

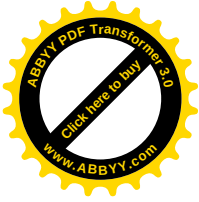
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ISI POMPASI DESTEKLİ ÇAMAŞIR KURUTUCUSU
TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ

PINAR DEMİRBAŞ

Haziran, 2011



Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Pınar DEMİRBAŞ tarafından hazırlanan ‘ISI POMPASI DESTEKLİ ÇAMAŞIR KURUTUCUSU TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ ’ adlı yüksek lisans tezinin anabilim dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin yüksek lisans tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim UZUN
Danışman

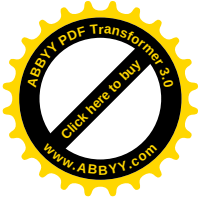
Tez Jürisi Üyeleri

Başkan	: Prof. Dr. Veli ÇELİK	: _____
Üye (Danışman)	: Prof. Dr. İbrahim UZUN	: _____
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Kemal BİLEN	_____ :

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. İhsan ULUER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



ÖZET

ISI POMPASI DESTEKLİ ÇAMAŞIR KURUTUCUSU TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ

DEMİRBAŞ, Pınar
Kırıkkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. İbrahim UZUN
Haziran 2011, I, 71 sayfa

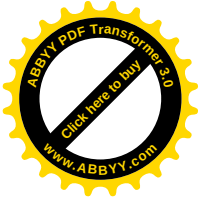
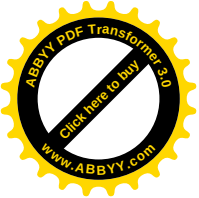
Artış gösteren nüfus ve gelişen teknoloji ile dünya genelinde enerjiye duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Ülkemizin enerji kaynakları açısından dışa bağımlı bir ülke olması, enerjinin tüm alanlarda verimli kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu açıdan enerji tasarrufu her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Isı pompaları (heat pumps), harcadıkları enerjiye nazaran daha fazla ısı transfer edebilen cihazlar olduklarından, elektrik enerjisi tüketimini önemli ölçüde azaltır. Bu özelliklerinden dolayı ısı pompaları, ısı sistemlerinde sıklıkla kullanılan cihazlar arasında yer almaktadır.

Isı pompalarının enerji tasarrufundaki bu rollerinden dolayı bu tez çalışmasında ısı pompası destekli bir çamaşır kurutucusunda farklı zaman ve ağırlık parametrelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Isı pompalı kurutucuda kurutucunun değişik nem ve sıcaklık değerlerindeki verimi yapılan deneylerle incelenmiştir.

Deneyisel çalışmalarda kullanılan kurutucunun elektrik harcamı, belirli zaman aralıklarındaki kütle kayıpları kurutma havasının nem ve sıcaklık değerleri veri toplayıcı (data logger) tarafından bilgisayara otomatik olarak kaydedilmiştir. Elde edilen değerler tablo ve grafiklerle sonuçlarda verilmiştir.

Deneyisel çalışmalar göstermektedir ki, ısı pompası uygulamaları çamaşır kurutmada enerji tüketiminde önemli tasarruflar sağlamakta olup firmalarımızın Ar-Ge çalışmalarında ısı pompalı çamaşır kurutma teknolojisine yönelmeleri önemli enerji tasarrufları sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar sözcükler: Çamaşır, Isı Pompası, çamaşır kurutucu, Isı pompalı çamaşır kurutucu



ABSTRACT

DESIGN AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF HEAT PUMP ASSISTED DRYER

DEMİRBAŞ, Pınar
Kırıkkale University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering, Master's Thesis
Supervisor: Prof. Dr. İbrahim UZUN
June 2011, II, 71 pages

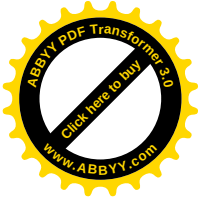
All around the world the need for energy increases because of developing technology and increasing population. The fact that our country is foreign dependent from the aspect of energy resources, makes efficient usage of energy in all fields compulsory. From this aspect energy saving still gain importance day by day. As the heat pumps are devices which transfer more heat in proportion to their energy consuming, heat pumps significantly decreases energy consumption. Because of their this kind of characteristic, heat pumps rank among the devices generally used in thermal systems.

As a result of their effects on energy saving ; in this thesis, experiments inside heat pump supported tumble dryer have been carried out in different time and weight parameters. Tumble dryer's efficiency in different moisture and heat amounts have been analysed with experiments done.

Tumble dryer's being used in experimental studying, energy consumption, mass' losing within a fixed time , moisture and heat amounts have been automatically recorded on computer by data logger. Obtained amounts have been given as graphics in the results.

Experimental studyings show that heat pump applications provide significant savings upon energy consumption and it is concluded that firms' go towards to heat pumped tumble dryer technology in their research development studyings provides significant energy saving.

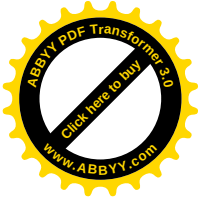
Keywords: Clothes, Heat Pump, Tumble Dryer, Heat Pump Tumble Dryer



TEŞEKKÜR

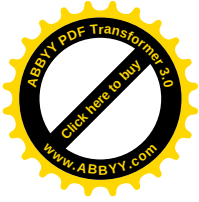
Yüksek Lisans Tezimi hazırlarken yaptığım araştırmalar sırasında yardımlarını hiç esirgemeyen, bilgi, tecrübe ve görüşlerinden yararlandığım değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. İbrahim UZUN Bey'e, değerli görüşleri ile beni yönlendiren Sayın Yrd. Doç. Dr. Kemal BİLEN Bey'e ve makine mühendisliği bölümündeki değerli hocalarıma çok teşekkür ederim.

Bütün eğitim hayatım boyunca gösterdikleri anlayış ve yardımları ile birlikte maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili anneme, babama, kardeşime ve eşime şükranlarımı sunarım.

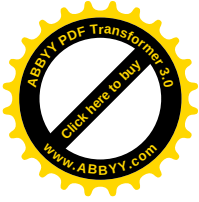


İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİL DİZİNİ.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VIII
1.GİRİŞ.....	1
2.MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
2.1 Isı Pompası.....	8
2.2 Isı Pompası Çevrimleri.....	9
2.2.1.Ters Carnot çevrimi	9
2.2.2. İdeal Çevrim	11
2.3 Isı Pompalı Kurutucular.....	12
2.3.1. Isı Pompaları ve Isı Pompalı Kurutmanın Geçmişi.....	12
2.3.2. Isı Pompalı Kurutucuların Avantajları ve Sınırlamaları.....	14
2.3.3. Isı Pompalı Kurutucunun Çalışma Şekli.....	15
2.3.4. Isı Pompaları ve Enerji Verimliliği.....	16
2.3.5. Kurutma Sistemlerinde Verim Tanımlamaları.....	17
3. ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNELERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ... 19	
3.1 Çamaşır Kurutma Makinelerinin Çeşitleri.....	20
3.1.1.Bacalı Çamaşır Kurutma Makineleri.....	20
3.1.2. Kondenserli (Yoğuşmalı) Çamaşır Kurutma Makineleri..	22
3.1.3. Isı Pompalı Çamaşır Kurutma Makineleri.....	24
3.1.4. Mikro Dalgalı Çamaşır Kurutma Makineleri.....	25
3.1.5. Vakumlu Kurutma.....	26
3.1.6. Santrifüjlü Çamaşır Kurutma Makineleri.....	26
3.2 Çamaşır Kurutucularda Kurutma Süreçleri.....	26
3.3 Isı Pompası Devresi Ana Elemanları.....	27
3.3.1. Kompresör.....	27

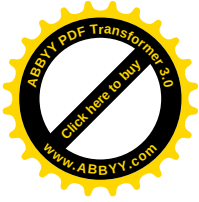


3.3.2. Yoğuşturucu (kondenser).....	28
3.3.3. Kısılma vanası (Genleşme valfi).....	29
3.3.4. Buharlaştırıcı (Evaporatör).....	29
3.4 Isı Pompası Devresi Yardımcı Elemanları.....	30
3.4.1. Filtre-Kurutucu (Dryer).....	30
3.4.2. Accümülatör (Ara Eleman).....	31
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	32
4.1. Deneylerin Düzeneginin Hazırlanması.....	34
4.2. Deneyisel Ölçümler.....	36
5. SONUÇLAR.....	37
6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ	68
ÖZGEÇMİŞ	71



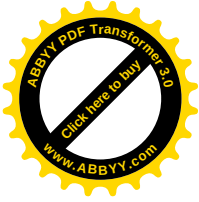
ŞEKİL DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>sayfa</u>
1.1 Isı pompalı çamaşır kurutucunun akış seması.....	1
1.2 Isı pompalı (ters Brayton çevrim) çamaşır kurutucu sistemin akış seması...	7
1.3 Klimaya entegre edilmiş kurutucunun görünüşü.....	9
1.4 Isı pompalı çamaşır kurutucu	10
2.1 ısı pompalı çamaşır kurutucusunun akış şeması.....	12
2.2 Carnot soğutma makinesinin düzeni ve ters Carnot soğutma çevriminin <i>T-s</i> diyagramı.....	13
2.3 İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin düzeni ve soğutma çevriminin <i>T-s</i> diyagramı	14
2.4 Isı pompalı kurutucu prensip seması ve psikometrik diyagramında gösterimi	19
3.1 Bacalı çamaşır kurutucunun yapısı.....	24
3.2 Bacalı çamaşır kurutucunun çalışma seması.....	25
3.3 Yoğuşmalı çamaşır kurutucu sisteminin akış seması.....	28
3.4 Isı pompalı çamaşır kurutucu çalışma seması.....	29
3.5 Isı pompası devre elemanları.....	37
4.1 Deney yapılan ısı pompalı çamaşır kurutucu sistemi.....	38
4.2 Deneyler esnasında kullanılan terazi.....	39
4.3 Deneyler sırasında kullanılan ölçüm cihazları.....	40
4.5 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:1).....	41
4.6 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:1).....	42
4.7 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:1).....	42
4.8 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:2).....	43
4.9 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:2).....	44
4.10 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:2).....	44



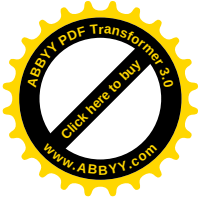
ŞEKİL DİZİNİ (Devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.11 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:3).....	45
4.12 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:3).....	46
4.13 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:3).....	46
4.14 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:4).....	47
4.15 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:4).....	48
4.16 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:4).....	48
4.17 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:5).....	49
4.18 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:5).....	50
4.19 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:5).....	50
4.20 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:6).....	51
4.21 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:6).....	52
4.22 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:6).....	52
4.23 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:7).....	53
4.24 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:7).....	54
4.25 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:7).....	54
4.26 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:8).....	55
4.27 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:8).....	56
4.28 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:8).....	56



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
COP_{hp}	Isı pompası etkinlik katsayısı
COP_{ws}	Tüm sistem için etkinlik katsayısı
COP_{carnot}	Carnot etkinliği
h_1	Tambur çıkış havası entalpisi (kJ/kg)
h_2	Buharlaştırıcı çıkış havası entalpisi (kJ/kg)
h_3	Yoğusturucu giriş havası entalpisi (kJ/kg)
h_4	Tambur giriş havası entalpisi (kJ/kg)
h_{5r}	Kompresör giriş soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)
h_{6r}	Kompresör çıkış soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)
h_{7r}	Yoğusturucu çıkış soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)
h_{8r}	Buharlaştırıcı giriş soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)
h_w	Buharlaştırıcıda yoğuşan suyun entalpisi (kJ/kg)
m_1	Kurutmadan önceki deney numunesi kütlesi (kg)
m_2	Kurutmadan sonraki deney numunesi kütlesi (kg)
M_w	Kurutma süresince toplanan su kütlesi (kg)
MER	Nem alma oranı (kg/h)
MR	Nem oranı
$M_{db,t}$	Kuru madde esasına göre t anındaki nem miktarı (kg/kg)
$M_{db,0}$	Kuru madde esasına göre t=0 anındaki nem miktarı (kg/kg)
Q_L	Birim zamanda ortamdan çekilen ısı, (kW)
Q_H	Birim zamanda ortama verilen ısı, (kW)
$SMER_{hp}$	Isı pompası için özgül nem alma oranı (kg/kWh)
$SMER_{ws}$	Tüm sistem için özgül nem alma oranı (kg/kWh)

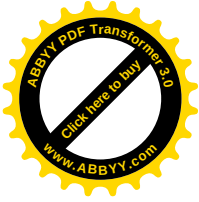


SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (DEVAM)

Simgeler

Acıklamalar

T_L	Soğutulan ortamın sıcaklığı, (°C)
T_H	Isı verilen ortamın sıcaklığı, (°C)
T_1	Tambur çıkış sıcaklığı (°C)
T_2	Buharlaştırıcı hava tarafı çıkış sıcaklığı, (°C)
T_3	Yoğuşturucu hava tarafı giriş sıcaklığı, (°C)
T_4	Tambur giriş sıcaklığı, (°C)
T_{Buh}	Buharlaştırıcı çalışma sıcaklığı (°C)
T_{Yog}	Yoğuşturucu çalışma sıcaklığı (°C)
t	Kuruma süresi, (h)
$\dot{W}_g$	Soğutucu akışkan üzerinde yapılan sıkıştırma isi, (kW)
$\dot{W}_{sistem}$	Tüm sistem üzerinde uygulanan güç (kW)
Φ_1	Tambur çıkış havası bağıl nemliliği, (%)
Φ_2	Buharlaştırıcı çıkış havası bağıl nemliliği, (%)
Φ_3	Yoğuşturucu giriş havası bağıl nemliliği, (%)
Φ_4	Tambur giriş havası bağıl nemliliği, (%)
w_1	Kurutucu giriş havası özgül nemi (kg /kg)
w_2	Kurutucu çıkış havası özgül nemi (kg /kg)
w_a	Kurutucu girişindeki havanın adyabatik doyma özgül nemi(kg /kg)
ρ	Kurutma havası yoğunluğu (kg /m ³)
η	Nem alma verimi

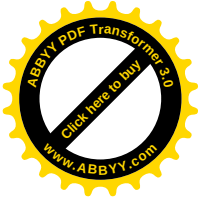


1. GİRİŞ

Kapalı çevrimli kurutma makinelerinde işlem sırasında kullanılacak havanın nemini almak için bir ısı pompası kullanılır. Makine içerisindeki sıcak ve nemli hava bir ısı pompası üzerinden geçirilir. Isı pompasının buharlaştırıcısı (soğuk tarafı), su buharını yoğuşturarak bir boşaltma borusuna ya da toplama tankına iletirken, yoğusturucusu (sıcak tarafı) da havayı tekrar ısıtır. Böylece; hem kurutucu için dışarıya açılan bir kanal sistemine gerek kalmaz hem de ısının dışarı atılması yerine kurutma makinesinin içerisinde kalması temin edilmiş olur. Bu sayede ısı pompalı kurutma makinesinin, klasik ya da kondenserli kurutma makinesinden çok daha az enerji harcaması sağlanmaktadır.

Kondenserli makinelerde olduğu gibi ısı pompalı makinelerde de ısı değiştiricisi, kurutma makinesi içerisindeki havayı ısıtır, fakat ısınan havanın nemlilik derecesi, ortamdaki taze havanınkindi kadar düşük olmaz. Kurutma işleminde kullanılan bu sıcak havanın, ortamdaki havaya göre daha nemli olması, kurutma süresinin artmasına neden olur. Oysa ısı pompalı yoğusturmalı kurutma makineleri; kullandıkları havanın nemini aldıkları gibi, sıcaklığını da büyük oranda muhafaza ettiğinden, bu makinelerde sıcak havaya çok hızlı bir şekilde devir yaptırılabilir. Böylece; yoğusturmalı kurutma makinesindeki kurutma süresinin, makinenin modeline de bağlı olarak, klasik makinelerden daha kısa olması sağlanmış olur. İşte bu çalışmada; ısı pompalı kurutucuda yer alan buharlaştırıcı ve yoğusturucuların daha verimli hale getirilmesi araştırılarak, enerji tüketiminin azaltılmasına çalışılacaktır.

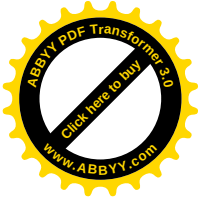
İ. Ceylan , M. Aktaş ^[1] ısı pompası destekli kurutma fırınında fındık kurutulmasını deneysel olarak incelenmiştir. Kurutma sonrası fındıklar duyusal olarak analiz edilmiş ve nem değişimi kütle ölçüm metoduyla takip edilmiş. Gerekli ön hazırlık ve son kontrol işlemleri uygulanarak fındıkların kurutma işlemi sonrası kalitelerinin artırılması, üreticilerin ihtiyacı olan ilk yatırım masrafı düşük ve enerji giderleri az olan bu kurutma fırınıyla sağlamıştır.



İ. Ceylan , M. Aktaş, H. Doğan ^[2] kerestelerin tamamındaki kütle değişimi fırın içerisindeyken takip edilebilmiş istenilen ağırlığa gelindiğinde kurutma sonlandırılmıştır. Kurutma esnasında, kurutma havası bağıl nemi, sıcaklığı ve kerestede ki ağırlık değişimi değerleri bilgisayarda toplanarak , daha sonra kurutma süresinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Isı pompası destekli kurutucuda kurutma işlemine başlamadan önce hesaplanan kurutma süresi ile birlikte kurutma işleminin ne zaman sonlandırılacağı yaklaşık olarak hesap edilebilmiştir.

S. Yılmaz , C. Yavuz ^[3] ısı pompası destekli kondenzasyonlu kurutma sisteminin tasarım, imalat, montaj ve deneyleri gerçekleştirilmiştir. sistemin otomatik olarak çalıştırılması ve kontrol edilmesi ve ölçülen sonuçların kaydedilmesi hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, araştırmacılara bu sistemlerin tasarımında ticari amaçlara yönelik olarak fırın kapasitelerinin büyük tutulması, nem yoğunlaşmasının gerçekleştirildiği evaporatörlerde direkt soğutucu akışkan dolaştırılan mekanik ısı pompası yerine, su soğutmalı grupların seçilmesi ve alternatif enerji kaynaklarının da bu sistemde değerlendirilmesi gerektiği önerilmektedir.

M. Mirza^[4], 2006 yılındaki çalışmasında pistonlu soğutma kompresörü, buharlaştırıcı, hava soğutmalı yoğunlaştırıcı, fan, ilave ısıtıcı ve kurutma kabininden oluşan deneysel bir ısı pompalı kurutucu tasarlamış, üretmiş ve deneylerde kullanmıştır. Tamamen kapalı bir çevrim oluşturulmuştur. Bu sayede kurutucudan çıkan nemli havanın nemi alınarak tekrar kullanılması mümkün olmuştur. Bu çalışmanın amacı, deri üretiminde özellikle kurutma aşamasında yoğun enerji kullanan sistemler bir alternatif oluşturmaktır. Ayrıca dünyada deri kurutma amaçlı kullanılan ısı pompası ile düşük sıcaklıklarda (30-35°C) kurutma yapılabileceğini deri sanayine göstermektir. Deneyler sonucu; hava tarafının en fazla sıcaklığı 42 °C olup kurutucunun özgül nem alma hızı (SMER_{hp}) 0,76 ile 0,91 Kg/KWh , ısı pompası etkinlik katsayısı (COP_{hp}) 3,34 ile 3,52 ve kuruma hızı (MER) 0,869 ile 1,044 arasında tespit edilmiştir.

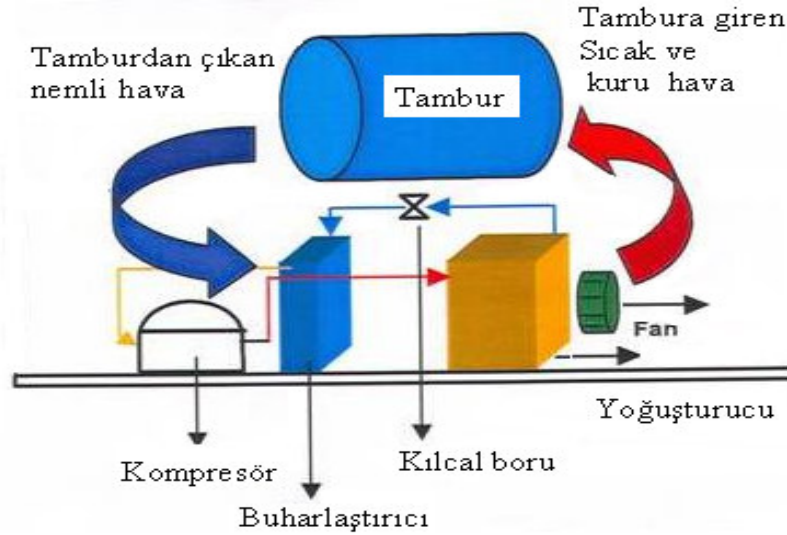


L. Brunzell^[5], 2006 yılında hazırlamış olduğu çalışmasına göre, genellikle ıslak çamaşırların kurutulması açık havada güneş ve rüzgârın yardımıyla gerçekleşir. Açık havada yapılan çamaşır kurutma bir çok yönden dezavantaj içermektedir. Tozlu bir ortam, yağmur riski, uzun kurutma süreleri bunlardan bir kaçıdır. Günümüz toplumunda çamaşırların asılacağı alan eksikliği ve kurutma zamanını azaltma ihtiyacı, çamaşır kurutma makinelerini yaygınlaştırmaktadır. Bu tip makinelerin kullanımının önümüzdeki on yıl içinde önemli bir yol kat edeceği ve daha çok kullanılacağı beklenmektedir. Çamaşır kurutma makineleri, hızlı ve uygun bir kurutma yolu sunmaktadır. Piyasada; açık çevrimli kurutucu (bacalı çamaşır kurutucu) ve kapalı çevrimli kurutucu (yoğuşturmalı çamaşır kurutucu) olmak üzere iki ayrı tip kurutucu makine bulunmaktadır. Açık çevrimli kurutucu; çamaşırların yıkandığı odanın sıcaklığını sabit tutmak için, makineden çıkan nemli havayı dış ortama atan en uygun seçenektir. Yoğuşturmalı çamaşır kurutucu ise ek bir ısıtmaya ihtiyaç duyulduğu zaman tercih edilir. Bu tip çevrimde kurutma için sağlanan tüm enerji odaya transfer edilir. Her iki çevrimde de ısıtıcı kullanılması sebebiyle çamaşır kurutma makineleri çok fazla elektrik enerjisi sarf etmektedir.

Çamaşır kurutma makinelerinde enerji sarfiyatını azaltmanın bir yolu, ısıyı geri kazanma iken diğer yolu da havanın tekrardan dolaştırılmasıdır. Kapalı çevrimli kurutucularda tamburdan çıkan nemli hava ya doğrudan ısıtıcıya geri gönderilir ya da yoğuşturucuya gider. Conde, yoğuşturmalı çamaşır kurutucuların, bacalı çamaşır kurutuculara göre daha çok enerji tükettiğini belirtmiştir. Buna rağmen, kurutma esnasında yoğuşturmalı kurutucuda ısı değiştiricinin kullanımı kurutma verimini arttırır. Hekmat ve Fisk göre, tamburdan dışarıya atılan bu havanın geri gönderilme oranının % 67 olduğunu bulmuştur. Lambert ise tamburdan dışarıya atılan havanın % 75 oranında geri gönderilmesinin en iyi enerji verimini sağladığını açıklamıştır. Bunun tam aksine, Deans ise tamburun çıkışındaki havanın sıcaklığının kısmi geri dolaşımında kullanılması için çok düşük olduğunu savunmuştur.

Palandre^[6], Çalışmasında buhar sıkıştırımlı çamaşır kurutucu ile ısı pompalı çamaşır kurutucuyu karşılaştırmıştır. Kurutma süresini kıyasladığımızda, buhar sıkıştırımlı çamaşır kurutucu, ısı pompalı kurutucuya göre çamaşırları daha kısa sürede kurutur. Enerji tüketimi açısından iki sistem de aynı seviyede enerji tüketirler.

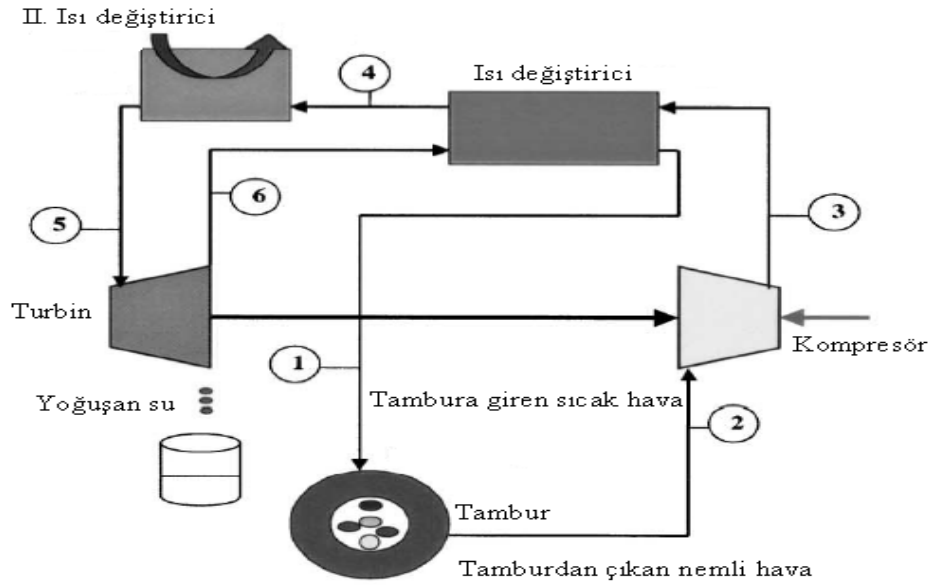
Z. Oktay^[7], Isı pompası sistemi, kurutucu sistemde enerji tüketimini azaltmak için kullanılır. Isı pompalı çamaşır kurutucularda, ısı pompasının görevi; Buharlaştırıcıda, tamburdan çıkan nemli havanın nemini alır ve yoğuşturucuda aynı havayı tekrar ısıtmaktadır. Şekil 1.1’de ısı pompalı çamaşır kurutucunun akış seması görülmektedir.



Şekil 1.1 Isı pompalı çamaşır kurutucunun akış seması.

Oktay yaptığı çalışmada, ısı pompası destekli mekanik açılı bir kurutucu ile yün kurutmasının optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Kurutucunun özgül nem alma hızı 0,65 ile 1,75 kg/kWh, ısı pompalı etkinlik katsayısı, 2,47 ile 3,95 arasında tespit edilmiştir.

Braun^[8], geleneksel açık çevrimli kurutucu ile ısı pompalı çamaşır kurutucuyu karşılaştırmıştır. Kullandığı sistem, ısı pompasının temel prensibi olan ters Brayton çevrimine dayanmakta olup sistemde akışkan olarak geri dolaşımli hava kullanılmaktadır. Bu tip kurutucunun, açık çevrimli kurutucu sistemlerinde enerji verimini % 40 a kadar arttırması tahmin edilmektedir. Hava çevrimli ısı pompasında çalışma basıncının düşüklüğü problem teşkil etmektedir. Isı pompalı kurutma makinelerinin bakım ve onarım maliyeti ise geleneksel kurutuculara kıyasla oldukça yüksektir. Braun’a göre hava çevrimli ısı pompasının (ters Brayton çevrim) bir başka avantajı da buharla sıkıştırılmış ısı pompasından daha ucuz olmasıdır. Şekil 1.2 Isı pompalı (ters Brayton çevrim) çamaşır kurutucu sistemin akış seması görülmektedir.

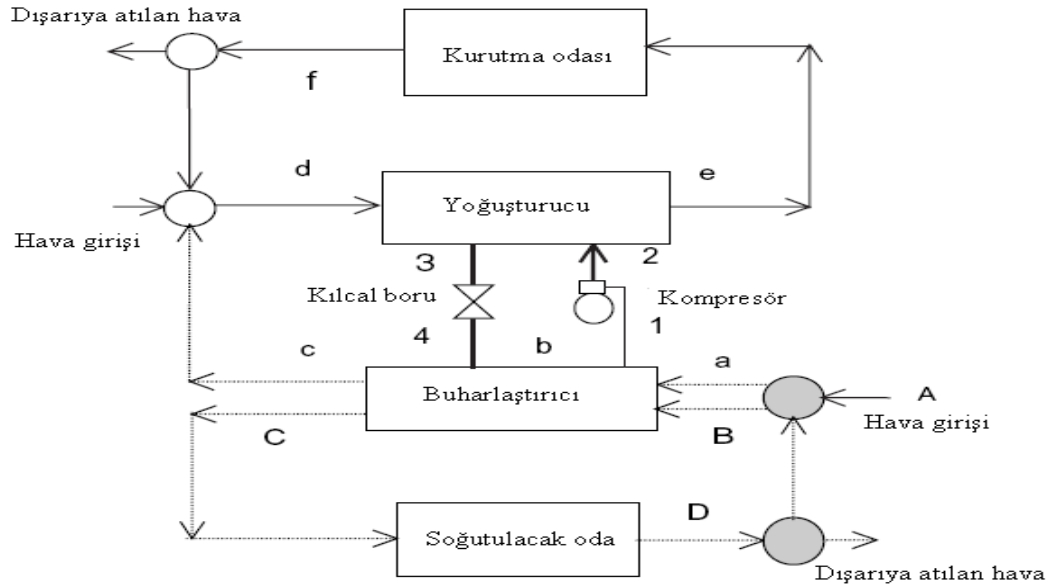


Şekil 1.2 Isı pompalı (ters Brayton çevrim) çamaşır kurutucu sistemin akış seması [Braun vd, 2001].

Bush ve Nipkow^[9], ısı pompalı kurutucu için önemli bir öncü olmuş ve bunun kullanımını teşvik etmek için çeşitli stratejiler geliştirmiştir. İsviçre Verimli Enerji Kullanımı Araştırma Merkezi (S.A.F.E), ısı pompalı kurutucuların verimliliği üzerine karşılaştırmalı çalışmalar yapmış ve bu kurutucuların (Konvansiyonel Kurutucular) enerjinin yarısından azını tüketerek piyasadaki diğer kurutma teknolojilerinden çok daha üstün olduğu sonucuna ulaşmıştır.

İsveç Enerji Acenteliği 2005^[10], enerji verimi tanımları veya kurutma makineleri için enerji kullanımını değişik yayımlarda farklı açılardan göstermişlerdir. Farklı kurutucuların performanslarını karşılaştırmak amacıyla Avrupa’da, bütün çamaşır kurutma makineleri, kurutma işlemi boyunca harcadıkları enerjiye göre test edilmiş ve A’ dan G’ye kadar değişik sembollerle işaretlenmiştir. Özgül enerji kullanımı tekstilin kuru yükü için verilen enerji oranı olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde çoğu kurutucular C ile işaretlenirken sadece ısı pompalı kapalı çevrimli kurutucu A ile işaretlenmiştir. C ile işaretlenen tumble kurutucu 0.73 kWh/kg kuru yük ile 0.64 kWh/kg kuru yük genişliğindedir, oysa A için en üst sınır 0.55 kWh/kg kuru yüküdür.

Ameen^[11], yaptığı çalışmada, klimanın yoğusturucu ünitesinden fazla ısının geri kazanılması yöntemini kullanır. Klimada dışarıya atılan ısı, havaya transfer edilirken, bu ısıtılmış hava kurutma kabininde çamaşırları kurutmak için kullanılır. Bu durumda enerji tüketimi sıfır (atık enerji kullanılmaktadır) ve kurutma hızı 0,424 kg/h'dir. Nemli iklimler için klimaya entegre edilmiş kurutucu önerilmiştir. Şekil 1.3'te klimaya entegre edilmiş Kurutucu görülmektedir.



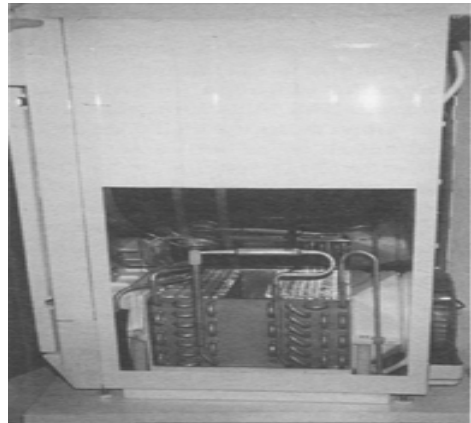
Şekil 1.3 Klimaya entegre edilmiş Kurutucunun görünüşü [Ameen ve Bari, 2003].

H. ALPSOY^[12] çalışmasında ağırlıkça farklı oranlarda R134a/R152a soğutucu akışkan karışımlarına ait performans değerleri ısı pompası sisteminde deneysel olarak incelemiştir. Deney parametreleri olarak evaporatör sıcaklığı, kondenser basıncı ve karışım oranı dikkate alınmıştır. Soğutucu akışkan karışımlarına ait termodinamik değerler, deney ünitesinde ölçülen sıcaklık ve basınç değerlerine göre REFPROP 7.0 programından alınmıştır. Performans değerleri ise termodinamiğin 1. ve 2. Kanunu aracılığıyla tanımlanan denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada deney parametrelerine bağlı olarak performans katsayıları ve oransal verim değerleri hesaplanmıştır. Hesap sonuçları çizelge ve grafik halinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar karışımlarda R152a soğutucu akışkan oranının artmasına bağlı olarak performans katsayılarının ısıtmada % 5 ile % 23 arasında, soğutmada ise % 6 ile % 28 arasında iyileştiğini göstermiştir.

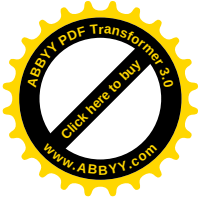
H. Ganjehsarabi 2009^[13], projesinde enerji tüketimi bakımından daha verimli bir ısı pompalı çamaşır kurutucusunun geliştirilmesini amaçlamıştır. Bu amaç kapsamında, ısı pompalı çamaşır kurutucusu tasarlanmış ve deneylerde kullanılmıştır. Deneylerden sonra sistem performansını ifade eden ısı pompası etkinliği (*COP*), kurutucu nem alma verimi (η) ve özgül nem alma hızı (*SMER*) gibi veriler termodinamik analizler ile hesaplamıştır. Deneysel çalışmaları ve hesaplamaları göstermektedir ki, ısı pompası teknolojisi çamaşır kurutmada enerji tüketiminde önemli tasarruflar sağlamaktadır. Ulusal firmalarımızın Ar-Ge çalışmalarında ısı pompalı çamaşır kurutma teknolojisine yönelmeleri gerekmektedir.

1997’de Electrolux, piyasaya ilk ısı pompalı kurutucuyu sunmuştur ama ürünün ticari başarı elde etmesini engelleyen önemli sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunların en basında yüksek fiyat ve uzun kurutma süresi sayılabilir. Şekil 1.4’de ısı pompalı çamaşır kurutma makinesi görülmektedir.

Bunların dışında makinenin deney başlangıcından sonuna kadar enerji harcamaları ölçülmüştür. Bu çalışma ile Arçelik firmasının ürettiği ısı pompalı çamaşır kurutma makinesinin bütün enerji parametrelerini belirlemek ve iyileştirme noktalarını ortaya koymak için bir düzenek kurulmuştur. tüm deney düzeneğinde farklı 9 noktadan sıcaklık, farklı 3 noktadan nem ve farklı 7 noktadan basınç değerleri ölçülmüştür.



Şekil 1.4 Isı pompalı çamaşır kurutucusu

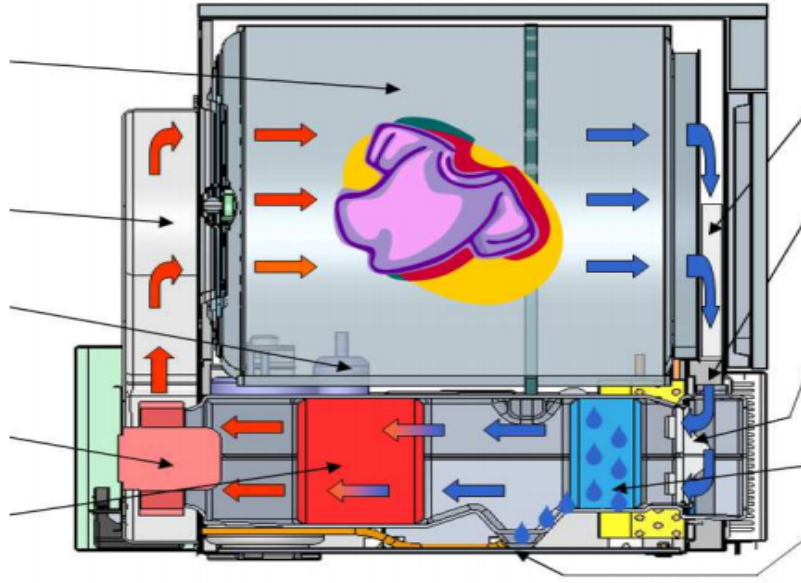


2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 ISI POMPASI

Isı pompası basit olarak ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Bilindiği üzere enerji vardan yok, yoktan var edilemez sadece biçim değiştirir ya da bir yerden başka bir yere taşınır. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan başka bir ortama “pompalama” veya “taşıma” kabiliyetinden alır. Isıtma sektöründe çoğu insan için ısı pompası terimi yenidir. Oysaki evlerimizdeki buzdolabı, klima, nem giderici ve dondurucular aynı mantığın ürünüdür. Günümüzde soğutma makineleri herkesçe bilinmektedir. Isı pompası çalışma prensibi yönünden bir soğutma makinesidir. İki sistemin bir birinden farkı sadece çalışma amaçlarıdır. Soğutma makinesinde ortamdan ısı çekilirken, ısı pompasında ise düşük sıcaklıktaki kaynaktan ısı çekilerek yüksek sıcaklıktaki kaynağa verilmektedir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre, ısıнын soğuk kaynaktan sıcak kaynağa kendiliğinden akması mümkün değildir. Bunun için Şekil 2.1’deki gibi mutlak suretle dışarıdan bir iş verilmesi gerekir. Isı pompası buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin tersi bir çevrime sahiptir. İki sistem de termodinamik olarak aynı temeller üzerinde çalışmaktadır. Bu özelliğinden dolayı ısı pompası zıt yönlü çalıştığında da soğutma işlemi yapabilmektedir. Bu da ısı pompasının kullanım avantajlarındanıdır.

Çalışmada giriş bölümünde de söz edildiği gibi iki farklı akışkanın dolaştığı ve aralarında enerji alış verişinin yaşandığı bir sistem söz konusudur. Bu sistemin birinci ayağında hava diğer ayağında ise soğutucu akışkan R 134a dolaşmaktadır. Isı pompası bölümü sistemin enerji döngüsünü sağlayan kısmıdır.



Şekil 2.1 ısı pompalı çamaşır kurutucusunun akış şeması

2.2 ISI POMPASI ÇEVİRİMLERİ

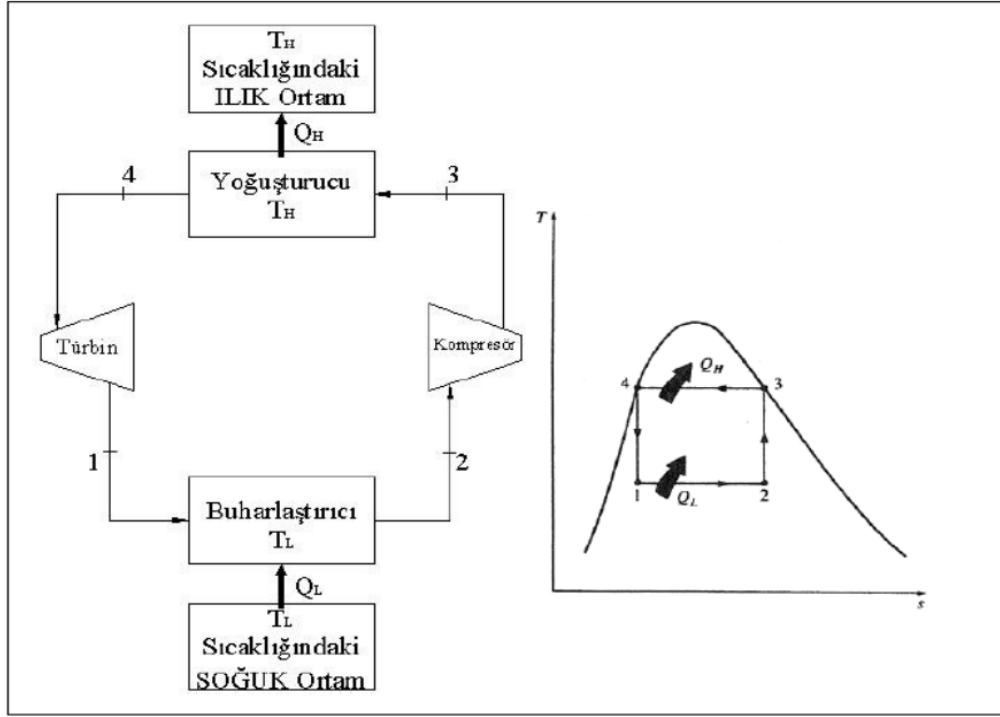
2.2.1 Ters Carnot Çevrimi

En çok bilinen tersinir çevrim, 1824 yılında Sadi Carnot tarafından ortaya atılan Carnot çevrimidir. Carnot çevrimine göre çalışan ısı makinesi diye adlandırılır. Carnot çevrimi ikisi sabit sıcaklıkta, ikiside adyabatik olmak üzere Şekil 2.2’de görüldüğü gibi dört hal değişiminden oluşur.

Bir soğutucu akışkanın doyma bölgesi içinde gerçekleşen ters carnot çevrimi Şekil 2.2 de görülmektedir.

1-2 Hal değişimi sırasında soğutucu akışkana T_L sıcaklığındaki soğuk ortamdan, sabit sıcaklıkta Q_L miktarında ısı geçişi olur. Akışkan daha sonra izentropik bir hal değişimiyle 3 haline sıkıştırılır ve hal değişimi sonunda sıcaklığı T_H olur.

3-4 Hal değişimi sırasında soğutucu akışkandan T_H sıcaklığındaki ortama sabit sıcaklıkta ısı geçişi olur ve daha sonra akışkan, 1 haline izentropik şekilde genişleyerek çevrimini tamamlar. 3-4 hal değişimi sırasında soğutucu akışkan yoğusturucuda doymuş buhardan doymuş sıvıya dönüşür. 4-1 hal değişimi sonunda akışkanın sıcaklığı T_L olur.



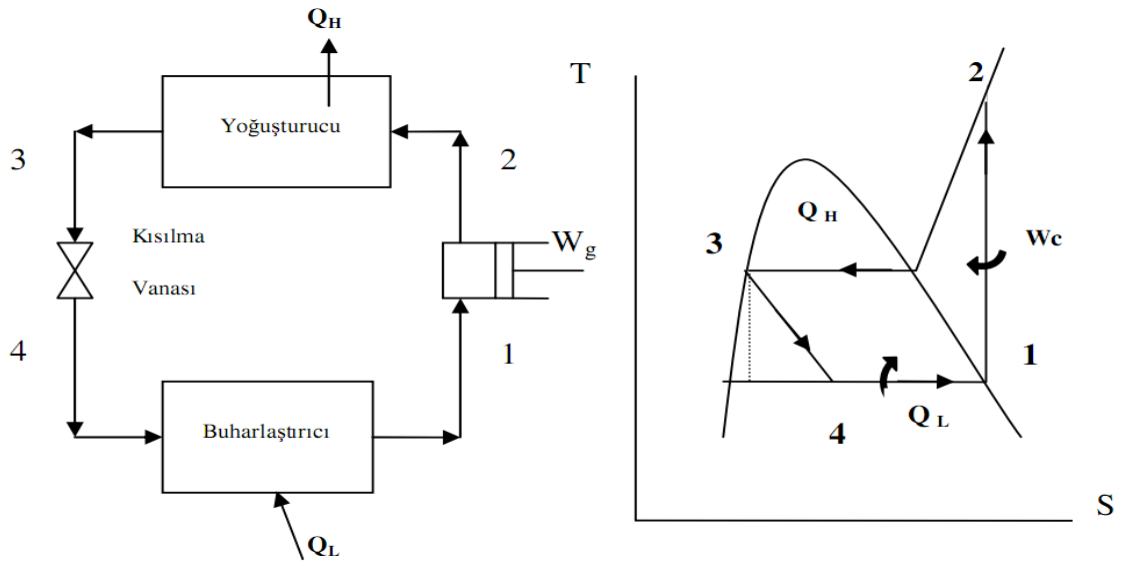
Şekil 2.2 Carnot Soğutma Makinesinin düzeni ve Ters Carnot Soğutma Çevriminin T-S Diyagramı (Çengel ve Boles ,1999)

Tersinir çevrimlere gerçek uygulamalarda rastlanmaz, çünkü gerçek hal değişimlerinde tersinmezlikler yok edilemez. Fakat tersinir bir çevrimin verimi, gerçek çevrimin ulaşabileceği en yüksek verimi belirler ve gerçek çevrimlerin karşılaştırılabileceği bir standart oluşturur.

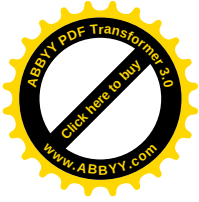
2.2.2 İdeal Çevrim

Isı pompası sisteminin temel bileşenleri, genişleme valfi, iki ısı değıştircisi (Buharlaştırıcı ve Yoğuşturucu) ve kompresörden oluşmaktadır.

İdeal olarak, kompresör, düşük basınç emiş hattından gelen soğutucu akışkan buharını izentropik olarak yüksek basınç hattına sıkıştırır. (1- 2 süreci) soğutucu akışkana mekanik iş ilave edilince entalpi yükselir. Normalde politropik bir süreç olan sıkıştırma işlemi ideal çevrimde tersinir adyabatik veya başka bir deyişle izentropiktir. Kızgın buhar yoğuşturucuda ısısını bırakır. Ve kısılma vanasından geçmeden önce (3-4 süreci) doymuş ya da aşırı soğumuş sıvı haline dönüşür. Düşük basınçlı sıvı buharlaştırıcıda, buharlaşır (4-1 süreci) ve bunun etkisi olarak çevresinden ısı çeker.



şekil 2.3 İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma çevriminin düzeni ve soğutma çevriminin T-S Diyagramı



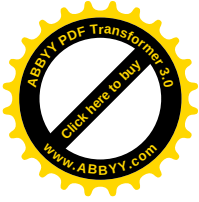
2.3 ISI POMPALI KURUTUCULAR

Yaşadığımız yüzyıl içinde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önem kazanan enerji darboğazının birlikte getirdiği sakıncaları biraz da olsa azaltmak amacıyla; ısı enerjisi gereksinimini minimum seviyeye indirgeyebilen ısıtma sistemlerinin geliştirilmesine ve bunun pratik olarak uygulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Isı pompaları bu sistemlere bir örnek olarak verilebilir. Isı pompaları en basit tanımı ile ekonomik değeri olmayan düşük kaynaklı bir bölgedeki ısıyı, ısıtılması düşünülen bölgeye pompalayan ve bu işi yapmak için çok az enerji harcayan (yaklaşık % 20-25) bir sistemdir. [Z.Oktaý, 1997].

Geleneksel kurutucularda, kurutucudan gelen nemli hava atmosfere bırakılır, bunun sonucu olarak da nemli havanın içerdiği buharlaşma gizli ısısı ile duyulur ısıdan yararlanılamaz. Bu enerji ısı pompalı kurutucu kullanılmasıyla geri kazanılabilir. Kurutucu çıkışındaki nemli hava, duyulur ve gizli ısını geri verebileceği bir buharlaştırıcıdan geçirilir. Bu esnada havanın içindeki nem, buharlaştırıcının soğuk serpantin yüzeylerinde yoğunlaşarak daha düşük değerlere gelmektedir. Buharlaştırıcıdan çekilen ısı, kurutucuya girmeden önce havanın ısıtılması için yoğunlaştırucuya çevrim akışkanı ile taşınır.

2.3.1 Isı Pompaları ve Isı Pompalı Kurutmanın Geçmişi

Isı pompasının basit prensibi ilk kez 1824 yılında Sadi Carnot tarafından öne sürülmüştür. Bu teoriden 26 yıl sonra, 1850 yılında Lord Kelvin ısıtma için soğutma makinelerinin kullanılabilineceğini öne sürmüştür. Kelvin 1852 yılında yayınladığı yazısında, kompresör ile bağlantılı genişletici kullanan bir sistem tanıtmıştır fakat normal ısıtma masraflarına oranla makinenin masrafının çok daha yüksek olması nedeniyle, bu hava-ısıtma ısı pompası o zamanlar kurulamamıştır.



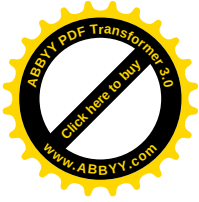
Sıkıştırılmış buharla çalışan ısı pompasının prensibinin ilk olarak İsviçre’de, 1870-1880 yılları arasında Salina Bex’de mühendis Paul Piccard tarafından gerçekleştirilmesi dikkate değerdir. Böylece ikinci bir tesis 1917’de Aarau’da Faerberei Jenny’de işletilmiştir.

İlk pratik ısı pompası ise, 1930 yılında İskoç Haldane’in yapıp, evinde kullanılmasına kadar ortaya çıkmamıştır. Bu makine de kaynak olarak havayı kullanmış ve hava koşullarının iyi olmadığı zamanlarda su ile desteklemiştir. 1950’lerde ısı pompasına ilgi az da olsa artmış; ancak petrol fiyatlarının gerilemesi ve bazı işletim zorluklarından ötürü fazla rağbet görmemiştir. Ancak soğutma endüstrisinin gelişip, kimi zorlukların alt edilmesi ve yeni modellerin üretilmesine, bir de 1973-1974 yıllarında petrol fiyatlarının artması eklenince, ısı pompası yeniden ilgi odağı olmuştur.

1950’lerde Amerika ve İngiltere’de, evsel ısı pompalarında toprak kaynağının kullanımı ile ilgili çalışmalara başlanılmıştır. Baker, 1950-51 kış ayları boyunca ortalama ısıtma etki katsayısı 3’ün üzerine çıkan, çift tesirli, toprak kaynaklı bir ısı pompası geliştirmiştir. 1950’den 1960’a kadar düşük üretim güvenilirliği ve yüksek servis masrafları gelişmeyi engellemiştir. 1960’da Amerika’da elektrik fiyatlarının düşmesi ve daha düşük üretim güvenilirlikleri nedeniyle ilgiyi yine ısı pompaları üzerine toplamıştır.

Nem almalı ısı pompalı kurutucular ise ticari olarak özellikle gıda ve ahşap kurutma endüstrilerinde 1970’lerden bu yana yaygın olarak kullanılmaktadır.

Pore ve Gavend ısı pompası sisteminin deri kurutma amaçlı kullanılmasını incelemişlerdir. Yazarlar ilk bulguları ve sistemin kullanılması sonucu elde edilen faydaları yayınlamışlardır.

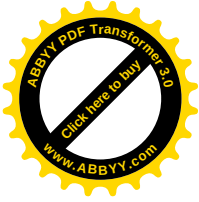


2.3.2 Isı Pompalı Kurutucuların Avantajları ve Sınırlamaları

Diğer mekanik sistemlerde olduğu gibi ısı pompalı kurutucuların da, kurutma uygulamaları için kabul edilmeden önce incelenmesi gereken bazı avantajları ve sınırlamaları vardır.

Isı pompalı kurutucuların avantajları

- Isı pompalı kurutucuların en büyük avantajı iyileştirilen enerji verimliliğidir [Chua, Chou, Ho and Hawlader, 2002]. Isı geri kazanımının iyileştirilmesi sonucu elde edilen yüksek enerji verimliliği ile uzaklaştırılan her birim su için daha az enerji tüketilir.
- Isı pompalı kurutucular sıcaklık, nem ve hava akış değerlerinin tam ve bağımsız kontrolüne olanak sağlarlar. Sürekli kontrol edilen kurutma koşulları ısı hassas malzemeler için fayda sağlarken açık bir şekilde daha iyi kalitede ürün elde edilir.
- Tipik olarak $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye (ilave ısıtmayla) sıcaklık ve % 15-80 (nemlendirme sistemiyle) bağıl nemliliğe kadar çok geniş kurutma şartları sağlanabilir.
- Yüksek değerli ürünler için kurutma çevresinin kontrolü mükemmel bir şekilde sağlanırken, düşük değerli ürünler içinse elektrik tüketimi düşer.
- Kurutma işlemi sonunda aynı kalitede ürün elde edilir.
- Steril süreç şartları sağlanabilir.

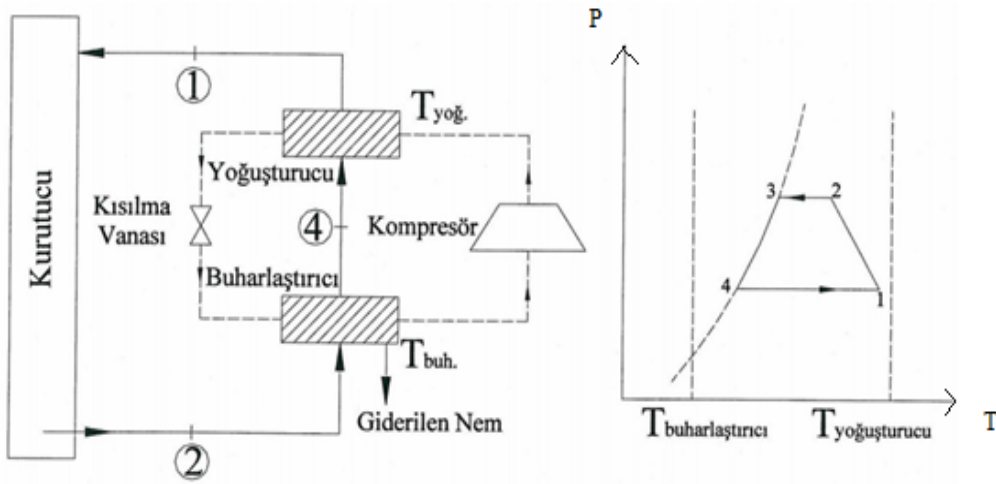


Isı pompalı kurutucuların sınırlamaları

- Birçok ısı pompası sisteminde ozon tabakasına zararlı CFC'lerin kullanılması çevrecilerin bu konu ile ilgilenmelerine neden olmuştur. Bununla beraber, çevreyle dost HCFC'lerin ve hatta tamamen doğal olan amonyak ile suyun soğutucu akışkan olarak kullanıldığı ısı pompalı kurutucular bu dezavantajı ortadan kaldırmışlardır.
- Isı pompalı kurutucunun kompresörleri, soğutucu akışkan filtreleri, ısı değiştiricileri vb. elemanlarına kurutucuyu optimum çalışma şartlarında tutabilmek için düzenli bakım yapılmalıdır.
- Borularda bir çatlak oluşması halinde soğutucu akışkan çevreye sızabilir. Sızıntı olması durumunda ısı pompası çevriminin basıncı yavaş yavaş düşecektir ve kurutucunun performans değeri azalacaktır.
- Güneş enerjili kurutma gibi diğer kurutma sistemleriyle karşılaştırıldığında ısı pompalı kurutucuların ilk yatırım maliyetleri daha yüksek olabilir. Bunun yanında ısı pompalı kurutucuların ısıyı geri kazanmaları çalışma maliyetlerini düşürür bu da yüksek maliyetlerini dengeler.
- Bazı soğutucu akışkanların (örneğin R22 için 99,6 °C) kritik basınç seviyelerinden dolayı yüksek sıcaklıkta kurutma yapılabilmesi için ilave ısıtmaya ihtiyaç duyulur.
- Arzu edilen kurutma şartlarına ulaşmak için sistem, kararlı hal periyoduna ihtiyaç duyar.
- Daha büyük soğutma sistemleri için üç fazlı güç ünitelerine ihtiyaç duyulabilir.

2.3.3 Isı Pompalı Kurutucunun Çalışma Şekli

Kapalı sistem ısı pompaları uygulamasının temel prensibi şekil 2.4’ de görülmektedir. 1 noktasındaki sıcak hava kurutma odası boyunca geçerek üründen nemi alır. Kurutucunun çıkışındaki nemli hava, buharlaştırıcının soğuk serpantin yüzeylerinde yoğuşarak daha düşük değerlere gelmektedir. Buharlaştıricıdan, ısı pompası devresindeki soğutucu akışkan da buharlaşır. Soğutulmuş ve nemi alınmış hava daha sonra soğuk havayı ısıtmak için 4 noktasından 1’e hareket ederek yoğuşturucudaki ısıyı emer.



Şekil 2.4 Isı pompalı kurutucu prensip şeması ve psikometrik diyagramında gösterimi

2.3.4 Isı Pompaları ve Enerji Verimliliği

Isı pompası ısıyı bir yerden başka bir yere taşıyan bir sistemdir. Buhar sıkıştırımlı ısı pompaları bu sistemin en yaygın kullanılan elemanlarıdır. Isı pompaları, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlandığı için ısıtma ve soğutma sistemlerindeki bir çok uygulamada enerji verimini arttırıcı bir sistem olarak karşımıza çıkar. Soğuk olarak düşünülen sıcaklıklarda bile, hava, toprak ve su, sürekli olarak güneşle yenilenen faydalı ısı içerir. Bu nedenden dolayı az bir

enerjinin verilmesiyle, ısı pompası bu ısı enerjisinin sıcaklığını gerekli düzeye çıkarabilir. Benzer olarak, ısı pompaları ile endüstriyel süreçler, soğutma cihazı veya binalardan atılan havalandırma havası gibi, atık ısı kaynaklardan da yararlanılabilir.

2.3.5 Kurutma Sistemlerinde Verim Tanımlamaları

Isı pompası destekli kurutucularda sistemin etkinliğinin belirlenebilmesi için özgül nem alma hızı, kuruma hızı, nem alma verimi ve ısı pompası etkinlik katsayısı tanımlamalardan yararlanır.

Özgül Nem Alma Hızı (*SMER*):

Bir ısı pompalı kurutucunun enerji verimliliği genellikle özgül nem uzaklaştırma (*SMER* : Specific Moisture Extraction Rate) hızı ile belirlenir. Bu büyüklük birim KWh enerji kullanımı için, kurutulacak üründen uzaklaştırılan su kütlesini gösterir. Bir kurutucunun işletme maliyetleri enerji verimliliği için önemli bir parametredir. *SMER* için *SMER_{hp}* ve *SMER_{ws}* şeklinde iki tanımlama yapılabilir.

$$SMER = \left(\frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Enerji Girişi}} \right) [\text{Kg} / \text{KWh}] \quad (2.1)$$

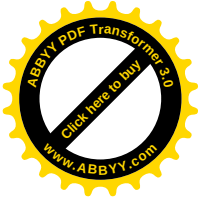
$$SMER_{hp} = \left(\frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Enerji Girişi (Kompresör için)}} \right) [\text{Kg} / \text{KWh}] \quad (2.2)$$

$$SMER_{ws} = \left(\frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Enerji Girişi (tüm sistem için)}} \right) [\text{Kg} / \text{KWh}] \quad (2.3)$$

Kurutma Hızı (*MER*) :

Kurutucudan birim zamanda uzaklaştırılan nemin kütlesi olarak tanımlanır. (*MER* : Moisture Extraction Rate).

$$MER = \left(\frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Kurutma süresi}} \right) [\text{Kg} / \text{h}] \quad (2.4)$$



Nem Alma Verimi (η):

Kurutma havası tarafından alınan nemin kurutma havasınca alınabilecek maksimum neme oranı olarak tanımlanmıştır.

$$\eta = \frac{(w_2 - w_1)}{(w_a - w_1)} \quad (2.5)$$

Bir başka nem alma verimi de kütle ve hava debisi ölçümlerinden yararlanılarak yapılan tanımdır.

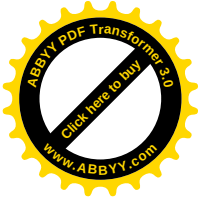
$$\eta = \frac{(m_0 - m_t)}{(V \rho t (w_{ady} - w_1))} \quad (2.6)$$

Isı Pompası Etkinlik Katsayısı (COP_{hp}):

Yoğusturucuda alınan ısıнын kompresörde verilen güce oranı olarak tanımlanır [Özbalta ve Güngör, 2000]. COP_{hp} ve COP_{ws} şeklinde iki tanımlama yapılabilir (Oktay, Z., 2003).

$$COP_{hp} = \frac{Q_H}{W_g} = \frac{(\text{Yoğusturucuda alılma ısı})}{(\text{Kompresöre verilen güç})} \quad (2.7)$$

$$COP_{ws} = \frac{Q_H}{W_{sistem}} = \frac{(\text{Yoğusturucuda alılma ısı})}{(\text{Sistem için veril en toplam güç})} \quad (2.8)$$



Isı pompası için maksimum teorik verim Carnot verimliliği ile elde edilmektedir.

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_{\text{Yoğ}}}{T_{\text{Yoğ}} - T_{\text{Buh}}} \quad (2.9)$$

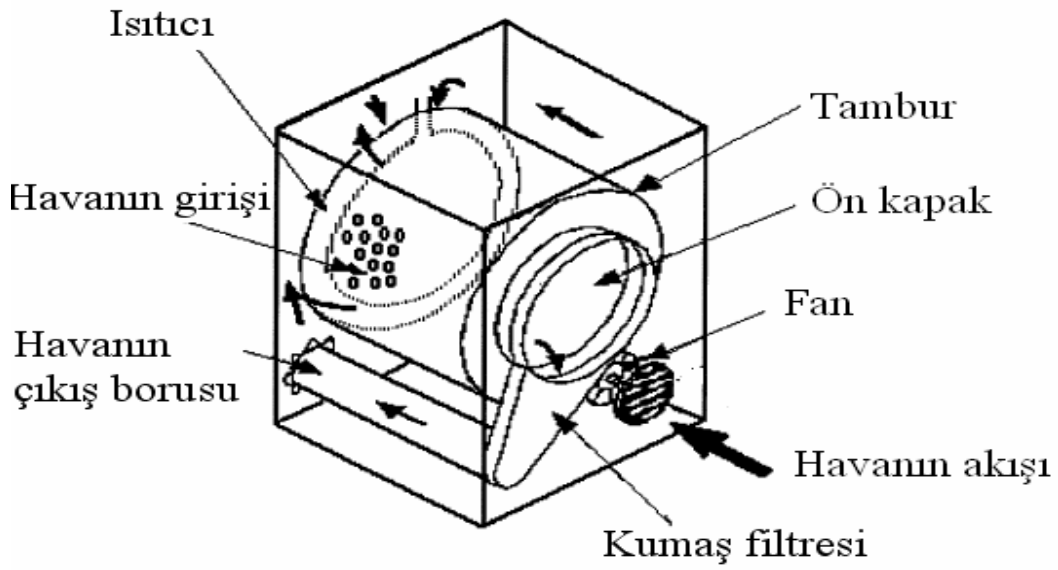
$\text{COP}_{\text{carnot}}$ değerine fiziksel olarak ulaşmak mümkün değildir fakat bu değer soğutma sistemimizin ideal sistemden ne kadar uzak olduğuna dair ölçü olarak kullanılmaktadır. Pratikte ısı pompasının gerçek verimi genellikle teorik Carnot veriminin % 40'ı ile % 50'si arasındadır.

3. ÇAMASIR KURUTMA MAKİNELERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Piyasada üç tip kurutucu vardır. Bunlar: bacalı, yoğuşturmalı ve ısı pompalı kurutuculardır. Bacalı kurutucuda çamaşırı kurutmak için kullanılan hava ortamdan alınır. Isıtıcıda ısıtılan hava tambura verilir, çamaşırın nemi alınır ve en son olarak hava ortama geri verilir. Bacalı kurutucudaki dış hava çıkış yeri ihtiyacını önlemek için başka bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistem yoğuşmalı kurutucu sistem olarak adlandırılmaktadır. Bacalı kurutucu ile yoğuşturmalı kurutucu arasındaki ana fark: Yoğuşturmalı kurutucuda kurutma çevrimi boyunca kullanılan havanın çamaşırı kurutmak için de kullanılmasıdır. Çamaşırı kurutmak için kullanılan hava kapalı bir çevrim içinde dolaşır. Havanın dolaşımı bir fanla sağlanır. Isıtıcıdan geçen hava tambura verilerek çamaşırın neminin alınması sağlanır. Hava filtreden geçtikten sonra bir yoğuşturucuya gelir ve havanın aldığı nem burada yoğuşur. Hava yeniden ısıtılır, sürekli bir hava çevrimiyle çamaşırlar kurutulmuş olur. Yoğuşma, havanın soğutulması ile gerçekleştirilir. Bu durumda ikinci bir fan, yoğuşturucu içinde hava akımını sağlar. Soğutucu hava ile kurutma havası arasındaki sıcaklık farkından dolayı, su buharı yoğuşur. Yoğuşan su buharı, bir haznede toplanarak su tankına gönderilir. Şimdi çamaşır kurutma makinelerini daha detaylı inceleyelim.

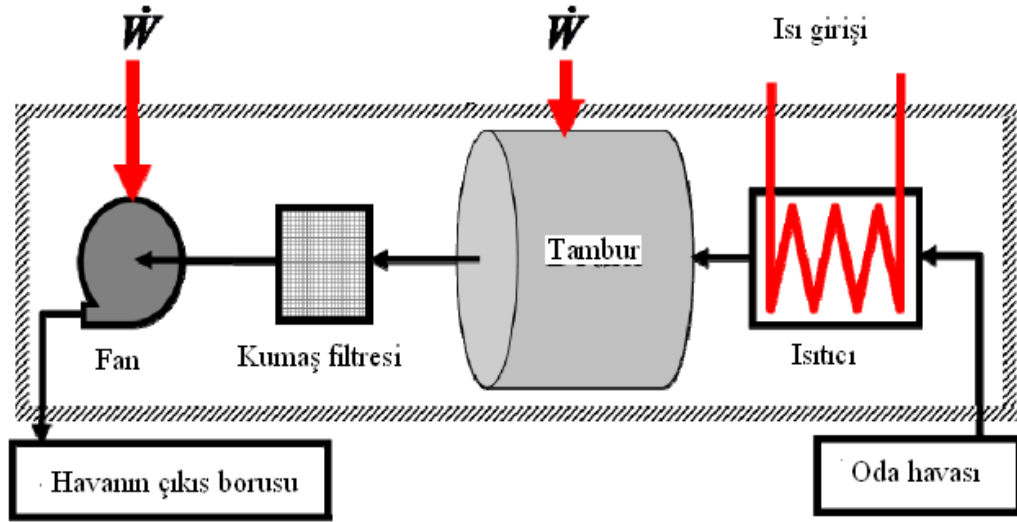
3.1 Çamaşır Kurutma Makinelerinin Çeşitleri

3.1.1 Bacalı çamaşır kurutma makineleri: Bacalı çamaşır kurutucular uluslararası pazarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de bu tip bir çamaşır kurutucu görülmektedir.



Şekil 3.1 Bacalı çamaşır kurutucunun yapısı (Deans, 2001).

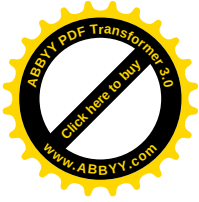
Bacalı kurutucular, doğal gaz benzeri bir yakıtı yakarak veya bir ısıtıcı kullanarak, dışarıdan alınan havayı ısıtır. Sonraki adımda, ısıtılmış hava tamburun arka kısmındaki delikten ıslak çamaşırlar üzerine verilir. Tamburdan çıkan hava, çamaşırın nemini bir miktar aldıktan sonra bir çeşit kumaş filtresinden ve fandan geçer, son olarak açılmış boru haznesinden dışarıya çıkartılır. Yeni hava tekrar dış ortamdan emilir. Emilen hava, ısıtıcı üzerine üflenir. Bu durum tekrarlanır. Aşağıda Şekil 3.2’de sistemin akış seması gösterilmektedir (Cochran, 2007).



Şekil 3.2 Bacalı çamaşır kurutucunun çalışma şeması (Cochran, 2008).

Şekilde görüldüğü gibi bu sistem bir açık hava sistemidir ve diğer makineler gibi kapalı bir hava çevrimi yoktur.

Bu tasarımda ciddi bir verim kaybının nerede olduğunu görmek zor değildir. Dışarıya atılan nemli havanın enerjisinin, az da olsa, geri kazanılmaması gerçeği bu tasarımın çok iyi bir tasarım olmaktan uzak olduğu konusunda bizi bilgilendirir. Bu nedenle bu tip çamaşır kurutucuların enerji tüketimi de oldukça yüksektir. Çünkü devamlı olarak dışarıdan yeni hava almaktadır. Havayı kendi ortamından alan bacalı kurutucular, aynı havayı kullanan diğer kurutuculara göre daha fazla nem tutulmasına neden olabilir. Bacalı kurutucu tarafından kullanılan bu hava, evin ısıtma/soğutma sistemine göre değiştirilmelidir. Ev tipi ısıtma sistemlerinin enerji tüketimi kurutucu performansının bir parçası olarak ölçülemeyeceği gibi, bu kurutucunun çamaşırları kurutmak için ihtiyacı olan asıl enerji kullanımında da küçük bir hataya sebep olmaktadır. Bu da Avrupa’da, bacalı kurutucuları, enerji verimliliği sınıflandırması konusunda karalamak için bir neden teşkil eder. Coğrafi



olarak daha mutedil bölgelerde, kurutucuya çekilen odadaki hava evin dışına çıkartılır ki bu su anlama gelmektedir: Ev tipi ısıtma sistemi ek bir ısıtma ile çıkan havayı dengelemelidir. İlave ısıtma masraflarını ortadan kaldırmak için en açık çözüm: kurutucudan çıkan nemli havayı evin içine aktarmaktır, ancak buna bağlı olarak iki problem meydana gelmektedir. Birincisi kurutucunun filtre aşamasını atlayabilen tiftiğin, evin içine kaçarak ortamı kirletecek olmasıdır. Bu problem, filtrenin, kurutucu çıkış haznesine bir çorap gibi sarmasına imkan vermekte ve böylece eve dağılan tiftik miktarını da büyük oranda azaltarak önleyebilmektedir. Kurutucudan çıkan havayı evin içine aktarmadaki ikinci sorun ise, kurutucunun çıkardığı havanın nem içeriğindeki artışın, kişinin yaşam tercihlerine göre rahat veya rahatsız edici olabilmesidir (Cochran, 2007).

3.1.2 Yoğuşturmalı (Kondenserli) çamaşır kurutma makineleri

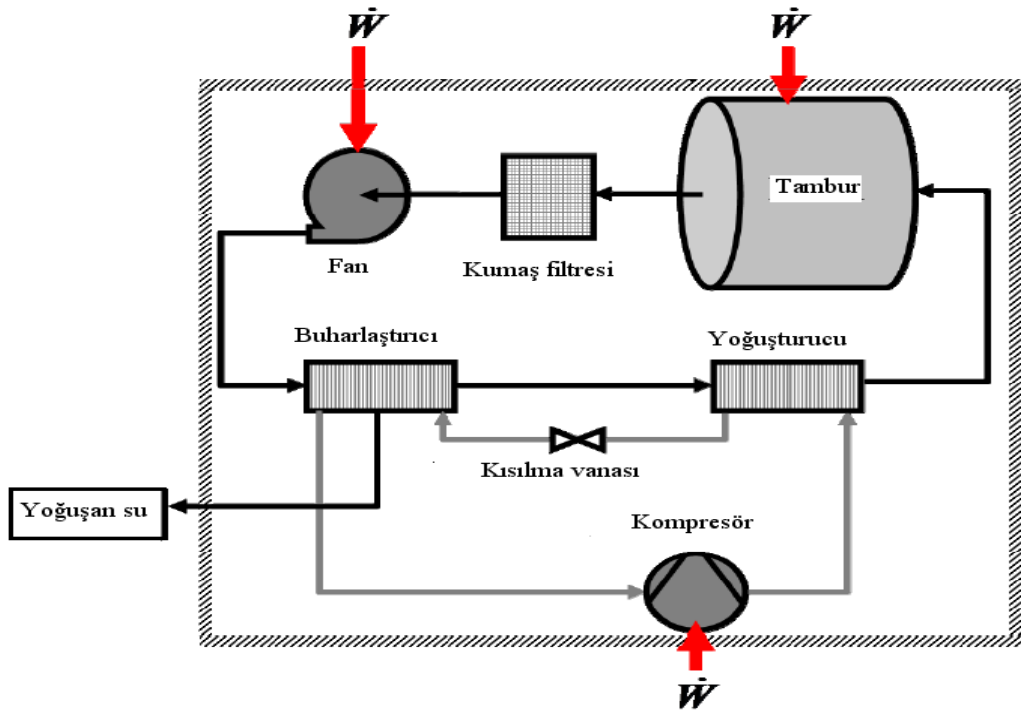
Bu kurutucu tipi ise bacalı tipe göre daha geliştirilmiş bir sisteme sahiptir. Ek olarak makine içersindeki malzemeler eklenmiştir. Bunlar genelde daha küçüktür ve evin hemen hemen her yerine kurulabilme özelliğine sahiptir, çünkü evin dışında bir havalandırma haznesine gerek duymazlar. Eğer bacalı ve yoğuşturmalı kurutucuları karşılaştıracak olursak, ortalama olarak yoğuşturmalı kurutucuların bacalı kurutuculardan yük başına biraz daha fazla enerji tükettiği sonucuna varırız. Yoğuşturmalı kurutucuda kapalı devre kurutma sistemi kullanılır. Havadan havaya çapraz akış gösteren ısı değiştiricisi, kurutma havanın nemini almak için işleme akış devresinde dâhil olur. Odadaki hava, ısı değiştiricinin bir tarafından, kurutma hava ise diğer tarafından üflenir. Isı değiştiriciye giren kurutma havası tipik olarak 55 °C civarında ve % 95 bağıl nem seviyesinde, ve odadaki hava da genelde 23°C' nin altında olduğundan, odadaki hava ısı değiştiricinin kanatçıklarını soğutur ve kurutma havanın sıcaklığında bir düşmeye sebep olur; bu da kurutulan havadaki nem miktarının azalmasıyla sonuçlanır (Cochran, 2008).

Bu süreç kurutulan havanın su buharıyla aşırı doymun hale gelmesini engeller ve çamaşırlardan buharlaşmanın devamını sağlar. Isı değiştiricinin kanatçıklarında meydana gelen yoğuşma, ısı değiştiricisi bölümünün dışına boşaltılır, aradaki tutucu tankta toplanır ve son olarak yoğuşan su periyodik elle boşaltma için bir su yoluna

Fan, dışarıdan aldığı havayı ısıtıcı üzerine üfler. Burada ısınan hava, hava yönlendirici yardımı ile tambur arkasındaki delikten çamaşır üzerine gönderilir. Tambura verilen sıcak hava çamaşırın nemini alır. Nemli hava yoğunlaştırucudan geçerek nemi alınır. Nemi alınmış hava, fan tarafından ısıtıcı üzerine üflenir, sürekli bir hava çevrimiyle çamaşırlar kurutulmuş olur. Yoğuşturmalı kurutucularda, yoğunlaştırucu önü kapatılmamalıdır. İyi bir kurutma için, her kurutmadan sonra yoğunlaştırucu ve su tankı kontrol edilip gerekli bakım yapılmalıdır. Çünkü su yolundan çıkmamış olan fazla su, kurutucu kanallarının arasında sabit kalabilir ve sorun yaratabilir (Braun vd, 2002).

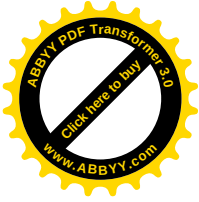
3.1.3 Isı pompalı çamaşır kurutma makineleri

Diğer kurutucularda mevcut olan ve enerji tüketiminin artmasında önemli bir rol oynayan ısıtıcı (1000-2500 watt), ısı pompalı kurutucuda yoktur. Kurutucularda gerçek anlamda enerji tasarrufu ısı pompalı kurutucular ile sağlanmaktadır. Isı pompalı kurutucu, kurutulan havadan nemi ayıran kapalı devre bir kurutma sistemidir. Buradaki kavram geçen bölümde incelenmiş olan yoğuşmalı kurutucunun bir çeşididir ama önemli farklılıkları da mevcuttur. Kurutucunun akış şeması şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Isı pompalı çamaşır kurutucu çalışma şeması.

Tamburun içerisinden emilen nemli hava buharlaştırıcının bakır borularından geçerek yoğunlaşır. Böylece hava, ısısını ve nemini buharlaştırıcının üzerine bırakarak yoğuşturucuya geçer. Daha sonra yoğuşturucudan geçen hava ısınır.

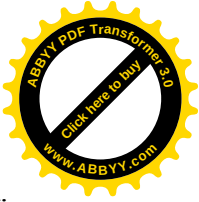


Isınmış olan hava, bir fan yardımı ile tamburun içine üflenir. Tamburun hareketiyle nemli çamaşırlar ile temas eden sıcak hava, çamaşır içerisindeki nemin buharlaşmasını sağlar, böylece hava tekrar nemlenir. Yeniden nemlenen hava, kanaldan buharlaştırıcıya geçer. Nem alma sırasında işlem sürekli olarak tekrarlanır. Isı pompalı kurutucuda, diğer kurutuculara göre havanın sıcaklığı daha düşüktür. Bu da çamaşırların zarar görmesini ve oluşacak tehlikeleri azaltır (Cochran, 2007).

3.1.4 Mikro dalgalı çamaşır kurutma makineleri

Mikrodalga fırın üreten ve araştıran kuruluşlar bu tekniğin kuru temizlemeye de uygulanması için araştırma çalışmalarını sürdürmektedir. Bu uygulamanın esasını, elektrik rezistanslı ısıtıcının kaldırılıp kurutucuya bir ya da daha fazla sayıda mikrodalga tüplerinin monte edilmesi oluşturmaktadır. Uygulamada ayrıca, kullanıcıyı tehlikeli yayınımdan korumak için, koruyucu önlemler de yer almaktadır. Magnetron kullanmanın en önemli avantajı, kumaş ve makinenin değil yalnızca suyun ısıtılmasıdır. Isının aktarımı için hava kullanılmaz. Hava yalnızca buhar aktarımında kullanılır. Eğer çamaşırların sıcaklığı ortamdaki havanın sıcaklığından daha yüksekse, bu durum termo difüzyonun, dokumanın gözenekli yapısından buharlanan suyu, kurutma havasına taşınmasına yardımcı olması anlamına gelmektedir (Cochran, 2007).

Ne yazık ki bu uygulamada sorun yaratan faktör zamandır. Kurutma süresi en az 1 saat olduğundan suyun ya da buharın kumaşı ve makineyi ısıtmasının önüne geçilememektedir. Bunun yanı sıra, çamaşırlar, özellikle pamuklu kumaşlar, mikrodalga enerjinin önemli miktarını soğururlar; bunun sonucunda ancak dıştaki bölgeler mikrodalga tarafından doğrudan doğruya ısıtılmış olur. Uygulamada görülen başka bir sorun da magnetron tüpünün verimliliğinin çok yüksek olmamasıdır (yaklaşık %50-55); bu durum çamaşırın ve makinenin ısınmasına yol açar. Enerjinin diğer bölümü doğrudan doğruya ısıya dönüşür. Bütün bunlara rağmen bir ölçüde enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Enerji tasarrufunun dışında getirdiği avantajlardan biri de yün gibi ince yapılı maddelerden oluşan kumaşları en kısa sürede kurutma özelliğine sahip olmasıdır (Cochran, 2007).



Mikrodalgalı kurutucular konusunda ayrıntılı bilgi EPRI'den (Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü) alınabilir. Bu kuruluş üretici firmalarla birlikte geliştirdiği prototipi deneylerden geçirmiştir. Ancak geliştirilen bu mikrodalga kurutucusu Amerikan ölçülerine göre düzenlenmiş bir kurutucudur (Cochran, 2007).

3.1.5 Vakumlu kurutucu

Çıkış akışında geleneksel bir vantilatör (itici değil çekici) kullanımının çok az bir etkisi bulunur. Pazarda gerçek bir vakumlu çamaşır kurutucusu bulunmamaktadır. Vakum kurutma konusunda birkaç patent bulunmaktadır. Patentlerin çoğu kompresörlü sistemlerle ilgilidir. Fakat bu sistem çamaşır kurutmak için pek uygun bir sistem değildir.

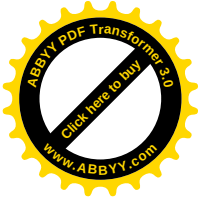
3.1.6 Santrifüjlü çamaşır kurutma makinesi

Frigidaire firmasının yaptığı 2800 devir/dakika'lı çamaşır kurutma makinelerindeki santrifüj hızları çamaşırlardan nemin inmesine izin verir. Kurutmanın sonunda %12 civarında nem, çamaşırlarda kalır ve böylece çamaşırlar ütüye hazır hale getirilir. Bu sistemde tek sorun çamaşırların çok yıpranmasıdır.

3.2 Çamaşır Kurutucularda Kurutma Süreçleri

Çamaşır kurutma sistemlerinde, kumasın, ıslak halden kuru hale geçişinde ayırt edilebilir üç hal vardır. Bunlar: Isınma veya ısı artış oranı, kararlı hal ve düşme oranıdır

Isınma, çamaşır kurutma sistemlerinin birinci halidir. Isınma süresinde, kumaşlar en yüksek nem düzeyinde ve kuru hava da yeterli ölçüde kuru haldedir. Bu bölümde, kurutulan kumasın yüzey sıcaklığı, kuru havanın yas termometre sıcaklığından daha düşüktür. Bu halde, kuru havanın yas termometre sıcaklığı azaltılmalı ve çamaşırların yüzey sıcaklığı arttırılmalıdır. Kuru hava, bu yüzden, çamaşırlara ısı transfer eder ve çamaşırlar, havaya nem transfer eder. Bu asama,



Çamaşırların yüzey sıcaklığının yas termometre sıcaklığına eşit olduğu zaman sona erecektir.

Çamaşır kurutma sisteminde, kararlı hal süresince, çamaşırların yüzey sıcaklığı ile havanın yas termometre sıcaklığı sürekli aynı kalmaktadır. Kumaştan havaya dengeli bir oranda nem transferi meydana gelmektedir ve bu süre zarfında, tamburda kurutma işlemi evaporatiftir. Kararlı haldeki buharlaşmanın nedeni, ıslak çamaşırların yüzeyindeki havanın kısmi basınç değeri ile tamburdaki sıcak havanın kısmi basınç değeri arasındaki farktır. Kararlı halde, ıslak kumasın özü, yüzeyi yeterli miktarda nemle beslenip, yüzeyin havaya aynı oranda nem aktarmasına kadar devam eder. Yine de, bazı noktalarda bunu sürdüren kumasın özünde yeterince nem olmayacak ve kütle transferi proseste yavaşlayacaktır. Bu başlangıç, kritik nem içeriği düzeyde olduğu belirtmektedir. Kritik nem içeriği düzeyi, kumasın kendisinde olduğu gibi, çamaşır parçasının genişliğine ve biçimine göre değişiklik göstermektedir.

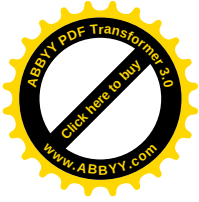
Düşme oranı, çamaşır kurutma sisteminin en son halidir. Bu halde, değişmeyen hava/kumaş sınır tabakası içinde suyun kısmi basıncını koruyan kumaş yüzeyinin yakınında yetersiz miktarda nem vardır. Hava/kumaş sınır tabakası kısmi basıncı azalırken, buharlaşma potansiyeli de azalır.

3.3 Isı Pompası Devresi Ana Elemanları

Isı pompası önceden de belirttiğimiz üzere soğutma makinelerine göre aynı termodinamik çevrime göre çalışırlar. Her iki sistemde de sistemi oluşturan ana elemanlar aynı fakat sistemin çalışma amaçları farklıdır. Isı pompası devresini oluşturan dört ana eleman; kompresör, yoğunlaştırıcı, kısılma vanası ve buharlaştırıcıdır.

3.3.1Kompresör

Kompresör ısı pompası çevriminin kalbi olarak ele alınabilir. Soğutucu akışkanın çevrim boyunca dolaştırılarak soğuk kaynaktan sıcak kaynağa ısı iletilmesi kompresörler yardımıyla meydana gelmektedir. Yani kompresörler, çevrimde buharlaştırıcıda alçak basınçta buhar halinde olan soğutucu akışkanı emerek daha yüksek basınçtaki yoğunlaştırıcıya gönderen iş yutan makinelerdir.



İdeal bir kompresörde şu özellikler aranır:

- İlk kalkışta dönme momentinin mümkün olduğunca az olması
- Değişik çalışma şartlarında emniyet ve güvenliğini muhafaza etmesi
- Titreşim ve gürültü seviyelerinin mümkün olduğunca az olması
- Daha az güç harcayarak sistemin etkinliğini artırmalı
- Maliyetinin mümkün olduğunca az ve çalışma ömrünün uzun olması

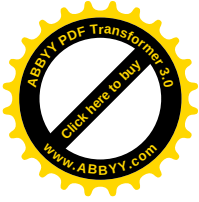
Buharlaştırıcıdan çıkan buharı yoğuşma basıncına kadar sıkıştırmak için kullanılan farklı tipteki kompresörler aşağıdaki gibidir:

- Pistonlu kompresörler
- Rotatif (Dönel, Rotorlu, Rotary) kompresörler
- Helisel (Vidalı) kompresörler
- Santrifüj (Turbo) kompresörler
- Scroll kompresörler

Isı pompası sistemlerinde genellikle buhar sıkıştırmalı pistonlu kompresörler kullanılmaktadır. Bu tip kompresörlerde genellikle R-12, R-22 ve R-134a soğutucu akışkanları kullanılır. Pistonlu kompresörlerde kompresör motorunun gücü 7.5 kW'a kadar çıkabilmektedir.

3.3.2 Yoğuşturucu (Kondenser)

Isı pompası sistemlerinin temel elemanlarından biri olan yoğuşturucular, yüksek basınç ve sıcaklıktaki kızgın buhar halindeki soğutucu akışkanın ısını dış ortama vermek suretiyle soğutucu akışkanın sıvı hale gelmesini sağlayan bir elemandır. Yani buharlaştırmacıda aldığı ısı ile buharlaşan ve kompresörde sıkıştırma işlemi sonucu sıcaklığı ve kızgınlığı artan soğutucu akışkan burada sıvı hale getirilir. Yoğuşturucular sistemin yüksek basınç tarafına monte edilirler. Durumdan da anlaşılacağı gibi yoğuşturucuda ortam ile bir ısı alışverişi meydana gelmektedir.



Yoğuşturucunun ısıyı sıcak soğutucu akışkan buharından soğuk ortama aktarabilme yeteneği, yoğuşturucu kapasitesi olarak adlandırılır. Yoğuşturucunun ısı transfer kapasitesi aşağıdaki dört faktöre bağlıdır.

- Yoğuşturucunun yapımında kullanılan malzemeye
- Yoğuşturucu yüzeyi ve yoğuşma ortamı arasındaki temas alanına
- Yoğuşma ortamı ve soğutucu akışkan buharı arasındaki sıcaklık farkına
- Yoğuşturucunun temizliğine

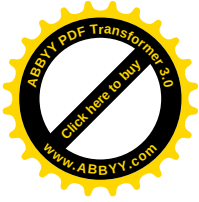
İlk iki faktör konstrüksiyon şartlarıdır. Farklı malzemeler ısı transferi için farklı özelliklere sahiptirler. Bu yüzden bir tasarımcı, doğru malzeme seçerek verilen bir yoğuşturucunun boyutlarını değiştirebilir. Isı transferi kabiliyeti daha iyi bir malzeme ile daha küçük boyutlarda yoğuşturucu imal edilebilir.

3.3.3 Kısılma Vanası (Genleşme Valfi)

Kısılma vanaları, soğutucu akışkanın basıncını arzu edilen buharlaştırıcı basıncına düşürmeye yarayan elemanlardır.

3.3.4 Buharlaştırıcı (Evaporatör)

Bir endüstriyel iklimlendirme veya soğutma sisteminde soğutma serpantini olarak da adlandırılan buharlaştırıcılar, içerisindeki sıvı soğutucu akışkanın, buharlaşırken bulunduğu ortamdan ısıyı çekmesi esasına dayanan cihazlardır. Soğutucu akışkanın beslemesine, çalışma şartlarına, soğutulmak istenen sıvı veya havanın sirkülasyon yöntemine, soğutucu akışkanın kontrol tipine ve uygulamaya göre pratikte çok değişik konstrüksiyonlarda ve boyutlarda buharlaştırıcı tipi bulunmaktadır. Buharlaştırıcı bir maddeyi, soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısını kullanarak soğutur. Yani soğutucu akışkanın sıcaklığı buharlaştırıcı boyunca değişmez. Soğutma miktarı; buharlaştırıcı yüzey alanına, toplam ısı transfer katsayısına ve soğutucu akışkan ile soğutulan madde arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır.



Buharlaştırıcılar genellikle iletkenliği yüksek olan demir, çelik, pirinç, bakır veya alüminyum gibi malzemeden imal edilirler.

Buharlaştırıcıların Sınıflandırılması

Buharlaştırıcıların konstrüksiyonlarına göre çeşitli tipleri vardır. Bunlar;

- Çıplak borulu serpantin buharlaştırıcılar
- Lamelli buharlaştırıcılar
- Levhalı buharlaştırıcılar
- Kanatlı borulu buharlaştırıcılar

3.4 Isı Pompası Devresi Yardımcı Elemanları

Bir ısı pompası sisteminde, dört temel eleman (kompresör, yoğurturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcı) dışında, sistemin özellik ve işletme şartlarına göre yardımcı eleman ve cihazlar da kullanılmaktadır. Bu yardımcı elemanlardan beklenenler kısaca şunlardır:

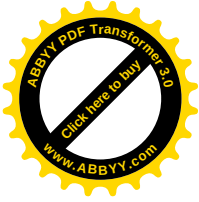
- Çalışma şartlarını ve verimliliğini daha iyi bir seviyede tutmak
- Çalışma emniyetini sağlamak
- Soğutucu akışkanın temiz tutulmasını sağlamak

Bir ısı pompalı çamaşır kurutma makinesinde karşılaşılabileceğimiz yardımcı elemanlar şunlardır:

- Filtre - Kurutucu (Dryer)
- Accu.

3.4.1 Filtre - Kurutucu (Dryer)

Isı pompası sistemlerindeki arızaların %80'i doğrudan veya dolaylı yoldan sisteme dahil olan nem veya sudan kaynaklanmaktadır. Yani sistemde nemin olması sakıncalıdır. Sistemde dolaşan nem ya da su çeşitli zararlar verir. Bu zararları şöyle belirtecek olursak;



- Kısılma vanasında suyun donarak akışı engellemesi
- Metal korozyonu
- Bakır kaplama olayı (hidroliz ile)
- Kimyasal zincirleme reaksiyonları başlatıp devam ettirmesi.

Bu sebeple, önce nemin sisteme girmesi önlenmeli, girmişse sistemden süratle atılmalı (vakum pompası ile derin vakuma almak suretiyle) sistemde kalan veya çalışma esnasında sonradan giren nem de derhal tutulmalıdır. Sisteme sonradan giren bu nemin tutulması filtre kurutucu adıyla tanımlanan elemanlarla yapılmaktadır. Bir filtre – kurutucudan beklenen görevler;

- Su – nemi tutmak,
- Asiti tutmak,
- Talaş, kaynak çapağı, tortu, vs. pislikleri tutmaktır.

3.4.2 Accümülatör (Ara Eleman)

Kompresöre emilen soğutucu akışkan buharında sıvı bulunması halinde kompresörde sıvı vuruntusu olur bu da emme ve basma klapeleri üzerinde yıpratıcı ve kötü etkiler bırakır. Vuruntunun fazla olması kompresörün silindir bloğu ve kapağında çatlamalara yol açabilir. Herhangi bir ısı pompası devresinde bulunan buhar sıkıştırırmalı kompresöre soğutucu akışkan sıvısının zarar vermemesi için accu. denilen ara eleman kullanılır. Bu ara eleman buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkanın içerdiği sıvı molekülleri absorbe ederek kompresöre doymuş buhar fazında soğutucu akışkan emilmesini sağlar. Sıvı fazdaki soğutucu akışkan moleküllerinin kompresöre zararları şunlardır:

- Kompresörde aşırı ses ve titreşim
- Kompresör veriminde kayıp
- Kompresörün kısa ömürlü olması.

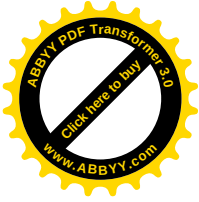


Şekil 3.6 Isı pompası devre elemanları

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın genel prensipleri ve ısı pompası ile ilgili esaslar belirtildikten sonra çamaşır kurutucularında ölçülecek parametrelerin belirlenmesi ve uygun cihazlarla ölçülmesi bu bölümde gösterilmiştir.

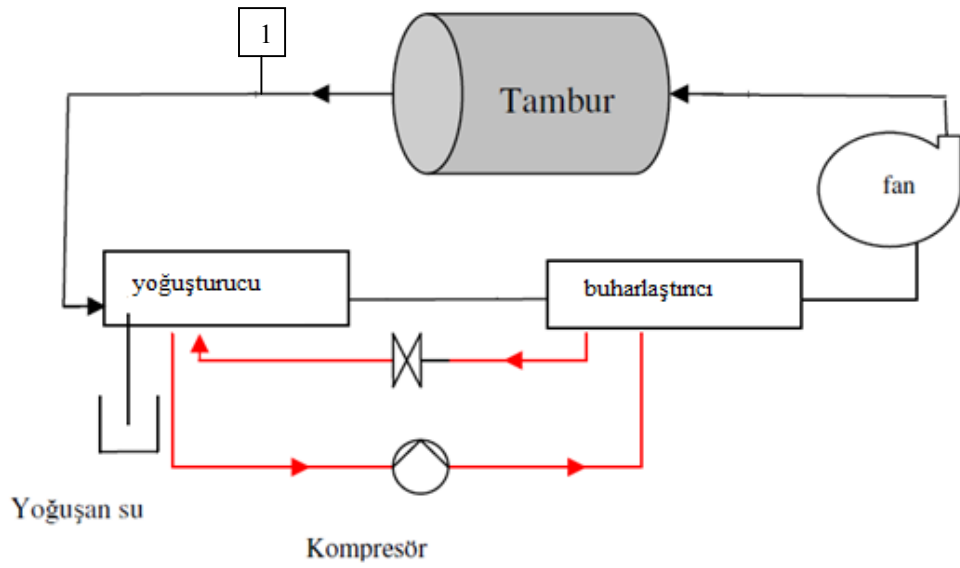
Deneysel çalışmalarda aşağıda gösterilen ekipmanlar kullanılmıştır. kullanılan cihazlar, bağlantı elemanları, sensörler ve yazılımlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Tablo 4.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Elemanların listesi ve kısa özellikleri

	Cihaz	Açıklamalar
1	Veri okuyucu (Data Logger)	Sensörlerdeki değerleri okuyarak bilgisayara kaydediyor.
2	Hasas güç ölçer	Cihaz üzerinden geçen akımı ve voltajı ölçerek bize cihazın çektiği gücü hesaplıyor.
3	Sıcaklık ve nem sensörleri	Havanın nemini ve sıcaklığını ölçüyor
4	Termocupl	Bağladığımız noktadaki sıcaklığı ölçüyor.
5	Dijital manometre	Sistemdeki havanın basıncını ölçüyor.

Tamburun çıkısındaki nemli hava (1 noktası), yoğuşturucunun soğuk serpantin yüzeylerinde yoğuşarak, sıcaklığı çiğlenme sıcaklığının altındaki bir değere düşürülür. Böylece nemli havanın nemi alınır. Daha sonra hava buharlaştırıcıdan geçerek ısınır. Isınmış hava tamburdan geçerek çamaşırların içindeki suyun buharlaşmasını sağlar ve tekrardan hava nemlenir ve çevrim tekrarlanır.



Şekil 4.1 Deney yapılan ısı pompalı çamaşır kurutucu sistemi

4.1 Deney Düzenekinin Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında şekil 4.1’de görülen ısı pompalı çamaşır kurutucu ile pamuklu kumaştan üretilmiş havlular 3 farklı ağırlıkta ve 4 farklı kurutma süresinde ayrı ayrı deneylerle kurutulmuştur. Numuneler önce kuru olarak tartılmış sonra % 80 nemlendirilerek tamburun içine konulur. Uzun programlarda 15 dk da bir, kısa programlarda 10 dk da bir makine durdurulup havlular tartılmıştır.

Sistemde tüketilen elektrik enerjisi değeri, sisteme bağlanan hassas güç ölçer cihazıyla enerji izlenerek ölçülmüştür.

Sistemin termodinamik analizini belirlemek için sistem parametrelerine ihtiyaç duyulur. Deneyler sırasında hava tarafında sıcaklık ve bağıl nem ölçülmüştür.

Termo elemanları soğutucu akışkan borularının yüzeylerine lehimlenip üzerleri bantla sarılıp veri kaydediciye bağlanarak, soğutucu akışkanın ve havanın sıcaklıklarının ölçümü yapılmıştır. Bu termo elemanların özellikleri K tipi olup, $\pm$ % 2 hassasiyete sahiptirler.

Tamburun giriş, çıkış ve evaporatörün çıkışlarına da nem sensörleri yerleştirilerek buradaki bağıl nemler ölçülmüştür.



Şekil 4.2 Deneyde kullanılan nem ve sıcaklık ölçer

Ölçüm cihazları, bir adet veri kaydedici ile beraber kullanılmış ve deneyler esnasında her on saniyede bir ölçüm alınarak bilgisayara kaydedilmiştir. Bu ölçüm değerlerine göre de excelde grafiklendirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan cihazların modeli Agilent 34970/A dır. Ölçüm noktalarında kullanılan cihazlar şekil 4.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Deneyler esnasında kullanılan terazi.

Çamaşırların nem oranları aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_{db,t}}{M_{db,0}} \quad (6.1)$$

Burada:

Mdb,t : t anındaki nem miktarı, (kgw/kgdm)

$Mdb,0$: t=0 anındaki nem miktarı, (kgw/khdm)

Deneylerin hepsi aynı koşullarda yapılmıştır



Şekil 4.4 Deneyler sırasında kullanılan ölçüm cihazları

4.2 Deneysel Ölçümler

Çalışmada toplam on iki (12) adet deney yapılmıştır. Bu deneylerde temel olarak pamuklu kumaşların (havlu) kuru kütleleri, nemlenmiş kütleleri, verilen nem miktarı belirlendikten sonra deney düzeneğinde kurutma programına tabi tutulmuşlardır. Bu kurutma programlarında kurutma süreleri, ölçüm aralıkları ve kütle miktarı değiştirilerek makine karakteristikleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Deneylere ilişkin değiştirilen parametreler ve ölçülen büyüklükler tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Deneysel çalışmalarda ölçüm aralıkları ve ölçülen büyüklükler

Deney no	Kurutulan çamaşır kuru kütlesi (gr)	Nemli kütle (gr)	Kurutma süresi (dk)	Ölçüm aralığı (dk)	Ölçülen büyüklükler
1	1024	1846	40	10	T, N, P

2	1024	1846	60	15	T, N, P
3	1018	1835	100	20	T, N, P
4	1015	1830	120	15	T, N, P
5	1740	3011	40	10	T, N, P
6	1715	3080	60	15	T, N, P
7	1715	3034	100	20	T, N, P
8	1715	3080	120	15	T, N, P
9	2380	4150	40	10	T, N, P
10	2370	4140	60	15	T, N, P
11	2350	4160	100	20	T, N, P
12	2380	4135	120	15	T, N, P

5. SONUÇLAR

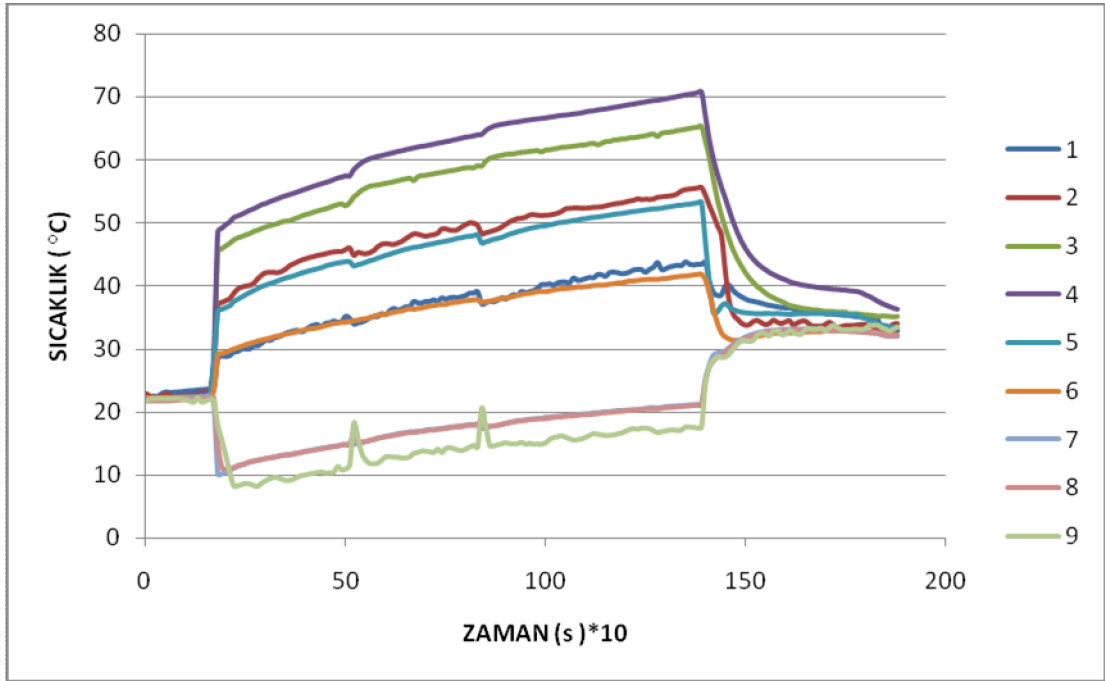
Tasarlanan ısı pompalı çamaşır kurutucunun yüksek sıcaklıkta hava sağlayan ve düşük enerji tüketimine sahip olan bir sistem olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan ısı pompalı çamaşır kurutucuyla, on iki ayrı deneyde 4 farklı zaman ve 3 farklı ağırlıkta havluların kurutulması deneysel olarak irdelenmiştir. Bu deneylerde elde edilen değerler, harcanan enerji miktarı sistem üzerine bağlanan hassas güç ölçerle hesaplanmıştır.

Grafiklerde meydana gelen dalgalanmaların sebebi de sistemi durdurarak çamaşırların ağırlıklarını ölçtüğümüz sırada makine durdurulup tekrar çalıştırılmasından kaynaklanıyor.

Deney No :1

Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 1024 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 1846 gr ıslak halde 40 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 10 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür. Ayrıca, toplam sistemin enerji tüketimi 0,6 kWh ölçülmüştür.

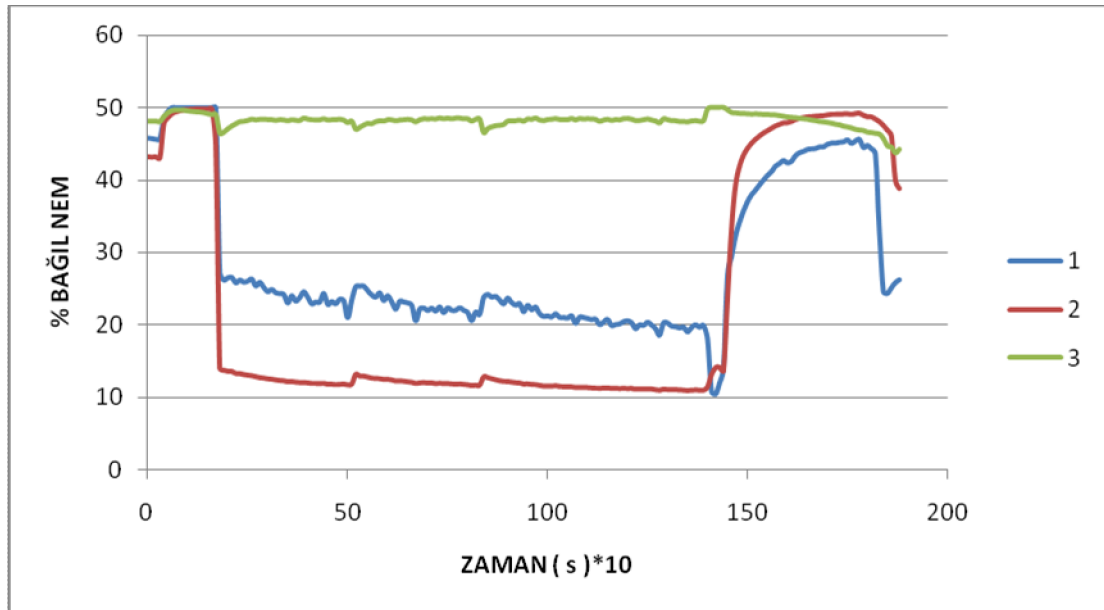
Sekil 4.5’de sıcaklık, sekil 4.6’da bağıl nem, sekil 4.7’de nem oranının zamanla değişimi grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.5 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:1).

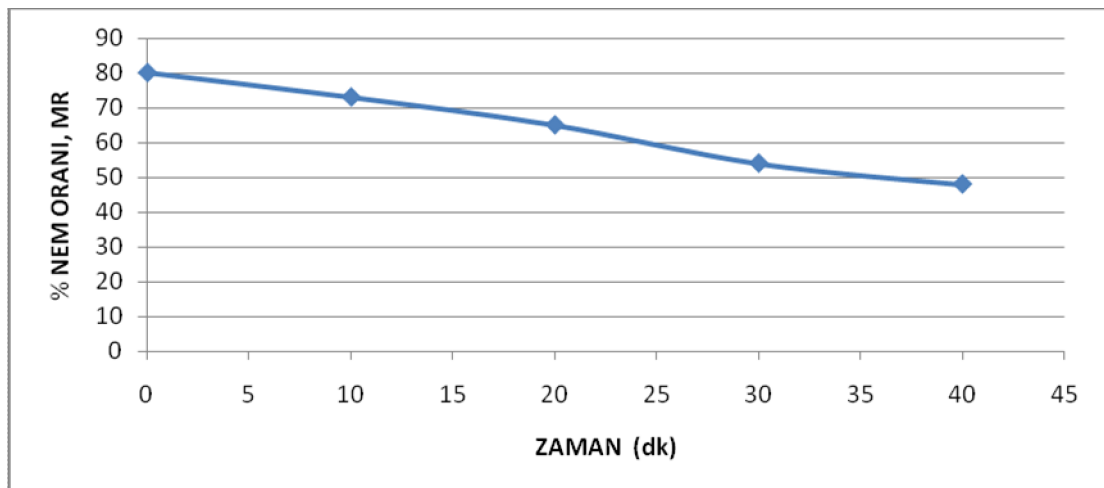
	Ölçüm yeri	50.ölçüm	100.ölçüm	150.ölçüm	200.ölçüm
1	Tambur çıkışı	34,4	39,7	38,7	32,9
2	Tambur girişi	45,4	51,2	34,7	34
3	Kompresör çıkışı	53,0	61,5	44,2	35,2
4	Kondenser girişi	57,3	66,5	48,4	36,3
5	Kondenser çıkışı	43,8	49,4	36	33,5
6	Kısılma vanası giriş	34,2	39,1	31,3	32,1
7	Evaporatör giriş	14,9	19	31,2	32
8	Evapartör çıkış	14,8	18,9	30,9	32,1

9	Kompresör giriş	10,8	14,9	30,8	33,5
---	-----------------	------	------	------	------

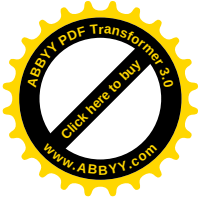


Şekil 4.6 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:1)

Nokta	Ölçüm yeri
1	Tambur çıkışındaki bağıl nem
2	Tambur girişindeki bağıl nem
3	Evaporatör çıkışı bağıl nem



Şekil 4.7 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:1).



Isı pompalı çamaşır kurutucu sistemin performansı, deneylerden elde edilen datalar ışığında $SMER$ ve MER hesaplanır.

$$SMER_{hp} = \frac{mv}{W_{hp}} = \frac{m_1 - m_2}{W_{hp}} = \frac{1,846 - 1,523}{0,4} = 0,80 \text{ (kg/kWh)}$$

Burada;

m_w : Uzaklaştırılan Nem Kütlesi (kg)

m_1 : Islak çamaşırların ilk tartımı (kg)

m_2 : Çamaşırların kurutma işleminden sonra tartımı (kg)

W_{hp} : Kompresöre verilen güç

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{W_s} = \frac{m_1 - m_2}{W_s} = \frac{1,846 - 1,523}{0,6} = 0,54 \text{ (kg/kWh)}$$

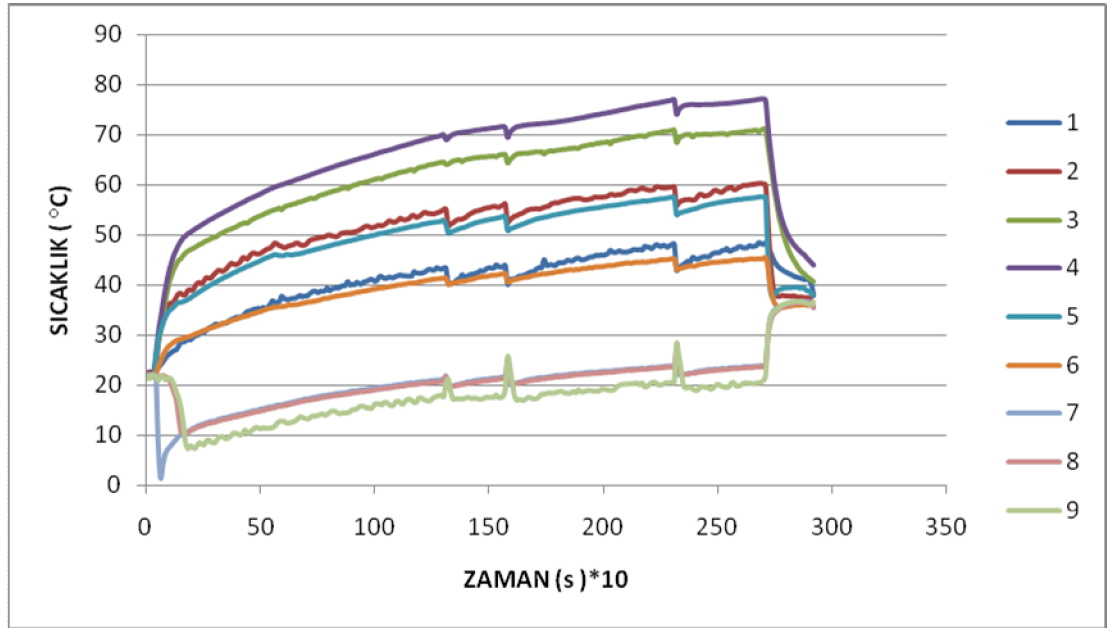
Burada;

W_s : Sistem için verilen toplam güç

$$MER = \frac{0,32}{0,66} = 0,21 \text{ Kg/h}$$

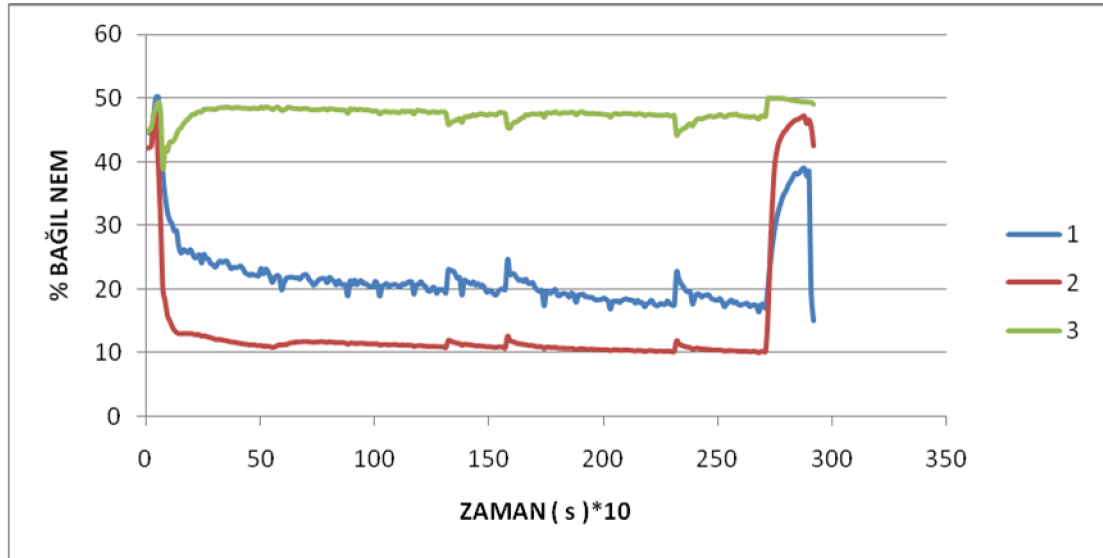
Deney No :2

Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 1024 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 1866 gr ıslak halde 60 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 15 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür. Toplam enerji tüketimi 0,9 kWh'dir.

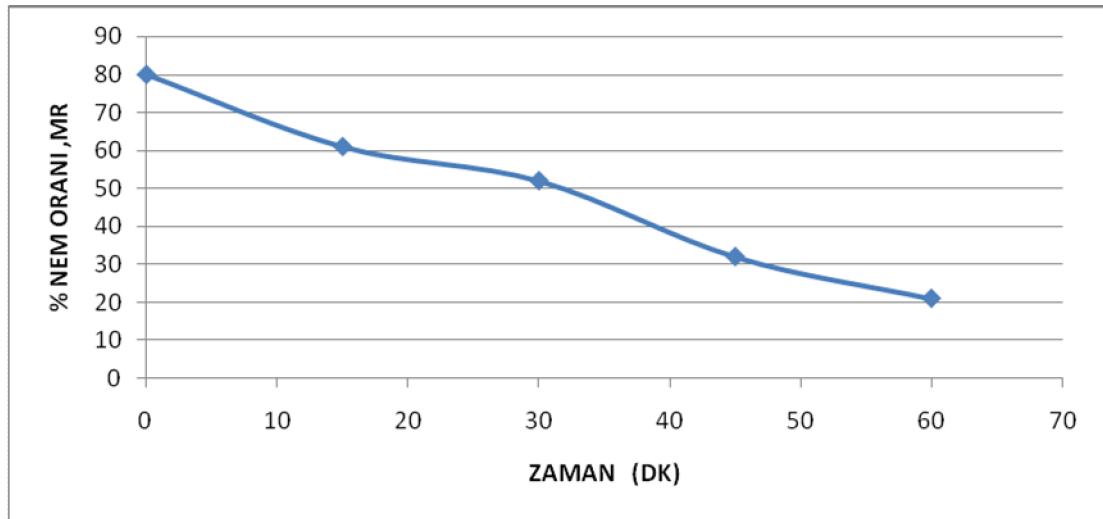


Şekil 4.8 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:2).

	Ölçüm yeri	50.ölçüm	100.ölçüm	150.ölçüm	200.ölçüm	250.ölçüm
1	Tambur çıkışı	38,4	41	43,3	46	46,4
2	Tambur girişi	46,2	51,5	55,4	57,5	59
3	Kompresör çıkışı	53,7	60,9	65,6	68,4	70,1
4	Kondenser girişi	58	66	71,2	74,2	76,2
5	Kondenser çıkışı	44,7	49,9	53	55,6	56,4
6	Kısılma vanası giriş	34,6	39	41,6	43,6	44,5
7	Evaporatör giriş	14,9	19,3	21,1	22,6	23,2
8	Evapartör çıkış	14,8	19	20,9	22,5	23
9	Kompresör giriş	11,4	15,6	17,6	19,2	19,9



Şekil 4.9 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:2)



Şekil 4.10 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:2).

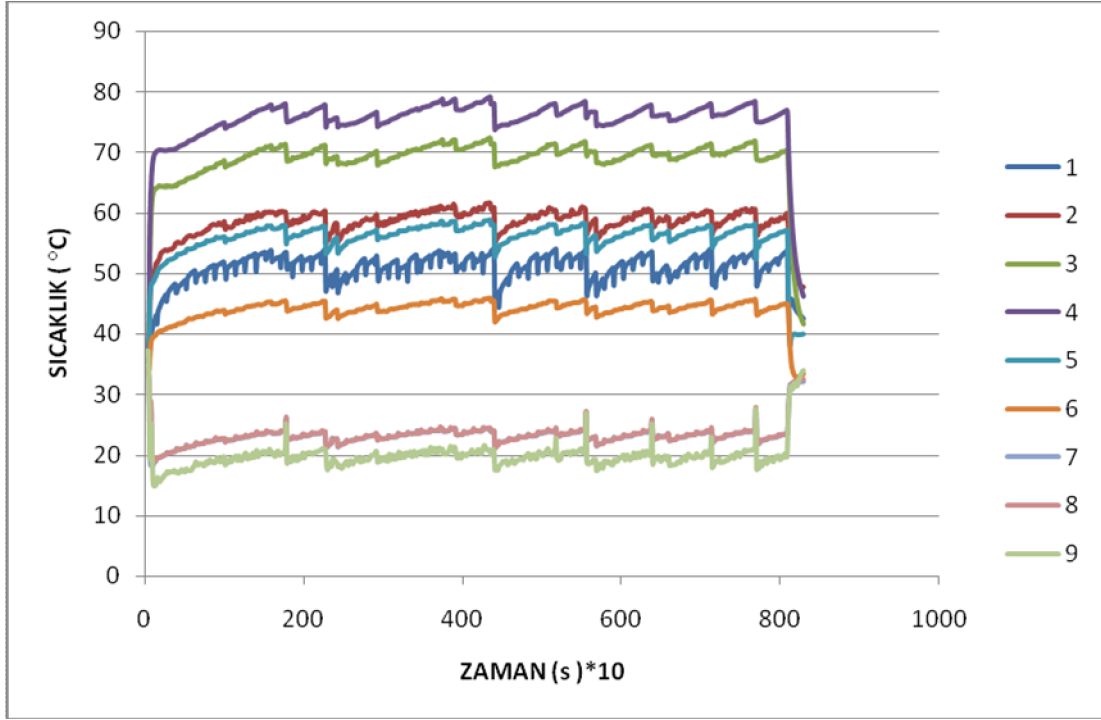
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{1,866-1,255}{0,7} = 0,84 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{Ws} = \frac{m1-m2}{Ws} = \frac{1,866-1,255}{0,9} = 0,65 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{0,611}{1} = 0,61 \text{ Kg/h}$$

Deney No :3

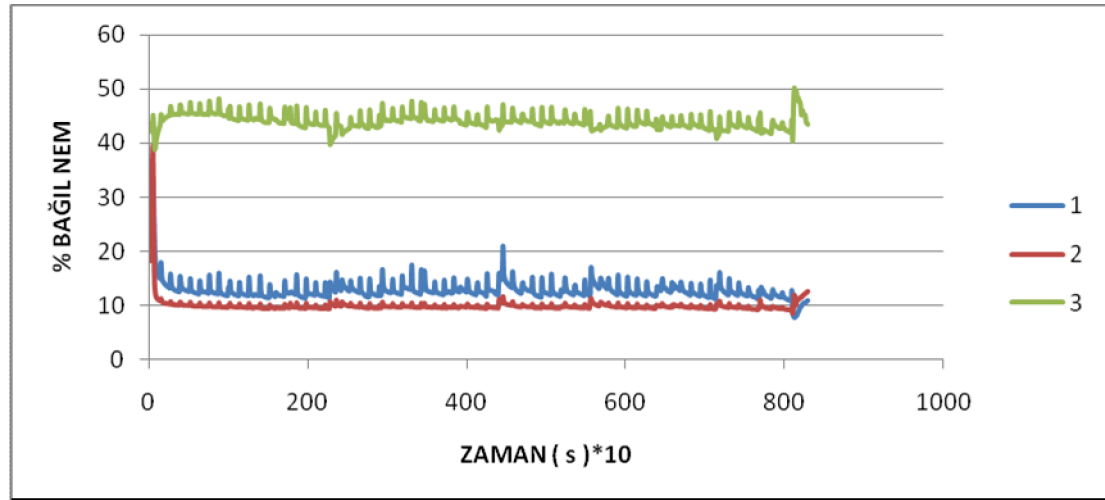
Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 1018 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 1835 gr ıslak halde 100 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 15 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür. Toplam enerji tüketimi 1,5 kWh'dir.



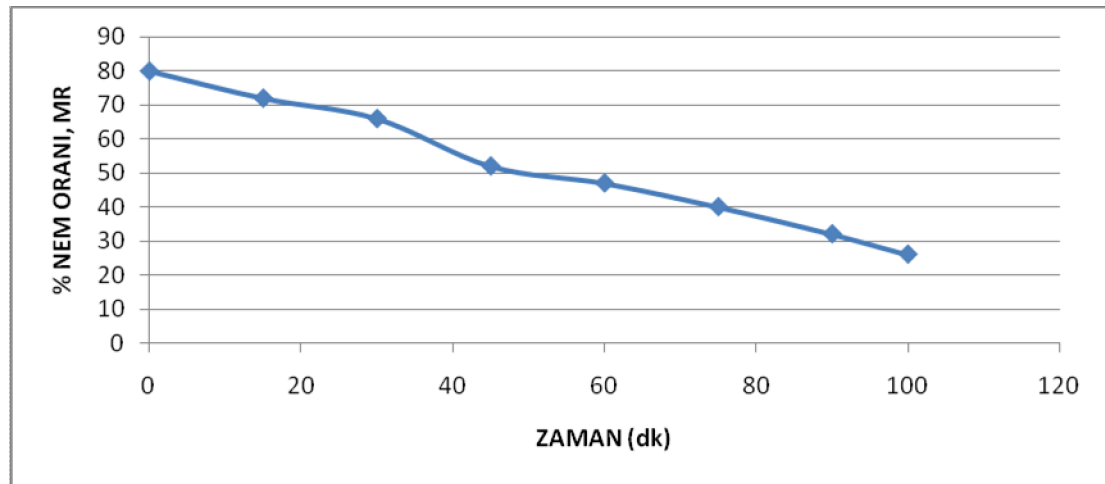
Şekil 4.11 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:3).

	Ölçüm yeri	200.ölçüm	400.ölçüm	600.ölçüm	800.ölçüm
1	Tambur çıkışı	52,2	51,6	51,9	52,5
2	Tambur girişi	59,5	59,5	58,2	59,1
3	Kompresör çıkışı	69,8	70,6	69	69,8
4	Kondenser girişi	76,3	77,1	75,4	76,3
5	Kondenser çıkışı	56,9	57,1	56,1	56,7
6	Kısılma vanası giriş	44,5	44,6	44	44,6
7	Evaporatör giriş	23,3	23,4	22,8	23,2
8	Evapartör çıkış	23,4	23,4	22,8	23,3

9	Kompresör giriş	19,9	20,3	19,8	19,2
---	-----------------	------	------	------	------



Şekil 4.12 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:3)



Şekil 4.13 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:3)

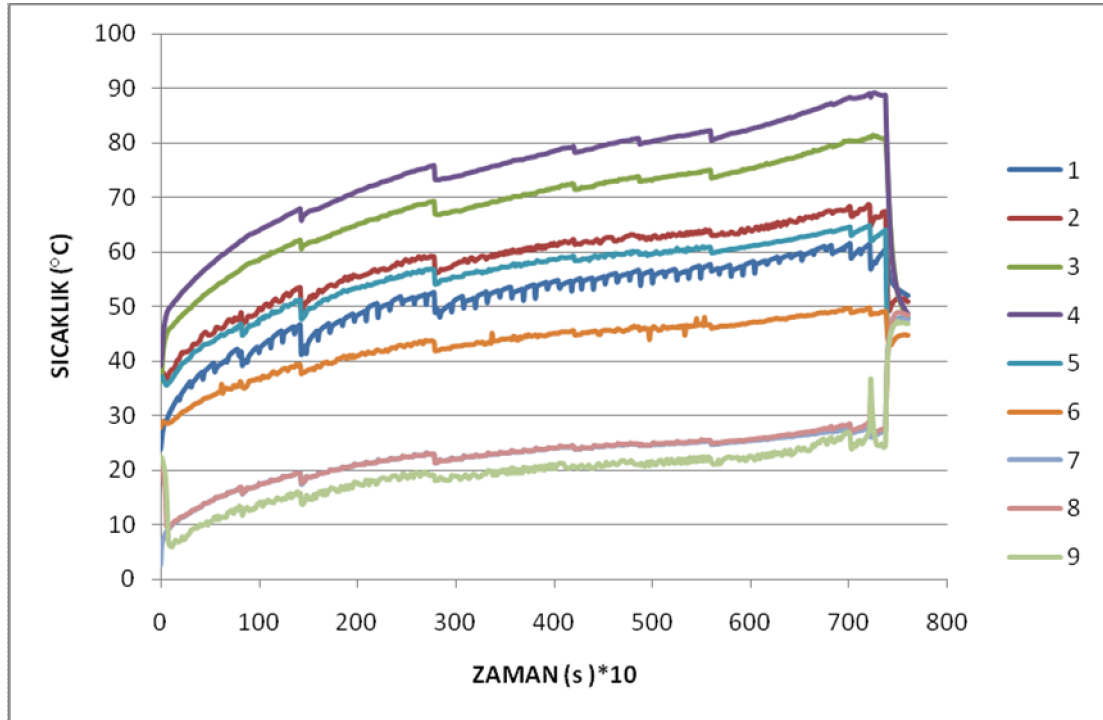
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{1,835-1,290}{1,3} = 0,41 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{Ws} = \frac{m1-m2}{Ws} = \frac{1,835-1,290}{1,5} = 0,36 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{0,54}{1,66} = 0,32 \text{ Kg/h}$$

Deney No :4

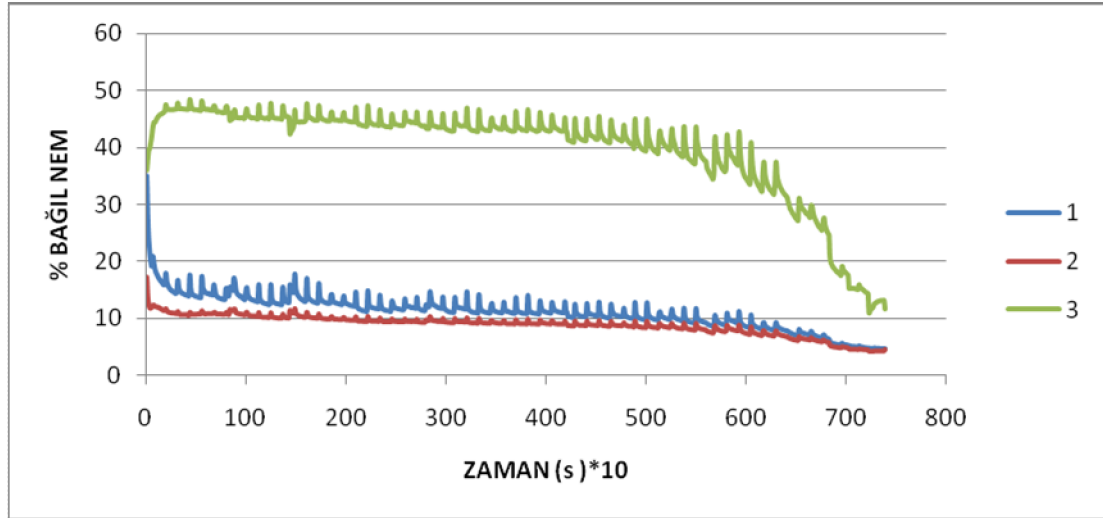
Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 1015 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 1830 gr ıslak halde 120 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 15 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.



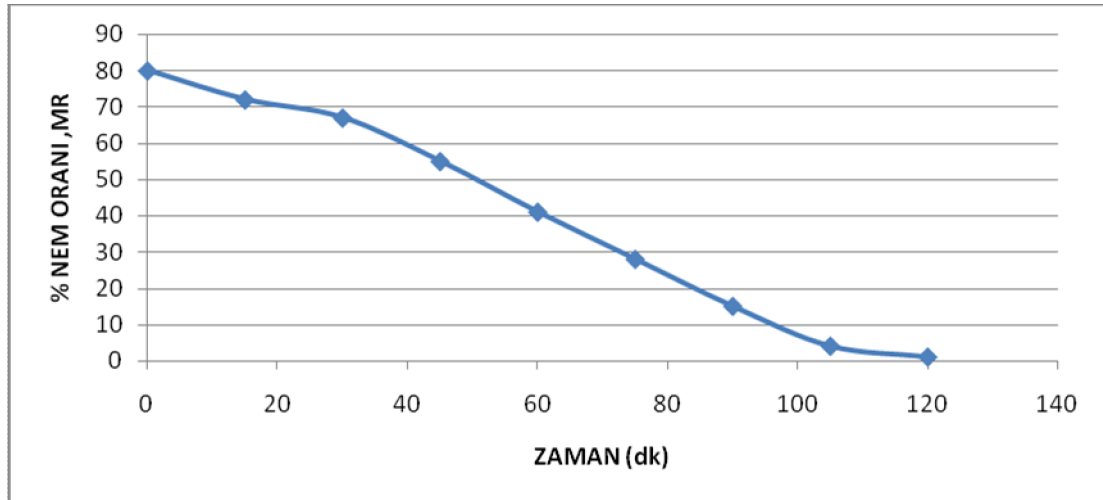
Şekil 4.14 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:4).

	Ölçüm yeri	200.ölçüm	400.ölçüm	600.ölçüm	800.ölçüm
1	Tambur çıkışı	48,2	54,5	58	52
2	Tambur girişi	55,6	61,3	64,3	50,9
3	Kompresör çıkışı	64,8	71,7	75,3	47,9
4	Kondenser girişi	70,9	78,3	82,3	48,7
5	Kondenser çıkışı	53,5	58,7	61	47,8
6	Kısılma vanası giriş	40,9	45,2	47,2	44,8
7	Evaporatör giriş	21	24	25,4	47,5
8	Evapartör çıkış	21	24	25,6	48,4

9	Kompresör giriş	17,7	20,2	22,4	46,7
---	-----------------	------	------	------	------



Şekil 4.15 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:4)



Şekil 4.16 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:4).

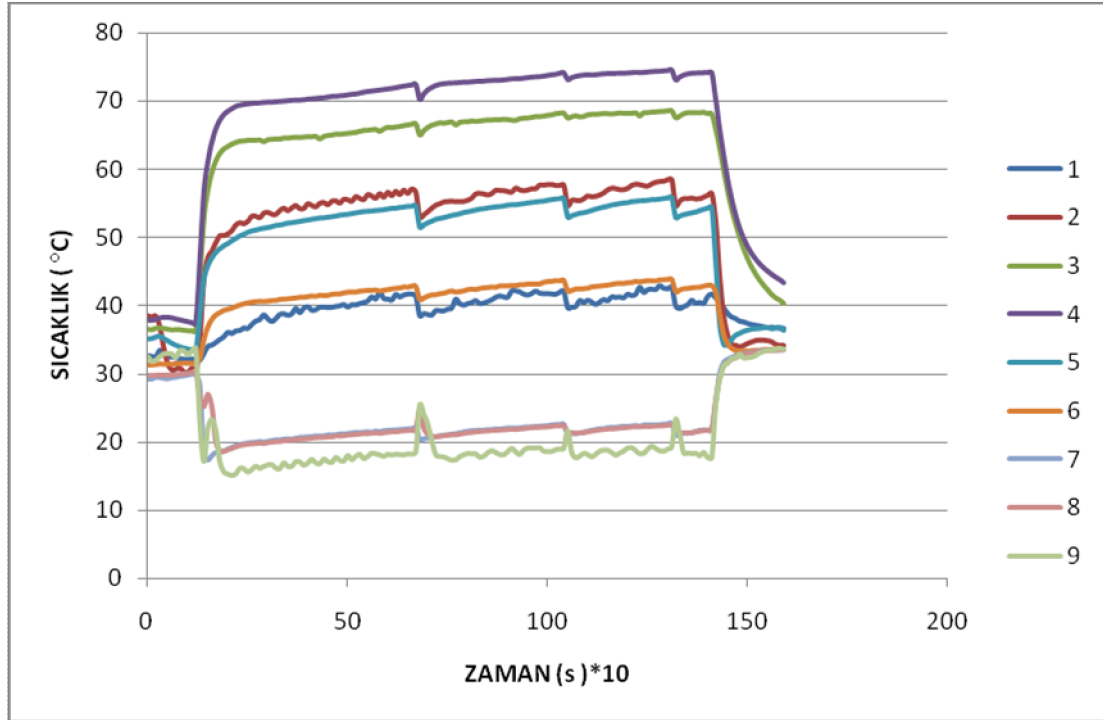
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{1,830-1,026}{1,4} = 0,57 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{Ws} = \frac{m1-m2}{Ws} = \frac{1,830-1,026}{1,7} = 0,47 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{0,80}{2} = 0,4 \text{ Kg/h}$$

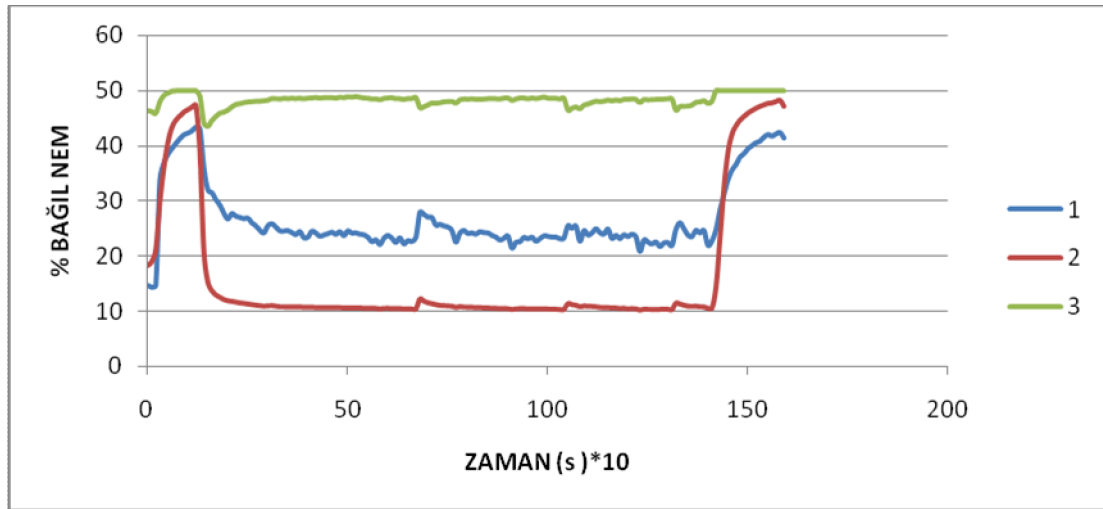
Deney No :5

Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 1740 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 3011 gr ıslak halde 40 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 10 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.

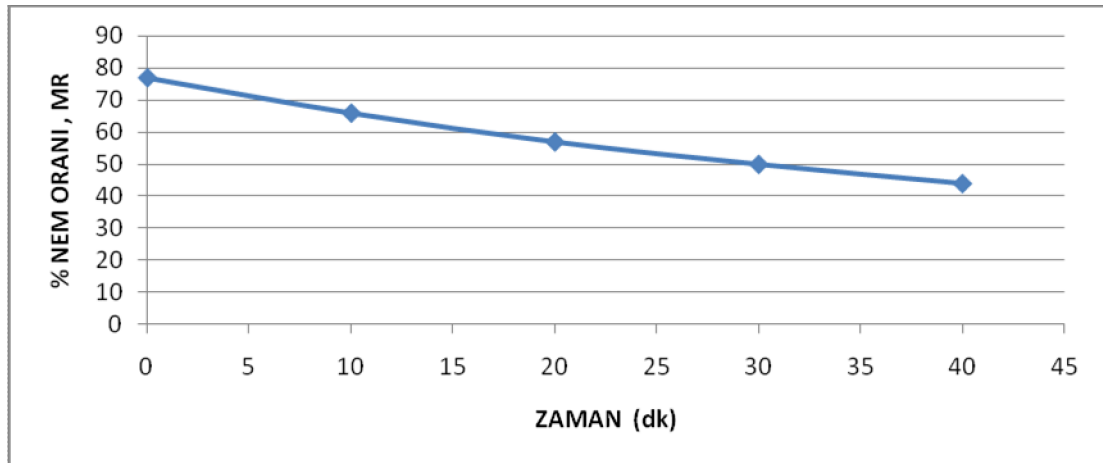


Şekil 4.17 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:5).

	Ölçüm yeri	50.ölçüm	100.ölçüm	150.ölçüm
1	Tambur çıkışı	40,1	41,7	37,6
2	Tambur girişi	55,5	57,6	34,2
3	Kompresör çıkışı	65,3	67,8	48,3
4	Kondenser girişi	70,8	73,6	49,8
5	Kondenser çıkışı	53,3	55,2	36,3
6	Kısılma vanası giriş	41,8	43,3	33,4
7	Evaporatör giriş	21,1	22,3	33
8	Evapartör çıkış	20,9	22,1	32,8
9	Kompresör giriş	17,2	18,6	32,3



Şekil 4.18 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:5)



Şekil 4.19 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:5).

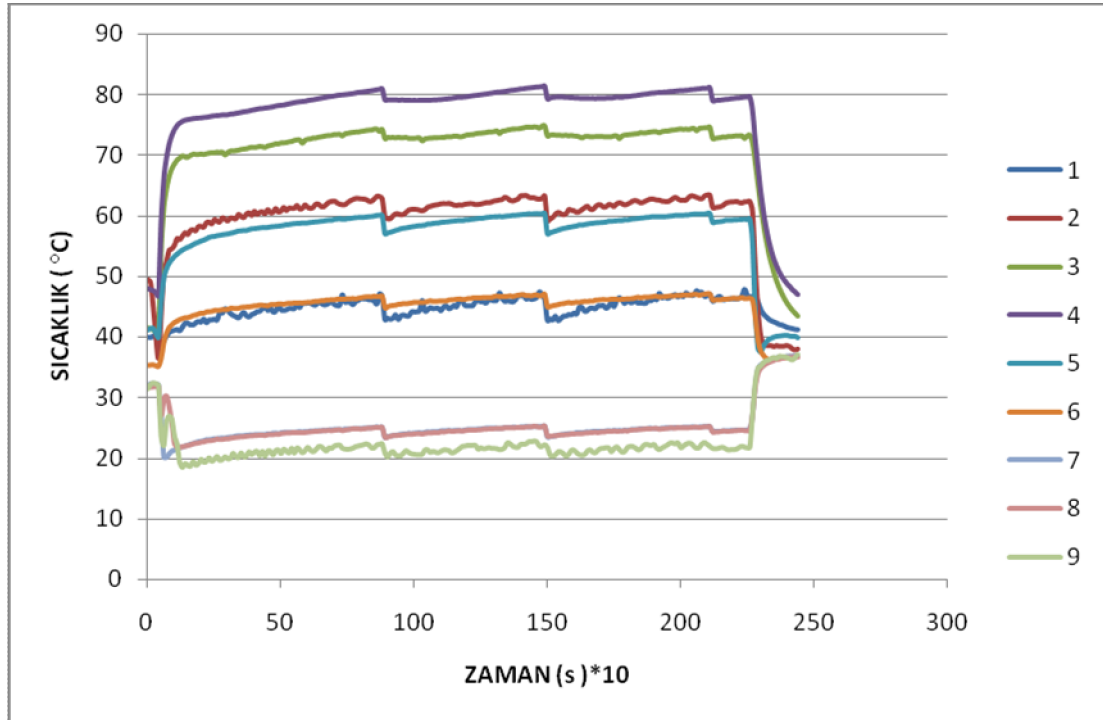
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{3,060-2,514}{0,6} = 0,91 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{Ws} = \frac{m1-m2}{Ws} = \frac{3,060-2,514}{0,75} = 0,72 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{0,55}{0,66} = 0,83 \text{ Kg/h}$$

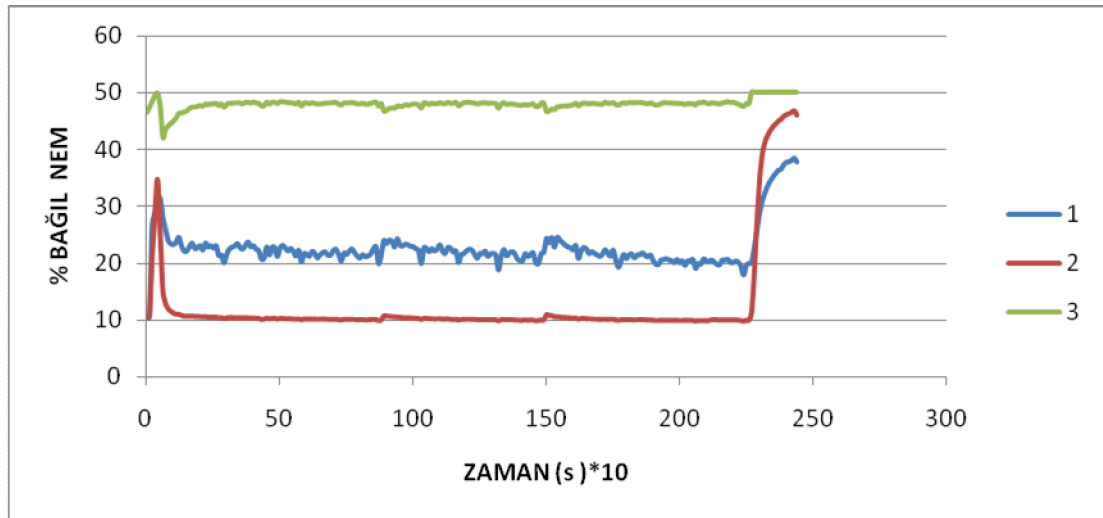
Deney No :6

Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 1715 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 3080 gr ıslak halde 60 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 15 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.

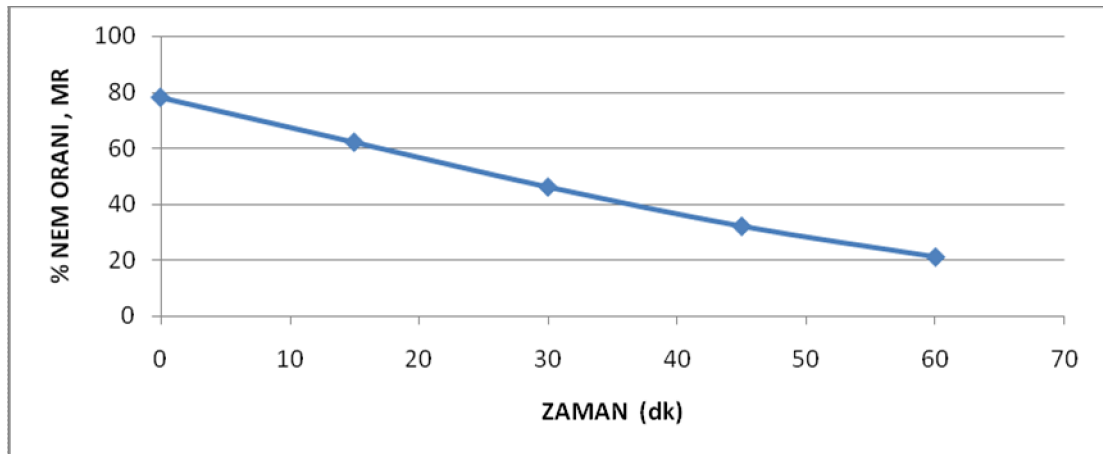


Şekil 4.20 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:6).

	Ölçüm yeri	50.ölçüm	100.ölçüm	150.ölçüm	200.ölçüm
1	Tambur çıkışı	45,2	44,2	46,1	46,6
2	Tambur girişi	60,5	60,9	63,1	62,6
3	Kompresör çıkışı	71,9	72,8	74,8	74,3
4	Kondenser girişi	78,2	79,1	81,4	80,7
5	Kondenser çıkışı	58,2	58,1	60,3	60
6	Kısılma vanası giriş	45,5	45,6	47	46,8
7	Evaporatör giriş	24,1	24,1	25,3	25
8	Evapartör çıkış	24	24	25,3	25,1
9	Kompresör giriş	21,3	20,6	22,1	22,5



Şekil 4.21 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:6)



Şekil 4.22 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:6).

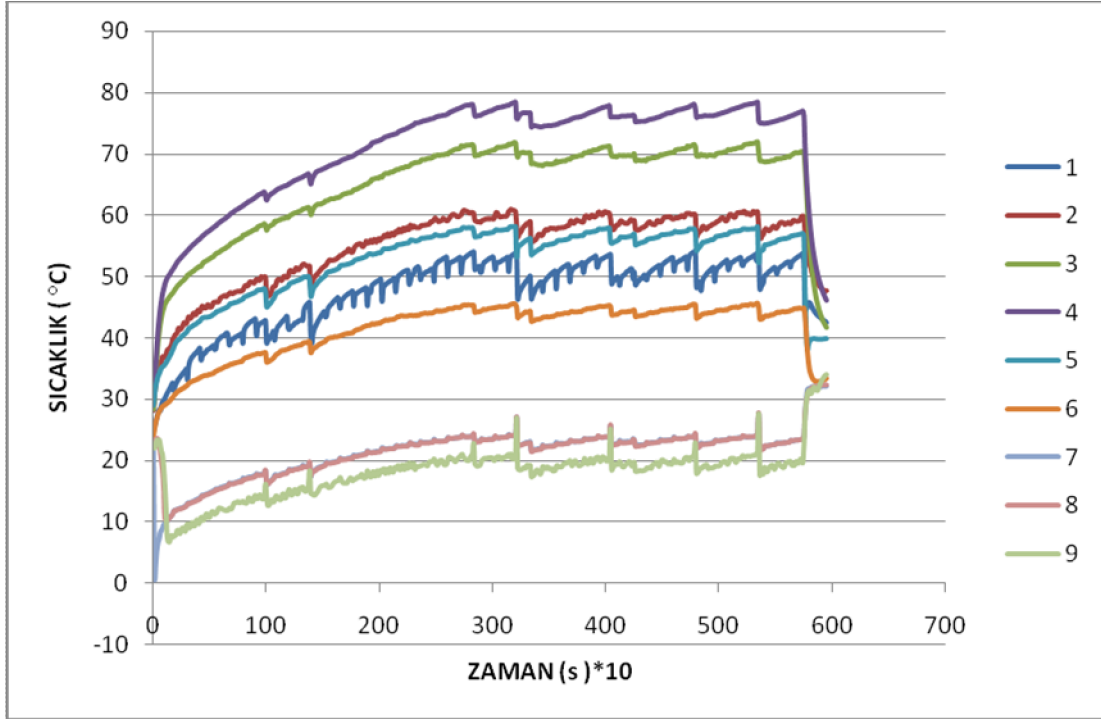
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{3,067-2,080}{0,7} = 1,41 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{Ws} = \frac{m1-m2}{Ws} = \frac{1,846-1,523}{0,9} = 1,1 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{0,98}{1} = 0,98 \text{ Kg/h}$$

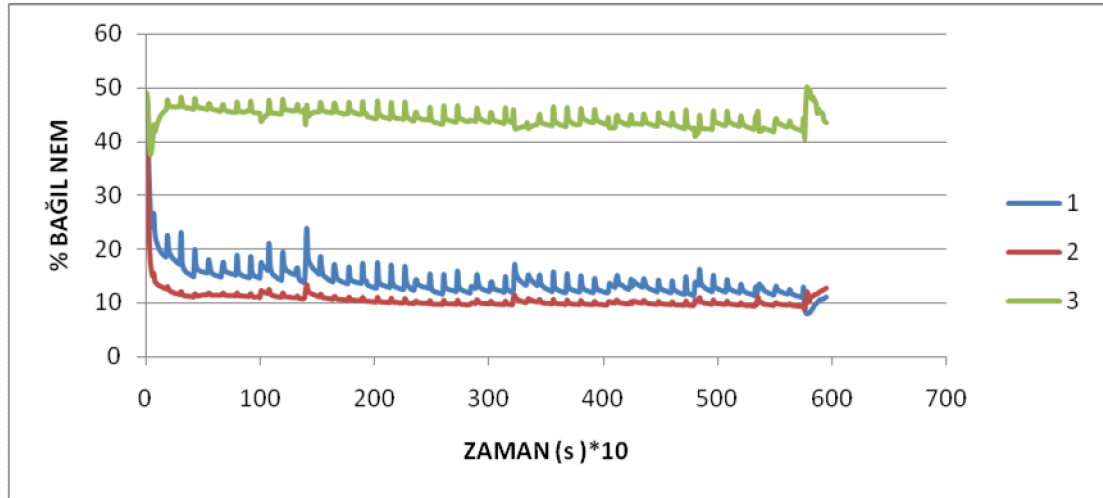
Deney No :7

Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 1715 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 3034 gr ıslak halde 100 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 20 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.

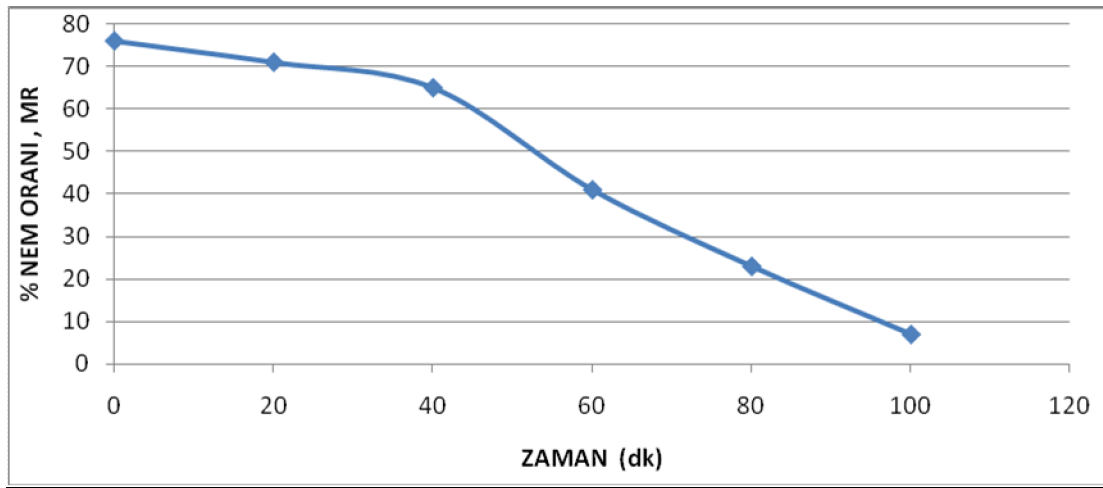


Şekil 4.23 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:7).

	Ölçüm yeri	100.ölçüm	200.ölçüm	400.ölçüm	600.ölçüm
1	Tambur çıkışı	42,8	49,4	53,2	42,5
2	Tambur girişi	49,9	56,2	60,7	47,7
3	Kompresör çıkışı	58,2	66	71,1	41,7
4	Kondenser girişi	63	72,2	77,7	46,2
5	Kondenser çıkışı	47,5	53,9	57,9	40
6	Kısılma vanası giriş	37,6	42,5	45,2	33,4
7	Evaporatör giriş	18,4	21,6	23,9	32,1
8	Evapartör çıkış	18,5	21,5	23,9	32,4
9	Kompresör giriş	16,2	17,6	20,5	34



Şekil 4.24 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:7)



Şekil 4.25 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:7).

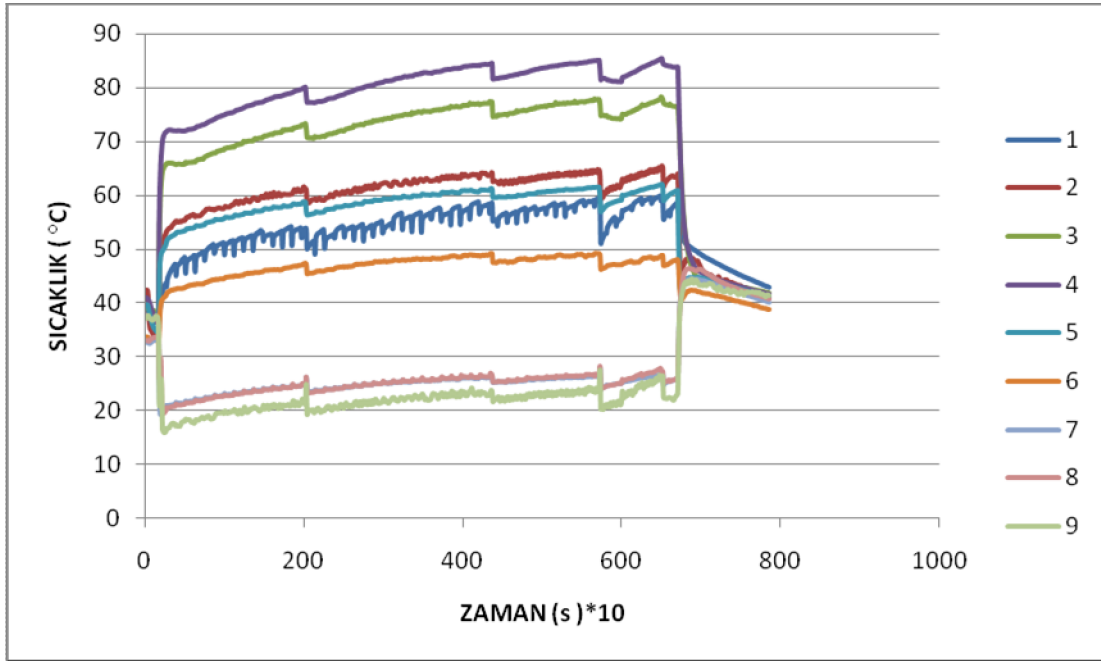
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{3,034-1,850}{1,3} = 0,91 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{Ws} = \frac{m1-m2}{Ws} = \frac{3,034-1,850}{1,5} = 0,79 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{1,18}{1,66} = 0,71 \text{ Kg/h}$$

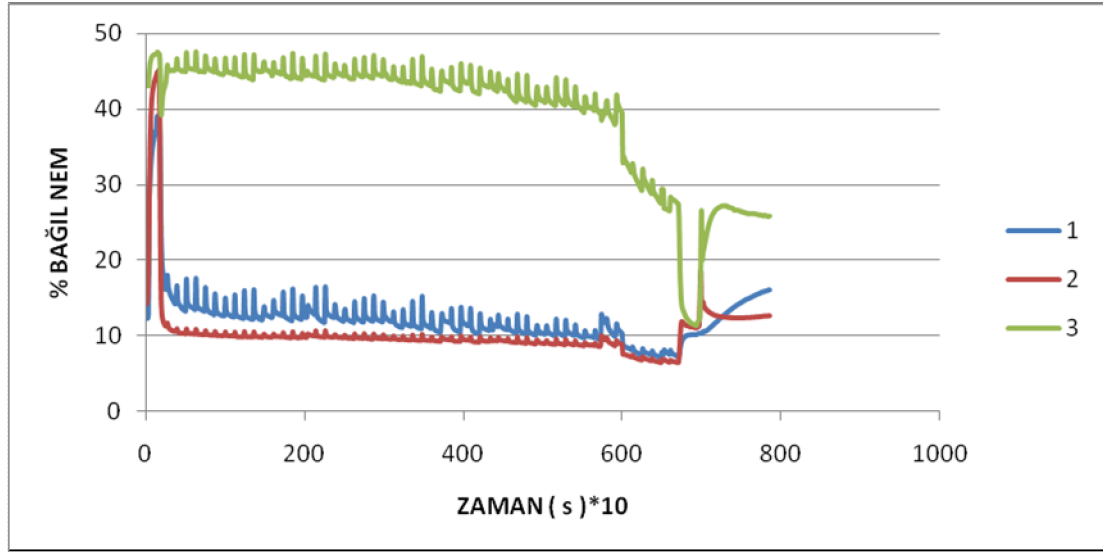
Deney No :8

Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 1715 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 3080 gr ıslak halde 120 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 15 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.

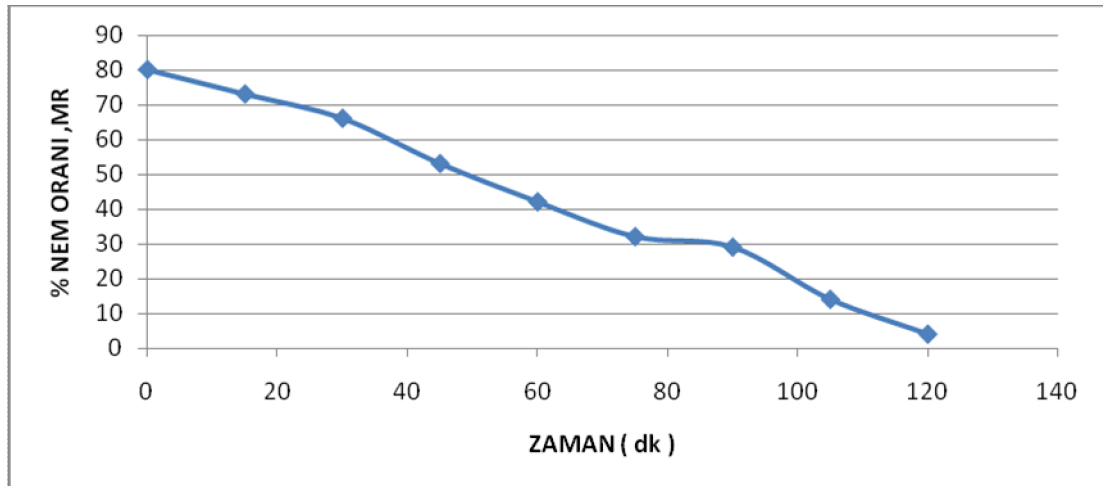


Şekil 4.26 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:8).

	Ölçüm yeri	200.ölçüm	400.ölçüm	600.ölçüm	800.ölçüm
1	Tambur çıkışı	53,7	56,9	55,8	42,9
2	Tambur girişi	61,5	63,9	62,1	40,7
3	Kompresör çıkışı	73,1	73,6	74,2	41,8
4	Kondenser girişi	80	83,7	81	41,5
5	Kondenser çıkışı	58,8	60,9	59,1	41,2
6	Kısılma vanası giriş	47,3	48,7	47	38,8
7	Evaporatör giriş	24,8	26	25	40,1
8	Evapartör çıkış	24,9	26,3	25,1	40,7
9	Kompresör giriş	21,6	23	21,6	41,4



Şekil 4.27 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:8)



Şekil 4.28 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:8).

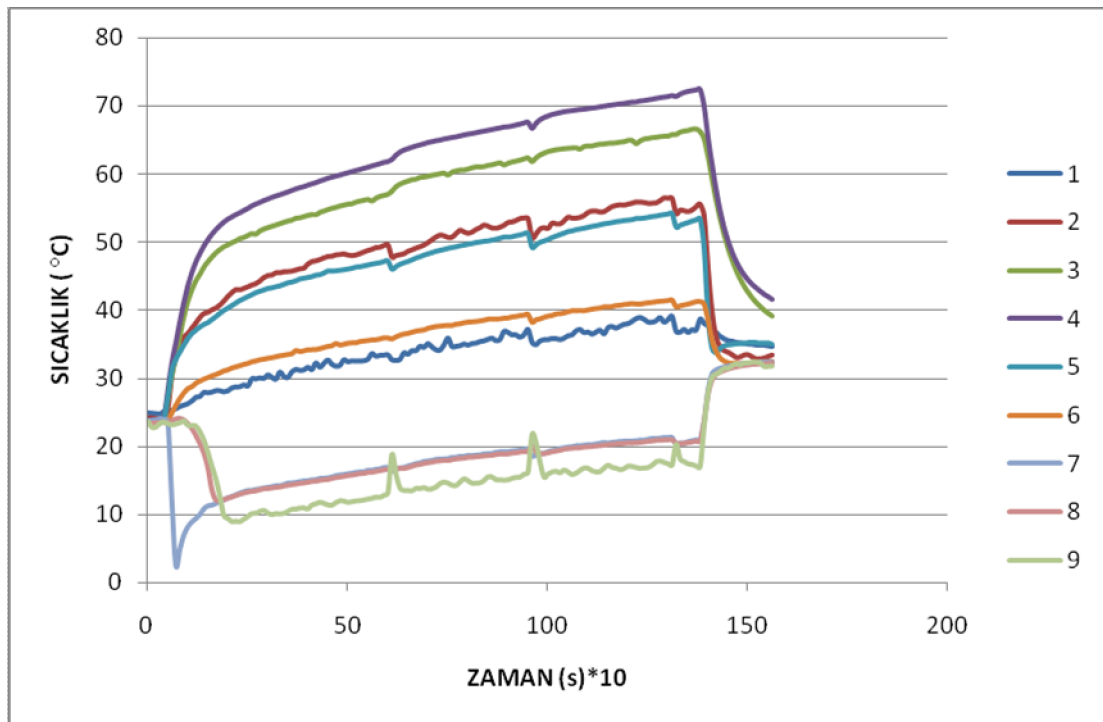
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{3,080-1,790}{1,6} = 0,80 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{Ws} = \frac{m1-m2}{Ws} = \frac{1,846-1,523}{1,9} = 0,67 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{1,29}{2} = 0,64 \text{ Kg/h}$$

Deney No :9

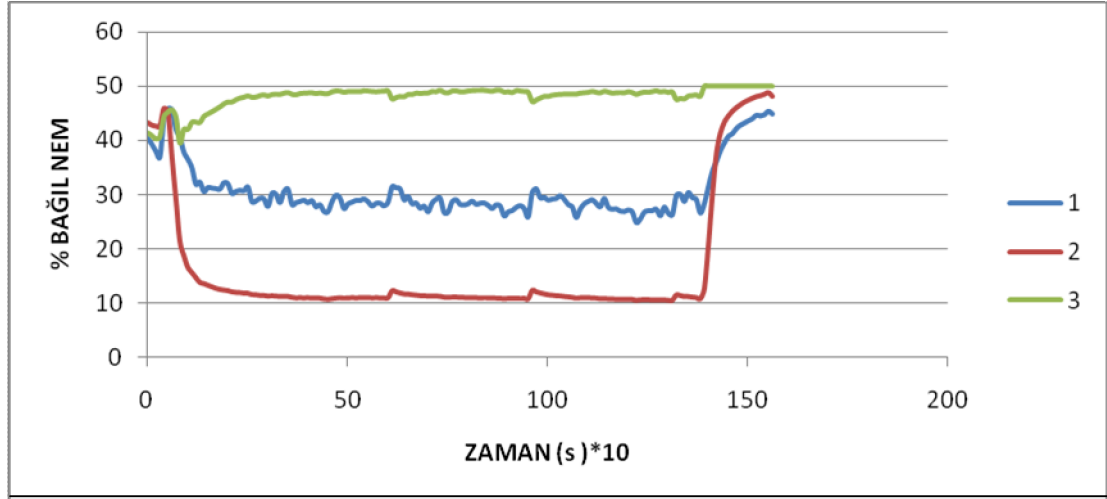
Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 2380 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 4150 gr ıslak halde 40 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 10 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.



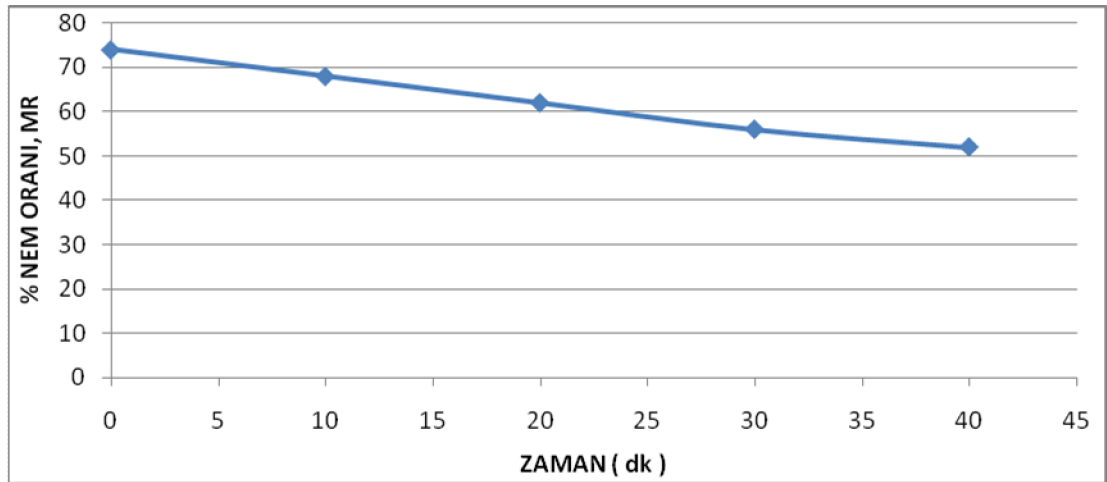
Şekil 4.29 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:9).

	Ölçüm yeri	50.ölçüm	100.ölçüm	150.ölçüm
1	Tambur çıkışı	32,6	35,6	35
2	Tambur girişi	48,3	52,2	33,4
3	Kompresör çıkışı	55,4	63	43,4
4	Kondenser girişi	60	68,2	45,1
5	Kondenser çıkışı	45,9	50,1	35,1
6	Kısılma vanası giriş	35	38,9	32,2

7	Evaporatör giriş	15,9	19	32,1
8	Evapartör çıkış	15,7	19	31,9
9	Kompresör giriş	12	15,5	32,1



Şekil 4.30 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:9)



Şekil 4.31 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:9).

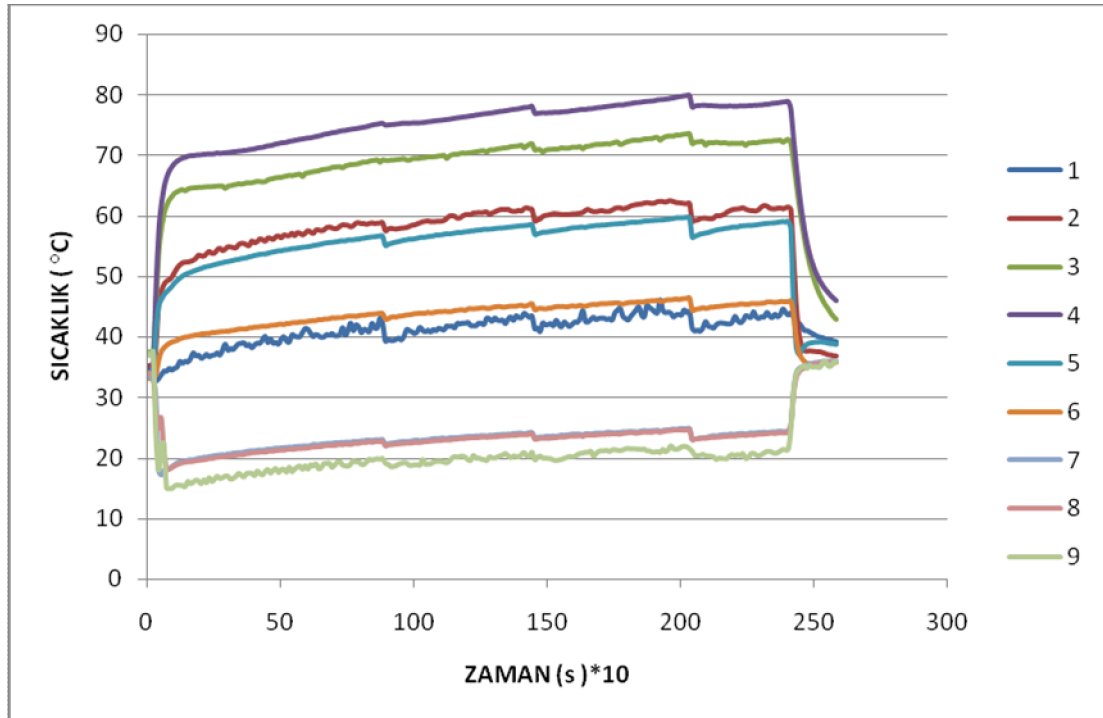
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{4,150-3,640}{0,4} = 1,26 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{Ws} = \frac{m1-m2}{Ws} = \frac{4,150-3,640}{0,6} = 0,84 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{0,51}{0,66} = 0,77 \text{ Kg/h}$$

Deney No :10

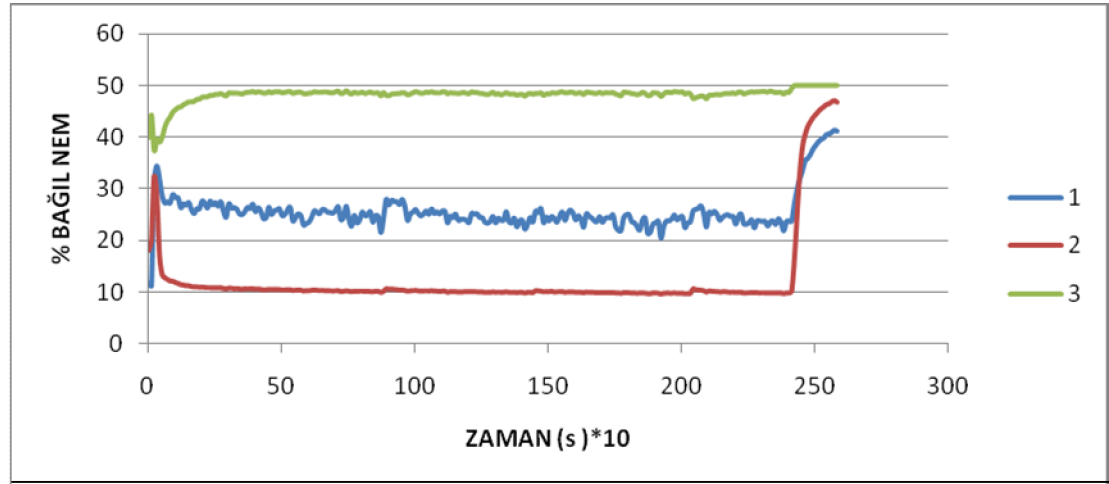
Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 2370 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 4140 gr ıslak halde 60 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 15 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.



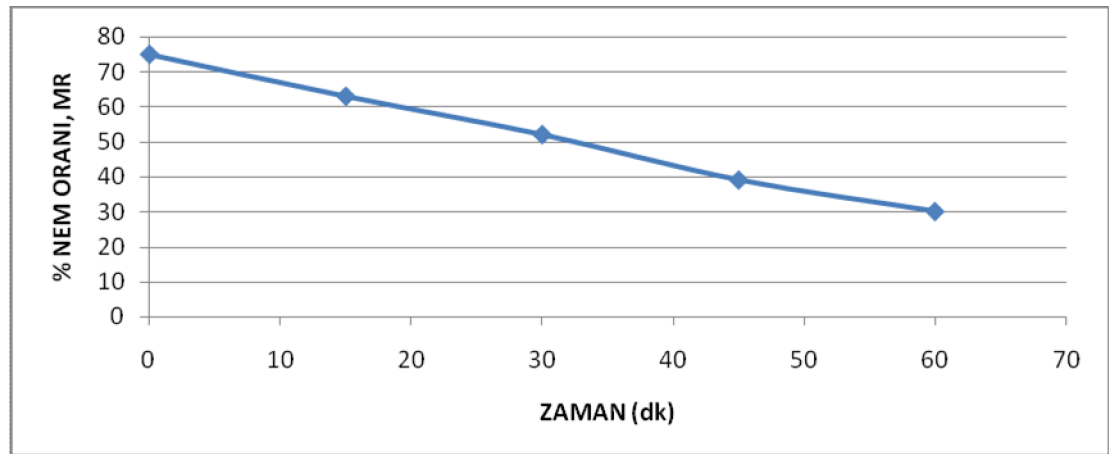
Şekil 4.32 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:10).

	Ölçüm yeri	50.ölçüm	100.ölçüm	150.ölçüm	200.ölçüm
1	Tambur çıkışı	38,8	40,8	41,9	43,7
2	Tambur girişi	56,7	58,4	60,1	62,1
3	Kompresör çıkışı	66,3	69,4	70,8	73,3
4	Kondenser girişi	72	75,4	77,1	79,8
5	Kondenser çıkışı	54,2	56,1	57,3	59,6
6	Kısılma vanası giriş	42,1	43,7	44,6	46,2
7	Evaporatör giriş	21,5	22,8	23,5	24,8

8	Evapartör çıkış	21,4	22,6	23,3	24,6
9	Kompresör giriş	17,6	18,8	19,9	21,5



Şekil 4.33 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:10)



Şekil 4.34 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:10).

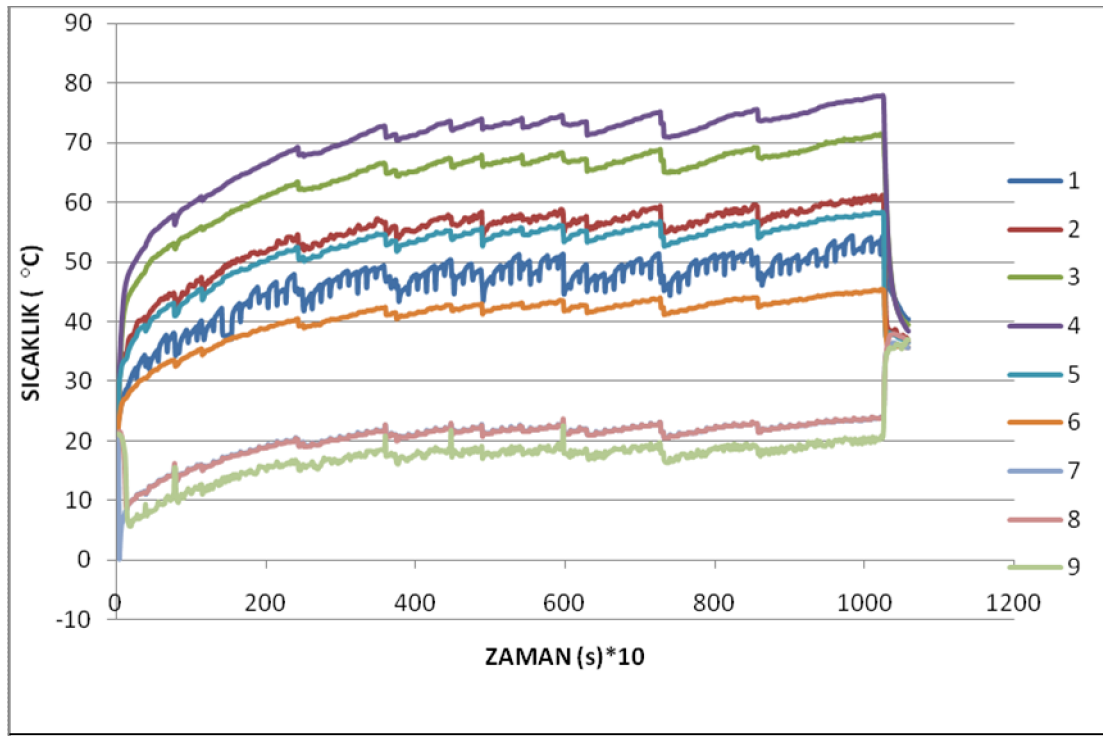
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{4,150-3,090}{0,7} = 1,51 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mV}{W_s} = \frac{m_1 - m_2}{W_s} = \frac{4,150 - 3,090}{0,9} = 1,17 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{1,06}{1} = 1,06 \text{ Kg/h}$$

Deney No :11

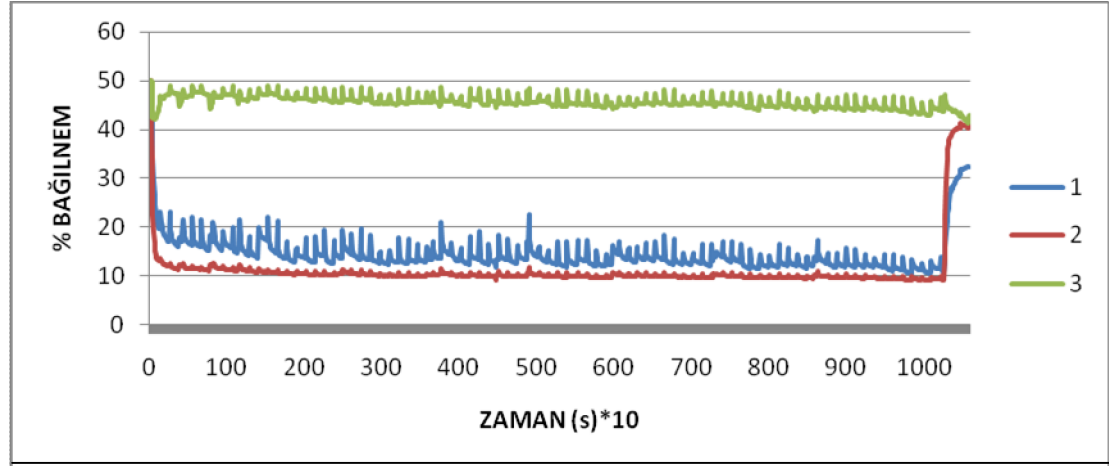
Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 2350 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 4160 gr ıslak halde 100 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 20 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.



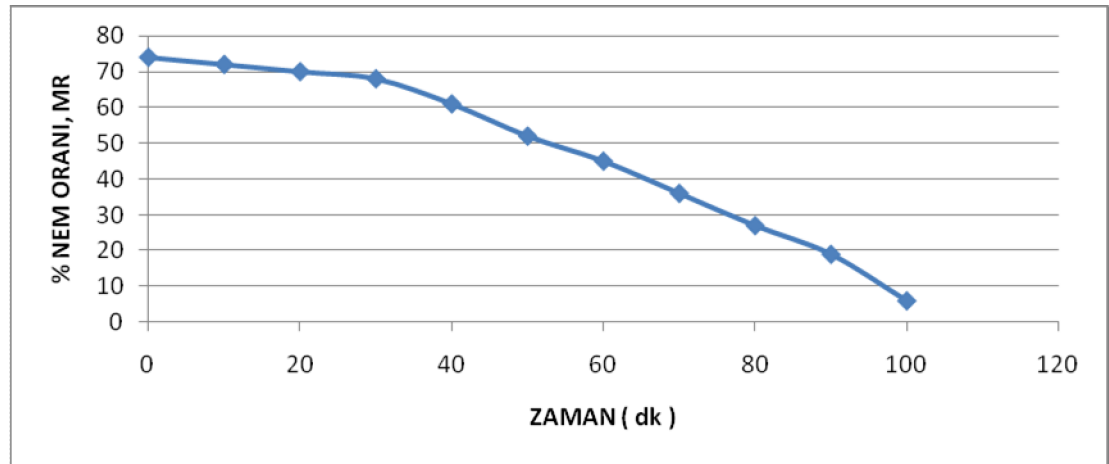
Şekil 4.35 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:11).

	Ölçüm yeri	200.ölçüm	400.ölçüm	600.ölçüm	800.ölçüm
1	Tambur çıkışı	44,6	47,8	45	51
2	Tambur girişi	51,7	55,3	55,4	57,9
3	Kompresör çıkışı	61	65,3	67	67,2
4	Kondenser girişi	66,6	71,3	73,3	73,5

5	Kondenser çıkışı	50,2	53,4	53,5	55,4
6	Kısılma vanası girişi	38,7	41,3	41,7	43
7	Evaporatör girişi	18,9	21	21,2	22
8	Evaporatör çıkışı	18,8	20,8	21,2	21,9
9	Kompresör girişi	15,2	17,6	17,9	18,7



Şekil 4.36 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:11)



Şekil 4.37 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:11).

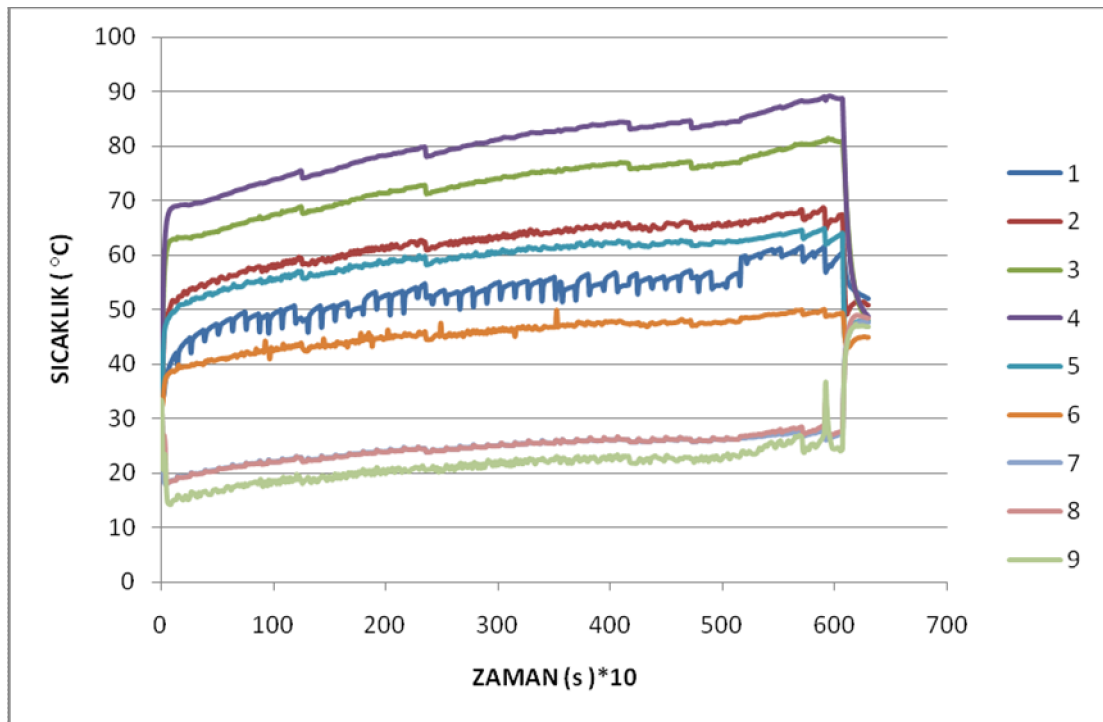
$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m_1 - m_2}{Whp} = \frac{4,150 - 2,524}{1,3} = 1,25 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mV}{W_s} = \frac{m1-m2}{W_s} = \frac{1,846-1,523}{1,5} = 1,08 \text{ (kg/kWh)}$$

$$MER = \frac{1,62}{1,66} = 0,97 \text{ Kg/h}$$

Deney No :12

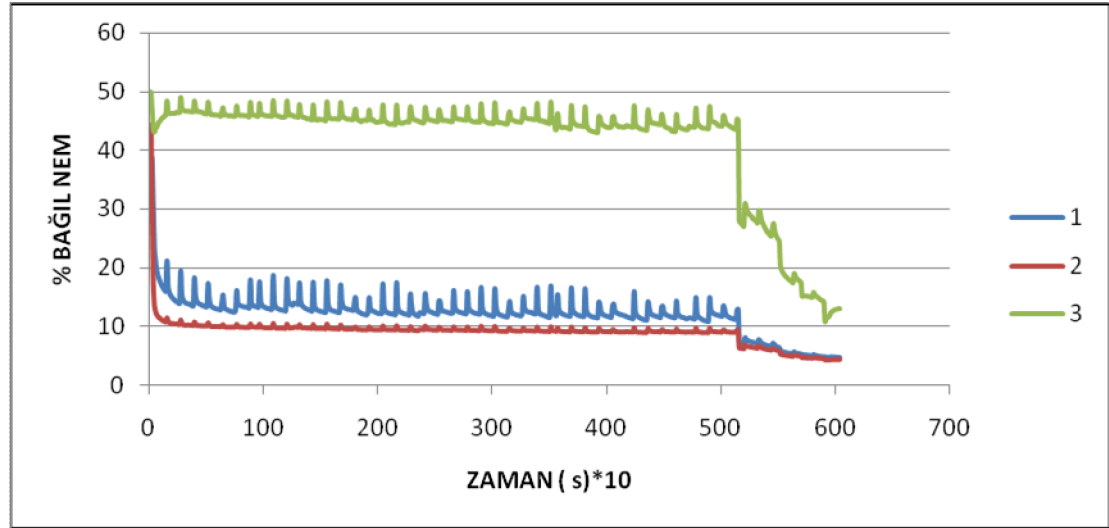
Bu deney de pamuklu kumaştan üretilen 2380 gr kuru havlu % 80 nemlendirilerek 4135 gr ıslak halde 120 dk lık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sırasında her 15 dk da bir havluların ağırlığı ölçülmüştür.



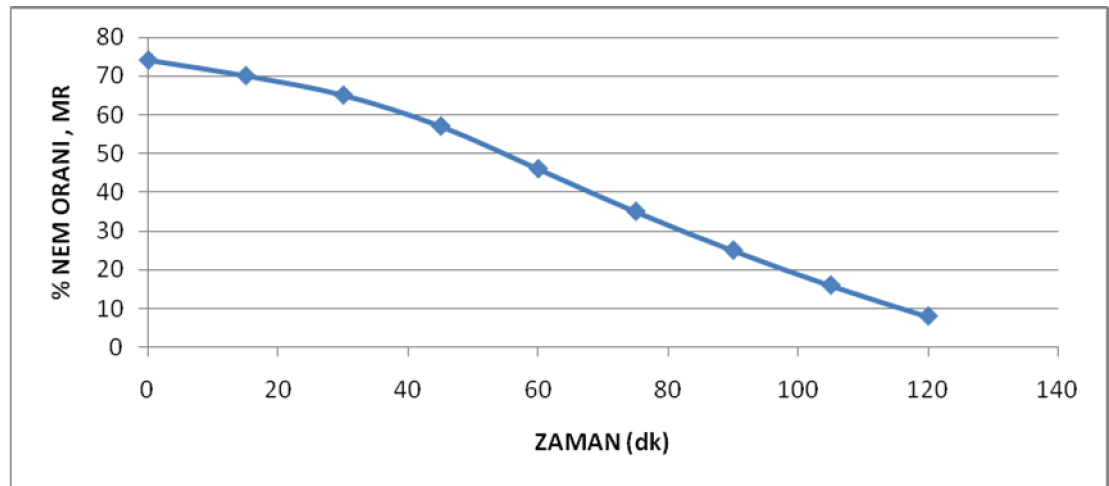
Şekil 4.38 Sıcaklık-zaman diyagramı (Deney No:12).

	Ölçüm yeri	100.ölçüm	200.ölçüm	400.ölçüm	600.ölçüm
1	Tambur çıkışı	49	52,5	56,3	59
2	Tambur girişi	58,3	60,9	65,7	66,4
3	Kompresör çıkışı	67,4	71,3	76,7	81
4	Kondenser girişi	73,7	78,2	84	88,8
5	Kondenser çıkışı	55,3	58,6	62,3	63,2

6	Kısılma vanası giriş	42,8	44,6	47,7	48,9
7	Evaporatör giriş	22	23,9	26	26,7
8	Evapartör çıkış	22	23,8	26,1	27,2
9	Kompresör giriş	18,7	20,2	23,2	24,4



Şekil 4.39 Bağıl nemin zamanla değişimi (Deney No:12)



Şekil 4.40 Nem oranının zamanla değişimi (Deney No:12).

$$SMER_{hp} = \frac{mv}{Whp} = \frac{m1-m2}{Whp} = \frac{4,150-2,592}{1,5} = 1,03 \text{ (kg/kWh)}$$

$$SMER_{ws} = \frac{mv}{W_s} = \frac{m1-m2}{W_s} = \frac{4,150-2,592}{1,8} = 0,86 \text{ (kg/kWh)}$$

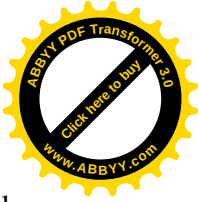
$$MER = \frac{1,56}{2} = 0,78 \text{ Kg/h}$$

Tablo 4.3 deneylerin ölçüm noktalarındaki en yüksek sıcaklıkları

		DENEYLER											
Ölçüm notları		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Tambur çıkışı	43,5	48,3	54	58,3	41,7	46,2	53,9	59,5	38,7	43,6	54,3	58,3
2	Tambur girişi	55,6	60,3	60,6	66,3	56,4	63,1	60,6	65,5	55,6	61,4	61,2	66,3
3	Kompresör çıkışı	65,3	71,1	72	81,3	68,1	74,8	71,8	78,2	66,2	72,5	71,4	81,3
4	Kondenser girişi	70,8	77,2	78,5	89	74,1	81,4	78,5	85	72,3	78,9	78	89,1
5	Kondenser çıkışı	53,2	57,5	58,2	62,6	54,4	60,3	58,3	62,1	53,3	59	58,3	62,7
6	Kısılma vanası giriş	41,8	45,3	45,7	48,8	42,9	47	45,5	48,8	41,2	45	45,3	48,9
7	Evaporatör giriş	21,3	36,6	24,1	27,2	21,8	25,4	24,1	44,5	21	24,4	23,7	27,4
8	Evapartör çıkış	21,1	36,5	24,3	27,3	21,7	25,4	24,1	46,2	21	24,4	23,7	27,4
9	Kompresör giriş	17,6	36,7	21,2	26,3	17,7	22,1	20,4	43,6	17	21,4	20,7	26,3

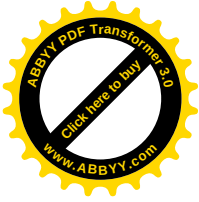
6. TARTISMA ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kullanılan Bloomberg marka çamaşır kurutma makinesinde çamaşır ve nem miktarları değiştirilerek zamana farklı noktalardan nem ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Nem ve sıcaklık ölçmeleri tamamen bilgisayar bağlantılı Agilent 34970/A marka data logger cihazı ve enerji harcamı ise Zimmer-PLMG95e



hassas güç ölçer cihazı ile zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde termocapl sıcaklık sensörleri, michell PC serisi mini nem ve sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Ölçümler hava kanalı içerisinde geçen bölümlerde söz edildiği üzere farklı noktalara özellikler yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı giriş çıkışlarında olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktaları kanal içerisinde mümkün olduğunca hava ile ilgili değişimi en verebilecek pozisyonlara yerleştirilmişlerdir. Buna rağmen ölçümlerde karşılaşılan zorluklar ve olumsuzluklar aşağıda maddeler şeklinde sıralanabilir.

- a. Sensörlerin sayısı çok sayıda olduğunda fiziki olarak bunları kanala monte etmek zorlaşmaktadır.
- b. Sensörlerin bulunduğu konumlar hava akımlarının olmadığı yada iyi olduğu noktalara gelebilmekte bu da okunan değerlerin bu noktalara göre değişimlerini vermektedir. Bu değerlerin ortalama yığılık büyüklükleri çok sağlıklı olamayabilmektedir. Bu nedenle çalışmada okunan değerler doğrudan verilmiştir.
- c. Sensörlerin uç noktaları her ne kadar filtrelerden sonra konulmuş olsalar da pamukçuklardan dolayı nem değerlerini ve sıcaklık değerlerini etkileyecek şekilde birikimlere rastlanılmaktadır.
- d. Sensörlerin hava kanalına çok sayıda bağlanması normal hava akışını değiştirmekte ve genelde verim üzerine etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada bu değerlerin verim üzerine etkisi incelenmemiştir.
- e. Ara ölçümlerde makinenin devreye alınması esnasındaki ilk değerler sürekli rejim şartlarına göre grafiklerden de görüleceği üzere iniş çıkışlar vermektedir. Bu değerlerin kullanılması makinenin sürekli rejim şartlarındaki durumuna göre daha olumsuz bir sonuç vermesini sağlamıştır.
- f. Makine de durdurmadan ölçülen değerlerin yeğlenmesinin yerinde olacağı sonucuna varılmıştır. Bu durumda ilk ve son çamaşır kütle değişimi ve buna bağlı nem değişimleri hesaplanarak sonuca gidilmelidir.
- g. Çalışmanın desteklenmesi için sayısal bir çalışma yapılması yerinde olacaktır. Bu çalışma böyle bir çalışma ile eş zamanlı planlanmıştı ancak gerçekleştirilemesi bu çalışmanın önemli bir ayağının eksik olmasına neden olmuştur.

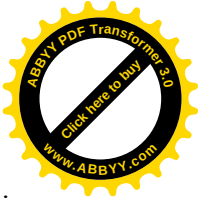


Bu çalışmada incelenen ısı pompalı çamaşır kurutma makinelerinin dışında ısı değiştiricilerinin özellikle nem, sıcaklık ve basınç altında çalışan değiştiricilerin ölçmelerinin yapılabileceği bir düzenek kazandırılması önemli bir kazanım olarak ortaya çıkmıştır. Kurulan deney düzeneği ile herhangi bir hava kanalında, soğutma devresinde, ısıtma devresinde ya da bunların karmaşık düzenlenmesi durumlarında ölçümler yapılabilecektir. Bu ölçümleri başlangıç ve bitiş anları arasındaki enerji harcamalarının belirleniyor olması düzeneğin bir başka önemli özelliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma ölçüm değerlerinin sağlıklı yorumlanmasından ziyade deney düzeneğinin çalıştırılması ve değerlerin yorumlanabilmesi açısından çok zaman almıştır. Bu nedenle seçilen kurutma makinesi değerleri yeterince yorumlanamamıştır. Bu çalışmada deneysel düzenek kurulması ve cihazların sisteme uyumlarının sağlanması ve bilgisayar bağlantılarının yapılması, sensör seçimleri ve bunların dönüşüm tablolarının hazırlanması çok zaman aldığından ölçüm değerlerinin iyi yorumlan masına neden olmuştur. Bir başka çalışmada kurulmuş deney düzeneği ile bu değerlerin sadece ölçüm, hesaplama ve yorumlanması üzerine yoğunlaşarak daha verimli sonuçlar elde edilebilecektir.

Tasarlanan ısı pompalı çamaşır kurutucunun yüksek sıcaklıkta hava sağlayan ve düşük enerji tüketimine sahip olan bir sistem olduğu gözlemlenmiştir. Daha kısa sürede kurutma yapabilmek için tamburun giriş sıcaklığının yüksek ve neminin düşük tutulması gerekmektedir. Tasarlanan sistemde kompresörün çıkışında yüksek sıcaklık elde edilmesinden dolayı, tamburun giriş sıcaklığı daha yüksek bir sıcaklık değerine ulaşabilmektedir. Bu sırada tamburun girişindeki bağıl nem ortalama % 16 mertebesine düşmektedir. Eğer hava debisi daha yüksek değerlerde olursa çamaşırlar daha kısa sürede kuruyacaktır.

Isı kaybının ve hava sızıntısının en önemli olduğu nokta yoğunlaştırucu ve tambur girişi arasındadır. Daha yüksek verim elde etmek için, hava sızıntısı ve ısı kaybını önlemek gerekmektedir. Bunun için sistem yalıtılmalı ve hava kaçakları giderilmelidir.

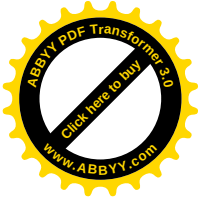
Çamaşırların kurutma süresini düşürmek için hava ile temas eden yüzeyini en yüksek seviyede tutmak gerekmektedir. Bu amaç kapsamında, çamaşırların, tambur içersinde serbest hareket etmeleri sağlanmalıdır. Bundan dolayı da tamburun kapasitesi 7 kg olmasına rağmen daha az çamaşır da daha verimli oluyor.



Bu tür çamaşır kurutma sistemlerinde yapılacak ilerki çalışmalarda aşağıdaki başlıklarda verilen konular ve değişiklikler eklenerek çok daha önemli sonuçlar ortaya çıkarılabilecektir.

- a. Hava hızının ayarlanabildiği, değişken hızlı fan mutlaka sisteme eklenerek ölçümler yapılmalıdır.
- b. Soğutucu akışkan devresinin değişken yapılması ile çok daha etkin incelemeler yapılabilir. Bu çalışmada soğutucu akışkan devesi sadece bir durumda gerçekleştirilmiş ve bn deneyler bu durum için yapılmıştır. Ancak soğutucu akışkan devresinde basınç dolayısıyla sıcaklık değişimleri ölçüm parametrelerine katılabilir.
- c. Soğutucu akışkan yoğuşturucu ve buharlaştırıcı bölümleri kendi başına ayrıca ölçümlere tabi tutularak bunların kendi verimleri incelenebilir.
- d. Çamaşırların bir tambur içerisinde döndürülerek değil de başka pozisyonlarda hava akımına tabi tutulması özellikle çalışılabilir.
- e. Örneğin çok sık aralıklarla dizilmiş çamaşırlar üzerinden hava geçirilerek çok daha az bir hacim, hareketsiz bir tambur, belki prizmatik bir kutu içerisine yerleştirilmiş çamaşırlar şeklinde düzenekler geliştirilebilir.
- f. Isı pompalı çamaşır kurutma sistemlerinin maliyetin yüksek olması ve sistemde kumaş filtresi kullanılmasına rağmen, buharlaştırıcı yüzeyinde tiftik birikmesinin meydana gelmesi önemli bir dez avantaj olarak görülmektedir. Bunun kesin önlenebileceği bir filtre sistemi geliştirilmesi şeklinde sunulabilir.
- g. Bu tür makinelerde mutlaka çamaşır kütlesine bağlı olarak hızlı kurutma, ekonomik kurutma seçenekleri programlara eklenmelidir.

Bu alışma ile çamaşır kurutma makineleri ve bu paralelde soğutma kanalları, ısıtma kanalları, ısı pompaları için sıcaklık, nem ve basınç değerlerinin ölçülebildiği bir laboratuvar ve deney düzeneği ortaya konulmuştur. Bu deney düzeneği ile ele alınan bir ısı pompalı çamaşır kurutma makinesi performans değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların daha sağlıklı ve geliştirilebilir yönleriyle yapılabilmesi için önemli bulguları ortaya koymuştur.



Tasarlanan ısı pompalı çamaşır kurutucunun yüksek sıcaklıkta hava sağlayan ve düşük enerji tüketimine sahip olan bir sistem olduğu gözlemlenmiştir.

Daha kısa sürede kurutma yapabilmek için tamburun giriş sıcaklığının yüksek ve neminin düşük tutulması gerekmektedir. Tasarlanan sistemde kompresörün ıkısında yüksek sıcaklık elde edilmesinden dolayı, tamburun giriş sıcaklığı daha yüksek bir sıcaklık değerine ulaşabilmektedir. Bu sırada tamburun girişindeki bağıl nem ortalama % 16 mertebesine düşmektedir. Eğer hava debisi daha yüksek değerlerde olursa amaşılar daha kısa sürede kuruyacaktır.

Isı kaybının ve hava sızıntısının en önemli olduğu nokta yoğuşturucu ve tambur girişi arasındadır. Daha yüksek verim elde etmek için, hava sızıntısı ve ısı kaybını önlemek gerekmektedir. Bunun için sistem yalıtılmalı ve hava kaçakları giderilmelidir.

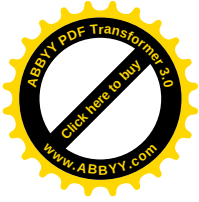
amaşıların kurutma süresini düşürmek için hava ile temas eden yüzeyini en yüksek seviyede tutmak gerekmektedir. Bu amaç kapsamında, amaşıların, tambur içersinde serbest hareket etmeleri sağlanmalıdır. Bundan dolayı da tamburun kapasitesi 7 kg olmasına rağmen daha az çamaşır da daha verimli oluyor.

Isı pompalı çamaşır kurutma sistemlerin dezavantajları ise, maliyetin yüksek olması ve sistemde kumaş filtresi kullanılmasına rağmen, buharlaştırıcı yüzeyinde tiftik birikmesinin meydana gelmesidir. Tüketicilerin dikkate aldığı özelliklerden birisi kurutma sresidir.

İmalatçılar, amaşır kurutma makinelerinde, tüketicilere iki seçenek sunmalıdır:

- i. Hızlı kurutma
- ii. Ekonomik kurutma

Böylece tüketiciler istedikleri modu seçebilirler.



Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında ısı pompalı bir çamaşır kurutucu performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar, sistemin performansının beklenen düzeylerde olduğunu göstermiştir. Firmalarımızın enerji kazancı açısından ısı pompalı kurutma teknolojisine ve geliştirmelere özel önem vermeleri gereklidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

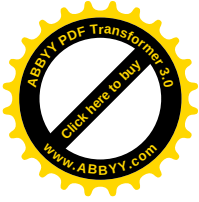
[1] OKTAY Z., “Isı Pompası Destekli Bir Kurutucunun Performansına Etkiyen Etkenlerin Araştırılması”, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve sergisi, Balıkesir üni, Müh. ve Mim. Fak., 1997.

[2] CEYLAN İ. ve AKTAŞ M., “Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Fındık Kurutulması”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 23, No: 1, s. 215-222, 2008.

[3] COŞKUN S., “Isı Pompası Yardımıyla Sürekli Kurutma Sisteminin Simülasyonu”, *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2000.

[4] COŞKUN S., “Kurutma İşlemlerinde Isı Pompası ile Enerji Tasarrufu Sağlanmasının İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 1993.

[5] DURGUN İ., “Isı Pompasının Endüstriyel Uygulamaları”, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.



[6] PALANDRE L., and CLADİC D., “**Comparison of Heat Pump Dryer and Mechanical Steam Compression Dryer**”, International Congress of Refrigeration, Washington, D.C., 2003.

[7] YILMAZ S. ve YAVUZ C., “**Isı Pompası Destekli Kurutma Fırınlarında Kurutma Parametrelerinin Kontrolü İçin Alternatif Bir Yöntem**”, Teknoloji Dergisi, Cilt 9, Sayı 4, s. 237-244, 2006.

[8] COŞKUN S., “**Basit Nem Alıcı Isı Pompalı Sürekli Kurutma Sisteminin Simülasyonu**”, DEÜ Müh. Fak. Fen ve Müh. Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, s. 79-96, 2002.

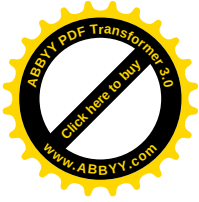
[9] BUSH E., JURG N., “**Tests and promotion of energy-efficient heat pump driers**”, EEDAL, London, 2006.

[10] GANJEHSARABI H., “**Isı Pompalı Çamaşır Kurutucusunun Tasarımının Geliştirilmesi ve Termodinamik Analizi**”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

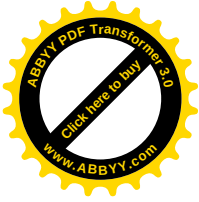
[11] MİRZA M., “**Isı Pompalı Kurutucunun Tasarımı**”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

[12] AMEEN, A.;BARI,S., **Investigation into the Effectiveness of Hea Pump assisted Clothes Dryer for Humid tropics**, Journal of Energy Conversion and Management, 45(10)1397. , 2004.

[13] BANSAL, P.K.; BRAUN,J.E; GROLL,E.A., **Improving the energy efficiencof conventional tumbler clothes drying systems**,.International Journal of Energy Research, 25(9):1315,2001.



- [14] BERGHEL, J.; BRUNZELL, L.; BENGTSSON, P., **Performance analysis of a tumbler dryer**, International Drying Symposium, B,821, 2004.
- [15] BRAUN, J.E.; BANSAL,P.K.; GROLL,E.A., **Energy efficiency analysis of air cycle heat pump dryer**, International Journal of refrigeration, 25, 954, 2002.
- [16] BRUNZELL, L., **Energy Efficient Textile drying**, MS Thesis, Karlstad University, 2006
- [17] OKTAY, Z., , **Testing of a heat-pump-assisted mechanical opener dryer**, Applied Thermal Engineering Volume 23,158-161p, 2003.
- [18] GÜNGÖR, A., MİRZA, M., ÖZBALTA, N., , **Isı pompalı kurutucular**, II. Ulusal iklimlendirme Kongresi.Panel VE Seminerler Kitabı, Yayın No:E/2007/450-2, Antalya, sayfa: 93-132, 2007



ÖZGEÇMİŞ

Pınar DEMİRBAŞ

1985 yılı Kırıkkale doğumludur. 2003 yılında Samsun Tülay Başaran Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden 2008 yılında Makine Mühendisi olarak mezun olmuştur. Aynı yıl içinde Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine hak kazanmıştır. İngilizce bilmektedir.