, Yeşim BOYLU ve Ar-Ge Termodinamik Teknoloji Ailesi ve Akışkanlar Dinamiği Teknoloji Ailesi yüksek lisans çalışma arkadaşlarıma tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her anında sevgisinin ve desteğinin her daim yanımda olduğunu bildiğim Sn. Zuhal BENEK'e tüm içten ve samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Son olarak, tüm hayatım boyunca her daim yanımda olan, bugünlere gelmemde benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli AİLEME, özellikle ablam Sn. Çevre Yük. Müh. Diclehan SIR'a en derin duygularıyla teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2012

Gökhan SIR
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xv
NEM ALMA PROSESİNDE BUHARLAŞTIRICI YAPISININ YOĞUŞMA VERİMİNE ETKİSİ	xvii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Buharlaştırıcı Kanat Tipinin Sisteme Olan Etkisi	3
2.2 Buharlaştırıcı Yüzeyindeki Yoğuşmanın Sisteme Olan Etkisi	6
2.3 Buharlaştırıcı Kanatlarındaki Yoğuşma Oranının Isı ve Kütle Geçişine Etkisi. 9	
2.4 Buharlaştırıcılarda, Isı ve Kütle Geçişinin İncelenmesinde Kullanılan Yöntemler.....	11
2.4.1 Sonlu Dairesel Kanat Yöntemi (Finite Circular Fin Method - FCFM).....	11
2.5 Hidrofilik kaplamalı buharlaştırıcılarda ısı geçişi ve yüzey sürtünme katsayısı karakteristiğinin incelenmesi.....	13
3. NEM ALMA PROSESİNİN İNCELENMESİ	17
3.1 Isı Pompalı Sistemler	17
3.2 Psikrometri	18
3.3 Özgül Nem ve Bağıl Nem Kavramları.....	20
3.3.1 Psikrometrik Diyagram	21
3.4 Nemli Havanın Soğutulması	21
3.5 Hidrofobik ve Hidrofilik Kaplamalar.....	23
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
4.1 Deney Düzenineğinin Tanıtılması.....	27
4.2 Deneysel Sonuçlar	34
4.2.1 Belirsizlik Analizi	36
4.2.2 Havanın giriş bağıl nem değeri değışiminin yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisi	37
4.2.3 Buharlaştırıcı kaplama ve kanat tipinin yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisi	39
5. ANALİTİK ÇALIŞMALAR	47
5.1 Matematiksel Model Oluşturulması	47
5.1.1 Yoğuşma Enerjisi Hesaplama Modeli Oluşturulması	48
5.1.2 Buharlaştırıcı Soğutma Enerjisi Hesaplama Modeli Oluşturulması	49
5.2 Matematiksel Model Sonuçlarının Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması.....	51
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	53
KAYNAKLAR	57

ÖZGEÇMİŞ	59
-----------------------	-----------

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1: Sistem üzerine yerleştirilen sıcaklık ölçme aletlerinin listesi	30
Çizelge 4.2: Nem sensörleri.....	32
Çizelge 4.3: Deneyde kullanılan buharlaştırıcı çeşitleri	32
Çizelge 4.4: Deney düzeneğinde kullanılan cihazların ölçüm doğruluk değerleri	34
Çizelge 4.5: Hidrofobik/Düz buharlaştırıcıda yoğuşme verimi ve yoğuşma hızı	37
Çizelge 4.6: Hidrofobik/Dalgalı buharlaştırıcıda yoğuşme verimi ve yoğuşma hızı .	37
Çizelge 4.7: Hidrofilik/Dalgalı buharlaştırıcıda yoğuşme verimi ve yoğuşma hızı ...	37
Çizelge 4.8: Hidrofilik/Düz buharlaştırıcıda yoğuşme verimi ve yoğuşma hızı	37
Çizelge 5.1: Kompresör debi polinomu kalorimetre katsayıları.....	48
Çizelge 5.2: Deneysel sonuçlarla analitik sonuçların karşılaştırılması	48

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Havanın giriş bağıl nemi ve giriş hızının buharlaştırıcı üzerinde (a) kapasite, (b) yoğunlaşma miktarı, (c) basınç düşümüne olan etkisi.[1].....	5
Şekil 2.2 : Havanın giriş bağıl nemi ve giriş sıcaklığının buharlaştırıcı üzerinde (a) yoğunlaşma miktarı, (b) kapasite, (c) basınç düşümüne olan etkisi.[1].....	6
Şekil 2.3 : Kanat Uzunluk Boyutsuz Sayıları. [1]	7
Şekil 2.4 : Havanın girişteki bağıl nem değişiminin sisteme olan etkisi. (a) $\phi_{in}=\%50$,(b) $\phi_{in}=\%70$, (c) $\phi_{in}=\%90$. [2].....	8
Şekil 2.5 : Kanat üzerindeki ıslak yüzey alanının Reynolds sayısına göre değişimi. [3]	9
Şekil 2.6 : Boru ve kanat sayısı artmasına bağlı sistemin sıcaklık değişimleri. [3] ..	10
Şekil 2.7 : Boru yüzeyindeki kuruluk değişimi. [4].....	11
Şekil 2.8 : Dairesel kanat veriminin, havanın giriş bağıl nem değerine göre değişimi. [4]	12
Şekil 2.9 : Kanat yüzeyini kaplama işlemi.[7].....	13
Şekil 2.10 : Kanat tipleri (a) dalgalıkanat, (b) kesiklikanat, (c) nervüllü kanat. [7]..	14
Şekil 2.11 : Giriş bağıl neminin hava tarafı ısı geçişine etkisi (a) dalgalıkanat, (b) kesiklikanat, (c) nervüllü kanat.	15
Şekil 3.1 : Gerçek buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminin lnP-h diyagramı.....	18
Şekil 3.2 : Atmosferik basınçtaki psikrometrik diyagram.	21
Şekil 3.3 : Nemli Havanın Soğutulması.	22
Şekil 3.4 : (a) Hidrofobik yüzey, (b) hidrofilik yüzey, (c) hidrofobik yüzey üzerindeki su damlacıkları.	24
Şekil 3.5 : Lotus Yaprağı ve SEM fotoğrafı.	24
Şekil 3.6 : A- Katı bir yüzeyde sıvıya etki eden kuvvetler, B- Lotus etkisinin prensibi.....	25
Şekil 4.1 : Oluşturulan Deney Düzenegi	28
Şekil 4.2 : İğne Valf.....	29
Şekil 4.3 : Isıtıcı.....	29
Şekil 4.4 : Voltaj Regülatörü	29
Şekil 4.5 : Terazî.....	30
Şekil 4.6 : Veri Toplama Ünitesi	31
Şekil 4.7 : Soğutucu akışkan tarafı sıcaklık ölçme aletlerinin buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı üzerindeki yerleri.....	32
Şekil 4.8 : Hava tarafı sıcaklık ölçme aletlerinin sistem üzerindeki yerleri	33
Şekil 4.9 : Nem sensörleri için elektronik kart	33
Şekil 4.10 : Isı pompalı kurutma makinalarında bir çevrim boyunca nem alma hızının zamana göre değişimi.....	37
Şekil 4.11 : Hidrofobik/Düz tipli buharlaştırıcıda, havanın giriş bağıl nem değişiminin yoğunlaşma hızına olan etkisi	38

Şekil 4.12 : Düz kanat formuna sahip buharlaştırıcıda, kaplama tipinin yoğuşma verimine etkisi	40
Şekil 4.13 : Dalgalı kanat formuna sahip buharlaştırıcıda, kaplama tipinin yoğuşma verimine etkisi	41
Şekil 4.14 : Hidrofobik kaplamalı yüzey formuna sahip buharlaştırıcıda, kanat tipinin yoğuşma verimine etkisi.....	42
Şekil 4.15 : Dalgalı kanat buharlaştırıcılarda suyun akış şekli	43
Şekil 4.16 : Düz kanatlı buharlaştırıcılarda suyun akış şekli	43
Şekil 4.17 : Hidrofilik kaplamalı kanat formuna sahip buharlaştırıcıda, kanat tipinin yoğuşma verimine etkisi.....	44
Şekil 4.18 : Buharlaştırıcı tipi değişiminin, ortalama yoğuşma hızına etkisi	45
Şekil 5.1 : Yoğuşma kapasitesinin modellenmesi.	48
Şekil 5.2 : Sistemin çalışma koşullarının lnP-h grafiğinde gösterimi.....	50

SEMBOL LİSTESİ

A_s	: Isı transferi yüzey alanı
A_f	: Kanatların ısı transferi yüzey alanı
C_p	: Sabit basınçta özgül ısı
C_w	: Kısmi ıslak yüzeylerde tanımlanan boyutsuz parametre
C_{p_a}	: Sabit basınçta nemli havanın özgül ısısı
f	: Yüzey sürtünme katsayısı
h_{ow}	: Toplam Taşınım katsayısı
h_w	: Islak yüzey koşullarındaki taşınım katsayısı
$h_{bç}$: Soğutucu akışkanın buharlaştırıcı çıkışındaki entalpisi
$h_{kç}$: Soğutucu akışkanın yoğuşturucu çıkışındaki entalpisi
h_{fg}	: Buharlaşma entalpisi
$i_{a,i}$: Buharlaştırıcı girişindeki nemli havanın entalpisi
i_s	: Boru yüzey sıcaklığındaki doymuş havanın entalpisi
j	: Colburn boyutsuz ısı geçiş katsayısı
k_w	: Yoğuşan buharın oluşturduğu su filminin iletim katsayısı
k_f	: Kanat malzemesinin iletim katsayısı
\dot{m}_a	: Kuru havanın kütleli debisi
\dot{m}_g	: Giriş kütleli debisi
$\dot{m}_ç$: Çıkış kütleli debisi
m_v	: Nemli hava içerisindeki su buharı miktarı
m_a	: Kuru hava miktarı [kg]
\dot{m}_{cond}	: Yoğuşan buharın kütleli debisi
Nu	: Nusselt sayısı
\dot{Q}	: Isı geçişi
$\dot{Q}_{yoğuşma}$: Yoğuşma enerjisi
$\dot{Q}_{buharlaştırıcı}$: Buharlaştırıcı enerjisi
P_{kr}	: Havanın kritik basıncı
P	: Nemli havanın basıncı (kPa)
Pr	: Prandtl sayısı
P_a	: Kuru havanın kısmi basıncı (kPa)
P_{sb}	: Su buharının kısmi basıncı (kPa)
Re	: Reynolds sayısı
r_o	: borunun merkezinden kanat ucuna kadar olan yarıçap uzunluğu
r_i	: borunun merkezinden kanat tabanına kadar olan yarıçap uzunluğu
T_{avf}	: Ortalama kanat sıcaklığı
T_b	: Buharlaştırıcı sıcaklığı
T_y	: Yoğuşturucu sıcaklığı
T_f	: Kanat yüzey sıcaklığı
T_{kr}	: Havanın kritik sıcaklığı
T_{fb}	: Kanat taban sıcaklığı
T_{dp}	: Çiğ noktası sıcaklığı

T_{∞}	: Ortam sıcaklığı
y_w	: Yoğuşma filmi kalınlığı
ω	: Özgül nem
w_a	: Kompresör gücü
$\eta_{f,w}$: Islak kanat verimi
$\eta_{yoğuşma}$: Yoğuşma verimi
$\eta_{f,wet}$: Islak kanat verimi
$\eta_{f,part}$: Kısmi ıslak kanat verimi
$\eta_{f,dry}$: Kuru kanat verimi
ρ	: Yoğunluk
$\rho_{k.h}$: Kuru havanın yoğunluğu
Δh	: Entalpi farkı
ΔT	: Sıcaklık farkı
ΔP	: Basınç farkı
θ	: Boyutsuz kanat sıcaklığı
ϕ_{in}	: Giriş bağıl nem değeri

NEM ALMA PROSESİNDE BUHARLAŞTIRICI YAPISININ YOĞUŞMA VERİMİNE ETKİSİ

ÖZET

Günümüzde enerjide verimliliğin artırılması, enerji kaynaklarının hızla azalması göz önünde bulundurulduğunda zorunluluk noktasına gelmiştir. Bu konuda önemi vurgulamak amacıyla Avrupa Birliği çerçevesinde enerji verimliliğinin artırılması başlığı altında gerek hükümetler gerekse sivil toplum kuruluşlarının katılımıyla birçok yeni düzenleme ve yönergeler yayınlanmaktadır. Bu durum ise enerji verimliliğinin etkili olduğu sistemlerde yenilikçi fikirlerin, uygulamaların ve optimizasyonların geliştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ısı pompalı kurutucu sistemlerinde enerji verimliliğini arttırmak için, nem alma prosesinde buharlaştırıcı yapısının yoğuşma verimine ve yoğuşma hızına etkisi incelenmiştir.

Tez çalışması altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmaya başlama nedenleri ve çalışmaların bitiminde hedeflenen sonuçlar genel hatlarıyla açıklanmıştır.

İkinci bölümde, söz konusu konu ile ilgili olarak gerçekleştirilen literatür araştırmaları gösterilmektedir. Yapılan literatür araştırması sonucunda daha önce yapılan çalışmalar çoğunlukla klima sektörüne yönelik çalışmalar olduğu görülmüştür. Söz konusu bu sebepten dolayı bu tez çalışmasında yer alan literatür çalışmalarında buharlaştırıcı üzerindeki kanat verimini ve yoğuşma verimini genel olarak ortaya çıkaran çalışmalar yer almaktadır.

Üçüncü bölümde nem alma prosesinin genel hatlarıyla incelenmesi yer almaktadır. Bu durum kapsamında ısı pompalı sistemler, psikrometri, özgül nem ve bağıl nem kavramları, nemli havanın soğutulma işlemi, hidrofilik ve hidrofobik kaplamaların genel özellikleri bu bölümde yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan deney tesisatı detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca sistemin belirsizlik analizi, havanın giriş bağıl nemi değişiminin buharlaştırıcı üzerindeki yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisinin deneysel çalışmaları yer almaktadır.

Beşinci bölümde sistem üzerinde yapılan analitik çalışmalar yer almaktadır.

Altıncı ve son bölümde sonuçlar ve değerlendirmeler yer almaktadır.

EFFECT of FIN STRUCTURE and SURFACE TYPE of the EVAPORATOR EFFICIENCY on DEHUMIDIFICATION PROCESS

SUMMARY

Due to global warming and limitations in natural resources; efficient use of energy becomes the focus of both academic and industrial researches. Manufacturers of different areas reunited for the aim of producing less energy consuming products. In order to emphasize the importance of this issue, under the headline of energy efficiency increase many new regulations and directives with the participation of both governments and non – governmental organizations (civil society organization) within the framework of European Union has been published. This necessitates an enhancement in developing innovative ideas, applications and optimisations for the systems in which the energy efficiency is critical.

Considering the daily energy consumption in domestic usage; household laundry tumble dryer is the most energy consuming appliance. Tumble driers are substantially operated according to an exhaust air principle or a condensation principle. In the case of an exhaust air use; an air flow is sucked in from the environment where dryer is placed and after being heated it is directed into the drum of the tumble drier containing laundry to be dried. Humidity is absorbed by the heated air flow and is subsequently returned to the environment.

Recently; household tumble dryers may be classified into two types; air vented and condenser type tumble dryers. A conventional air vented dryer consists of a drum (where laundry is placed), a fan, a heater (using a resistive heating part or combusting some type of fuel such as natural gas), a motor to rotate the drum and a couple of ducts to exhaust the moist air to the outside. On the other hand; condenser tumble dryers use heat exchanger (namely, a condenser) where vapor in the humid air condenses into water that is collected either a drain pipe or a collection tank. This system is of a closed cycle does not require a venting duct to the exterior of the house. Today two types of condenser tumble dryers can be found on the market. This tumble dryers are air condenser dryers and heat pump dryers.

In this thesis; energy efficiency of a new generation tumble dryer is studied which is called a heat pump dryers. In heat pump dryers, after passing through the tumble and the filter, humidified air is blown to the evaporator where its temperature is reduced below the dew point and condensation occurs. After the evaporator, the process air goes through the condenser where it is heated before being blown back to the tumble. In laundry dryer system, the main idea is condensate the water so the evaporator structure is the most effective for increasing the efficiency of a heat pump dryer system.

In this study, for increasing the efficiency of a heat pump dryer system, the effects of the evaporator structure in condensation efficiency and condensation rate has been studied. Thesis study consists of six chapters.

As described in the first chapter; in order to investigate the influence of evaporator structure on the condensation efficiency; temperature and air flow rate at the entrance of evaporator (respectively 38°C and 1,85 m/s) is kept constant while variable relative humidity of entering air, fin type (flat and wavy) and surface type (hydrophobic and hydrophilic) of evaporator's were investigated.

Firstly, a literature search was performed and represented in the second chapter. As a result of this research it has been understood that most of the studies that had been completed are about air – conditioning systems.

Hence, the literature search includes the studies that put for the fin efficiency and condensation efficiency generally.

In the third chapter, examination of dehumidification process is outlined. Heat pump system properties, psychrometric definitions such as specific humidity and relative humidity, cooling process of moist air and general properties of hydrophilic and hydrophobic coatings have been presented in this chapter

In the fourth chapter, the experimental system used in the study is described in detail. Furthermore, the uncertainty analysis of the system and the experiments that shows the effects of variation of the evaporator inlet relative humidity on the condensation efficiency and condensation rate take part in this chapter.

Analytical studies about the system are shown in the fifth chapter.

Finally in the sixth chapter; results are discussed in detail. As a summary of this thesis;

Highest condensation efficiency was achieved with plain fin type evaporator for both in hydrophilic and hydrophobic surface coatings.

Another important result was that; condensation rate is increased proportionally with the initial relative humidity.

As a concluding remark; all experimental results showed in this thesis were obtained at constant air flow rate and temperature at the entrance of evaporator. As a result,

- Air inlet relative humidity, condensation rate and condensation efficiency is an important factor values. As the value of the air inlet relative humidity, condensation, and condensation rate of efficiency increases.
- The evaporators which fin form are plain and wavy, are coated with a hydrophobic types, condensation rate and condensation efficiency, changes in the air inlet relative humidity for all tests (65%, 70%, 80%), plain the fin type is more efficient than the wavy the fin type.
- The evaporators which fin form are plain and wavy, are coated with a hydrophilic types, condensation rate and condensation efficiency, changes in the air inlet relative humidity for all tests (65%, 70%, 80%), plain the fin type is more efficient than the wavy the fin type.
- The evaporators which fin type are wavy, coating type are hydrophobic and hydrophilic, condensation rate and condensation efficiency, changes in the air inlet relative humidity for all tests (65%, 70%, 80%), hydrophobic coated evaporators are more efficient than hydrophilic coated evaporators.
- The evaporators which fin type are plain, coating type are hydrophobic and hydrophilic, condensation rate and condensation efficiency, changes in the air

inlet relative humidity for 70%, 80% hydrophobic coated evaporators are more efficient than hydrophilic coated evaporators.

- This analytic model results compared with experimental results, seen that the average accuracy of %96,75.

For the future studies,

- It is suggested to investigate the efficiency at variable flow rate and temperature (evaporator inlet).
- Usage of different types of evaporators, different fin types (slit, louver etc.) and coatings (gold epoxy etc.) will also improve the accuracy of the analytic model.

1. GİRİŞ

Kurutma işlemi katılardan, su veya diğer sıvıların uzaklaştırılmasıdır. Kurutma, günümüzde bir çok sektörde (tarım, kağıt, tekstil vb.) kullanılmaktadır. Bu sektörlerden biri de tekstil ürünleri kurutma sektörüdür.

Piyasada bulunan çamaşır kurutma makinaları genel olarak 3 farklı tipte kurutma mekanizması ile sürdürülmektedir. Bunların birincisi, 'air-vented' olarak adlandırılan ve dış ortam havasının bir ısıtıcı yardımı ile çamaşır üzerinden nem alma şartına getirildiği ve tamburdan çıkan nemli havanın tekrar dış ortama verildiği makinalardır. İkinci tip kurutma makinaları proses havasının kapalı bir çevrim içerisinde sirküle edildiği ve kurutma havasının ısıtıcı ile şartlandırıldığı 'yoğuşturuculu' kurutma makinalarıdır. Tambur çıkışındaki nemli hava, çapraz akışlı bir ısı değıştiricisi ile ortam havası kullanılarak yoğuşturulmaktadır. Yoğuşma işleminde kullanılan ortam havası tekrar ortama verilmektedir. Üçüncü tip kurutma makinaları ise proses havasının şartlandırılma işleminin buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ile gerçekleştirildiği (ısı pompalı) kapalı çevrim çalışan sistemlerdir. Bu tip kurutma makinalarında buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde yoğuşturucu görevini üstlenen komponent tarafından proses havası ısıtılarak tambur içerisine gönderilir. Tambur çıkışındaki nemli proses havasının, buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde buharlaştırıcı olarak çalışan komponent tarafından nemi alınmaktadır. Daha sonra yoğuşturucu tarafından adyabatik olarak ısıtılan proses havası tambur içerisine gönderilerek bir tam hava çevrimi tamamlanmaktadır.

Isı pompalı çamaşır kurutma sistemlerinde, buharlaştırıcı ve yoğuşturucuyu istenilen sıcaklık ve basınç değerlerinde tutarak, yoğuşturucuda havayı ısıtmak için bir ısıtma enerjisi, buharlaştırıcıda ise havayı soğutmak için soğutma enerjisi ve nemli havayıyoğuşturmak için, yoğuşma enerjisi oluşturulur. Buharlaştırıcıda oluşturulan bu enerjileri, ısı pompalı kurutma sistemlerinde kompresör,dışarıdan çektiği bir güç ile yaratır. Isı pompalı kurutma sistemlerinde ana hedef çamaşırdaki suyu buharlaştırmak(nem almak) olduğu için buharlaştırıcıdaki yoğuşma enerjisinin artırılması enerji verimliliğini arttırmada en önemli etkindir.

Söz konusu bu sebeplerden dolayı bu çalışmada buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde nem alma işlemini gerçekleştiren buharlaştırıcı yapısının yoğuşma verimine etkisi incelenmektedir. Bu amaç doğrultusunda, buharlaştırıcı yüzey kaplaması ve kanat formunun değişiminin yoğuşma verimi ve yoğuşma hızının analizini yapılması amaçlanmıştır. Buharlaştırıcıdaki, yoğuşma enerjisinin buharlaştırıcıdaki toplam enerjiye oranına yoğuşma verimi denir. Yoğuşma hızı ise, buharlaştırıcıda birim zamanda yoğuşan su miktarına denir. Yoğuşma hızı ve yoğuşma verimi Bölüm 4.2’de detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında buharlaştırıcı kanat tipleri olarak dalgalı, düz, kanat kaplaması olarak da hidrofilik ve hidrofobik kaplamalar kullanılmıştır. Su damlası yüzeyde yayılma eğilimi gösteriyorsa o yüzeye hidrofilik yüzey, damla yayılmak yerine durma eğilimi gösteriyorsa o yüzeye hidrofobik yüzey adı verilir. Bu yüzeyler hakkında detaylı bilgi Bölüm 3.5’te verilmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışması sonucunda en verimli buharlaştırıcı tipinin belirlenmesi ile ısı pompalı kurutuma makinalarında enerji verimliliğini arttırmak hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ev tipi kurutucularda, tambur motorundan tahrikle çalışan bir fan ile zorlanmış taşınım yaptırılan hava, yoğuşturucutarafından ısıtılarak tamburun içine belirli bir debi miktarı ile gönderilir. Burada çamaşırın yüzeyinden nem alarak tamburdan çıkar ve buharlaştırıcıya gelir. Burada havanın sıcaklığı, çığ noktası sıcaklığı altına düşürülerek çamaşırlardanaldığı nemi yoğuşturulur. Bu sistemde, sistem performansını ve nem alma kapasitesini etkileyen en önemli çevrim elemanı buharlaştırıcıdır. Ayrıca kurutucuların yanı sıra iklimlendirme sistemlerinde de buharlaştırıcının önemi çok büyüktür. Bu sebeplerden ötürü buharlaştırıcı dizyanı ve performans analizi için çok sayıda araştırma yapılmıştır.

2.1 Buharlaştırıcı Kanat Tipinin Sisteme Olan Etkisi

Yapılan araştırmalarda, sistemde çalışacak olan buharlaştırıcıların maksimum performans sağlaması için kanat yapılarının performansları incelenmiştir. Huzayyin ve arkadaşları yaptığı araştırmada[1], nem alma kapasitesinin, havanın giriş bağıl neminin, hava giriş yüzey hızının, hava giriş sıcaklığının artmasıyla arttığını, buharlaştırıcı basıncının artmasıyla da azaldığını öne sürmüştür. Isı geçişi ve ısı değiştirici kanat verimi performanslarını analiz edebilmek için entalpi potansiyeli yöntemi kullanmıştır. Bu çözüm yöntemindeısı geçişi için ,

$$\dot{Q} = \frac{h_{ow}}{C_w + C_{Pa}} (A_s + \eta_{f,w} A_f) (i_{a,i} - i_s) \quad (2.1)$$

$$h_{ow} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_w C_w} + \frac{y_w}{k_w}\right)} \quad (2.2)$$

$$C_w = \frac{d_i/d_T}{C_{Pa}} \quad (T = T_{avr} \text{ olduğunda}) \quad (2.3)$$

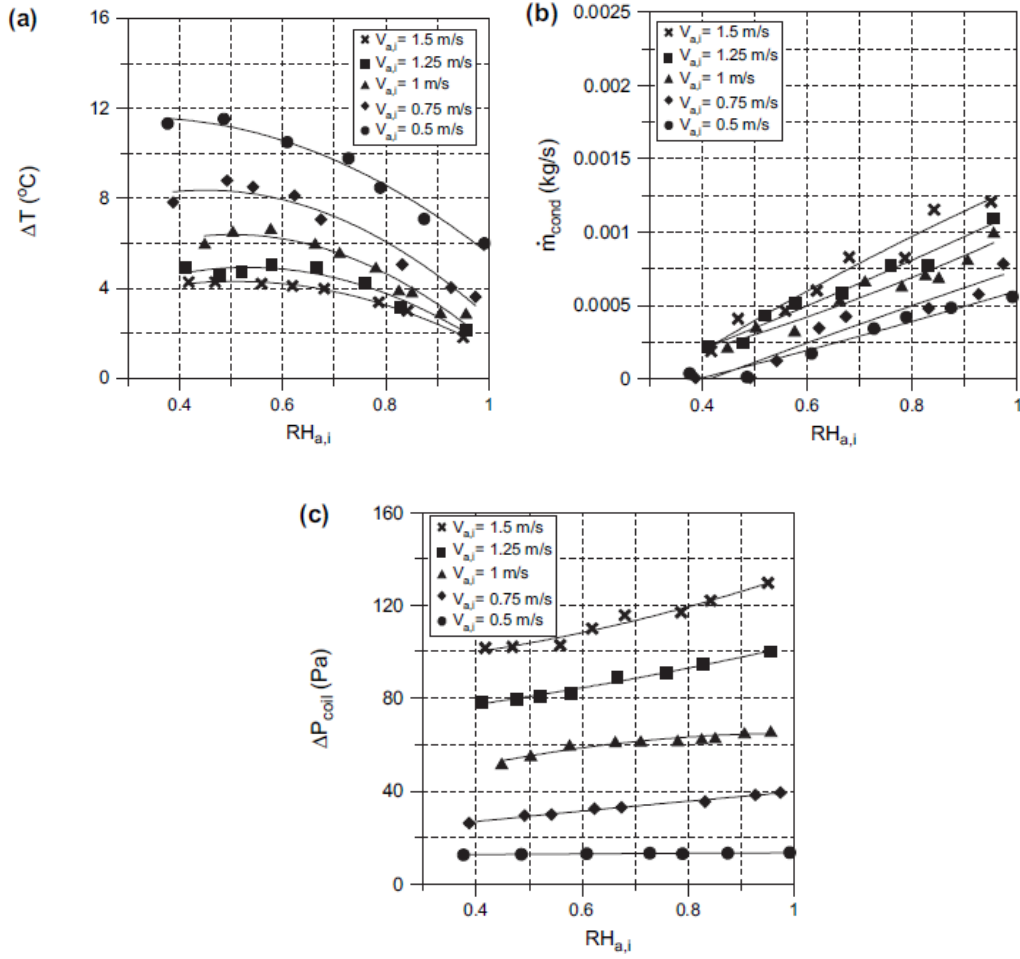
formülleri kullanılmıştır. Burada kanadın üzerindeki yoğuşma filmi kalınlığı (y_w) bir çok araştırmacı tarafından 0.127 mm olarak kabul edilip hesaplamalara dahil edilmiştir. Ayrıca ısı geçişi hesabı yanında sistemdeki kanat veriminin hesabı için ;

$$\eta_{f,w} = \frac{\tanh(Mr_i\phi)\cos(0.1Mr_i\phi)}{Mr_i\phi} \quad (2.4)$$

$$M = \frac{2h_w C_w}{k_f \delta} \quad (2.5)$$

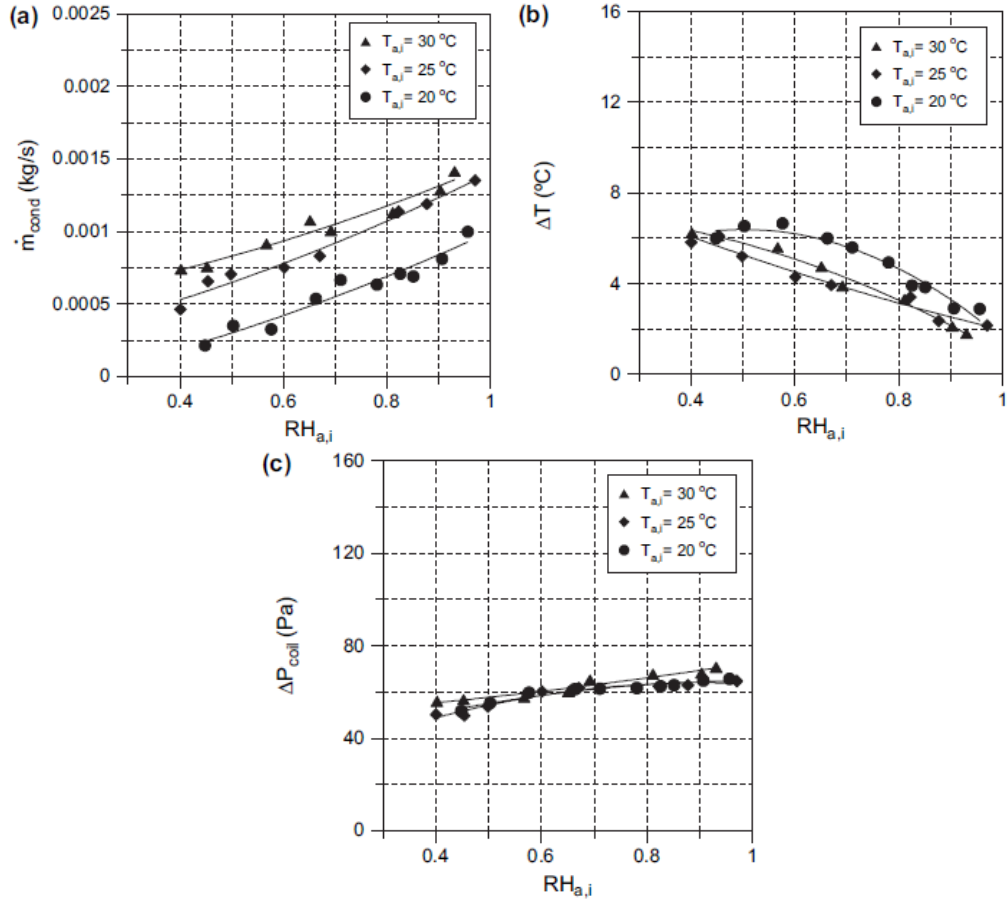
$$\phi = \left[\frac{r_o}{r_i} - 1 \right] \left[1 + 0.35 \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right) \right] \quad (2.6)$$

formülleri kullanılmıştır. Havanın, giriş sıcaklığı 20-30 °C, giriş bağıl nemi 40-95%, hızı 0.5-1.5 m/s olduğu aralıklardaki deney koşullarında yapılan deneyler sonucunda Şekil 2.1'deki sonuçlar görülmüştür.



Şekil 2.1 : Havanın giriş bağıl nemi ve giriş hızının buharlaştırıcı üzerinde (a) kapasite, (b) yoğuşma miktarı, (c) basınç düşümüne olan etkisi.[1]

Bu çalışma koşullarında yukarıdaki Şekil 2.1 : (a) da havanın giriş bağıl neminin artması sonucu sistemin soğutma kapasitesinde azalma görülmüştür. (b) de ise havanın giriş bağıl neminin artması sonucu yoğuşma miktarında (\dot{m}) artış meydana geldiği görülmektedir. (c) de ise giriş bağıl neminin basınç düşümüne olan etkisinin sonuçları görülmektedir. Havanın giriş hızının 0,75 m/s 'den düşük olduğu durumlarda basınç düşümünün değişimi, havanın giriş bağıl nemi değişiminden bağımsızdır. Ayrıca hava giriş hızının artması buharlaştırıcıdaki basınç düşümünü de arttırmaktadır.



Şekil 2.2 : Havanın giriş bağıl nemi ve giriş sıcaklığının buharlaştırıcı üzerinde (a) yoğuşma miktarı, (b) kapasite, (c) basınç düşümüne olan etkisi.[1]

Yapılan araştırmada havanın giriş bağıl nemi ile birlikte giriş sıcaklığının da değişimi Şekil 2.2'de incelenmiştir. Şekil 2.2 (a) 'da bağıl nemin ve havanın giriş sıcaklığının artması sonucunda yoğuşan su miktarında artış görülmekte, (b) şekli incelendiğinde havanın giriş sıcaklığının artması sonucu buharlaştırıcının soğutma kapasitesinde azalma meydana gelmekte, (c) şekli incelendiğinde ise buharlaştırıcı basınç düşümünün, havanın giriş sıcaklığı ve bağıl neminin artmasıyla ihmal edilecek kadar az artış meydana getirdiği görülmektedir.

2.2 Buharlaştırıcı Yüzeyindeki Yoğuşmanın Sisteme Olan Etkisi

Chi-Chuan Wang ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmalarda dikdörtgen biçimli kanatlarda, kanat yüzeyinin ıslak ve kuru durumundaki koşullarında, kanatların performansı incelenmek istenmiştir [2]. Söz konusu bu çalışmalar için; yapılan deneylerde havanın giriş hızı 0,3 m/s ile 6 m/s arasında, kanadın taban sıcaklığı ve havanın giriş kuru termometre sıcaklığı $9^\circ C$ ile $27^\circ C$ arasında, havanın giriş bağıl

nemi de %50 ile %90 arasında değişmektedir. Ayrıca bu çalışmada sistemi incelemek amacıyla boyutsuz kanat sıcaklığı (θ) belirlenmiştir. Bu değer,

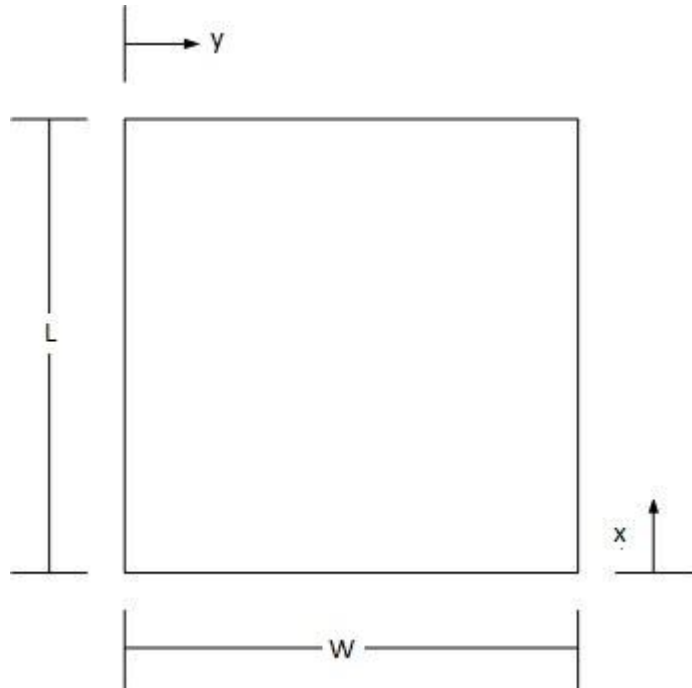
$$\theta = \frac{T_f - T_\infty}{T_{fb} - T_\infty} \quad (2.7)$$

T_f : Kanat yüzey sıcaklığı

T_{fb} : Kanat taban sıcaklığı

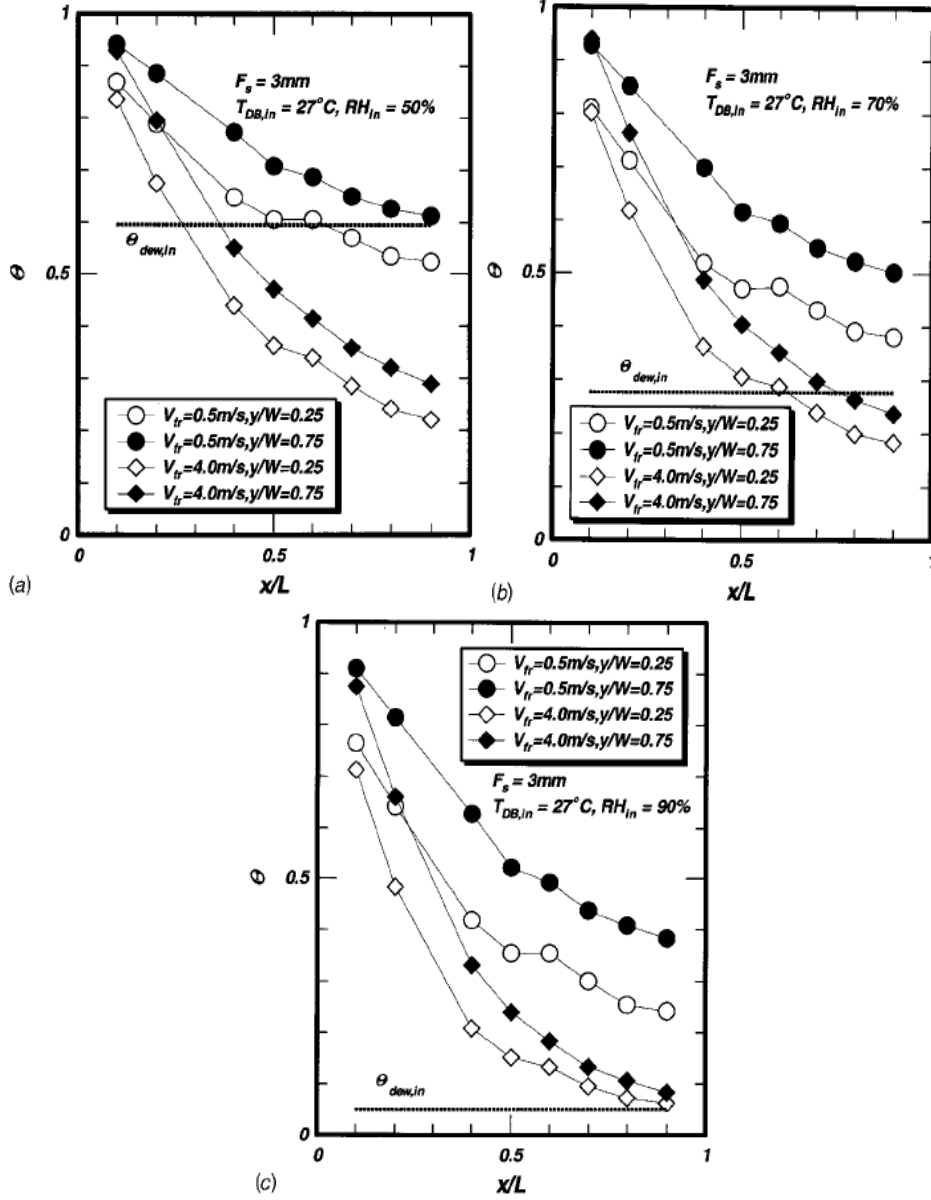
T_∞ : Ortam sıcaklığı

olarak belirlenmiştir. Kanat profilinde boyutsuz terimlere geçiş için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.



Şekil 2.3 : Kanat Uzunluk Boyutsuz Sayıları. [1]

Şekil 2.3'te de görüldüğü üzere kanat uzunluğu L, kanat genişliği ise W harfi ile gösterilmiştir. Sistemde yapılan incelemelerde kanat kesitleri x/L ve y/W olarak belirtilmektedir. Bu kabuller ışığında yapılan çalışmalar sonucunda kanat yüzeyindeki boyutsuz sıcaklığın, giriş bağıl nemi ile değişimi şekil 2.4'te gösterilmektedir.



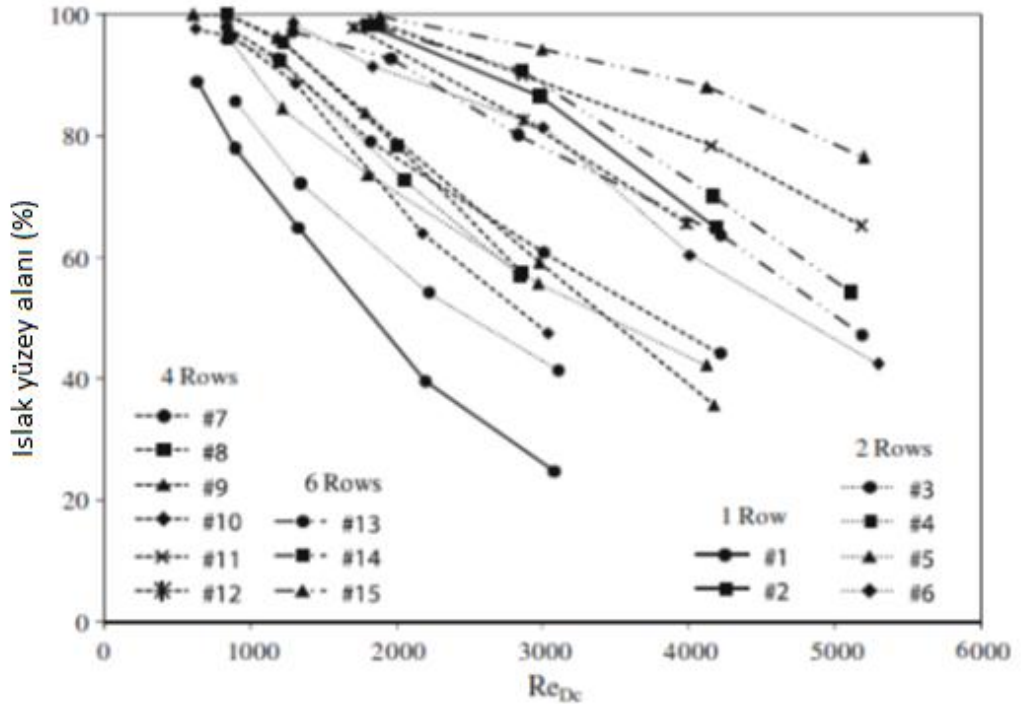
Şekil 2.4 : Havanın girişteki bağıl nem değerinin sisteme olan etkisi.
 (a) $\phi_{in} = 50\%$, (b) $\phi_{in} = 70\%$, (c) $\phi_{in} = 90\%$. [2]

Havanın giriş bağıl nemi artması sonucunda Şekil 2.4 (a), (b) ve (c) de görüldüğü üzere, havanın girişteki boyutsuz çığ noktası sıcaklığı, kanadın üst kısım sıcaklığından daha yüksek değerlere gelmektedir. Bu durum sonucunda kanadın yüzey alanı, tamamen ıslak yüzey koşullarına geçmektedir. Ayrıca şekil 2.4'te havanın giriş hızının değişimi etkileri de görülmektedir. Hava giriş hızının artması sonucunda, sistemde levha uzunluğu boyunca (x/L) sıcaklık değişimleri hissedilebilir bir şekilde değiştiği görülmektedir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda Chi-Chuan Wang ve arkadaşları, aşağıdaki sonuçlara ulaşımlardır:

- Kanat yüzeyinin tamamen ıslak olması durumunda, kanat veriminde kuru termometre sıcaklığının etkisinin çok düşük olmaktadır.
- Giriş hava hızına bağlı olarak, yüzey koşulları tamamen kuru olan kanadın veriminin, yüzey koşulları tamamen ıslak olan kanadın verimine göre %15~25 arasında daha yüksek değerlerde olmaktadır.
- Çalıştıkları koşullar altında tamamiyle ıslak kanat yüzeylerinde giriş bağıl neminin etkisinin düşük olmaktadır.
- Kısmi ıslak yüzeylerde ise giriş bağıl neminin azalmasıyla kanat veriminin kayda değer bir azalma görülmektedir.

2.3 Buharlaştırıcı Kanatlarındaki Yoğuşma Oranının Isı ve Kütle Geçişine Etkisi

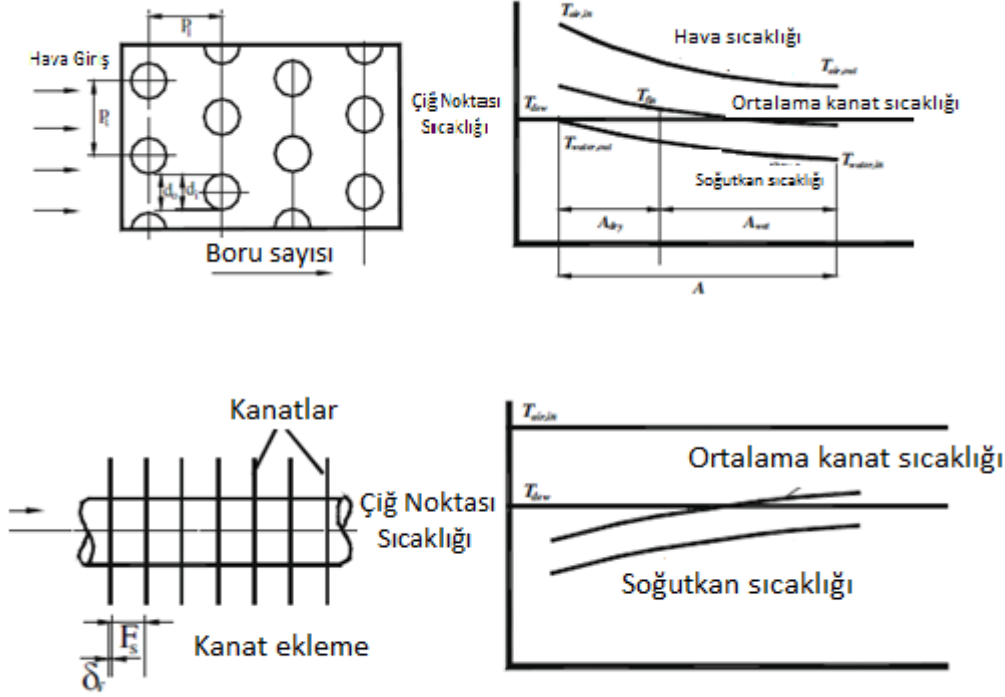
Worechest Pirompugd ve arkadaşları [3], kanat yüzeyinin ıslak, kısmi ıslak ve kuru olduğu durumlarda çalışan düz ve dalgalı kanatlı ısı değiştiricilerde kütle ve ısı geçişi değişimini incelemiştir.



Şekil 2.5 : Kanat üzerindeki ıslak yüzey alanının Reynolds sayısına göre değişimi. [3]

Şekil 2.5, tüm test örneklerinde, havanın giriş bağıl neminin %50 olduğu durumda, ıslak yüzey alan oranını göstermektedir. Düşük Re sayılarında (<1000), kısmi ıslak

yüzey oluşumu çok azdır. Bunun yanı sıra Reynolds sayısının artmasıyla, ıslak yüzey alan oranı düşmektedir. Reynolds sayısının artmasına bağlı olarak, ısı geçişi artar. Bu durum sonucunda düşük sıcaklık farklılıkları ve yüksek yüzey sıcaklıkları meydana gelir. Söz konusu bu ortamda, kısmi kanat yüzeyinde sıcaklıklar, çığ noktası sıcaklığını aşabilir. Bu durumda kısmi kuru yüzey durumu oluşur. Bu olgu, boru sıra sayısı arttığında veya kanat boşluğu azaldığında daha belirgin bir şekilde oluşur.



Şekil 2.6 : Boru ve kanat sayısı artmasına bağlı sistemin sıcaklık değişimleri. [3]

Nem alma koşullarında ısı değiştiricisine doğru hava akışı var iken, akış yönü boyunca havanın sıcaklığı düşer; bunun sonucunda boru sıra sayısı arttıkça havanın bağıl nemi de artar. Sonuç olarak ısı değiştirici yüzeyi daha kolay ıslanmaya başlar. Bunlara ek olarak, görüldüğü üzere kanat boşluğunun artmasıyla ıslak yüzey alan oranı da artmaktadır. Sisteme kanat ilave edilmesi (küçük kanat aralığı), havanın sıcaklığını düşürür. Başlangıçta, oluşan bu durumun boru sayısı ilave edilmesiyle de oluşturulabileceği düşünülmüştür. Fakat yapılan bu çalışma sonucunda boru sayısının artması ve kanat sayısının artması kanat yüzey sıcaklığını arttırmasına rağmen,

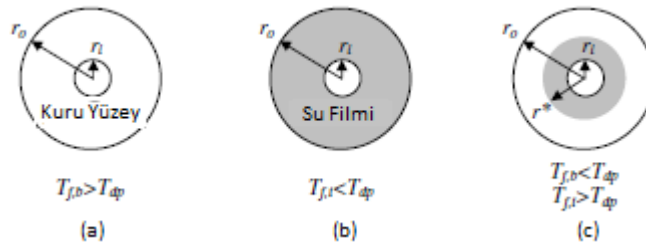
gerçekte aynı olayı gerçekleştirmedikleri görülmüştür. Şekil 2.6'da buharlaştırıcıda boru sıra sayısı ve kanat sayısının artmasına bağlı olarak sistemde oluşan farklılıkları görülmektedir. Boru sayısının artmasına bağlı olarak, sistemdeki hava sıcaklığında, ortalama kanat sıcaklığı ve soğutucu akışkan sıcaklığına paralel olarak bir azalma görülmektedir. Buharlaştırıcıda kanat sayısının artmasına bağlı olarak ortalama kanat sıcaklığı ve soğutucu akışkan sıcaklığında zamanla azalan bir artış görülmektedir.

2.4 Buharlaştırıcılarda, Isı ve Kütle Geçişinin İncelenmesinde Kullanılan Yöntemler

Yapılan literatür araştırmalarında buharlaştırıcılarda ısı ve kütle geçişinin incelenmesinde kullanılan yöntem olarak çoğunlukla, sonlu dairesel kanat yöntemi (finite circular fin method) kullanılmıştır.

2.4.1 Sonlu Dairesel Kanat Yöntemi (Finite Circular Fin Method - FCFM)

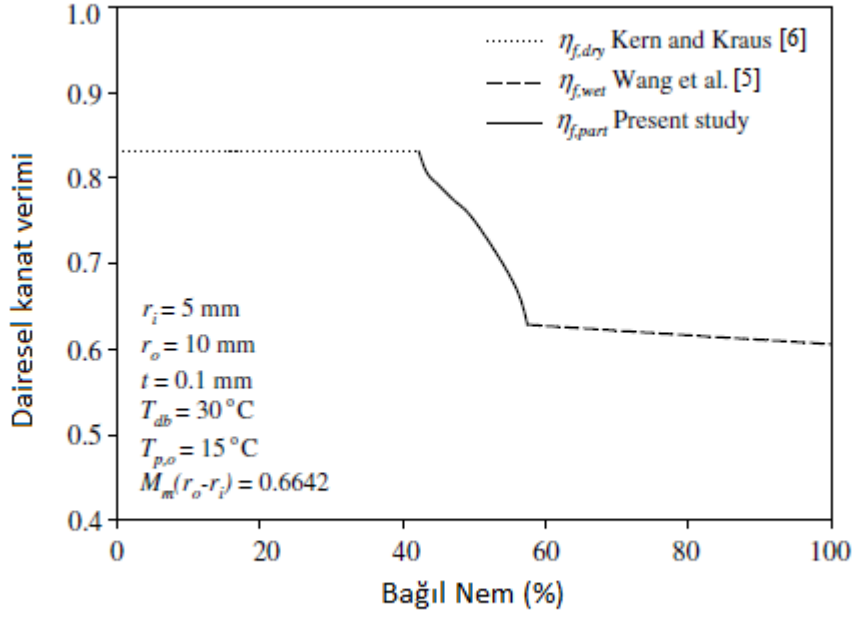
Worachest Pirompugd ve arkadaşlarının[4] kullandığı bu yöntem ile kanatlı ısı değiştiricileri konfigürasyonlarının nem alma koşullarındaki performans analizi yapılmaktadır.



Şekil 2.7 : Boru yüzeyindeki kuruluk değişimi. [4]

Borunun etrafındaki dairesel kısımda, kanat taban sıcaklığının ($T_{f,b}$) çığ noktası sıcaklığından yüksek olduğu durumda kanat yüzeyinin %100 oranında kuru kaldığı (a), kanadın uç kısım sıcaklığının ($T_{f,t}$) çığ noktası sıcaklığından düşük olduğu durumda kanat yüzeyinin ıslak olma durumu (b), kanat taban sıcaklığının çığ noktasından düşük, kanat uç sıcaklığının ise çığ noktası sıcaklığından büyük olduğu durumda ise kısmi ıslak yüzeyin oluşumu (c) Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Worachest Pirompugd ve arkadaşlarının bu yöntemle yaptıkları hesaplamalar sonucunda, kısmi ıslak, kuru ve ıslak yüzeye sahip kanat verimlerinin analizi elde edilmiştir.

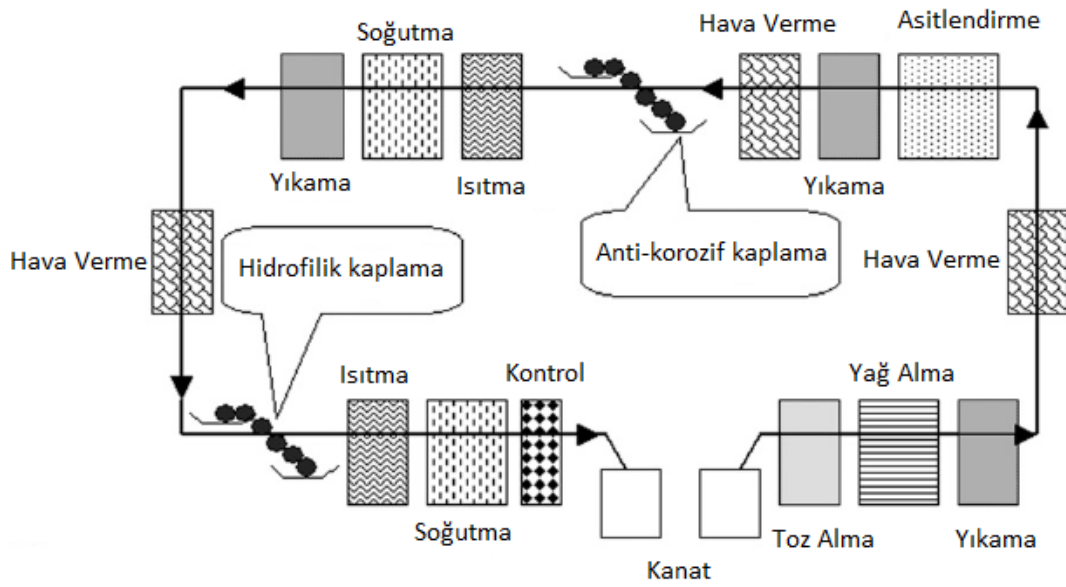


Şekil 2.8 : Dairesel kanat veriminin, havanın giriş bağıl nem değerine göre değişimi. [4]

Şekil 2.8'de görüldüğü üzere yapılan analiz çalışmalarında kanat yüzeyinin kuru ve ıslak olduğu koşullarda kanat verimi, havanın giriş bağıl neminden etkilenmemektedir. Bu durumun aksine, kanat yüzeyinin kısmi ıslak olduğu koşullarda, havanın giriş bağıl neminin artmasına bağlı olarak kanat veriminin hissedilebilir bir şekilde azaldığı görülmektedir. Yapılan araştırmaların sonucunda sonlu dairesel kanat yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda duyulur ısı geçişinin, giriş bağıl neminden etkilenmediği görülmektedir. Kanat aralığının 2 mm'den büyük olduğu durumlarda, giriş bağıl nem değişiminin kütle geçişine etkisi ise küçüktür. Kanat aralığının 2 mm'den küçük olduğu durumda, havanın giriş bağıl neminin artması sonucunda kütle geçişinde bir miktar azalma görülmüştür. Ayrıca Şekil 2.8'den, Wang ve arkadaşları [5] ile Kern and Kraus'un [6] çalışmalarında, havanın giriş bağıl nem değerinin dairesel kanat verimine olan etkisi de görülmektedir.

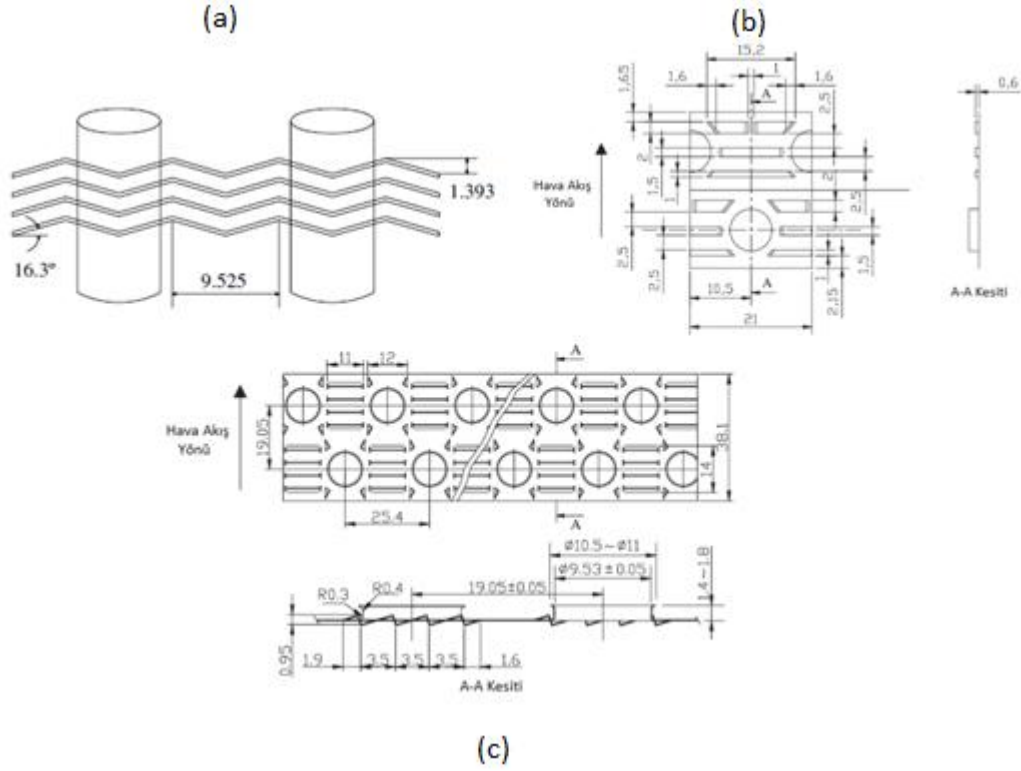
2.5 Hidrofilik kaplamalı buharlaştırıcılarda ısı geçişi ve yüzey sürtünme katsayısı karakteristiğinin incelenmesi

Xiaokui Ma ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda[7], hidrofilik kaplı, farklı kanat tipli (dalgalı, düz, nervürlü) buharlaştırıcılarda hava tarafı ısı geçişi ve kanat yüzeyindeki sürtünme karakteristiğinin havanın giriş bağıl nemine göre değişimi incelenmiştir.



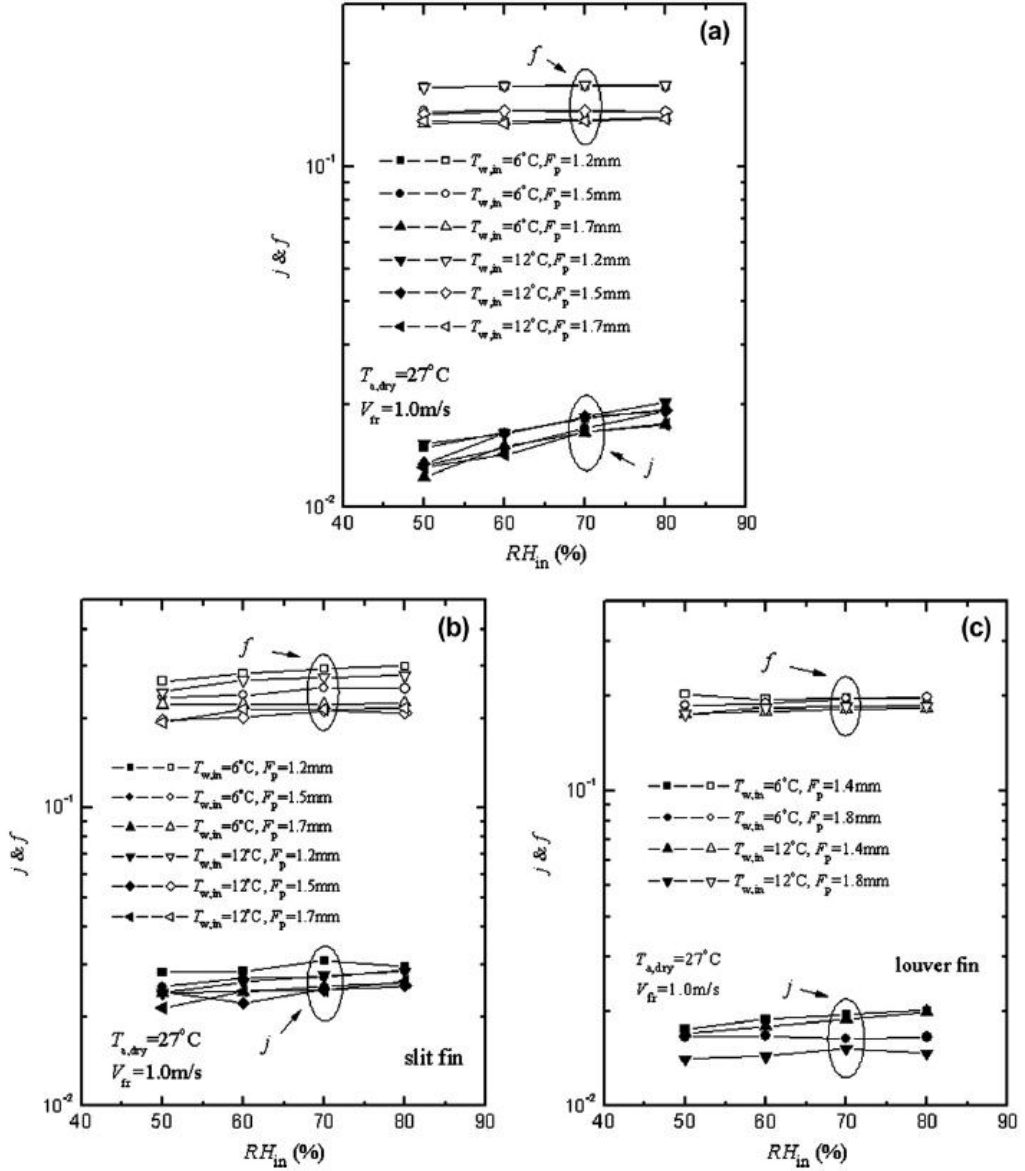
Şekil 2.9 : Kanat yüzeyini kaplama işlemi.[7]

Kanat yüzeyini kaplama işlemi evreleri Şekil 2.9'da görülmektedir. Kanat yüzeyinde öncelikle toz ve yağ alma işlemi yapılır. Bu işlemlerin sonunda kanat yüzeyine hava tutularak yüzeyindeki tüm yabancı maddelerin uzaklaştırılması sağlanır. Temizleme işlemi tamamlandıktan sonra yüzeye asitlendirme işlemi uygulanır. Asitlendirme işlemi uygulanmış yüzey yıkanır, hava verilir ve yıkanan bu yüzeye anti-korozif kaplama işlemi uygulanır. Anti-korozif kaplanan yüzeye sırasıyla ısıtma, soğutma ve yıkama işlemleri yapıldıktan sonra kanat yüzeyine tekrar hava verilir. Anti-korozif kaplama işlemi böylelikle tamamlanır. Bu kaplama üzerine kanat yüzeyine hidrofilik kaplama işlemi uygulanır. Hidrofilik kaplama yapıldıktan sonra kanat yüzeyine son kez ısıtma ve soğutma işlemi uygulanır. Böylelikle kanat yüzeyinde hidrofilik kaplama işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 2.10 : Kanat tipleri (a) dalgalıkanat, (b) kesiklikanat, (c) nervüüllü kanat. [7]

Yapılan çalışmalarda 3 farklı kanat tipi üzerinde yapılan hidrofilik kaplama sonucunda giriş bağıl nemi değişiminin ısı geçişi ve yüzey sürtünme katsayısındaki değişimi incelenmiştir. Yapılan deneylerde hava hızı 1.0 m/s'de, havanın giriş sıcaklığı 27 °C'de, havanın giriş bağıl nemi %50 ~ %80 arasında, soğutucu akışkan olarak kullanılan suyun sıcaklığı 6 °C ve 12 °C, kanat aralığının da 1,2 ~1,8 mm arasında değişimi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.11 : Giriş bağıl neminin hava tarafı ısı geçişine etkisi (a) dalgalıkanat, (b) kesiklikanat, (c) nervüllü kanat.

Bu çalışmada, şekil 2.11’de görüldüğü üzere dalgalı kanat tipli buharlaştırıcılarda bağıl nemin artmasına bağlı olarak ısı geçişi miktarında artış gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra yüzey sürtünme katsayısı karakteristiği incelendiğinde, bu değerin giriş bağıl neminden bağımsız olduğu görülmektedir. Ayrıca beklenildiği üzere ısı geçişi oranı soğutucu akışkan olarak kullanılan suyun sıcaklığının düşmesine bağlı olarak artmıştır.

3. NEM ALMA PROSESİNİN İNCELENMESİ

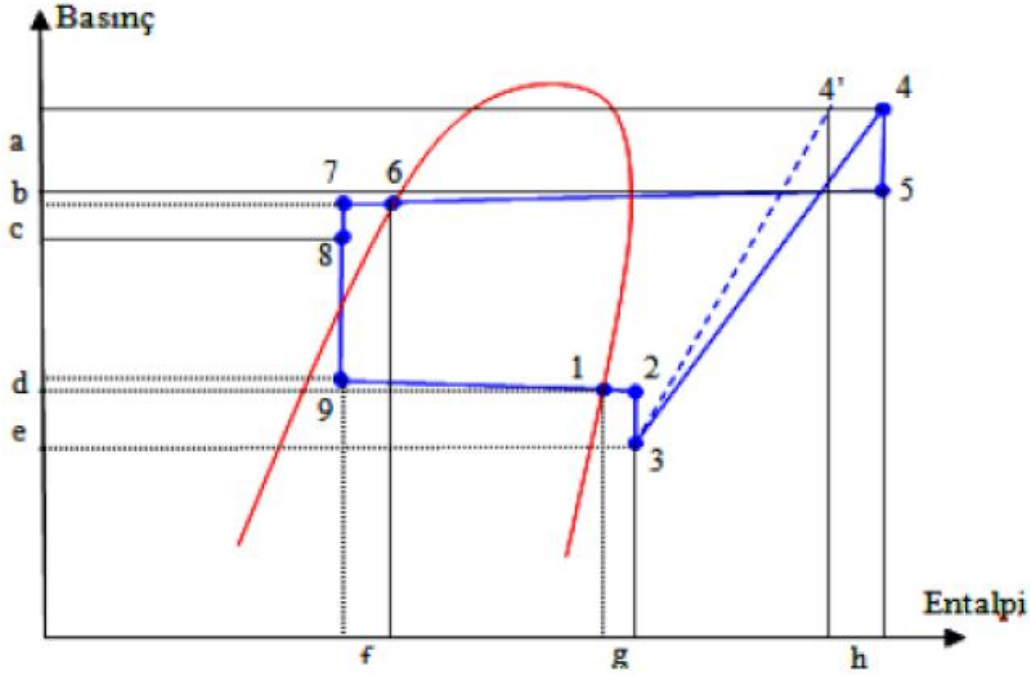
3.1 Isı Pompalı Sistemler

Isı pompasının çalışma temel prensibini termodinamiğin ikinci yasası açıklar. Isı pompası, düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından toplanan ısıyı yüksek sıcaklığa geçiş yapabilmek için yardımcı bir enerji kaynağına (örneğin kompresör için güç girişine) gereksinim duyar. Bu durumda ısı pompasının çalışması, zorlanmış bir geçiş şeklinde yorumlanabilir.

Günümüzde soğutma makinaları herkesçe bilinmektedir. Soğutma makinaları ile ısı pompaları arasında temel prensip açısından bir fark yoktur. Tek fark soğutma makinalarında amaç “soğutmak”, ısı pompalarındaki amaç ise “ısıtmaktır”. [8]

Isı pompalı sistemlerde, mükemmel gaz kanunu gereği, sabit bir hacimde bulunan gazın basıncının artması ile sıcaklığında artış görülür. Bu noktadan hareket ile, soğutma sistemi içerisinde basınçları kontrol ederek sistemin istenen şartlarda çalışması sağlanabilir. Söz konusu kontrol işlemi, buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimlerinde kompresör yardımı ile gerçekleştirilmektedir.

Standart bir buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde, kompresör buharlaştırıcı içerisindeki soğutkanın buharlaşma basıncını emme kuvveti yaratarak istenilen seviyede tutmaktadır. Kompresörden çıkan soğutkan yoğunlaştırıcıya girmekte, burada sıvı faza geçerek kılcal boru üzerinden tekrar buharlaştırıcıya girmektedir.[9]



Şekil 3.1 : Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin lnP-h diyagramı.

Şekil 3.1’de gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin P-h diyagramı gösterilmektedir. Harflerle ifade edilen bölgeler;

- Kompresör basma mekanizmasındaki basınç düşümü
- Basma hattı ve yoğuşturucu basınç düşümü
- Sıvı hattı basınç düşümü
- Buharlaştırıcı emiş hattı basınç düşümü
- Kompresör emiş düzeneği basınç düşümü
- Sıvı hattında aşırı soğutma
- Emiş hattında aşırı kızdırma
- Gerçek sıkıştırma durumundaki kompresör çıkışı (4) ile izentropik sıkıştırma olması durumu (4') arasındaki fark olarak gösterilmektedir. [10]

3.2 Psikrometri

Psikrometri, nemli havanın termodinamik özellikleri ile bu özellikleri kullanarak nemli havadaki işlemler ve şartlarla ilgilenen, termodinamiğin bir dalıdır. Atmosferik havanın tamamen kuru olmaması, içinde su buharının bulunması nedeniyle

psikrometri önem kazanır. Bütün iklimlendirme işlemlerinde hava içindeki su buharının varlığı göz önüne alınmaktadır. Psikrometri soğutma kulelerinin, soğutma ve nem alıcı serpantinlerin ve iklimlendirme sistemlerinin temelini meydana getirir.

Nem alma ve iklimlendirme sistemlerinde, sıcaklık aralığı -10°C ile 50°C arasındadır. Bu sıcaklık aralığında yapılan termodinamik hesaplamalarda havanın kritik sıcaklığı (T_{kr}) ve kritik basınç değerleri (P_{kr}) incelendiğinde mükemmel gaz olarak kabul edilmektedir. Bu sebepler göz önüne alındığında, nemli havanın içinde bulunan kuru hava ile birlikte su buharı ayrı ayrı olarak,

$$P_a v_a = RT \quad (3.1)$$

$$P_{sb} v_{sb} = RT \quad (3.2)$$

mükemmel (ideal) gaz denklemini sağlar. Bu durumda nemli hava, basıncı kuru havanın ve su buharının kısmi basınçlarının toplamı olan, mükemmel bir gaz karışımı olarak incelenebilir:

$$P = P_a + P_{sb} \quad (3.3)$$

P : Nemli havanın basıncı (kPa)

P_a : Kuru havanın kısmi basıncı (kPa)

P_{sb} : Su buharının kısmi basıncı (kPa)

3.3 Özgül Nem ve Bağlı Nem Kavramları

Özgül nem, nemli hava içindeki su buharı ağırlığının, kuru hava ağırlığına oranıdır.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \text{ [kg su buharı / kg kuru hava]} \quad (3.4)$$

m_v : Nemli hava içerisindeki su buharı miktarı [kg]

m_a : Kuru hava miktarı [kg]

şeklinde belirtilmektedir.

Genel ideal gaz denklemi özgül nem formülüne uygulanırsa ,

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} \quad (3.5)$$

elde edilir.

Nemli hava içindeki su buharı miktarının (m_v), aynı koşullardaki (sıcaklık, basınç) havanın içerisinde bulunabilecek maksimum su buharı miktarına (m_g) oranı bağlı nem olarak adlandırılır. Bağlı nem ile özgül nem arasındaki ilişki açıklanacak olursa,

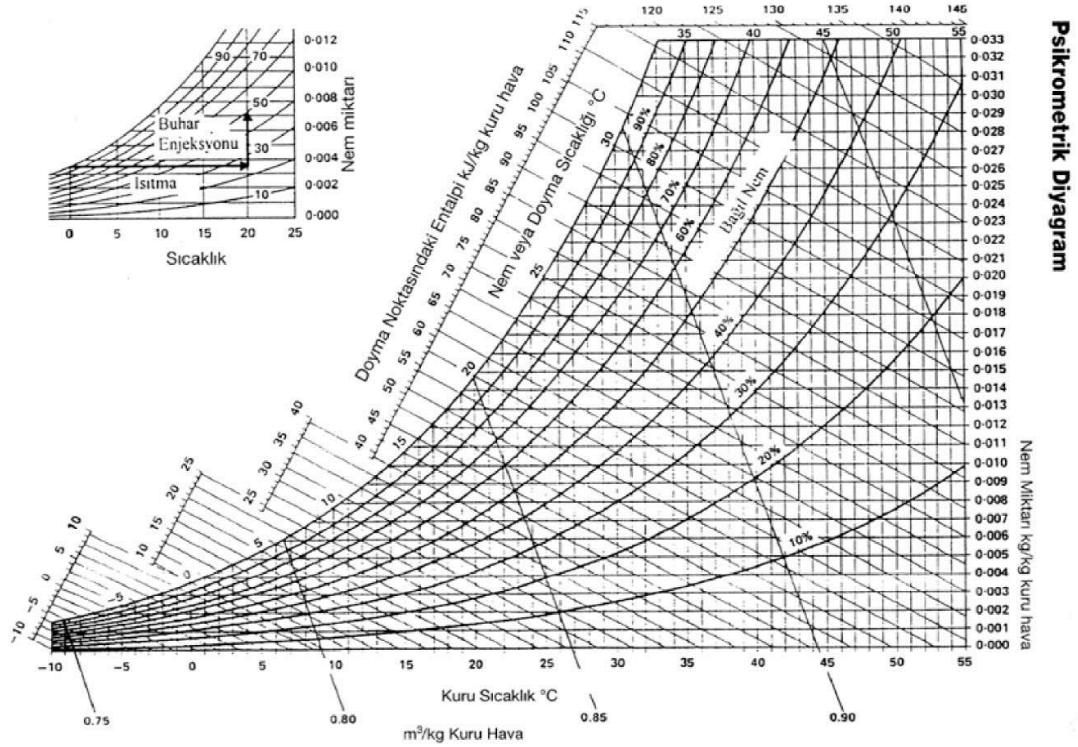
$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} \rightarrow P_v = \frac{\omega \cdot P}{0.622 + \omega} \rightarrow \phi = \quad (3.6)$$
$$\frac{P_v}{P_g} = \frac{\omega \cdot P}{(0.622 + \omega) \cdot P_g} ; \omega = \frac{0.622 \cdot \phi \cdot P_g}{P - \phi P_g}$$

olarak gösterilir.

Bağlı nem değeri havanın taşıdığı su buharı miktarına göre 0 (kuru hava) ile 1 (doymuş hava) değerleri arasında değişmektedir. Kuru hava, içinde su buharı bulunmayan hava olarak adlandırılır ve özgül nem değeri 0'dır. Ayrıca havanın su buharı tutma kapasitesi havanın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Belirli sıcaklıktaki kuru havaya su buharı ilave edilerek özgül nemi arttırılır. Fakat, belirli olan sıcaklık değerinin maksimum taşıyabileceği su buharı kapasitesine gelindikten sonra havaya artık su buharı ilave etmek mümkün olmaz. Bu kapasiteye ulaşmış hava doymuş hava olarak adlandırılır.

3.3.1 Psikrometrik Diyagram

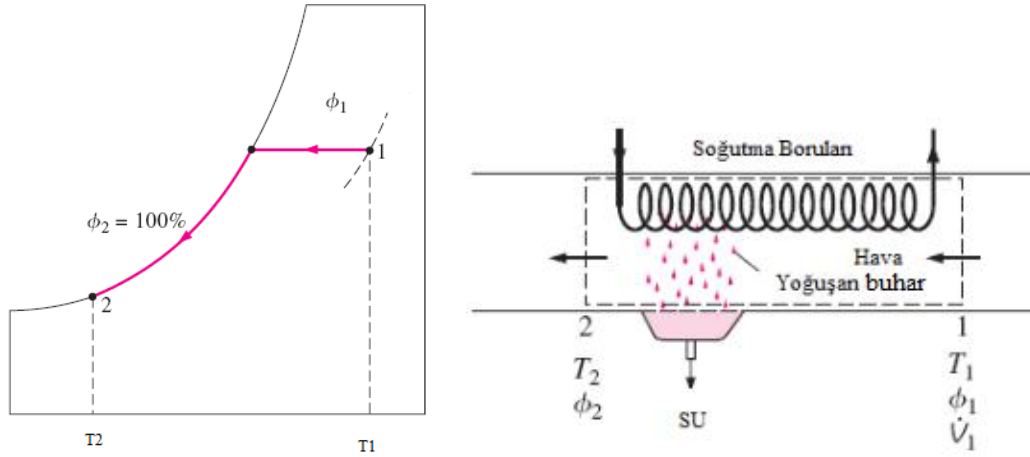
Psikrometrik diyagram, nemli havanın termodinamik hesaplarında kullanılan, üzerinde havanın (su buharı + kuru hava) kuru termometre, yaş termometre, özgül nem, bağıl nem, yoğunluk, entalpi gibi değerlerini barındıran diyagram çeşididir. Bu diyagramda yukarıdaki değerlerden herhangi ikisinin bilinmesi halinde diğer değerlerde bulunabilmektedir. Atmosferik basınç altındaki psikrometrik diyagram, Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda çevrimdeki kurutma havasının termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasında psikrometrik diyagramdan yararlanılmıştır.



Şekil 3.2 : Atmosferik basınçtaki psikrometrik diyagram.

3.4 Nemli Havanın Soğutulması

Duyulur soğutma sırasında havanın özgül nemi sabit kalır, fakat bağıl nemi artar. Nem alma işleminin gerçekleştirilebilmesi için, havanın çiğ noktası sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa soğutulması gerekir.



Şekil 3.3 : Nemli Havanın Soğutulması.

Ev tipi kurutma makinalarında, çamaşırın üzerinden geçirilen sıcak ve bağıl nemi düşük hava, çamaşırdan aldığı nem ile, sıcaklığı belirli bir miktar düşerek buharlaştırıcı girişine bağıl nemi yüksek bir şekilde gelir(1). Buharlaştırıcı üzerinden geçen havanın sıcaklığı azalır ve özgül nemi sabit kaldığından dolayı bağıl nemi artar. Burada hava çığ noktası sıcaklığına erişir. Burada havanın sıcaklığı biraz daha düşerek içerisindeki su buharı yoğuşur. Yoğuşma olayı devam ederken havanın durumu, doymuş hava eğrisi üzerinde ilerleyerek son haline ulaşır(2). Son halinde buharlaştırıcıdan çıkan bağıl nemi yüksek olan hava yoğuşturucuda ısıtılarak sıcaklığı artar ve özgül nemi sabit kalırken bağıl nemi azalır.Şekil 3.3'teki gibi sistemlerde akışın sürekli olduğu durumlarda kütle ve enerjinin korunumu denklemleri,

$$\Sigma \dot{m}_g = \Sigma \dot{m}_\phi \quad (3.7)$$

Kuru havanın kütlesi,

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} \quad (3.8)$$

Su Kütlesi,

$$\dot{m}_{a_1} \omega_1 = \dot{m}_{a_2} \omega_2 + \dot{m}_{su} \quad (3.9)$$

Enerji,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_\phi h_\phi - \Sigma \dot{m}_g h_g \quad (3.10)$$

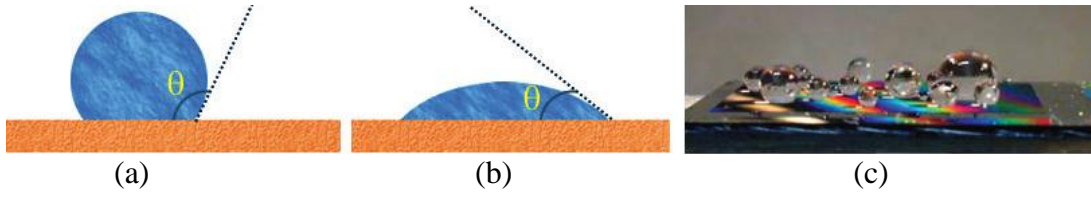
$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}_{a_2} h_2 - \dot{m}_{a_1} h_1 + \dot{m}_{su} h_{su} \quad (3.11)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_2 - h_1) + \dot{m}_{su} h_{su} \quad (3.12)$$

biçimine dönüştürülür. [11]

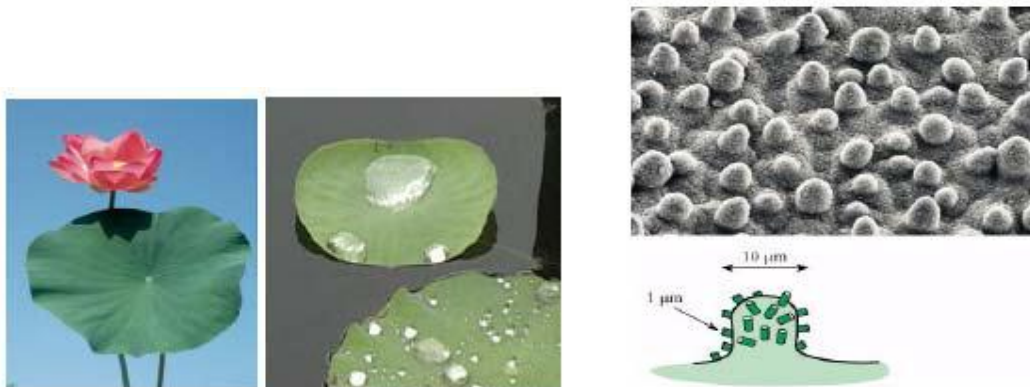
3.5 Hidrofobik ve Hidrofilik Kaplamalar

Sudamlası yüzeyde yayılma eğilimi gösteriyorsa buna hidrofilik yüzey; damla yayılmak yerine küresel bir şekilde durma eğilimi gösteriyorsa hidrofobik yüzey adı verilir. Bu yüzeyler suyla yaptıkları değme açısına göre adlandırılırlar. Değme açısı bir katının bir sıvı tarafından ıslatılma miktarının nicel ölçümüdür. Değme açısı, 90 dereceden küçükse sıvı yüzeye yayılma eğilimi göstermekte, 90 dereceden büyükse sıvı küresel bir şekil alarak sıvı üzerinde yayılma eğilimi göstermemektedir. Eğer yüzeyler bu eğilimleri çok fazla gösteriyorsa, yani su damlası tamamen yayılıyorsa ve yüzeye yaptığı değme açısı 5 dereceden küçükse (0 dereceye yaklaşıyorsa) buna süperhidrofilik; damla nerdeyse küresel bir şekilde duruyorsa ve yüzeye yaptığı değme açısı 150 dereceden büyük ise (180 dereceye yaklaşıyorsa) süperhidrofobik yüzeyler denir. Değme açısını etkileyen en önemli faktörler katının yüzey enerjisi ve pürüzlülüğüdür. Yüzey enerjisi, yüzey gerilimi sonucu ortaya çıkar. Bir kristal yapısı düşünülürse, bu kristalin içindeki bir atom her yönden çekme kuvvetine maruz kaldığı için kararlı bir şekilde yerini koruyabilir. Yüzey atomları için aynı durum söz konusu değildir. Yüzey atomu, içerideki bir atoma uygulanan çekme kuvvetinin belirli bir miktarını hisseder ve bu yüzden yüzeyden kopma eğilimi gösterir bu da yüzey gerilimi yaratır. Yüzey gerilimi düştükçe değme açısı da düşer. Yüzey pürüzlülüğünün artması ise hem hidrofilik hem hidrofobik özelliklerin artmasına neden olur. Çünkü kaplama tipine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün artması sonucunda hidrofobik ve hidrofilik yüzeylerde suyla temas eden yüzey alanı artar ve değme açısı hidrofobik yüzeylerde artar, hidrofilik yüzeylerde ise azalır. Hatta pürüzlülük olmadan ulaşılabilecek maksimum değme açısı hidrofobik bir yüzey için 120 dereceyi geçemez. Pürüzlülük, yüzeye sudamlası arasında hava sıkışmasını sağladığı için aradaki etkileşme miktarını da düşürür, dolayısıyla değme açısı hidrofobik yüzeylerde artar.



Şekil 3.4 : (a) Hidrofobik yüzey, (b) hidrofilik yüzey, (c) hidrofobik yüzey üzerindeki su damlacıkları.

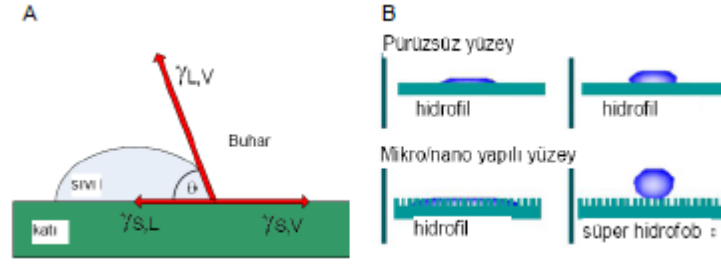
Hidrofobik kaplamalar lotus çiçeğinin yapraklarını kendi kendine temizleyebilme özelliğinden yararlanılarak oluşturulmuş kaplamalardır. Şekil 3.5'te Lotus yapraklarının SEM fotoğrafları incelendiğinde mumsu yüzeyin mikron büyüklüğünde tepecikler ve bu tepecikleri kaplayan nano boyutlarda sac benzeri tüplerlerden oluştuğu gözlenmiştir. 1997 yılında, Bonn Üniversitesinden botanikçi Wilhelm Barthlott Lotus yaprağının kendi kendini temizleme davranışını ilk kez tanımlayan kişi olmuştur ve 1998'de Barthlott, Christoph Neinhuis ile birlikte "Lotus Etkisi"ni tanımlayan bir patent almışlardır. Barthlott ve Neinhuis, lotus yaprağı yüzeyinin ve filizlerinin ince bir kütikula ile kaplı olduğunu bulmuştur. Kütikula, çözünmeyen bir polimer (kütin) ve mumlardan oluşmaktadır. Birçok bitkide epikütikular mumun karakteristik mikro yapılar oluşturduğu ve bu yapıların yüzeye pürüzsüzlük kazandırdığı gözlenmiştir. Mum tabakası bitki ve çevre arasında multifonksiyonel bir ara yüz oluşturmakta, hava akışı ile ışık yansımalarını etkilemekte ve yüksek bir su iticiliği sağlamaktadır. Bu tür yüzeyler su ile temas ettiğinde, küçük damlacık oluşturmakta ve yaprak üzerinden yuvarlanarak ilerlemektedir.



Şekil 3.5 : Lotus Yapağı ve SEM fotoğrafı.

Lotus Etkisinin dayandığı temel prensip, katı bir yüzey üzerindeki sıvıya etki eden kuvvetlerle yakından ilişkilidir. Katı ve sıvı faz arasındaki ($\gamma_{S,L}$), katı ve buhar fazı

arasındaki ($\gamma_{S,V}$) ve sıvı ile buhar fazı arasındaki ($\gamma_{L,V}$) kuvvetler tüm yüzey gerilimini tanımlamaktadır. Değme açısı ise bu kuvvetlere bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.5'te de görüldüğü üzere yüzey pürüzlülüğü, hidrofilik yüzeylerin ıslanabilirliğini geliştirirken ($\theta < 90^\circ$) hidrofobik yüzeylerin ıslanabilirliği ($\theta > 90^\circ$) düşmektedir. Mikron çapındaki pürüzlülük ise, 170° değme açısı ile süper hidrofobik özelliğe ulaşmaktadır. Süper hidrofobik yüzey üzerindeki damla kaymamakta, yuvarlanarak ilerlemektedir. [12]



Şekil 3.6 : A- Katı bir yüzeyde sıvıya etki eden kuvvetler, B- Lotus etkisinin prensibi.

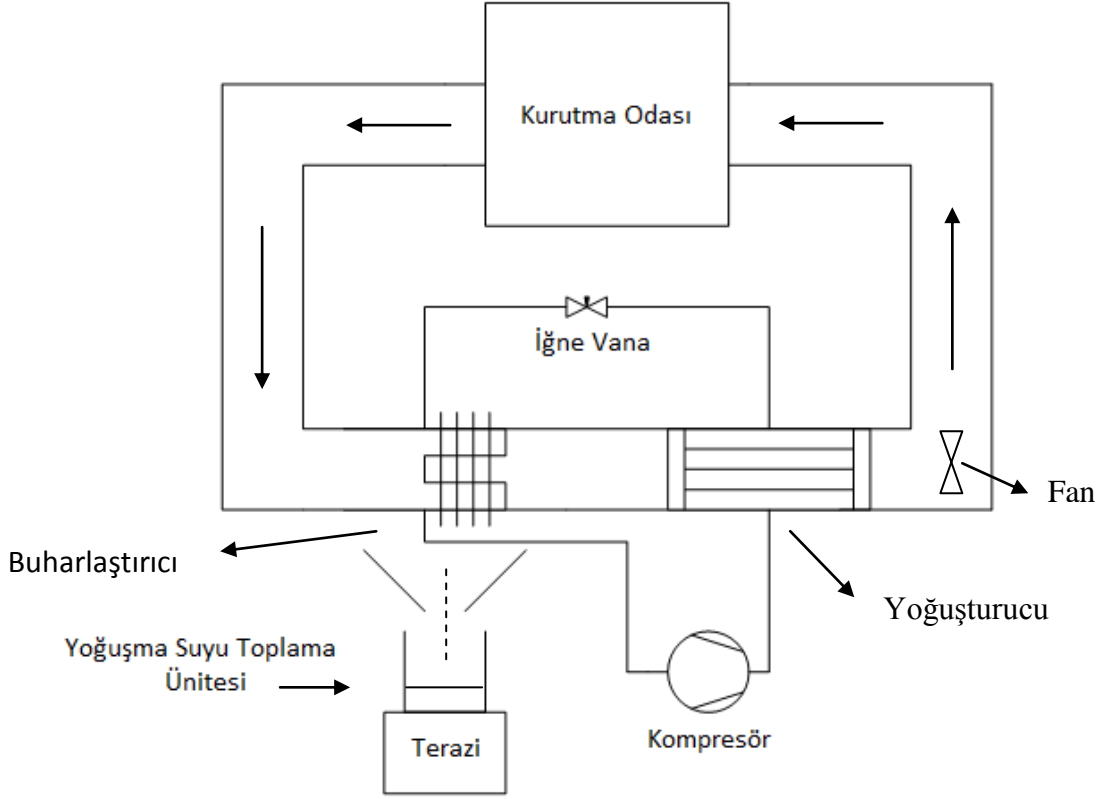
Bu yüksek lisans tez çalışmasında suyu çekme ve suyu itme özelliklerinin buharlaştırıcı yüzeyi üzerindeki etkisini araştırmak için buharlaştırıcı yüzeyleri, hidrofobik ve hidrofilik kaplamalı olduğu durumlar için buharlaştırıcı yüzeyindeki yoğuşma hızı ve yoğuşma verimi incelenmek istenmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Nem alma sistemlerinde, buharlaştırıcı kanat tipi ve buharlaştırıcı kanat kaplama tipinin yoğuşma verimine ve yoğuşma hızına etkisini incelemek amacıyla yapılan bu yüksek lisans tezinin deneysel çalışmaları için oluşturulacak sistemin ev tipi kurutma makinalarına benzemesi amacıyla kurutma odasını döndüren bir adet motor, kurutmayı sağlamak amacıyla buhar sıkıştırıcı çevrimin oluşturulacağı ısı pompalı bir test düzeneği oluşturulmuştur. Isı pompalı kurutma makinaları sisteminde yoğuşma için harcanan enerji, sistemin enerji verimliliğini en fazla etkileyen unsurların başında gelmektedir. Kompresöre verilen güç doğrultusunda kompresörün soğutucu akışkan üzerinde basınç farkı yaratarak sistemde, ısıtma, soğutma ve yoğuşma enerjisi yaratır. Isıtma enerjisi yoğuşturucuda havayı ısıtarak sıcaklığını arttırmada, soğutma ve yoğuşma enerjisi ise buharlaştırıcıda havayı soğutma ve buna bağlı olarak tuttuğu su buharının yoğuşmasına harcanmaktadır. Buharlaştırıcı buradaki enerjisinin bir kısmını havayı soğutmaya (duyulur ısı) bir kısmını ise havadaki nemi yoğuştırmaya harcar (gizli ısı). Buharlaştırıcıda yoğuşma enerjisinin, kompresör tarafından basınç farkı oluşturulan soğutucu akışkanın buharlaştırıcıdaki yarattığı toplam enerjiye oranına yoğuşma verimi denir. Yoğuşma hızı ise, buharlaştırıcıda birim zamanda yoğuşan su miktarına denir. Isı pompalı kurutma makinalarında enerji verimliliğini arttırmak için gizli ısı oranının artırılması gerekmektedir. Söz konusu bu deneysel çalışmalarda aynı boyuttaki buharlaştırıcılarda kaplama tipi ve kanat formunun yoğuşma verimine ve yoğuşma hızına etkisi incelenmiştir.

4.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Oluşturulan deney düzeneğinde, buharlaştırıcıda nem alma performansını inceleyebilmek için nemlendirilmiş çamaşırlar kullanılmaktadır. Nem alma performansının zamanla değişimini incelemek amacıyla, evsel kurutma makinaları ile benzer çalışma prensibine uygun bir deney düzeneği oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 : Oluşturulan Deneysel Düzenek.

Deneysel düzenekte hava ve soğutucu çevrimi olmak üzere 2 adet kapalı çevrim bulunmaktadır. Soğutucu çevriminde soğutucu akışkanında basınç farkı oluşturmak için kompresör, nem alınacak çamaşırın yüzeyine gönderilecek havayı ısıtmak için yoğuşurucu, yoğuşurucu ile buharlaştırıcı arasındaki basınç farkını istenilen değerlerde oluşturmak için iğne valf, çamaşır üzerinden nem alma işlemini gerçekleştirmek amacıyla buharlaştırıcı bulunmaktadır. Soğutucu kompresörden yüksek sıcaklık ve basınçta buhar halinde yoğuşurucuya girer. Burada ısı enerjisini proses havasına vererek sıvı fazda yoğuşurucudan çıkar. Yoğuşurucu çıkışında sıvı fazda bulunan soğutucu akışkan burada iğne valfe gelir. İğne valfte soğutucu akışkanın basıncı ve buna bağlı olarak sıcaklığı düşer. Sıcaklığı düşen soğutucu akışkan buharlaştırıcıya girer. Burada soğutucu akışkan proses havasından ısı alır ve buhar haline gelerek kompresöre girer. Oluşturulan deneysel düzenekte soğutucu çevrimi tarafındaki asıl amaç buharlaştırıcıya soğutucu akışkan tarafından verilen toplam enerjiyi her deney için aynı değerlerde tutmaktır.

Sistemin ısıtma ve soğutma enerjilerini istenilen oranda değiştirmek için Şekil 4.2'de gösterilen iğne valf kullanılmıştır. Bu iğne valf sayesinde buharlaştırıcı ve

yoğuşturucudaki sıcaklıklar istenilen değerlere getirilerek istenilen enerji değerlerine getirilmektedir.



Şekil 4.2 : İğne Valf.

Buharlaştırıcı girişindeki proses havasının istenilen sıcaklıklarda sabit tutulması amacıyla sisteme Şekil 4.3'te gösterilen ısıtıcı entegre edilmiştir.



Şekil 4.3 : Isıtıcı.

Isıtıcının gücünün istenilen değerler aralığında ayarlanmasını sağlamak amacıyla Şekil 4.4'te gösterilen voltaj regülatörü kullanılmıştır.



Şekil 4.4 : Voltaj Regülatörü.

Sistemde yoğuşma performansını incelemek amacıyla, çevrim süresi boyunca yoğuşan suyun miktarını zamana bağlı ölçmek amacıyla Şekil 4.5'te gösterilen veri alımı yapabilen terazi kullanılmıştır.



Şekil 4.5 : Terazi.

Deney düzeneği üzerinde ölçülen bütün büyüklüklerin anlık olarak görülebilmesi, deney çevrim süresi boyunca sistemde olan değişimlerin incelenebilmesi, ve bu değişiklik verilerinin toplanıp bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için 1 adet veri toplama ünitesi ve elektronik kart kullanılmıştır. Veri toplama ünitesinde bir adet güç transdüseri, enerjinin ölçülebilmesi için enerji transdüseri, ünitenin elektrik kaçağı durumuna karşı güvenliğini sağlamak amacıyla kaçak akım rölesi ve gerekli ölçüm aletlerini beslemek amacıyla bir adet DC güç üretici, gerilim ve akım değerlerinin ölçümü için birer adet gerilim ve akım transduseri ve enerji ölçümü esnasında, güç ve enerji transduserinin yolladığı basamak sinyalleri sayması için bir adet kompakt PLC bulunmaktadır. Ünitenin dış kısmında ise, termokuplların kolaylıkla takılıp çıkartılabilmesi için hazırlanan termokupl prizleri bulunmaktadır. Bu amaçla; deney düzeneğinde kurulan veri toplama ünitesi Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

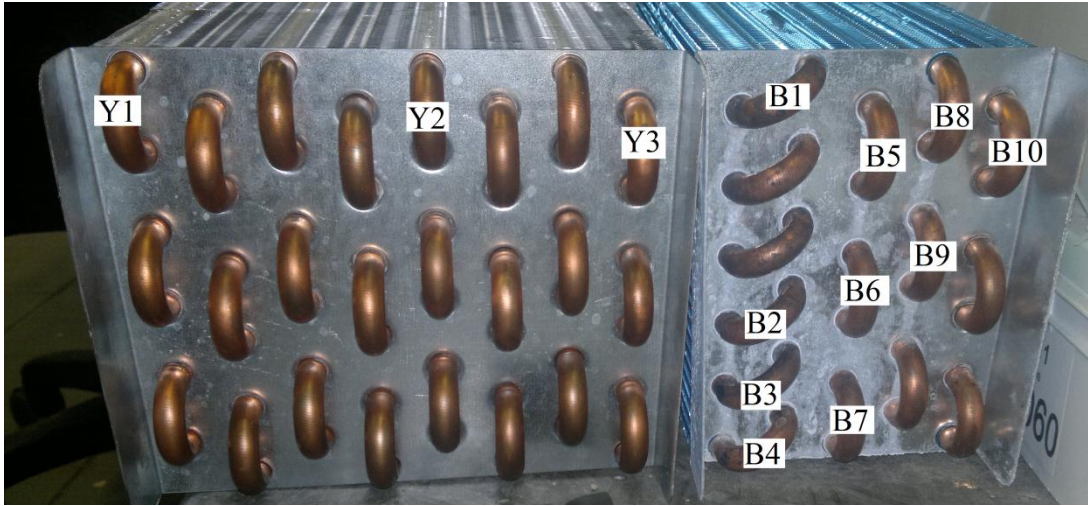


Şekil 4.6 : Veri Toplama Ünitesi.

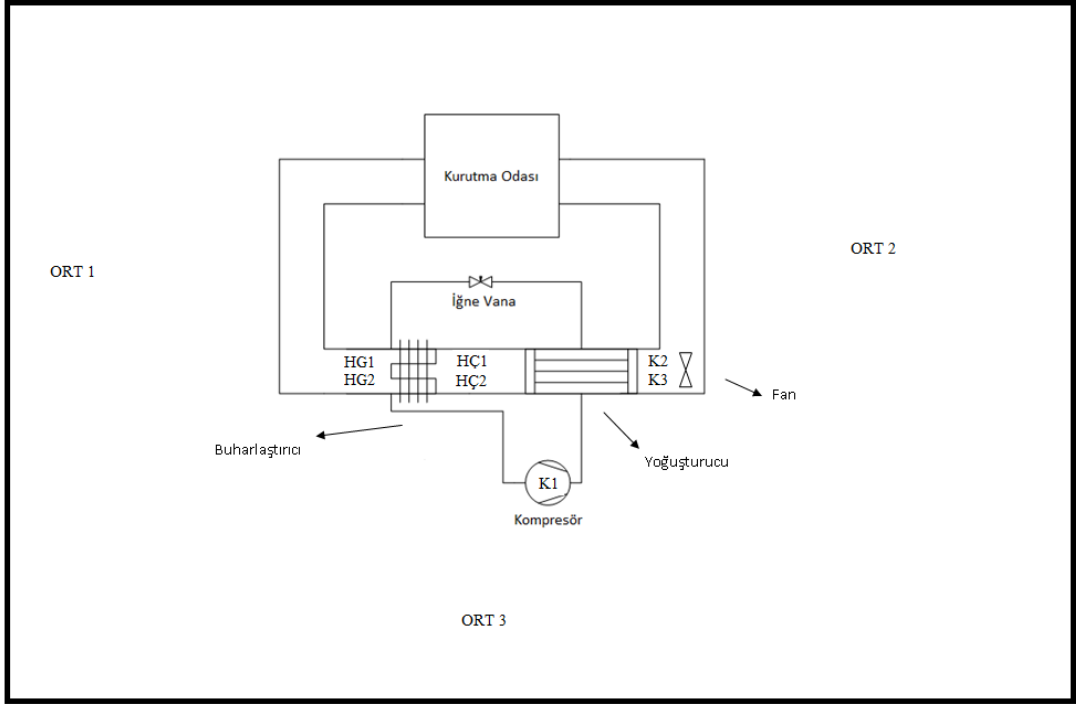
Basınç transdüserleri ile termokupplardan gelen elektriksel sinyaller Agilent 34950A marka veri toplama cihazında toplanmaktadır. Söz konusu bu cihaz, üzerinde en çok üç adet veri toplama kartı bulunabilen bir veri toplama cihazıdır. Kartların her biri üzerinde 22 adet kanal bulunmaktadır. Ölçme elemanlarından gelen sinyaller kartın ilgili yerlerine belirli bir sıra ile takılmakta, veri okuma işlemi gerçekleştirilmektedir. Veri toplama cihazından ve veri toplama panosundan okunan değerler HP VEE programı ile oluşturulan veri işleme programı tarafından bilgisayar ortamına taşınmaktadır. Yine aynı şekilde, HP VEE ile hazırlanan veri analiz programı ile deney sonuçları hızlı bir şekilde işlenebilmektedir. Sistemüzerine yerleştirilen tüm sıcaklık ölçmealetlerinin listesi Çizelge 4.1'de, Soğutucu akışkan tarafındaki sıcaklık ölçme aletlerinin konumları ise Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Sistem üzerine yerleştirilen sıcaklık ölçme aletlerinin listesi.

<i>Termokupl İsmi</i>	<i>SoğutucuAkışkan Tarafı</i>	<i>Termokuplİsmi</i>	<i>Hava Tarafı</i>
B1	Buhar.Giriş	K1	Komp.Kafa
B2	Buhar. 4.P	HG1	Eva Gir. 1
B3	Buhar. 5.P	HG2	Eva Gir. 2
B4	Buhar. 6.P	HÇ1	Eva Çık. 1
B5	Buhar. 7.P	HÇ2	Eva Çık. 2
B6	Buhar. 8.P	K2	KondÇık. 1
B7	Buhar. 9.P	K3	KondÇık. 2
B8	Buhar.10.P	O1	OrtamOrta
B9	Buhar.11.P	O2	OrtamSağ
B10	Buhar.Çıkış	O3	Ortam Sol
Y1	Yoğuş.Giriş		
Y2	Yoğuş.13.P		
Y3	Yoğuş.Çık		



Şekil 4.7 : Soğutucu akışkan tarafı sıcaklık ölçme aletlerinin buharlaştırıcı ve yoğuşturucu üzerindeki yerleri.



Şekil 4.8 : Hava tarafı sıcaklık ölçme aletlerinin sistem üzerindeki yerleri.

Yapılan deneyler boyunca, sistemin proses havası yolundaki farklı bölgelere ait nem değerlerini ölçmek için nem sensörleri kullanılmıştır. Nem sensörlerinin dijital çıkışvermesi nedeniyle, ölçülen nem verileri veri toplama ünitesi üzerinden doğrudan okunamamaktadır. Bu nedenle nem sensörlerinin dijital çıkışları elektronik bir kart ile toplanmakta ve veri toplama ünitesi olmaksızın doğrudan bilgisayara gönderilmektedir. Elektronik kartın görünüşü Şekil 4.9'de verilmiştir.



Şekil 4.9 : Nem sensörleri için elektronik kart.

Gelen veriler, nem sensörlerinden alınan elektriksel verileri dijital verilere dönüştüren bir program sayesinde bilgisayara kaydedilmektedir. Kullanılan nem sensörleri sayesinde hem sıcaklık hem de bağıl nem değerleri okunabilmektedir. Sistemde bulunan nem sensörlerinin yerleştirildikleri yerler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Nem sensörleri.

Sensörİsmi	Konum
H1	YoğuşturucuGiriş 1
H2	YoğuşturucuGiriş 2
H3	YoğuşturucuÇıkış 1
H4	YoğuşturucuÇıkış 2
H5	BuharlaştırıcıÇıkış 1
H6	BuharlaştırıcıÇıkış 2

4.2 Deneysel Sonuçlar

Kurutma makinası sistemlerinde buharlaştırıcı kanat tipi ve kanat yüzeyi kaplamalarınınyoğuşma hızına ve yoğuşma verimine etkisini görmek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Buharlaştırıcı yoğuşma verimi, sisteme giren havanın bağıl nemi değiştirilerek incelenmiştir. İnceleme yapılan buharlaştırıcı tipleri Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3 : Deneyde kullanılan buharlaştırıcı çeşitleri.

Buharlaştırıcı Tipi	Kaplama/Kanat Tipi
Buharlaştırıcı 1	Hidrofobik/Düz
Buharlaştırıcı 2	Hidrofobik/Dalgalı
Buharlaştırıcı 3	Hidrofilik/Düz
Buharlaştırıcı 4	Hidrofilik/Dalgalı

Deneylerde kullanılan buharlaştırıcıların karşılaştırmalarını yapabilmek amacıyla buharlaştırıcıların, kanat aralığı, kanat kalınlığı, kanat sayısı, boru sayısı ve boyutları sabit tutularak diğer değişkenler Çizelge 4.3'te gösterildiği üzere değiştirilmiştir. Sistemin nem alma performanslarını karşılaştırmak amacıyla buharlaştırıcının yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı incelenmiştir. Yapılan bu incelemelerde buharlaştırıcıya giren havanın sıcaklığı etkin nem alma bölgesindeki havanın sıcaklığı olan ~38 °C'de sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde standart

çamaşır üzerindeki nem miktarının değişimine bağlı olarak buharlaştırıcının yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı incelenmiştir.

Yoğuşma verimi hesaplamalarında;

$$\eta_{yoğuşma} = \frac{\dot{Q}_{yoğuşma}}{\dot{Q}_{buharlaştırıcı}} \quad (4.1)$$

$$Yoğuşma \text{ hızı (g/s)} = \frac{m_{nemlikumaş} - m_{kurukumaş}}{\Delta t} \quad (4.2)$$

$$\dot{Q}_{yoğuşma} = \dot{m}_{yoğuşan} \times h_{fg} \quad (4.3)$$

$$\dot{Q}_{buharlaştırıcı} = \dot{m}_{sa} \times (h_{bç} - h_{yç}) \quad (4.4)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır. Denklem 4.3'te $\dot{m}_{yoğuşan}$, anlık olarak takip edilebilen buharlaştırıcıda yoğuşan buharın anlık debi değeri, h_{fg} ise aynı sıcaklıktaki doymuş buhar ve suyun entalpi değerleri farkıdır. Denklem 4.4'te ise \dot{m}_{sa} , soğutucu akışkanın anlık debi değeri, $h_{bç}$ buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkanın entalpi değeri, $h_{yç}$ ise yoğuşturucu çıkışında soğutucu akışkanın entalpi değeridir. Sistemde yapılan deneylerde buharlaştırıcıya soğutucu akışkan tarafından verilen toplan buharlaştırıcı enerjisi sabit tutulmuştur. Eş buharlaştırıcı enerjisine ulaşmak amacıyla sabit evaporasyon ve sabit kondansasyon sıcaklıklarında eş aşırı soğutma ve aşırı kızdırma sıcaklık değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Burada buharlaştırıcı girişindeki soğutucu akışkanın entalpi değeri yoğuşturucu çıkışındaki entalpi değerine eşittir kabulü gerçekleştirilmiştir (iğne valfte izentalpik değişim kabulü yapılmıştır). Dört farklı buharlaştırıcı tipinde havanın buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı 38 °C, havanın buharlaştırıcıya giriş hızı 1,85 m/s'de sabit tutularak, havanın giriş bağıl nem değerleri %65, %70 ve %80 olduğu durumlarda buharlaştırıcı yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı incelenmiştir.

4.2.1 Belirsizlik Analizi

Yapılan deneysel çalışmalarda, buharlaştırıcıda yoğuşma hızı ve yoğuşma verimi inceleneceğinden, hesaplamalarda kullanılan sıcaklık, özgül nem ve entalpi değerlerinin belirsizliği, sistem açısından dikkate alınması gereken gerekli bir unsurdur.

Söz konusu bu ölçüm belirsizliği hesabında yöntem olarak, Kline ve McClintock [13] tarafından ortaya atılan bir yöntem kullanılmıştır. Buna göre; kullanılan deney düzeneğinde bir takım deneysel ölçümler yaparak hesaplanması gereken büyüklük K ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişken ise $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ olmak üzere,

$$K = K(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) \quad (4.5)$$

olarak yazılabilir. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots w_n$ ve K büyüklüğünün hata oranı w_k ise, belirsizlik analizi yöntemine göre,

$$w_k = \pm \left[\left(\frac{\partial P}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial P}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan ölçme aletlerinin ölçüm doğruluk değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : Deney düzeneğinde kullanılan cihazların ölçüm doğruluk değerleri.

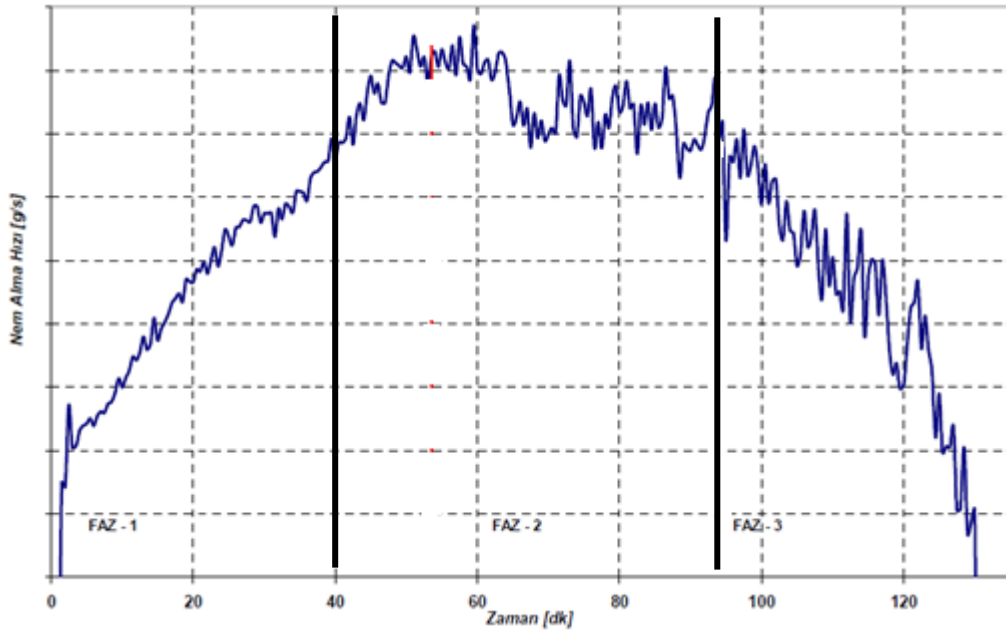
Buharlaştırıcı Tipi	Ölçüm Doğruluk Değeri
Termokupl	$\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Nemsensörü	T: $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$; %RH : $\pm 1,8\%$
Terazi	$\pm 1 \text{ gr}$

Yapılan deneysel çalışmalarda, buharlaştırıcıda yoğuşan su miktarı 1 s aralıklarla bilgisayara bağlı terazi ile, buharlaştırıcının girişindeki ve çıkışındaki sıcaklık ve nem değerleri, buharlaştırıcı üzerinden soğutucu akışkanın sıcaklık değerleri 1 s aralıklarla bilgisayara kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerler ile sistemdeki yoğuşma hızı oranı ve yoğuşma verimi hesaplanmıştır. Belirsizlik hesaplamalarındaki yoğuşma veriminin hesaplanmasında dört adet bağımsız değişken bulunmaktadır. Yoğuşan suyun anlık debisi (\dot{m}_{su}), soğutucu akışkan debisi (\dot{m}_{sa}), aynı sıcaklıktaki doymuş buhar ve sıvının entalpileri farkı (h_{fg}) ve soğutucu akışkanın buharlaştırıcı ve yoğuşurucu çıkışındaki sıcaklık ve basınç değerlerine göre hesaplanan entalpilerinin farkı, söz konusu dört adet bağımsız değişkeni oluşturmaktadır. Bu değerlere ek

olarak ölçüm doğruluk değerleri ise her bir bağımsız değişkenin hesaplanması sırasında oluşturdukları etkiler hesaplanarak Denklem 4.6'ya aktarılmıştır. Denklem 4.1'e göre bu dört bağımsız değişkenin kısmi türevlerinin alınması sonucunda Denklem 4.6'ya bu değerler girilerek, ölçüm belirsizliği hesabı Excel programında oluşturulan formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Sonuç olarak sistemdeki yoğuşma miktarı hızı ve yoğuşma verim değeri % 3,88 belirsizlikle hesaplanmaktadır.

4.2.2 Havanın giriş bağıl nem değeri değişiminin yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisi

Deneysel çalışmalar ile sistemde buharlaştırıcıya giren havanın bağıl nem değerlerinin değişiminin yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına olan etkisi incelenmiştir. Şekil 4.11'de kanat kaplaması hidroforik, kanat tipi düz olan buharlaştırıcıda, havanın giriş bağıl nem değeri değişiminin yoğuşma hızına olan etkisi görülmektedir.

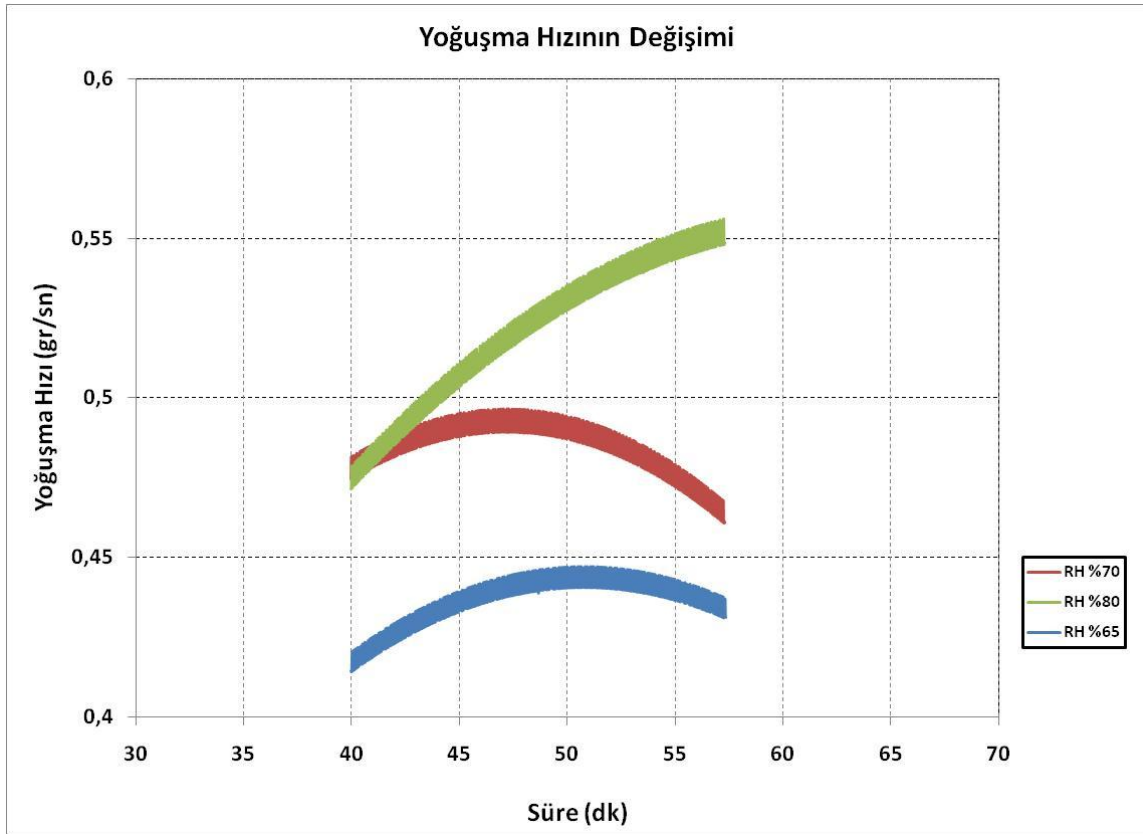


Şekil 4.10 : Isı pompalı kurutma makinalarında bir çevrim boyunca nem alma hızının zamana göre değişimi.

Şekil 4.10 incelendiğinde, ısı pompalı kurutma makinalarında nem alma hızının çevrim boyunca zamana göre değişimi görülmektedir. Isı pompalı kurutma makinalarında çevrim boyunca nem alma işleminde 3 ana faz vardır. Faz 1 bölgesi çevrimin çamaşırı ısıtma süresini kapsar. Bu bölümde nem alma lineer olarak artmaktadır. Faz 2 olarak belirtilen bölge çamaşırdan etkin şekilde nem alma bölgesi

olarak belirtilir. Bu bölgede çamaşırdan en yüksek düzeyde nem alma işlemi gerçekleşir. Faz 3 bölgesi ise yüzeyinde nem miktarı azalan çamaşırın iç kılcal yapısından nem alma işleminin gerçekleştiği bölgedir. Bu bölgede nem alma oranı lineer olarak azalma eğilimine girmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında havanın giriş bağıl nem değerleri değişimi göz önüne alınarak yapılan sıcaklık ve nem alma hızı değerleri incelendiğinde, etkin nem alma bölgesinin, tüm giriş bağıl nem değerleri (%65, %70 ve %80) düşünülerek 40 ile 60. dakikalar arasında olduğu kabul edilmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde, havanın yoğuşma hızı, giriş bağıl nem değerlerinin artmasına bağlı olarak doğru orantılı olarak artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.11 : Hidrofobik/Düz tipli buharlaştırıcıda, havanın giriş bağıl nem değişiminin yoğuşma hızına olan etkisi.

Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yoğuşma verimi ve yoğuşma hızının buharlaştırıcı tipine göre değişimleri Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, ve Çizelge 4.9 da gösterilmektedir. Buradaki yoğuşma hızı ve yoğuşma verimi değerleri etkin nem alma bölgesi olarak kabul edilen 40. ve 60. Dakikalar arasındaki değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5 : Hidrofobik/Düz buharlaştırıcıda yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı.

GirişBağılNemi	OrtalamaYoğuşmaVerimi (%)	OrtalamaYoğuşmaHızı (g/s)
%65	64,2	0,43
%70	74,2	0,48
%80	83,1	0,52

Çizelge 4.6 : Hidrofobik/Dalgalı buharlaştırıcıda yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı.

GirişBağılNemi	OrtalamaYoğuşmaVerimi (%)	OrtalamaYoğuşmaHızı (g/s)
%65	65,1	0,42
%70	72,1	0,47
%80	76,9	0,50

Çizelge 4.7 : Hidrofilik/Dalgalı buharlaştırıcıda yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı.

GirişBağılNemi	OrtalamaYoğuşmaVerimi (%)	OrtalamaYoğuşmaHızı (g/s)
%65	66,2	0,41
%70	69,1	0,46
%80	73,2	0,49

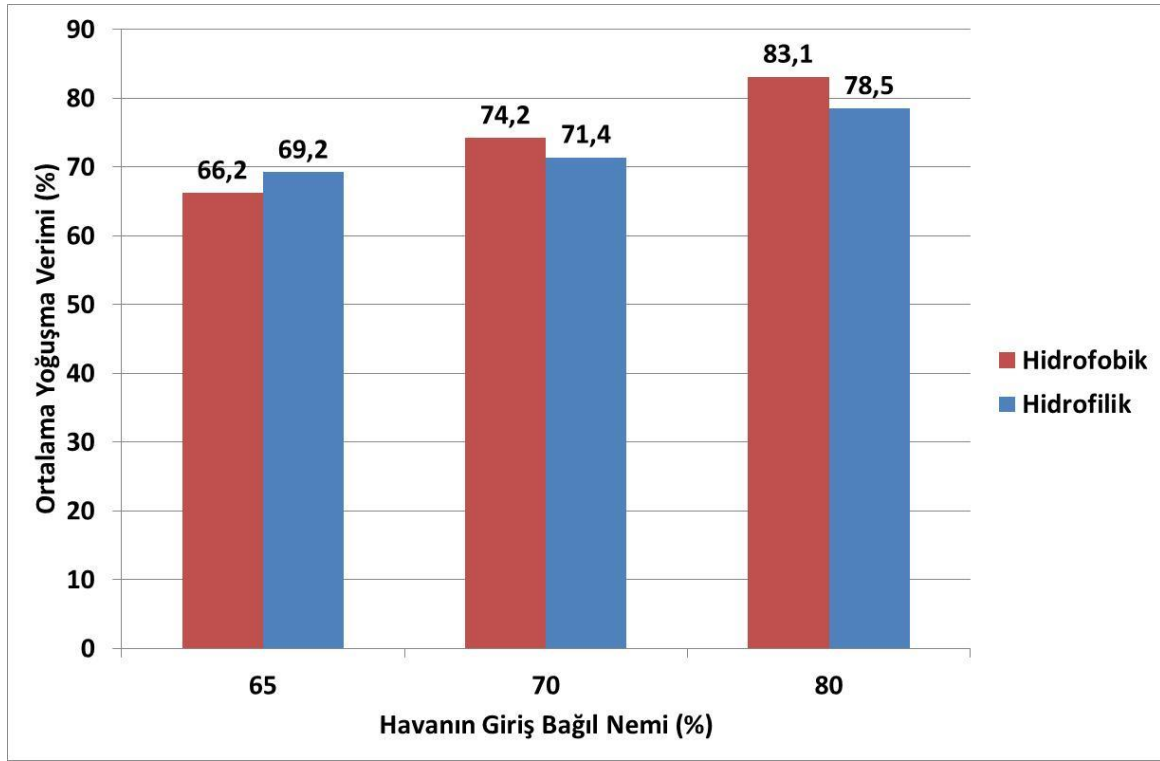
Çizelge 4.8 : Hidrofilik/Düz buharlaştırıcıda yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı.

GirişBağılNemi	OrtalamaYoğuşmaVerimi (%)	OrtalamaYoğuşmaHızı (g/s)
%65	69,17	0,44
%70	71,44	0,49
%80	78,53	0,56

Çizelgeler genel olarak incelendiğinde, havanın giriş bağıl nem değişimine bağlı olarak tüm buharlaştırıcı tiplerinde yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı artmaktadır. Buna bağlı olarak söz konusu bu çizelgelerde gösterilen değerlerin karşılaştırmalı sonuçları Bölüm 4.2.3'te gösterilmektedir.

4.2.3 Buharlaştırıcı kaplama ve kanat tipinin yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisi

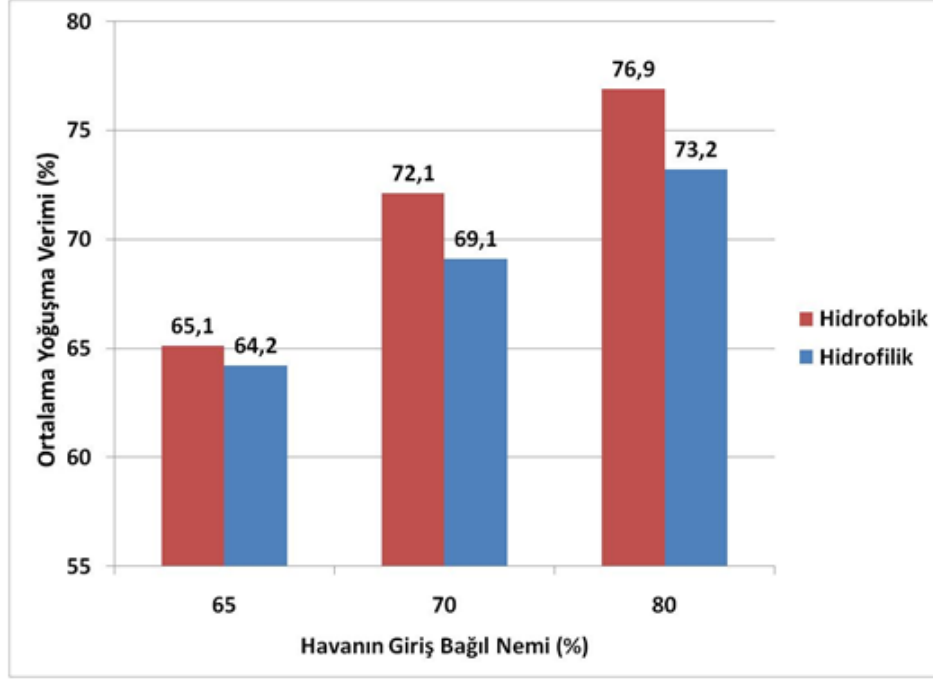
Deneysel çalışmalar sonucunda düz kanat profiline sahip buharlaştırıcılarda kaplamanın yoğuşma verimine etkisi Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 : Düz kanat formuna sahip buharlaştırıcıda, kaplama tipinin yoğuşma verimine etkisi.

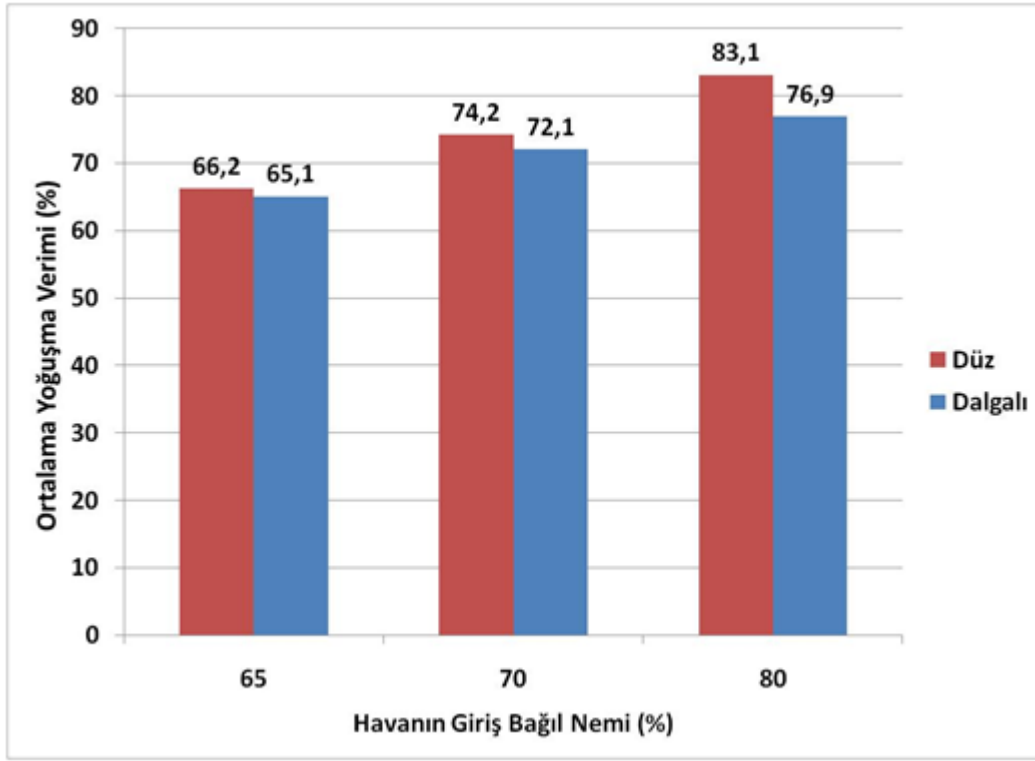
Havanın giriş bağıl neminin %65 olduğu durumda kanatları hidrofilik kaplamalı buharlaştırıcının yoğuşma veriminin aynı koşullardaki hidrofilik kaplamalı kanat profiline sahip olan buharlaştırıcı tipine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Fakat havanın giriş bağıl nem değerinin yükselmesiyle birlikte yoğuşma verimi hidrofobik kaplamalı buharlaştırıcılarda daha iyi olduğu görülmüştür. Bu durumu açıklamak gerekirse, hidrofilik yüzeylerde suyun kanat yüzeyine yayılmasına bağlı olarak bir film tabakası oluşmaktadır. Bu film tabakasının kalınlığının artması, sistemde ısı geçişi ve kütle geçişi performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Hidrofobik kaplamalı kanat profiline sahip buharlaştırıcılarda ise hidrofobik yüzey, suyun temas açısını arttırdığı için su profili kanat yüzeyinde damlacık şeklinde oluşmaktadır. Havanın giriş bağıl nem değerinin artmasına bağlı olarak kanat yüzeyinde oluşan damlacıklar birleşerek daha büyük damlalar oluşturmakta, bu oluşan büyük damlalara etki eden yerçekimi kuvvetinin de artmasına bağlı olarak suyun drenajının daha kolay olması sonucunda yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı artmaktadır. Chi-Chuan Wang ve arkadaşlarının [2] yaptıkları çalışmalarında da buharlaştırıcı yüzeyinde yaptıkları gözlemlerde kanat yüzeyinde oluşan

damlacıkların birbirleriyle birleşerek büyük damlalar oluşturduğu ve söz konusu bu durumun suyun drenajını kolaylaştırdığı görülmüştür.



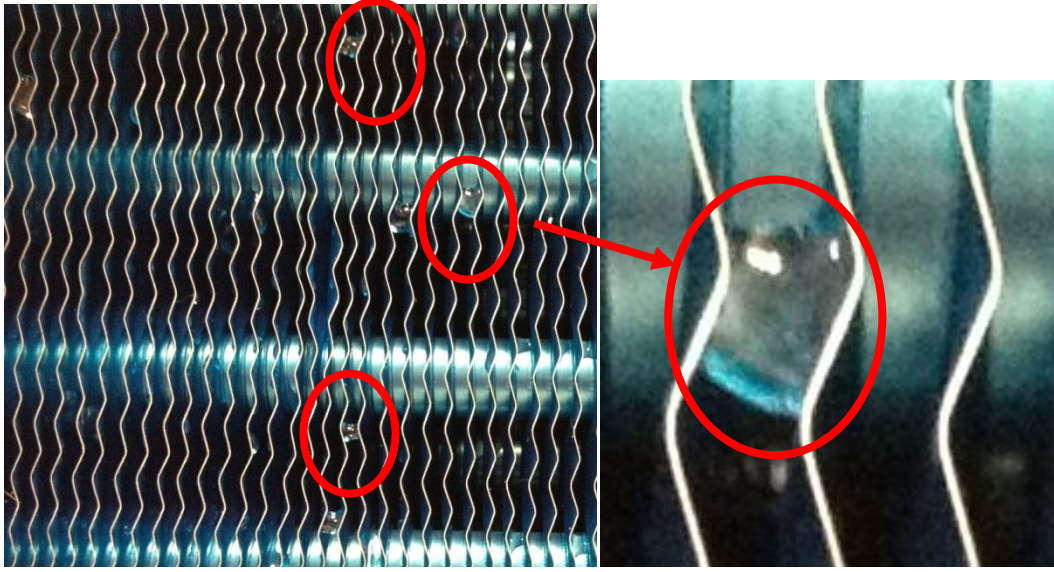
Şekil 4.13 : Dalgalı kanat formuna sahip buharlaştırıcıda, kaplama tipinin yoğuşma verimine etkisi.

Şekil 4.13’de dalgalı kanat formuna sahip buharlaştırıcılarda kaplama tipi değişiminin yoğuşma verimine etkisinin sonuçları görülmektedir. Söz konusu bu deneysel çalışmalarda da düz kanat formuna sahip buharlaştırıcıda da görülen havanın giriş bağıl nem koşullarının %65, %70 ve %80 olduğu koşullarda hidrofobik kaplamanın, hidrofilik kaplamaya göre yoğuşma veriminin daha iyi olduğu görülmektedir. Dalgalı kanat tipli buharlaştırıcılarda, tüm giriş bağıl nem değerlerinde, yoğuşma veriminin hidrofobik kaplamalı buharlaştırıcı tipinde yüksek değerlerde çıkmasının nedeni suyun drenajının dalgalı kanat tipinde hidrofobik yüzeylerde hidrofilik yüzeylerden daha iyi olmasından dolayıdır. Hidrofilik yüzeylerde suyun kaplama yüzeyle değme açısı daha düşük değerdedir. Yoğuşan su burada yayılma eğilimi göstererek kanat yüzeyi üzerinde bir film tabakası oluşturmaktadır. Burada suyun hidrofobik yüzeylerde değme açısının daha yüksek olmasından dolayı küresel damlacık oluşumunun kolay olması yoğuşma verimini hidrofilik yüzeylere göre yüksek değerlerde çıkmasını sağlamıştır.



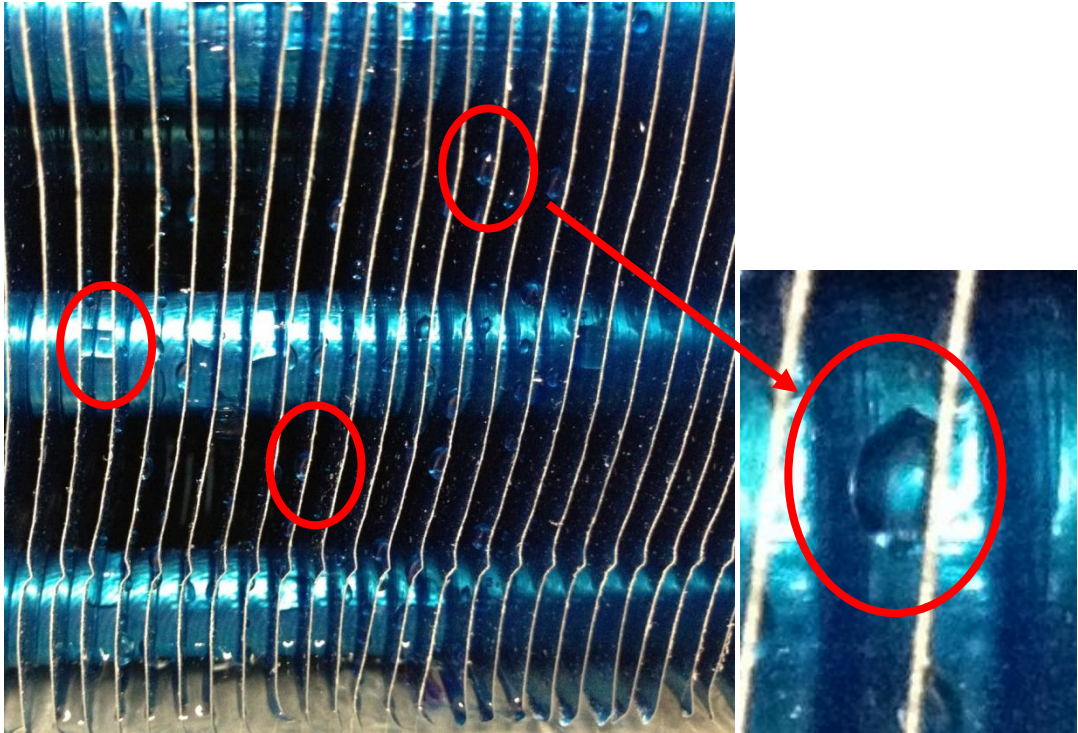
Şekil 4.14 : Hidrofobik kaplamalı yüzey formuna sahip buharlaştırıcıda, kanat tipinin yoğuşma verimine etkisi.

Hidrofobik kanat yüzeyine sahip buharlaştırıcılarda, kanat tipinin yoğuşma verimine etkisi şekil 4.14’de görülmektedir. Havanın giriş bağıl nem değerinin %65, %70 ve %80 olduğu durumlarda buharlaştırıcı yoğuşma verimideğerleri incelendiğinde, düz kanat tipine sahip buharlaştırıcıların yoğuşma veriminin dalgalı tip kanat formuna sahip olan buharlaştırıcıya göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak düz kanat tipli buharlaştırıcılarda su akışının dalgalı kanat tipli buharlaştırıcılara göre daha kolay olması gösterilebilir. Hidrofobik yüzeylerde yoğuşan suyun, kanat yüzeyinde hidrofobik yüzeyin özelliği olan suyun yüzeye değme açısının yüksek değerlerde olması nedeniyle oluşan küresel damlacık yapısı düz kanat yüzeyinde dalgalı kanat yüzeyine göre daha hızlı yoğuşarak suyun drenajının dalgalı kanat yüzeyine göre daha kolay gerçekleşmesini sağlamaktadır. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’te dalgalı ve düz kanatlı buharlaştırıcılarda suyun drenajının gerçekleşmesi görülmektedir.



Şekil 4.15 : Dalgalı kanat buharlaştırıcılarda suyun akış şekli.

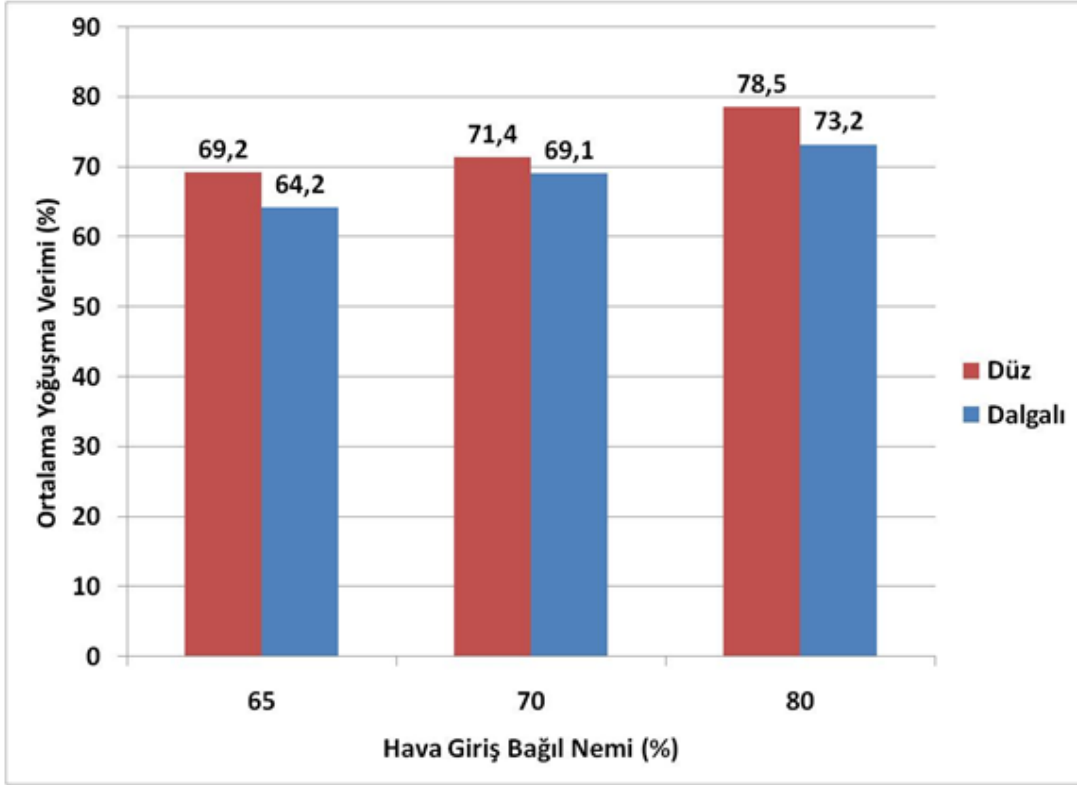
Şekil 4.15’de dalgalı kanat tipli buharlaştırıcılarda suyun akışı sırasında damlacıkların kanat tipi etkisinden dolayı, yatay ve düşey yönde kuvvetlerle zorlanarak suyun düşey yöndeki akışında zorlandığı görülmektedir.



Şekil 4.16 : Düz kanatlı buharlaştırıcılarda suyun akış şekli.

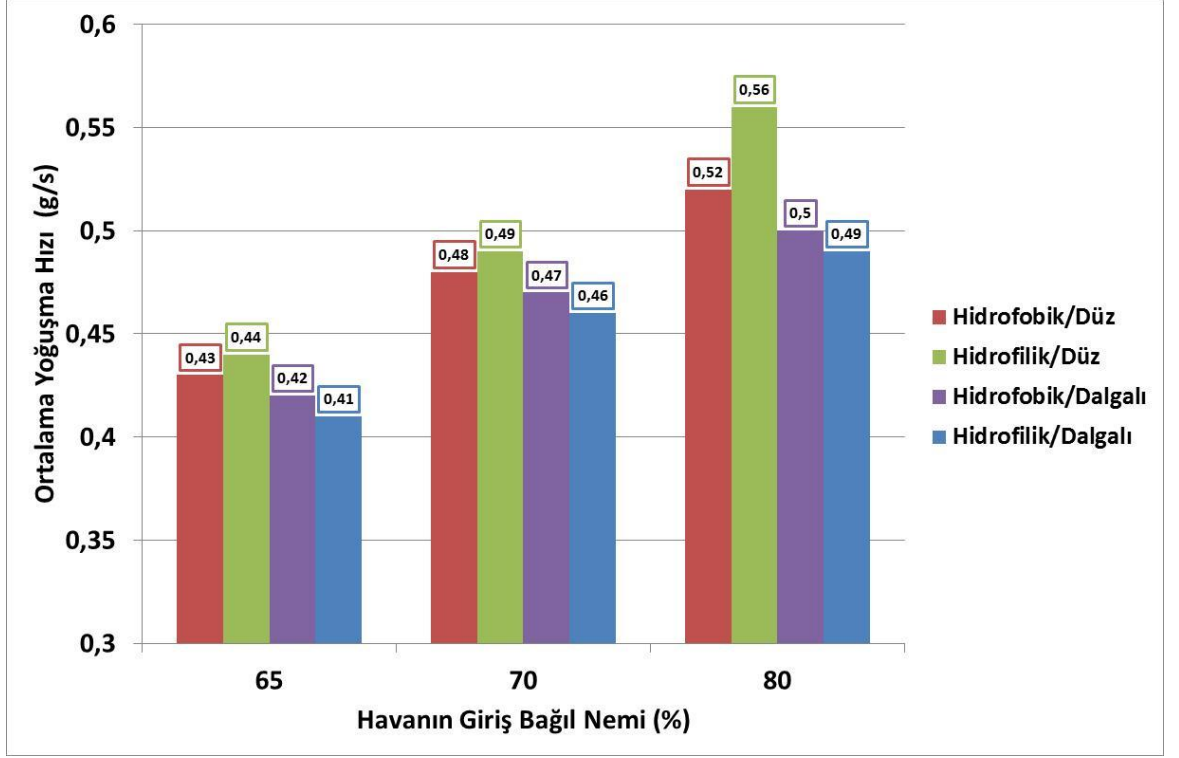
Şekil 4.16’da ise düz kanatlı buharlaştırıcılarda suyun akışı görülmektedir. Burada damlacık yapıları gözlemlendiğinde suyun düşey yöndeki akışında sadece

kaplamanın yüzey etkisinden (hidrofobik veya hidrofilik) kaynaklanan kuvvetler ve yerçekimi kuvveti etkisidir.



Şekil 4.17 : Hidrofilik kaplamalı kanat formuna sahip buharlaştırıcıda, kanat tipinin yoğuşma verimine etkisi.

Şekil 4.17’de ise hidrofilik kaplamalı kanat formuna sahip buharlaştırıcıda, kanat tipinin yoğuşma verimine etkisi görülmektedir. Yoğuşma verimi, havanın giriş bağıl nem değeri %65, %70 ve %80 olduğu durumlarda düz kanat formuna sahip olan buharlaştırıcıda, dalgalı kanat formuna sahip olan buharlaştırıcılara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 incelendiğinde yoğuşma performansının her iki kaplama formuna sahip buharlaştırıcıda da kanat formunun düz olduğu durumda dalgalı kanat formuna sahip buharlaştırıcı tipinden daha iyi değerlerde olduğu görülmektedir. Hidrofilik yüzeylerde kanat tipi düz olan buharlaştırıcılarda suyun kanat yüzeyinden olan drenajı dalgalı kanat tipli buharlaştırıcıya göre daha kolay olmaktadır. Bunun sebebi olarak düz kanat tipinde suyun akışının direkt olarak aşağıya doğru gerçekleşmesi, dalgalı kanat formundaki buharlaştırıcılarda ise suyun akışının direkt olarak değil, kanat yüzeyinin belirli bir açıyla oluşması durumundan dolayı olarak gerçekleşmesi sonucu suyun akışının daha zor gerçekleşmesi sonucunda olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.18 : Buharlaştırıcı tipi değişiminin, ortalama yoğuşma hızına etkisi.

Buharlaştırıcı tipi değişimi ve bununla birlikte havanın giriş bağıl nem değişiminin buharlaştırıcı üzerindeki yoğuşma hızına etkisi şekil 4.18'de gösterilmektedir. Tüm buharlaştırıcı tiplerinde, havanın giriş bağıl neminin artmasına bağlı olarak yoğuşma hızında artış olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra hava giriş bağıl nem değerinin %65, %70 ve %80 olduğu durumlarda yoğuşma hızı en yüksek değere buharlaştırıcı kanat kaplaması hidrofilik, kanat formu düz olduğu durumda ulaşmıştır. Şekil 4.18'de kanat tipinin düz olduğu buharlaştırıcı tiplerinde, kanat tipinin dalgalı olduğu buharlaştırıcı tiplerine göre ortalama yoğuşma hızının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi suyun kanat yüzeyinden akışının düz kanat tipli buharlaştırıcılarda dalgalı kanat tipine sahip buharlaştırıcılara göre daha kolay olması olarak gösterilmektedir. Şekil 4.18'de görülmektedir ki buharlaştırıcı üzerindeki ortalama yoğuşma hızı değerlerinde buharlaştırıcı kanat tipinin, buharlaştırıcı kanat kaplama yüzeyinden daha baskın olduğu görülmektedir. Her iki kaplama tipinde kanat tipi düz olan buharlaştırıcıların ortalama yoğuşma hızının daha yüksek olduğu görülmektedir.

5. ANALİTİK ÇALIŞMALAR

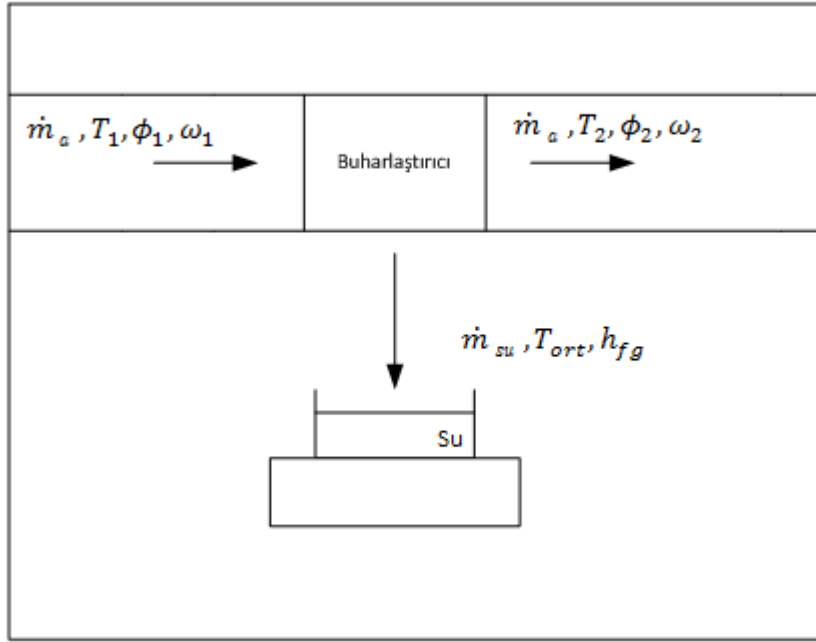
Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Engineering Equation Solver [15] programında oluşturulan bir yazılım ile buharlaştırıcı girişindeki havanın bağıl nem değişimine göre buharlaştırıcı tiplerindeki yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı modellenerek oluşturulmuştur. Söz konusu bu yazılımdan elde edilen sonuçlar deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

5.1 Matematiksel Model Oluşturulması

Buharlaştırıcıda havanın giriş bağıl nem değişiminin sisteme olan etkisini incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada matematiksel modelleme yoğuşma enerjisi hesaplama ve buharlaştırıcı soğutma enerjisi hesaplama olarak iki farklı şekilde incelenmiştir. Burada yoğuşma enerjisinin modeli oluşturulurken buharlaştırıcı giriş ve çıkışındaki sıcaklık ve nem ölçme aletlerinin okuduğu değerlerden yararlanılmıştır. Buradan alınan değerler doğrultusunda Denklem 5.1 ve Denklem 5.2 kullanılarak buharlaştırıcıda yoğuşma için harcanan enerjinin teorik olarak hesaplanması sağlanmıştır. Buharlaştırıcı toplam enerjisini teorik olarak hesaplamak için ise soğutucu akışkanın debisi Denklem 5.3 kullanılarak hesaplanmış ve buharlaştırıcının toplam enerjisini hesaplamak için Denklem 4.4 kullanılmıştır. Burada buharlaştırıcının toplam enerjisi, buharlaştırıcının soğutucu akışkan tarafından kazandırılan enerji olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan matematiksel modelde buharlaştırıcı kanat tipi ve kanat yüzey kaplama tipinin yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisini, hesaplamalarda buharlaştırıcı çıkışındaki havanın sıcaklık değişimi olarak gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kanat tipi ve kanat yüzey kaplaması buharlaştırıcı çıkışındaki sıcaklığın değişiminde etkili olmuştur. Bunun sonucunda buharlaştırıcı kanat tipi ve kanat yüzey kaplama tipi değişimi, buharlaştırıcıdaki duyulur ısı ve gizli ısı oranları değişerek buharlaştırıcının yoğuşma verimine ve yoğuşma hızına etkisi gerçekleşmiştir.

5.1.1 Yoğuşma Enerjisi Hesaplama Modeli Oluşturulması

Buharlaştırıcıya giren havanın, giriş ve çıkış sıcaklık, bağıl nem ve bunun doğrultusunda özgül nem değerlerinin değişimini ve bu değişim sonucunda oluşan yoğuşmanın hızını ve miktarını hesaba katan matematiksel modelin şematik olarak Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : Yoğuşma kapasitesinin modellenmesi.

Deneyisel çalışmalarda yoğuşma hızı anlık olarak alınan terazi dataları ile hesaplanarak bulunmaktadır. Yoğuşma kapasitesi modellenmesinde ise anlık yoğuşma hızı değeri,

$$\dot{m}_a = \rho_{k.h} \times Q_a \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{su} = \dot{m}_a (\omega_1 - \omega_2) \quad (5.2)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır. Bu formüller doğrultusunda hesaplamaların yapılabilmesi için sistemin kuru hava debisi (\dot{m}_a), giriş ve çıkış özgül nem

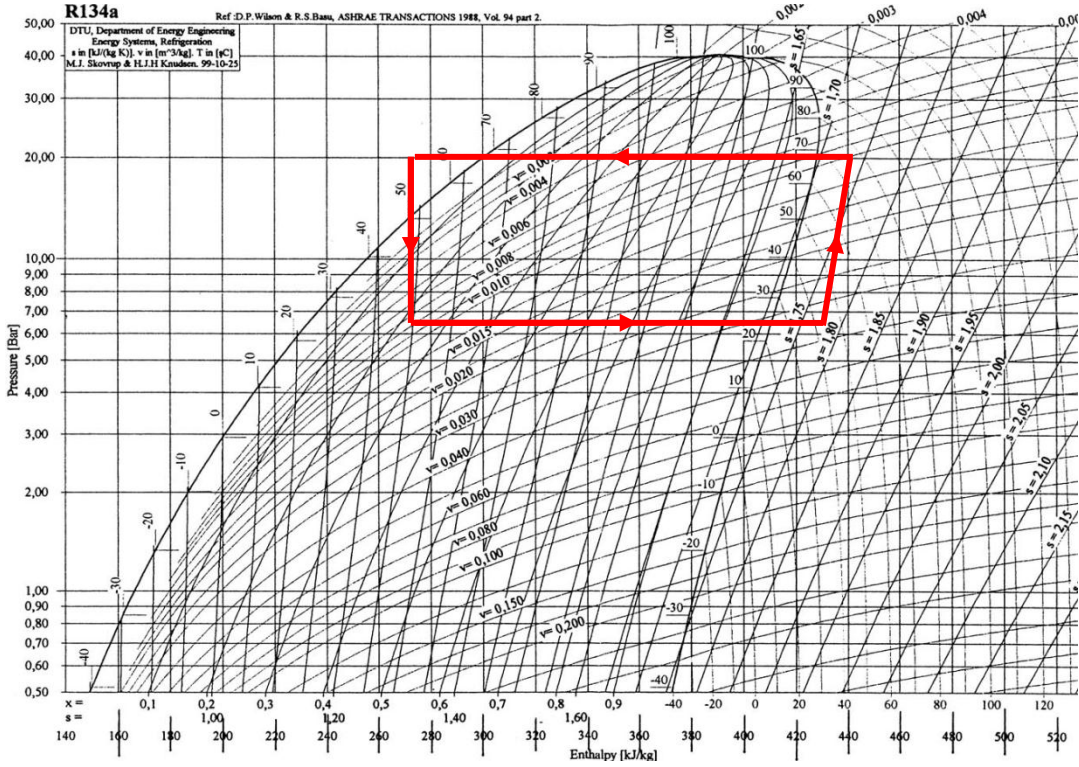
değerlerinin (ω_1, ω_2) bulunması gerekmektedir. Programın adımları ve kabüller şöyle özetlenebilir:

- Buharlaştırıcıya giren havanın giriş bağıl nem değeri ve giriş sıcaklığı verilen değerler doğrultusunda sistemde istenilen değerler olarak girilmektedir.
- Buharlaştırıcı çıkışında havanın çıkış bağıl nemi %100 değerinde olduğu kabul edilmektedir.
- Kuru havanın giriş yoğunluk değeri ($\rho_{k,h}$), havanın giriş sıcaklık değerine bağlı olarak hesaplanmaktadır.
- Kanat formu ve kanat kaplama tipi değişimleri havanın buharlaştırıcı çıkış sıcaklığını etkilediğinden dolayı farklı buharlaştırıcı kanat formu ve kanat kaplama tiplerinde farklı çıkış sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

Denklem 4.3'e bağlı kalarak yoğuşma kapasitesinin hesaplanması için aynı sıcaklıktaki doymuş buhar ve suyun entalpileri farkı (h_{fg}), havanın buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamasını alarak bulunan sıcaklık değerine göre hesaplanmaktadır.

5.1.2 Buharlaştırıcı Soğutma Enerjisi Hesaplama Modeli Oluşturulması

Buharlaştırıcı soğutma kapasitesi hesaplanırken, sistemdeki soğutucu akışkan çevriminden yararlanılmıştır. Buharlaştırıcının üzerindeki belirli noktalardan alınan sıcaklık değerleri ile yoğuşturucunun üzerindeki noktalardan alınan sıcaklık değerleri göz önüne alınarak soğutucu akışkanın bu sıcaklık değerlerindeki entalpi farklarından yararlanarak buharlaştırıcının soğutucu akışkan tarafından soğutma kapasitesi hesaplanmıştır. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin çalışma sıcaklık ve basınçları Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Sistemin çalışma koşullarının lnP-h grafiğinde gösterimi.

Buharlaştırıcının soğutma kapasitesi Denklem 4.4'ten yararlanarak hesaplanmıştır. Yoğuşturucu çıkışındaki sıcaklık ve basınç değerleri sonucunda bulunan gazın entalpi değeri, buharlaştırıcının giriş kısmındaki basınç ve sıcaklık değerleri sonucu oluşan gazın entalpisiyle eşit kabulü (izentalpik düşüm) yapılmıştır.

Soğutkan debisi ölçümünde kompresörün sağladığı debi miktarından yola çıkarak hesaplanmıştır. Bir kompresörün sağladığı debi miktarı, yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıklarına bağlı olarak bir polinom ile ifade edilebilir. 9 bilinmeyenli bu polinom ifadesi, denklem 5.3 bağıntısı şeklinde verilmektedir.[14]

$$\begin{aligned} \dot{m}_{sa} = & a_1 + a_2 T_b + a_3 T_b^2 + a_4 T_y + a_5 T_b T_y + a_6 T_y T_b^2 \\ & + a_7 T_y^2 + a_8 T_y^2 T_b + a_9 T_y^2 T_b^2 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Deneylerde kullanılan ve modelde esas alınan kompresörün kalorimetre test sonuçları, Arçelik A.Ş ATGM'de geliştirilen 'REFSIM Buzdolabı Analiz' programına girilerek 'a_i; i=1-9' katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen katsayılar Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Kompresör debi polinomu kalorimetre katsayıları.

a ₁	148,171722
a ₂	3,484758
a ₃	-0,234388
a ₄	-4,634630
a ₅	-0,078274
a ₆	0,008228
a ₇	0,041224
a ₈	0,000712
a ₉	-0,000075

Matematiksel modelde esas alınan R134-a soğutkanlı buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi için istenilen evaporasyon ve kondansasyon sıcaklıklarında buharlaştırıcıdan geçen debiyi hesaplamak için çizelge 5.1’de gösterilen katsayılar denklem 5.3’te kullanılarak oluşturulan yazılıma entegre edilmiştir.

5.2 Matematiksel Model Sonuçlarının Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

Matematiksel modelin oluşturulması sonucunda çıkan analitik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması tablo halinde Çizelge 5.2’de verilmektedir. Analitik çalışmalarda bulunan sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında yoğuşma hızı değeri açısından ortalama $\pm 6,5$, yoğuşma verimi değerleri bakımından ortalama $\pm 1,93$ fark olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Deneysel sonuçlarla analitik sonuçların karşılaştırılması.

Buharlaştırıcı Tipi	Giriş Bağlı Nemi	Ort.Yoğuşma Verimi (%) (Deneysel/Analitik)	Hata Oranı 1 (%)	Ort.Yoğuşma Hızı (g/s) (Deneysel/Analitik)	Hata Oranı (%)
Hidrofobik/ Dalgalı	%65	65,1/65,8	1,07	0,42/0,47	12
	%70	72,1/74,1	2,7	0,47/0,48	2,1
	%80	76,9/78,41	1,9	0,50/0,51	2
Hidrofobik/ Düz	%65	64,2/64,9	1,09	0,43/0,43	0
	%70	74,2/73,2	1,3	0,48/0,47	2,08
	%80	83,1/85,9	3,3	0,52/0,55	5,7
Hidrofilik/ Dalgalı	%65	66,2/65,1	1,6	0,41/0,49	19,5
	%70	69,1/70,8	2,4	0,46/0,53	15,2
	%80	73,2/74,5	1,7	0,49/0,56	14,2
Hidrofilik/ Düz	%65	69,17/70,5	1,9	0,44/0,45	2,27
	%70	71,44/74,0	3,5	0,49/0,47	4,1
	%80	78,53/79,1	0,7	0,56/0,56	0

Çizelge 5.2’de buharlaştırıcı kanat formunun ve kaplama tipinin, buharlaştırıcı yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı performansına etkisinin deneysel ve analitik sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Söz konusu bu sonuçlar doğrultusunda, havanın giriş sıcaklığı ve giriş debisi sabit, giriş bağıl nem değerinin değişimine bağlı olarak sistemin yoğuşma verimini ve yoğuşma hızını incelemek amacıyla oluşturulan modelin deneysel sonuçlarla eşdeğer doğrultuda olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, nem alma prosesinde buharlaştırıcı yapısının yoğuşma verimine ve yoğuşma hızına etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Çalışmalara, buharlaştırıcı kanat tipleri ve kanat kaplama tiplerinin yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisini inceleyen literatür araştırmalarıyla başlanmış, konu ile ilgisi olan makaleler yapılan tez çalışması kapsamında paylaşılmıştır.

Tez çalışmasının deneysel kısımlarında, soğutucu akışkan olarak R134a kullanılan ısı pompalı kurutucu sisteminde, proses havasının buharlaştırıcı girişindeki bağıl neminin, buharlaştırıcı kanat tipinin ve buharlaştırıcı kanat kaplamasının, buharlaştırıcı yoğuşma verimine ve buharlaştırıcı üzerindeki yoğuşma hızına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yardımıyla, sistem üzerindeki yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı değişimi deneysel olarak irdelenmiştir.

Tez çalışmasının analitik kısmında, yoğuşma kapasitesi ve buharlaştırıcı kapasitesi modellenerek, proses havasının buharlaştırıcı girişindeki bağıl nem değişiminin, buharlaştırıcı kanat tipinin ve buharlaştırıcı kanat kaplamasının, buharlaştırıcı yoğuşma verimine ve buharlaştırıcı üzerindeki yoğuşma hızına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar analitik kısımda elde edilen sonuçlarla kıyaslamalı olarak sunulmuştur.

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Havanın giriş bağıl nem değeri, yoğuşma hızı ve yoğuşma verimi değerlerinde önemli bir etkidir. Havanın giriş bağıl nem değeri arttıkça, yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı artmaktadır.
- Hidrofobik kaplamalı düz ve dalgalı kanat formuna sahip buharlaştırıcı tiplerinde yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı, havanın giriş bağıl nem değerleri

değişimlerinin tüm testlerinde (%65, %70, %80) düz kanat tipi, dalgalı kanat tipine göre daha verimli olarak görülmektedir.

- Hidrofilik kaplamalı düz ve dalgalı kanat formuna sahip buharlaştırıcı tiplerinde, yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı, havanın giriş bağıl nem değerleri değişimlerinin tüm testlerinde (%65, %70, %80), düz kanat tipi, dalgalı kanat tipine göre daha verimli olarak görülmektedir.
- Düz kanat formuna sahip kanat kaplaması hidrofobik ve hidrofilik olan buharlaştırıcılarda yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı, havanın giriş bağıl nem değerlerinin %70 ve %80 olduğu durumlarda hidrofobik kaplamalı buharlaştırıcı tipi, hidrofilik kaplamalı buharlaştırıcı tipine göre daha verimli olarak görülmektedir.
- Dalgalı kanat formuna sahip kanat kaplaması hidrofobik ve hidrofilik olan buharlaştırıcılarda yoğuşma verimi ve yoğuşma hızı, test edilen tüm havanın giriş bağıl nem değerlerinde(%65, %70, %80) olduğu durumlarda hidrofobik kaplamalı buharlaştırıcı tipi, hidrofilik kaplamalı buharlaştırıcı tipine göre daha verimli olarak görülmektedir.
- Havanın giriş bağıl nem değerinin %65 olması durumunda yoğuşma verimi en iyi olan buharlaştırıcı tipi hidrofilik kaplamaya sahip düz kanat formu buharlaştırıcı, %70 ve %80 olması durumunda hidrofobik kaplamaya sahip düz kanat formu buharlaştırıcıdır.
- Kanat tipi ve kanat formunun yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına olan etkisinin buharlaştırıcı çıkışındaki havanın sıcaklık değişimi ile değiştiği düşünülerek kurgulanan yoğuşma kapasitesi modeli ve soğutucu akışkanın evaporasyon ve kondansasyon sıcaklığına göre soğutucu akışkan debisi değişimini hesaplayan 9 bilinmeyenli bir polinom denklemi ile kurgulanan buharlaştırıcı soğutma kapasitesi modeli ile yapılan bu çalışmaların karşılaştırılması sonucunda ortalama %96,75 doğruluk sağladığı görülmektedir.

Bu çalışmaların devamı olarak aşağıdaki önerilerin yararlı olabileceği düşünülmektedir:

- Yapılan yüksek lisans çalışmasında sistemde havanın buharlaştırıcıya girişteki bağıl nem değişimlerinin yoğuşma verimine ve yoğuşma hızına etkisi incelenmiştir. Kontrol edilebilir bir sistem oluşturularak sistemin hava debisinin ve buharlaştırıcı girişindeki havanın sıcaklık değişimlerinin de buharlaştırıcı yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisinin incelenmesinin, buharlaştırıcı üzerinde yoğuşma verimini ve yoğuşma hızını bu parametrelerin hangi yönde etki ettiğini görmek açısından fayda sağlayabileceği ön görülmektedir.
- Oluşturulan analitik modelin doğruluğunu arttırmak ve daha çok kanat tipi ve kanat kaplamasının sisteme olan etkisini bu modele eklemek amacıyla, deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan buharlaştırıcı tiplerine, farklı kanat formlarında ve kaplama tiplerinde buharlaştırıcılar eklenerek çalışmalar yapılmasının fayda sağlayabileceği ön görülmektedir.
- Nem alınan çamaşırlardan çıkan havaların, buharlaştırıcı üzerinde birikmesiyle oluşan durumun, yoğuşma verimi ve yoğuşma hızına etkisinin incelenmesinin fayda sağlayabileceği ön görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **A.S. Huzayyim, S.A Nada ve H.F Elattar**, (2007), Air-side performance of a wavy-finned-tube direct expansion cooling and dehumidifying air coil. *International Journal of Refrigeration* 30, 230-244.
- [2] **Chi-Chuan Wang, Yur-Tsai Lin, Kuei-Chang Hsu ve Yu-Juei Chang**, (2001), Performance of rectangular fin in wet conditions : Visualization and wet fin efficiency. *Journal of Heat Transfer* Vol.123, 827-836.
- [3] **WorachestPirompugd, Chi-Chuan Wang ve Somchai Wongwises**, (2010) Corelations for wet surface ratio of fin-and-tube heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer* (2010), 53, 568-573.
- [4] **WorachestPirompugd, Chi-Chuan Wang ve Somchai Wongwises**, (2007), Finite circular fin method for heat and mass transfer characteristics for plain fin-and-tube heat exchangers under fully and partially wet surface conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 552-565.
- [5] **C.C Wang, Y.C Hsieh, Y.T Lin**, (1997) Performance of plate finned tube heat exchangers under dehumidifying conditions. *Journal of Heat Transfer* 119, 109-117.
- [6] **D.Q Kern, A.D Kraus**, (1972) *Extended surface heat transfer*. McGraw-Hill, New York NY.
- [7] **Xiaokui Ma, G.Ding, Y.Zhang, K.Wang**, (2007), Airside heat transfer and friction characteristics for enhanced fin-and-tube heat exchanger with hydrophilic coating under wet conditions. *International Journal of Refrigeration* 30, 1153-1167.
- [8] **Mert Mirza**, (2006) Isı pompalı kurutucunun ısı tasarımı. Yüksek lisans tezi Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- [9] **Önder Balioğlu**, (2008) Soğutma sistemlerinde sistem bileşenlerinin termodinamiksel toplam performans etkilerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, İstanbul.

- [10] **İsmail Tutumel**, (2010) Matlab ortamında deneysel olarak bir buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminin ve otomasyonun analizi.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, İstanbul.
- [11] **Yunus A. Çengel ve Michael A. Boles**, (2006) Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th edition, 732-733
- [12] **Dr. Başak Bengü**, (2009) Kendini temizleyen kaplamalar, literature ve patent araştırması,Arçelik A.Ş Ar-Ge, Araştırma Notu, ANN-1289 İstanbul.
- [13] **Kline, S.J., McClintock, F.A.**, (1953). Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, Mechanical Engineering., p:3,
- [14]**Serdar Kocatürk**, (2004) Soğutma sisteminde dögüsel kayıpların deneysel ve teorik incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, İstanbul.
- [15] <http://www.mhhe.com/engcs/mech/ees/>, (18.04.2012) Engineering Equation Solver.

ÖZGEÇMİŞ

AdSoyad:Gökhan Sır

DoğumYeriveTarihi: Andırın 28.01.1989

E-Posta: gokhan_sir@hotmail.com

Lisans: T.C Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

ProjeAsistanı (2010-2012) Arçelik A.Ş

Ar-GeMühendisi (2012-) Arçelik A.Ş