

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİ ENERJİ
TÜKETİM ANALİZİ**

503051114

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anabilim Dalı: MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ISI-AKIŞKAN

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seyhan Uygur ONBAŞIOĞLU

EYLÜL 2008
1

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİ ENERJİ
TÜKETİM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Tuba KARTAL

Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2008

2

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİ ENERJİ TÜKETİM
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Tuba KARTAL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : Eylül 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : Ekim 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Seyhan Uygur ONBAŞIOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. İsmail TEKE(Y.T.Ü.)

EKİM 2008

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, kondenserli tip çamaşır kurutma makinelerinde enerji tüketimi, sıcaklık, basınç, nem prosesleri teorik ve deneysel olarak incelenmiş; kurutma makinesi komponentlerinin enerji tüketimine, dolayısıyla kondenserli kurutucu performansına etkisi irdelenmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile tez çalışmamın her anına katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve destek olan Arçelik A.Ş. Ar_Ge Direktörü Sn. Cemil İNAN, Ar-Ge Mekanik Teknolojiler-1 Yöneticisi Sn. Fatih ÖZKADI'ya ve Ar-Ge Mekanik Teknolojiler-2 Yöneticisi Sn. Gökhan ÖZGÜREL'e teşekkür ederim. Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, değerli fikirleri ve eleştirileriyle, Sn. Levent AKDAĞ ve Sn. Kemal SARIOĞLU'na, deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı Sn. Nihat KANDEMİR, Sn. Mehmet MARAŞLIOĞLU, Sn. Çetin LALE, Ar-Ge Temizleme Teknolojileri Laboratuvarı ve Ar-Ge Termodinamik Teknolojileri Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans çalışmalarımın tamamlanması amacıyla verdikleri destekten dolayı Arçelik Pişirici Cihazlar İşletmesi Ürün Geliştirme Yöneticisi Sn. Cemalettin KALAYCI ve Mevcut Ürünler Takım Lideri Sn. Oktay İPEK'e çok teşekkür ederim.

Son olarak, tüm hayatım boyunca her daim yanımda olan, her adımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, yaşadığım her olayda ve yaptığım her işte hep yanımda olduklarını hissettiren sevgili AİLEME ve tüm dostlarıma şükranlarımı ve sevgilerimi sunarım.

İstanbul, Eylül 2008

Tuba KARTAL

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	v
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	14
1.1 Giriş	14
1.2 Tez Çalışmasının Amacı	15
1.3 Çamaşır Kurutma Makinesinin Tanıtılması	16
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	20
2.1 Tamburlu Kurutucu Çalışmaları	20
2.1.1 Kondenserli Tip (Kapalı çevrim) Kurutuculara Ait Yapılan Çalışmalar	23
3. DENEYSEL ÇALIŞMALARI	59
3.1 Deney Düzenekinin Tanıtılması	59
3.1.1 Termokupllar	61
3.1.2 Hassas tartı	62
3.1.3 Veri toplama panosu	63
3.1.4 Deney makinesi	64
3.2 Farklı Koşullarda Enerji Bilançosu Ölçümleri	64
3.2.1 Basınç ölçümleri	64
3.2.2 Güç ölçümleri	65
3.2.3 Sıcaklık ve Bağıl nem ölçümleri	66
3.3 Kondenserli Kurutucu Enerji Performansının İyileştirilmesi Çalışmaları	68
3.3.1 LUNA Platformu Kondenserli Kurutucunun Enerji Sınıfı Açısından Değerlendirilmesi	68
3.3.2 LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu Enerji Tüketimi Çalışmaları	73
3.3.3 LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu Enerji Tüketimi Azaltma Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması	83

SONUÇLAR	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	99

KISALTMALAR

ECCP :	European Climate Change Programme
UNFCCC :	The United Nations Framework Convention on Climate Change
EU :	Avrupa Birliği
GEA :	Group of Efficient Appliances
vH&K :	Van Holsteijn en Kemna
NTC :	Negative Thermal Coefficient Thermistor
PCM :	Phase Change Material
RTD :	Resistance Temperature Detector
ATGM :	Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi
LED :	Light Emitting Diode
TS :	Türk Standardı
EN :	Avrupa Standardı
VDC :	Volts Direct Current

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Kurutucu enerji sınıfları deklarasyon tablosu	69
Tablo 3.2: LUNA kondenserli kurutucu deney sonuçları (Enerji bilançosu ölçüm laboratuvarı)	69
Tablo 3.3: LUNA kondenserli kurutuculara ait performans deney sonuçları (*TEMTEK Laboratuvarı)	70
Tablo 3.4: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucunun diğer kondenserli kurutucular ile karşılaştırılması	72
Tablo 3.5: Enerji tüketimi, kurutma sonu nem oranı ve su tutma veriminin LUNA Platformu alternatif deneyleri için değişimi	83
Tablo 3.6: Isıtıcı bölgesi sıcaklık değerlerinin değişimi	85
Tablo 3.7: Proses Havası Kondenser Giriş ve Çıkış Sıcaklık Değişimi (°C)	86
Tablo 3.8: Soğutma havası sıcaklık değişimi (°C)	87
Tablo 3.9: Yüzey ve panel hava sıcaklıkları değişimleri (°C)	88
Tablo 3.10: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi sonuçlarının karşılaştırılması	89
Tablo 3.11: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi ısıtıcı bölgesi sıcaklık sonuçlarının karşılaştırılması (°C)	91
Tablo 3.12: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi proses havası kondenser bölgesi sıcaklık sonuçlarının karşılaştırılması (°C)	91
Tablo 3.13: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi soğutma havası sıcaklık değişimi sonuçlarının karşılaştırılması	92
Tablo 3.14: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi yüzey ve panel sıcaklık sonuçlarının karşılaştırılması(°C)	92

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Kondenserli kurutucu komponentleri.....	18
Şekil 1.2 : Kurutucu kurutma prosesi şematik gösterimi.....	19
Şekil 1.3 : Kurutucu yoğuşma prosesi şematik gösterimi.....	19
Şekil 2.1 : Kondenserli tip kurutucuya ait komponentlerin açık olarak gösterilmesi (Asko Cylinda AB 2006)	21
Şekil 2.2 : Entalpi nem grafiği.....	26
Şekil 2.3 : Kurutma hızının zamana bağlı olarak değişimi.....	28
Şekil 2.4 : Tamburlu kurutucularda kullanılan çeşitli sistemler	32
Şekil 2.5 : Kurutma prosesi için modelleme denklemleri.....	36
Şekil 2.6 : Sensör yerlerinin şematik gösterimi.....	33
Şekil 2.7 : Sıcaklık ve bağıl nem eğrileri.....	34
Şekil 2.8 : Değişik kurutma zamanları için spesifik kurutma oranları.....	35
Şekil 2.9 : Dört deneyde ölçülen iki farklı tekstil malzemesi için kurutma verimliliğinin karşılaştırılması	36
Şekil 2.10 : Dört deneyde ölçülen iki farklı tekstil malzemesi için kurutma verimliliğinin karşılaştırılması	36
Şekil 2.11 : Isı değiştiricisi boyutlarına göre ısı geri kazanımı potansiyelinin analizi	37
Şekil 2.12 : Normal uygulamadaki analiz ve sonuçlar i	37
Şekil 2.13 : Kapalı çevrim tamburlu kurutucu	38
Şekil 2.14 : İdeal kurutma prosesi	39
Şekil 2.15 : Kapalı çevrim tamburlu kurutucu enerji dengesi.....	43
Şekil 2.16 : Açık çevrimli kurutucunun deneysel çalışmada kullanılan sensörlerle birlikte şematik olarak gösterilmesi	41
Şekil 2.17 : Açık çevrimli kurutucunun deneysel çalışmada kullanılan sensörlerle birlikte şematik olarak gösterilmesi	41

Şekil 2.18 : Kapalı çevrimli kurutucunun şematik olarak gösterilmesi.....	42
Şekil 2.19 : Kurutma prosesinde sıcaklık değişimin gösterilmesi.....	43
Şekil 2.20 : Açık çevrimli bir kurutucuda kurutucunun dışını çevreleyen sistemin enerji dengesi	44
Şekil 2.21 : Kapalı çevrimli kurutucular için enerji dengesi	45
Şekil 2.22 : Test sonuçları	47
Şekil 2.23 : Test sonuçları	47
Şekil 2.24 : Tambur ve ısıtıcı arasına yerleştirilen nem ve sıcaklık sensörlerinin gösterilmesi	50
Şekil 2.25 : Kurutma esnasındaki su buharının dağılımı	51
Şekil 2.26 : 5 kg kuru çamaşıra ait enerji dengesi	55
Şekil 2.27 : Bacalı kurutucu şematik gösterimi	56
Şekil 2.28 : Test sonuçları	56
Şekil 2.29 : Farklı giriş havası bağıl nemlerinde Isıtıcı gücü – buharlaşma hızı ilişkisi	55
Şekil 2.30 : Bir tekstil malzemesinde nem içeriğinin gösterilmesi	57
Şekil 2.31 : Test sonuçları.....	60
Şekil 3.1 : Kurutucu deney odası.....	63
Şekil 3.2 : Termokupl bağlantısı.....	63
Şekil 3.3 : Hassas Tartı	61
Şekil 3.4 : Datalogger ve multiplexer, enerji analizörü	61
Şekil 3.5 : Harcanan elektrik enerjisi dağılımı	65
Şekil 3.6 : Kurutma süresi boyunca güç ölçüm sonuçları	66
Şekil 3.7 : Kurutucuda sıcaklık dağılımı 1	67
Şekil 3.8 : Kurutucuda elektrikli ısıtıcı bölgesi sıcaklık değişim	68
Şekil 3.9 : LUNA kondenserli kurutucunun arkadan görünüşü	74
Şekil 3.10 : Isıtıcı etrafının alüminyum folyo ile bantlanması	75
Şekil 3.11 : Kurutucu arka panelinin yalıtım ile kaplanması.....	75
Şekil 3.12 : LUNA Kondenserli kurutucu platformu tambur altı şasisinin üstten görünüşü.....	76
Şekil 3.13 : LUNA Kondenserli kurutucu platformu tambur altı şasisinin cam yünü ile yalıtılıp üzerinin bant ile kaplanmasının üstten görünüşü.....	77
Şekil 3.14 : LUNA Platformu Kondenserli kurutucu için kondenser yalıtımın yapılışı	79
Şekil 3.15 : Arka yataklama çemberi (AYÇ).....	80

Şekil 3.16 : AYÇ Kurutucu arka sacına basan kısım.....	80
Şekil 3.17 : AYÇ tambura basan kısım	80
Şekil 3.18 : Arka yataklama çemberi.....	81
Şekil 3.19 : Arka yataklama çemberinin ön ve arka kısımlarına keçe yerleştirilmesi	81
Şekil 3.20 : Lagerhouse ön yataklama çemberi	82
Şekil 3.21 : Lagerhuse keçesi altına Terra arka keçesinin yerleştirilmesi	82
Şekil 3.22 : Isıtıcı Bölgesi sıcaklık değişimi (Orijinal durum).....	82
Şekil 3.23 : Proses Havası Kondenser Bölgesi Sıcaklıkları (Orijinal Durum)	84
Şekil 3.24 : Soğutma Havası Sıcaklık değişimi (Orijinal Durum)	87
Şekil 3.25 : Yüzey sıcaklıkları değişim grafiği (Orijinal durum).....	88

ÖZET

Beyaz eşya sektöründe enerji sınıflarının önemi, çevresel etkilere daha çok dikkat edilmesi ve tüketici alım kararında enerjinin tüketiciler için daha kritik olmaya başlaması nedeniyle giderek artmaktadır. Yapılan araştırmalar müşterilerin alım kararı verirken ana cihaz fonksiyonlarının yanında düşük enerji tüketimi değerlerine de dikkat etmeye başladığını göstermektedir. Gelişmelere bağlı olarak enerji sınıflarının alt ve üst değerleri devamlı olarak revize edilmektedir. Bu sebeple daha az enerji tüketen cihazların çevresel etkileri daha az olması, daha düşük işletme maliyetleri nedeniyle tüketiciler tarafından daha çok tercih edilmektedir.

Bu çalışmada çamaşır kurutma makinesinin enerji tüketiminin analizine yönelik teorik ve deneysel çalışmalar yer almaktadır. Bu amaçla, öncelikle, çamaşır kurutma makinesinde ısı ve elektrik enerjisinin kullanımı, enerji tüketiminin kurutucu komponentleri ile ilişkisi ile ilgili kapsamlı bir literatür çalışması yapılmıştır. Sonrasında bir makine deney numunesi olarak seçilmiş ve standart deney koşullarına uygun olarak deneysel çalışmalarda en sık kullanılan kurutma programı olan pamuklu dolap kuruluğu programında çamaşır kurutma makinesi sisteminin ayrıntılı sıcaklık, basınç, nem ve güç profilleri çıkartılmıştır. İlerleyen aşamada, farklı nem oranları, debiler ve farklı programlar için enerji tüketimi incelenmiş ve bu koşulların enerji tüketimine etkileri ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur. Çamaşır kurutma makinesinin pamuklu dolap kuruluğu programı için enerji tüketimini değiştirecek çeşitli parametrelerin tüketime ne yönde etki yapacağı incelenmiştir. Sonuç kısmında ise, enerji tüketiminin iyileştirilmesine yönelik öneriler ve enerji kazanımı yönünden gelişmeye açık alanlar ele alınmıştır.

SUMMARY

In household applications, importance of energy labelling increases because of attention to environment factors and energy begins to be a critical factor to decision for consumers buying a machine at last years

In this study, consumption of energy a tumbler dryer which type of condenser was studied theoretically and experimentally. In the experimental part of the study, modifications were done on tumbler dryer and modifications effects on the consumption of energy were made to examine. Temperature, pressure, relative humidity and power effects were made to study also dryer performance.

This study investigates different ways and applications for increasing the energy efficiency of a domestic tumbler dryer machine. First part of this study includes the overview of a domestic tumbler dryer machine, its components and functions. Second part gives general information about the literature on energy recovery and energy consumption drying performance relations in drying machines. In this part there's also experimental data of typical temperature, pressure, moisture and energy profiles of a 6 kg capacity sample tumbler dryer machine including cotton dryer program. Third part of this study, energy consumption and effects of these cases on energy consumption is investigated for different amounts of moisture, flow rate and drying programs. Also in this part, effects of different parameters's investigate on changing consumption of energy for cotton drying programme. And finally, the last part makes a general statement about possible ways for improving the energy efficiency and energy recovery of a domestic tumbler dryer.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Günümüz yaşam koşullarında enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Özellikle elektrik enerjisi kullanımının giderek artması, enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Çamaşır kurutma makinaları özellikle son yıllarda evsel enerji tüketimi içersinde, kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Bu nedenle çamaşır kurutma makinalarının enerji verimliliğini arttıran çalışmalar giderek yoğunlaşmakta ve bu alanda fazla sayıda çalışmalar yapılmaktadır.

Çamaşır kurutma makinalarının pazarlarında satış yoğunluğunu iki tip kurutucu oluşturmaktadır. Bacalı ve kondenserli tip kurutucular. Bacalı kurutucularda, kurutucunun bulunduğu ortamdan alınan hava bir ısıtıcı eleman yardımıyla ısıtılarak tambur içerisindeki ıslak çamaşırlar üzerinden geçirilir, ve nemlenen hava bir baca vasıtasıyla açık havaya atılır. Kondenserli kurutucuda ise havanın dışarı atılmasını engellemek için yoğuşturuculu sistem kullanılır. Yoğuşturuculu sistemin bacalı sistemden temel farkı tüm çamaşır kurutma işlemi boyunca aynı havanın kullanılmasıdır. Nemli havayı yoğuşturmak için ikinci bir hava akımı (dış ortamdan alınan hava, bu hava soğutma havası olarak adlandırılır) kullanılır. Kurutucu havanın yoğuşturucuda soğutulması ile elde edilen su dışarı atılır. Soğutma havası ise ortamdan alınır ve yine ortama verilir. Yoğuşturuculu sistem bacalı sisteme nazaran ek enerji kazancı sağlamaz. Tam tersine istatistiksel analizlere göre ortalama bir yoğuşturuculu kurutucu pamuklu bir kumaşı kurutma sırasında 0,69 kWh/kg enerji tüketirken, bacalı kurutucu 0,65 kWh/kg enerji tüketir. [1] Bu hiç enerji kazanılamayacağı anlamına gelmez. Yoğuşturuculu sistemde hava dışarı atılmadığından yoğuşturuculu kurutucu iç ısıtmaya katkıda bulunur. Şüphesiz enerji kazanımları büyük ölçüde kurutucunun nereye konulduğuna (mutfak, banyo, tavan

arası) göre değişir. Bununla birlikte ısıнын tüm mevsimlerde tam olarak kullanılamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

1.2 Tez Çalışmasının Amacı

Avrupa Birliği direktifleri uyarınca, üretilen çamaşır kurutma makineleri, diğer tüm evsel cihazlarda da uygulandığı üzere enerji etiketi ile piyasaya sürülmektedir. Tüketicuyu yönlendiren bir etkiye sahip olan enerji etiketi üzerinde enerji tüketimi, kurutma performansları, en iyiden en kötüye sıralanacak şekilde A-G harfleri ile ifade edilmektedir. Etiket üzerinde ayrıca kurutma çevrimi başına tüketilen elektrik enerjisi, yoğuşma kabında biriken yoğuşmuş su miktarı ve gürültü değerleri de bulunmaktadır. Çamaşır kurutma makinesinin enerji etiketlemesi EN-60456 standardı uyarınca yapılmaktadır.

Enerji veriminin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar, diğer tüm sektörlerde olduğu gibi beyaz eşya sektöründe de üreticiler arasında önemli bir rekabet doğurmuştur. Daha az enerji tüketerek daha iyi kurutma performansı ile kurutan çamaşır kurutma makineleri için hedef sürekli olarak büyümektedir.

Bu tez çalışmanın amacı, standart kapasiteli ev tipi kondenserli tip çamaşır kurutma makinelerinin mevcut durum enerji bilançolarının deneysel olarak ortaya konması, enerji tüketiminin azaltılmasında gelişmeye açık alanların belirlenmesi ve ısı uygulamalar kullanılarak enerji kazanımının deneysel olarak irdelenmesidir. Enerji tüketiminin nasıl değiştiğine yönelik patentler ve uygulamalar kapsamlı olarak literatür kısmında incelenmiştir. Çalışma kapsamında deneysel çalışmalarda kullanılan 6 kg kapasiteli çamaşır kurutma makinesinde, pamuklu dolap kuruluşundaki kurutma programı için sıcaklık, basınç, nem ve güç ölçümleri yürütülmüş ve makinede bulunan komponentler için çevrim boyunca ayrıntılı sıcaklık, basınç ve nem haritaları çıkarılmıştır.

Deneysel çalışmaların sonuçları kullanılarak enerji tüketiminin azaltılması konusunda neler yapılabileceği ve enerji sınıfını yükseltmek için yapılması gereken mühendislik çalışmalarının neler olabileceği ortaya konulmuştur.

1.3 Çamaşır Kurutma Makinesinin Tanıtılması

Bu tez çalışmasındaki deneylerde kullanılan çamaşır kurutma makinesinin ana komponentlerinin nasıl çalıştığı ve kurutma makinesinin termodinamik ve ısı transferi açısından teorik olarak nasıl çalıştığına ait bilgiler verilmiştir.

Tambur

Tambur tahrik motoru 4 adet plastik vidası ile şasiye bağlanmıştır. Tambur üzerinden poly-V kayışı ile tahrik edilen kurutma makinesinin kayışı bir yay yardımı ile gergin tutulur. Tambur paslanmaz çelikten imal edilmiştir ve n tarafa plastik kaygan yataklar ile arkada ise özel bir yataklama grubu ile arka duvara 6 adet vida ile bağlanmıştır. Isıtıcı arka duvara 2 adet vida ile bağlanmıştır.

Program Cihazı

Program cihazı olarak elektronik bir kontrol kartı kullanılmıştır. Bu kart sabit hızda dönen motoru ve pompayı 3 adet röle (Motor enerji/yn+pompa) ile kontrol eder. Program adımlarını ayarlar. Sıcaklık NTC'ler vasıtası ile ve nemi ise fırça vasıtası ile okur. Bu şekilde ısıtıcıyı çalıştırıp alıştırmamaya karar verir.

Kartlarda her çamaşır kurutma makinesi modeli için farklı bir yazılım kullanılmış ve etiketleri üzerinde u programlar belirtilmiştir.

Sıcaklık Sensörü (NTC)

2 adet NTC sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Bunlardan biri ısıtıcı üzerine, biri ise kapı filtresinden sonra emiş kanalına monte edilmiştir. Sıcaklık yükseldikçe, NTC direnci azalmaktadır. Sabit bir sıcaklıkta NTC her zaman sabit bir toleransta belirli bir direnç göstermektedir. Bu prensip yardımı ile mekanik bir termostop kullanmadan program adımlarını ayarlayabiliriz. Isıtıcı istenilen sıcaklıklara ulaşıncaya kadar çalışır. Bu şekilde seçilen programlara uygun olan sıcaklıklar ve program adımları uygulanmaktadır.

Nem Sensörü

Çamaşırlardaki nem seviyesi tambur kanatları sacı ile tambur arasında direnç ölçümü ile saptanır. Tambur mili üzerindeki kömür sayesinde topraklanır. Diğer taraftan tambur kanadı sacı 2 adet vida ile tambur çevresine sarılı kontak sacına gerilimi iletir. Kontak sacı üzerindeki gerilim ise fırça vasıtası ile kontrol kartına iletilir. Bu şekilde hassas olarak çamaşırlar ekstra kuru veya ütü kuruluğu seviyesinde kurutulurlar. Bu işlem mikro işlemci tarafından yapılır.

Motor

Hareket motoru olarak 2 kutuplu asenkron motor kullanılmıştır. Asenkron motor yaklaşık 2750 rpm ile döner ve 10 mF motor kapasitorüne haizdir. Kontrol kartı tarafından 2 adet röle ile biri yön rölesi ve diğeri ise enerji rölesi olarak kontrol edilmektedir. Motor üzerinde kayışlı bir devir düşürme mekanizması; kayış ömrünü arttırmak ve gerekli momenti tambura aktarmak için kullanılmaktadır. Motor devrini 3 defa düşürmektedir.

Pompa Motoru

Yoğuşturulan suyu su tankına pomaplamak amacı ile 1 adet gölge kutuplu asenkron pompa motor kullanılmaktadır.

Taşma Şalteri

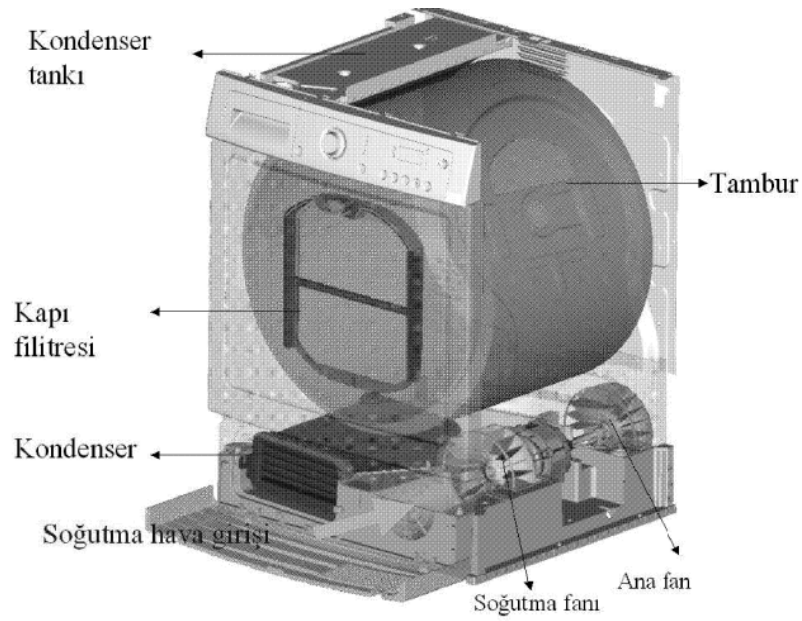
Su depolama tankı dolu olduğunda veya pompa mortu bozulduğunda su deplama haznesindeki su yükselerek şamandıranın şalteri açmasına neden olur. Bu şekilde program durur ve makine sesli ve uyarı verir. Tank boşaltıldıktan sonra tekrar başla/dur tuşuna basılarak, su depolama haznesindeki su 10 sn tanka boşaltılır ve program kaldığı yerden devam eder.

Kondenserli Kurutucu Çalışma Prensipleri

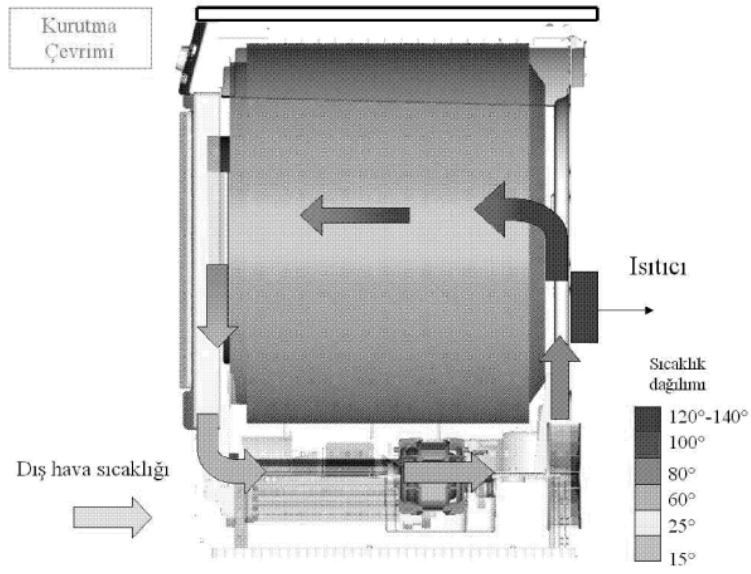
Kondenserli kurutucu makinesi kurutma işlemini kapalı bir çevrimde havayı dolaştırarak yapmaktadır. Aşağıda österildiği gibi ısıtılarak tambur içerisine üflenen hava çamaşır içerisindeki nemi kendi üzerine almaktadır. Bu arada ana fan ile aynı

mil tarafından sürülen soğutma fanı da kondensr (yoğuşturucu) üzerine tamburun içinden emdiği havayı üfleyerek kondenseri soğutmaktadır.

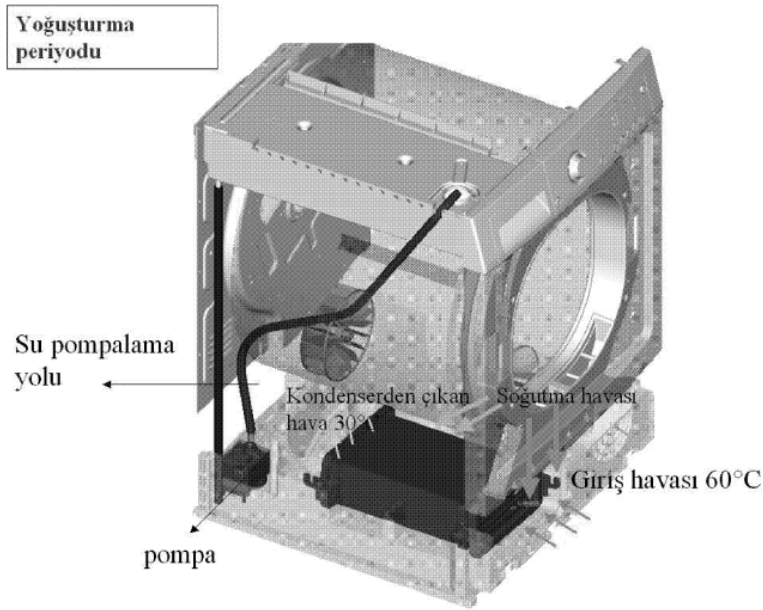
Çamaşır içindeki nemle yüklenmiş hava soğutduğumuz kondenser üzerinde nemini bırakmaktadır. Kondenserde yoğuşan su ise pompa haznesinde toplanarak kondenser tankına pompalanmaktadır.



Şekil 1.1 Kondenserli kurutucu komponentleri



Şekil 1.2 : Kurutucu kurutma prosesi şematik gösterimi



Şekil 1.3 : Kurutucu yoğuşma prosesi şematik gösterimi

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Son yıllarda enerji tüketiminin önem kazanması ve kurutucununda en büyük dezavantajlarından biri olan enerji tüketiminin yüksek olması sebebi ile birlikte kurutucunun enerji tüketim değerlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar artmış ve kurutucuların deklare edildiği enerji sınıfları da yükselmeye başlamıştır. Enerji konusunun öneminin artması ile birlikte bu konuya ait literatürdeki çalışmalar artmaya başlamaktadır.

Tez çalışmasının konusu kondenserli tip kurutucular olduğu için ve tez çalışması kapsamında kondenserli tip kurutucuların enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapıldığı için literatür araştırmasında diğer tip kurutuculara ait araştırmalar ayrıntılı olarak anlatılmamıştır.

2.1 Tamburlu Kurutucu Çalışmaları

Literatür araştırması yapılırken gözlemlenmiştir ki kondenserli tip kurutucular hakkında yapılan çalışmalar az sayıdadır. Genel olarak literatürde yapılan araştırmalarda kurutucular sınıflandırılırken kapalı çevrimli ve açık çevrimli kurutucular olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Ön bilgilendirme olarak kurutucular hakkında kimlerin ne gibi ve hangi tip kurutucular için çalışma yaptıklarının özeti kısaca aşağıda sunulmuştur.

Bilindiği gibi günümüzde piyasada iki farklı tipte tamburlu kurutucu kullanılmaktadır. Bu kurutucular açık çevrimli (Air vented-bacalı) ve kapalı çevrimli (kondenserli) kurutuculardır. Açık çevrimli kurutucularda çamaşırlar üzerindeki sıcak hava bir baca vasıtası ile boşaltılmaktadır. Bu şekilde kurutucunun bulunduğu odada kabul edilebilecek bir sıcaklıkta kalmaktadır. Eğer ekstra ısıtma yani bir

önceki gibi bir oda koşulu sabit kalmayacak ise kapalı tipteki tamburlu kurutucular tercih edilmektedir. Kurutucuya verilen tüm enerji odaya transfer edilmektedir. **Kapalı çevrimli kurutucular** ısıнын kurutucunun kullanıldığı bölümde tutulmasından dolayı **iklimin soğuk olduğu bölgelerde tercih edilmektedir**. Kapalı çevrimli kurutucunun ana komponentlerin gösterildiği bir resim aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. (Bkz. Şekil 2.1)



Şekil 2.1 : Kondenserli tip kurutucuya ait komponentlerin açık olarak gösterilmesi
(Asko Cylinda AB 2006)

Açık Çevrimli kurutucular (Bacalı Tip Kurutucular) için yapılan literatür araştırmaları

Literatür araştırmasında enerji tüketimini azaltmaya yönelik olarak yapılan çalışmalar genel olarak incelenmiştir. Bu konuyla ilgili çalışma sayısı diğer dayanıklı tüketim malları olan çamaşır makinesi, fırın ve buzdolabına göre daha az sayıdadır.

Enerji tüketimini azaltmaya yönelik bilinen ilk çalışma 1970 lerde Kionka ve Ruiter [1] tarafından açık çevrimli (bacalı) kurutucular için yapılmış olan çalışmadır.

Tamburlu kurutucular alanında en fazla çalışmaya sahip olan Bassiliy ve Colver [2] tarafından 2003 yılında yapılmış olan çalışmada elektrikli çamaşır kurutma makinelerinde performans analizi incelenmiştir. Bu çalışmada kurutucularda suyun kütle transfer sayısının arttırılması için fan ve tambur hızı ile ısıtıcı gücünün optimum ayarlanması ve kaçakların azaltılması ile sağlanabileceği gösterilmiştir. Yapılan optimum ayarlamalarla kurutucuda enerjinin kullanımı ve kurutma zamanı ile ilgili büyük gelişmeler elde etmişlerdir.

Enerji performansının iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalardan Deans ve Bansal'ın [3] 2001 yılında yaptıkları çalışmada oda sıcaklığı ve bağıl neminin enerjinin kullanımına öncelikli etki ettiğini saptamışlardır.

Deans'ın [4] 2001 yılında yaptığı farklı bir çalışmada ısıtıcı gücünün arttırılması ile birlikte enerji tüketiminin ve kurutma zamanının azaltıldığını bulmuştur.

Hekmant ve Fisk 'in [5] 1984 yılında yaptıkları çalışmada içerde dolaşan hava debisinin azaltılması ve ısıtıcı gücünün azaltılması ile birlikte açık çevrimli kurutucularda %8 oranında enerji korunumu sağlandığı görülmüştür.

Kurutucuya giren havadaki bağıl nemin azaltılması ile birlikte kurutma hızı arttırılarak kurutma zamanı kısaltılmıştır. Yapılan bu çalışma açık çevrimli kurutucu olan bacalı kurutucular için 2005 yılında Berion & Brunzell [6] tarafından yapılan bir çalışmadır. Genel olarak ele alındığında kurutma hızı ve enerji kapasitesi hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmadan elde edilen bulular **ısıtıcı gücünün belli bir değere azaltılması veya ayarlanması ile birlikte kurutucu sistemi daha az enerji tüketecektir.** Bununla birlikte kurutma zamanı azaltılacaktır. **Ortam şartlarına ve yüke göre ısıtıcı gücünün ayarlanması bir kontrol stratejisidir.** Buradaki dezavantaj kurutma yükü ve bu yükün nem içeriği bilinmemektedir ve zamana bağlı olarak değişmektedir.

Kapalı Çevrimli Kurutucular (Kondenserli tip kurutucular) için yapılan literatür araştırmaları

Tamburlu tip kurutucularda enerji tüketimini azaltmanın bir diğer yolu ise ısı geri dönüşümlü ısı değiştiricileri kullanmak veya havayı tekrar sirküle ettirmektir. Kapalı

tip kondenserli kurutucularda olduğu gibi hava kondenserin içinden geçirilmeli ya da eksoz edilen hava tekrar direk olarak ısıtıcı içerisine gönderilmelidir. Conde ‘un 1997 [8] yılında yaptığı çalışmada % 100 resirküle eden kapalı tipteki kurutucularda spesifik enerji tüketiminin kullanımı açık çevrimli olan kondenserli tipteki kurutucularla karşılaştırılmıştır.

Kapalı tip kondenserli kurutucularda yk başına harcanan enerji (spesifik enerji) tüketimi açık çevrimli tip kurutucularla karşılaştırıldığında daha fazladır. Berghel ‘in [7] 2004 yılında yaptığı çalışmada kurutucuda saptanan kaçakların spesifik enerji tüketimine negatif etki ettiği görülmüştür. Tambur ve ısıtıcı arasında önemli oranlarda kaçak olduğu gözlemlenmiştir.

Bansal, Braun ve Groll [9] tamburlu tip kurutucularda genel olarak ısı geri kazanımının nasıl olabileceğine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ısı değiştirgeci kullanarak ısı geri kazanımının geliştirilmesi ele alınmıştır.

2003 yılında Bassily ve Colver’ in [2]yaptıkları çalışmada tambur yalıtımı ile kaçakların azaltılmasının sağlandığı bir çalışma sunmuşlar ve aynı zamanda bu çalışmada enerji veriminin artırılmasına yönelik yapılan bir çok amaç sunulmuştur. Bu yapılan çalışmanın çoğunluğunu bacalı tip kurutucular kapsamaktadır. Buna karşılık çok az sayıda kondenserli tip kurutucuya yönelik sonuçlarda bulunmaktadır. Yapılan çalışmada kondenserli tip kurutucular için elde edilen sonuçlar deneysel ağırlıklıdır.

Tamburlu tip kurutuculara ait yapılan en kapsamlı çalışmalardan biri Lena Brunzell’in [9] 2006 yılında yayınladığı doktora tez çalışmasıdır. Bu çalışmada spesifik enerji tüketiminin azaltılmasının yönleri araştırılmıştır.

2.1.1 Kondenserli Tip (Kapalı evrim) Kurutuculara Ait Yapılan alışmalar

2.1.1.1 Kurutucu Sistemine Ait Modelleme alışmaları

Kondenserli tip kurutuculara ait yapılan çalışmaları deneysel, terik ve modelleme alanında 3 ana parçaya ayırabiliriz. Kodenserli tip kurutucularda çamaşırlar (tekstiller) zerindeki nemin alınması teorik açıdan en önemli kısmı oluşturmaktadır.

Kurutucularda amaşırlar üzerinde nemin nasıl alındığı ve termodinamik açıdan nasıl bir mekanizma ile bu işlemin sağlandığı bu bölümde anlatılacaktır.

Çamaşırlar zerindeki nemin alınmasında nem içeriğı X, tekstildeki su oranının, m_{H_2O} , kuru tekstil ağırlığına, m_{tekstil} , oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$X = \frac{m_{H_2O}}{m_{\text{tekstil}}} \quad (2.1)$$

Çamaşırların içediğı nem miktarında çamaşırın yapısına ve malzeme çeşidine göre büyük farklılıklar bulunmaktadır. Bir tekstil ürünü hidrofilik (su sever) veya hidrofobik (su sevmez –su geçirmez) olabilir. Su sever malzemeler suyu absorbe ederken hidrofobik su sevmez malzemeler suyu absorbe etmezler. [10,11]2005 haghi, 2006 haghi

Çamaşırlar nemli havaya maruz kalıyorsa bir noktada dengeli bir nem içeriğine (Denge Nem içeriğı (Equilibrium Moisture Content)) ulaşırlar. Bu nem içeriğı havanın bağıl nemine, sıcaklığına ve çamaşır malzemesinin yapısına bağılı olarak değışmektedir. Denge halindeki nem içeriğı hava sıcaklığının düşürölmesi ile birlikte artar. Dengedeki nem içeriğı kütle transferi hesaplamalarında dinamik kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. [12]1995 keyy

Açık çevrimli kurutucularda tekstillerin kurutulmasında hava kurutma ortamı olarak kullanılmaktadır. Hava normal olarak içerisinde belirli miktarda su buharı içermektedir. Islak bir malzemeyi kurutulması sonucunda hava nemlenmektedir. Maksimum su buharı miktarı hava sıcaklığına ve buhar basıncına bağılı olarak değışmektedir. Su buharlaşma ile kaldırılmaktadır. Sıvının buharlaşması için nemin kaynama noktası sıcaklığına ulaşması gerekmektedir. Kurutma esnasında hava içerisindeki su buharlaşma ile birlikte sıvı fazdan buhar fazına geçmektedir.

Kurutma hızına iki parametre etki etmektedir. Bu parametreler hava sıcaklığı ve havanın nemidir. Nemi bağıl ve spesifik nem olarak tanımlayabiliriz. Spesifik yani **özgül nem x**, hava içerisindeki su miktarı olarak tanımlanmaktadır. **m_v su buharının kütlesi** ve **m_A kuru hava kütlesi** olarak tanımlanırsa;

$$x = \frac{m_v}{m_A} \quad (2.2)$$

elde edilir.

Kuru hava ve su buharı her ikisi de ideal gaz olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda ideal gaz bağıntılarının kullanılması, hava ve suyun hacim ve sıcaklıklarının aynı alınması ile birlikte 2 numaralı denklem şu şekilde ifade edilmektedir.

$$x = \frac{M_v}{M_A} \frac{p_v}{p_A} \quad (2.3)$$

Bu denklemde **p_v su buharının kısmi basıncını** **p_A ise havanın kısmi buhar basıncını** göstermektedir. Suyun molar kütlesi **M_v 28.96 kg/kmol** havanın molar kütlesi **M_A ise 18.01 kg/kmol** alınarak 3 numaralı denklem tekrar yazılırsa

$$x = 0.622 \frac{p_v}{p_A} \quad (2.4)$$

elde edilir.

Bağıl nem, **Φ** kısmi buhar basıncının aynı sıcaklıkta havanın doymuş buhar basıncına oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\phi = \frac{p_A}{p_v^0} \quad (2.5)$$

Su buharı ve hava karışımının toplam basıncının kısmi basınçlar cinsinden yazılması ile birlikte spesifik (özgül) nem için yeni bir bağıntı daha elde edilebilir.

$$x = 0.622 \frac{\phi p_v^0}{p - \phi p_v^0} \quad (2.6)$$

Bağıl nemin düşürülmesi ile birlikte havanın su buharı absorbe etme kabiliyeti artmaktadır. Bu olay hava sıcaklığının artırılması ile birlikte de sağlanabilir.

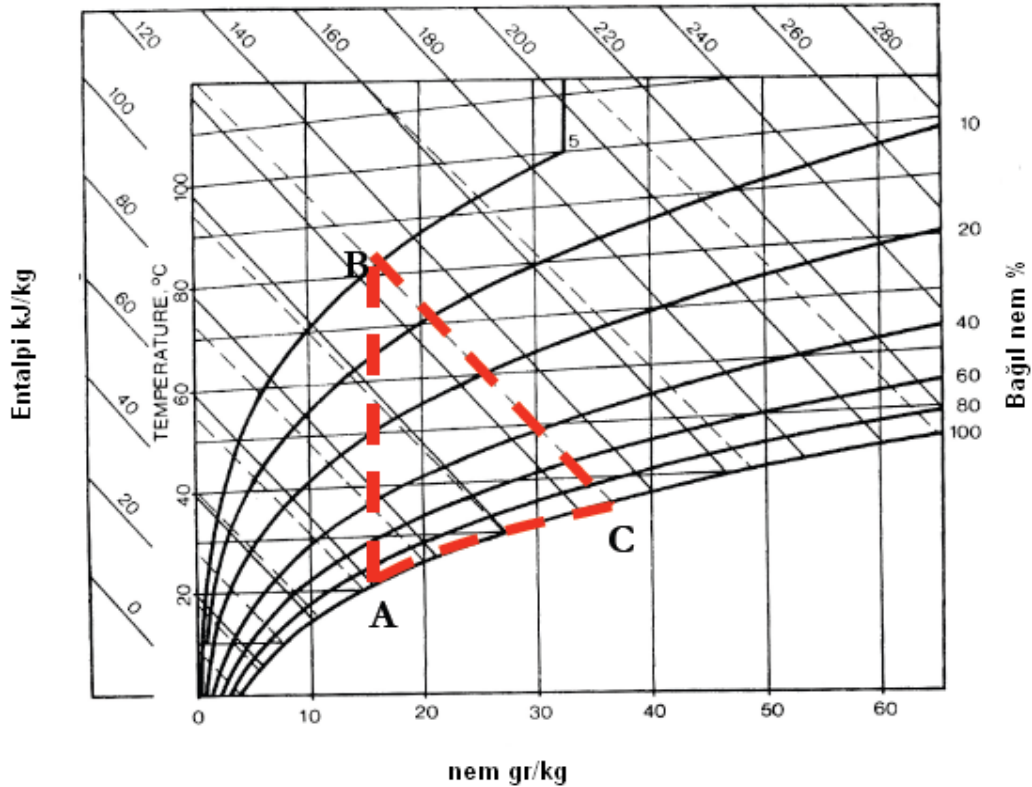
Kuru havanın entalpisi **spesifik ısı kapasitesi** (c_{pA}) ile hesaplanabilir. Tahmin edilen **entalpi** i_A , T ise **sıcaklığı** göstermektedir. Kuru hava için entalpi şu şekilde ifade edilebilir.

$$i_A = c_{pA} T \quad (2.7)$$

-10 ve 50 °C arasında ideal gaz bağıntılarından su buharı için doğru bir yaklaşım ile entalpi hesaplanabilmektedir. Su buharının toplam entalpisinin hesaplanabilmesi için gizli ısıda hesaba katılmalıdır. Referans sıcaklık T_0 genellikle **0°C** de ki gizli ısı **2501.3 kJ/kg** kullanılmaktadır. $i_{fg0°C}$; nemli hava entalpisi i , hava içerisindeki su buharının entalpisi ve kuru hava entalpisinin toplamı olarak hesaplanmaktadır.

$$i = c_{pA} T + x(c_{pv} T + i_{fg0°C}) \quad (2.8)$$

Kurutma prosesini entalpi-nem grafiğinden de takip edebiliriz. (Bkz. Şekil 2.2) Bu grafik sıcaklık, entalpi, özgül ve bağıl nem arasındaki bağıntıları göstermektedir.



Şekil 2.2 : Entalpi nem grafiği

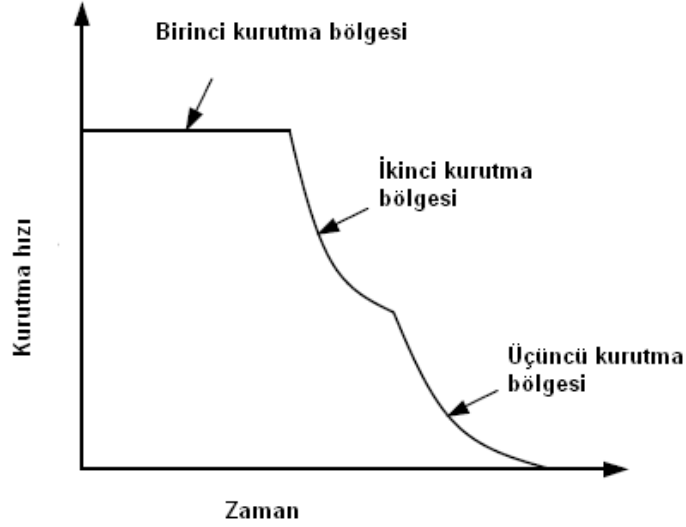
Havanın A dan B ye ısıtılması sabit özgül entalpide gerçekleşmektedir. Isıtılan hava düşük bağıl nemde B noktasında ıslak malzeme ile karşılaşır ve böylece nemlenmiş olur buradan ideal olarak izentalpik olarak C noktasına soğutulmaktadır. Böylece yaş termometre sıcaklığına yaklaşmaktadır. C ve A noktaları arasında nemli havanın kondenserde nemi alınmaktadır. Burada özgül nem azalırken bağıl nem yaklaşık olarak %100 olarak ideal bir proses için kalmaktadır. Açık çevrimli kurutucularda C ve A arası açık kalmamaktadır. Kurutucuya giren hava A da tanımlanır ve C de ise eksoz edilir.

Şekil 2.2 ‘deki proses ideal bir prosesi tanımlamaktadır. Gerçekte B ve C noktaları arasında tambur üzerinden ısı kaybı olduğu için entalpi azalmaktadır. Sistem içerisine kaçak olması A, B, C noktalarının da yerini değiştirmektedir. Eğer hava farklı sıcaklık ve nemde karışırsa grafikte farklı bir nokta elde edilir.

Kurutma hızını geliştirmek amacı ile B ve C arasındaki spesifik nem içeriği olabildiğince yüksek olmalıdır. Bu durum B noktasında sıcaklığın artırılması ve C ve A noktaları arasındaki kapalı çevrimde kondenser giriş çıkışı arasındaki bağıl nemin artırılması ile gerçekleştirile bilinmektedir.

Kurutucudaki her bir komponentin birbiri ile bağıntısı bulunmaktadır, bu nedenle de kurutucuyu bir sistem olarak ele almak gerekir. Eğer temel kinetik hesaplar yapılarak psikrometrik diyagramda noktalar işaret etmeye çalışılırsa yanlış yerlere gelinebilir. Bunun bir nedeni de psikrometrik diyagramın anlık resim çekmesidir ve zamanın bu diyagramda bir parametre olmamasıdır.

Kurutma prosesi boyunca dolaylı olarak ürün üzerinden ölçülen nem içeriği yardımı ile kurutma hızı belirlenmektedir. Kurutma prosesi boyunca kurutma hızı çalışıldığında en az iki adet kurutma bölgesi elde edilmektedir. Bu bölgelerden biri hemen hemen sabit bir kurutma hızının olduğu bölge iken, diğeri kurutma hızının düştüğü bölgedir. Higroskopik (nem absorbe eden) gözenekli malzemelerde (çamaşırlar gibi) kurutma hızının düşüşü iki farklı bölgede olmakta böylece toplamda kurutma hızı üç farklı bölgeye ayrılmaktadır. Aşağıdaki şekilde bir tekstil malzemesi için tipik bir kurutma hızı eğrisinin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Kurutma hızının zamana bağlı olarak değişimi

Sabit kurutma hızı bölgesi boyunca kontrolsüz olan nem kaldırılır. İdeal olarak tekstil veya malzeme yüzeyinin tamamı ile su ile kaplı olduğu düşünülmektedir. Sabit kurutma hızının olduğu bölgede malzeme üzerinde olan bu suyun alındığı bilinmektedir. Kurutma hızının sabit olduğu birinci bölgede malzeme sıcaklığı kuru havanın yaş termometre sıcaklığına yakın olmakla birlikte hemen hemen sabittir. Hava-su ara yüzeyindeki suyun ve su buharının kaldırılmasında yayılım hızı çevreleyen hava tarafında bu bölgede kontrol edilmektedir. (Mujumdar&Menon 1985) [13]

Sabit kurutma hızı periyodunun sonunda su malzemeden yüzeye transfer edilmektedir. Kritik nem içeriği yüzeyde kuru noktalar görülmeye başlamadan henüz önceki zamanda belirlenir. Daha sonra kurutma hızı azalmaya başlayacak ve ikinci ve üçüncü kurutma hızı bölgeleri olan kurutma hızı düşüş bölgeleri başlayacaktır.. İkinci kurutma bölgesi sıvı filminin yüzeyde tamamı ile buharlaşması ile bitmektedir. Üçüncü kurutma bölgesi çamaşır üzerindeki suyun tamamı ile dağılmasını ifade eder ve en baskın periyottur. Çamaşırın sıcaklığı düşen kurutma hızı periyodu boyunca havanın kuru termometre sıcaklığına doğru yükselir. Bu periyot boyunca içerdeki nem hareketi kontrol mekanizması olarak görev yapmaktadır. [14]

Çamaşır kurutma makinelerinde çamaşırlar üzerindeki nemin nasıl oluştuğu ve termodinamik açıdan neler ifade ettiği belirtildikten sonra bu kısımda kurutma mekanizması esnasında meydana gelen ısı ve kütle transferi ele alınacaktır.

Çamaşırın yüzeyinde kurutma esnasında aynı anda ısı ve kütle transferi meydana gelmektedir. Havadan kurutma yüzeyine doğru ısı transferi ve kurutulan yüzeyden onu çevreleyen havaya doğru kütle transferi meydana gelmektedir. Yüzeyde ve yüzey üzerinde hareket eden akışkan arasında konveksiyonla ısı hareketi meydana gelmektedir. Burada ilk olarak sabit kurutma hızı periyodu süresinde malzeme yüzeyindeki kontrolsüz nem buharlaşmaktadır.

Konveksiyonla olan ısı transferi şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$\frac{dQ}{dt} = \bar{h} A (T_A - T_S) \quad (2.9)$$

Burada dQ/dt ısı transfer hızını, $\bar{h}$ [W/m^2K] yüzeydeki ortalama ısı transfer sabitini, A yüzeyi, T_S malzeme yüzey sıcaklığını ve T_A ise hava sıcaklığını göstermektedir. Kontrolsüz suyun buharlaşması esnasında yüzey sıcaklığı havanın yaş termometre sıcaklığına yakın bir değerdedir. [14]

İletimle kütle transferini de benzer bir denklemle simüle etmek mümkündür. Burada yüzeyden su buharının toplam molar transfer oranı, dN_v/dt [$kmol/s$],

$$\frac{dN_v}{dt} = \bar{h}_m A (C_{v,A} - C_{v,S}) \quad (2.10)$$

olarak tanımlanır. Bu denklemde $\bar{h}_m$ [m/s] ortalama iletimle kütle transfer sabitini, $C_{v,A}$ çevreleyen havadaki su buharının molar konsantrasyonunu, $C_{v,S}$ [$kmol/m^3$]

katı yüzeyindeki molar konsantrasyonu ifade etmektedir. Sabit kurutma hızı boyunca kurutma hızı ısı ve kütle transfer katsayıları, kurutma havasının sıcaklık ve bağıl nemi arasındaki farklılık ve ıslak malzeme yüzeyi ile kontrol edilmektedir. [14]

Yüzeydeki ortalama taşınım katsayısı malzeme geometrisine ve akış koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Isı transfer katsayısı, $\bar{h}$, ortalama **Nusselt sayısı** ile hesaplanabilmektedir.

$$\bar{Nu} = \frac{\bar{h} L}{k_A} = f(Re, Pr) \quad (2.11)$$

Burada k_A havanın ısı iletim katsayısını göstermektedir. **L ilgili yüzeyin karakteristik uzunluğunu** göstermektedir. **Nu** sayısı taşınım ile olan ısı transferinin sınır tabakadaki iletimle olan ısı transferine oranı olarak tanımlanmaktadır ve **Re** ile **Pr** sayısının fonksiyonudur. **Pr sayısı** termal kalınlık ve hız ile bağlantılıdır. **Pr** sayısının 1 olması durumunda sınır tabakada termal kalınlık ve hız birbirine eşittir. Eğer **Pr sayısı 0.7** olarak alınırsa kütle transfer katsayısı h_m **Sherwood** sayısından hesaplanmaktadır.

$$Sh = \frac{\bar{h}_m L}{D_{AS}} = f(Re, Sc) \quad (2.12)$$

Bu denklemde D_{AS} difüzyon katsayısıdır. **Sh, Re ve Schmidt** sayılarının fonksiyonudur. **Sc** sayısı sınır tabakadaki hız ve konsantrasyon kalınlığının fonksiyonudur. **Bassiliy ve Colver (2003b)** yaptıkları çalışmada tamburlu tip kurutucular için **Sherwood** sayısı ile ilgili olarak deneysel sonuçlara dayanan bir korelasyon bulmuşlardır. [2]

Bi sayısı kurutma hızının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Isı transferinde Bi sayısı

$$Bi = \frac{hL}{k_s} \quad (2.13)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada h taşınım katsayısı L yarı malzeme kalınlığı ve k_s ise katılarda termal iletkenlik olarak tanımlanmaktadır.

Kütle transferinde de Bi sayısına benzer bir sayı kullanılmaktadır.

$$Bi_m = \frac{h_m L}{D_{AS}} \quad (2.14)$$

Bu denklemde ise ısı transferi denkleminde benzer şekilde h_m kütle transferi taşınım katsayısı ve D_{AS} difüzyon katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

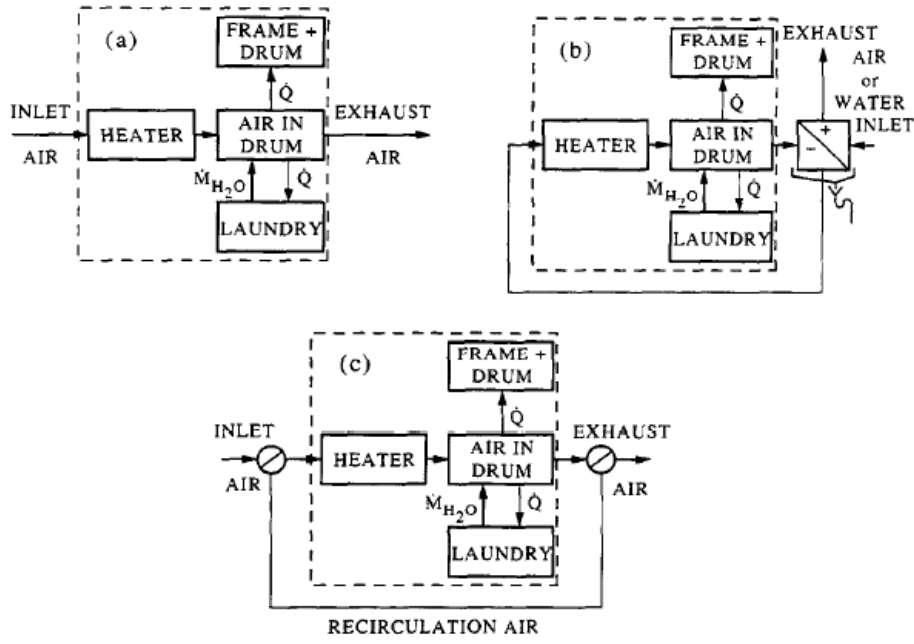
Eğer **Bi** < **0.1** ise ısı transferinde iç direnç ihmal edilebilir. Burada taşınım ile olan ısı geçişinin iletimle olan ısı geçişine oranının daha az olduğunu ifade etmektedir.

Kritik nem içeriği veya azalan kurutma hızı periyodunun başlangıcında havanın hızı gibi dış etkenlerden kurutma hızı daha az etkilenmektedir. Oysa iç faktörler malzeme içerisindeki nem geçişine bağlı olduğu için daha büyük bir etkiye sahiptir. Haghi'nin 2006 yılında yaptığı çalışmaya göre çamaşır içerisindeki nemin geçişi kurutma işlemi boyunca serbest olmayan suyun kapileri akışı (Capillary flow of unbound water), serbest suyun akışı (Movement of bound water) ve buhar transferi (Vapour transfer) gerçekleşmektedir. [11]

Geleneksel tamburlu kurutucularda ısı geri dönüşümlü ısı değiştiricileri kullanılarak enerji tüketiminde iyileşmeler elde edilmiştir.[18]

Günümüzde üç farklı tamburlu kurutucu sistemi kullanılmaktadır. Açık çevrimli sistemde (şekil 1-a) ortam havası ısıtıcıdan geçirilerek ısıtılır, tamburdan geçerken çamaşırlardan nem yüklenir ve nemli hava genellikle dışarı atılır. Kapalı çevrimli sistemde (şekil 1-b) tamburdan çıkan nemle yüklü hava soğutulur ve proseste biraz nemini bırakır, sonra tekrar ısıtıcıya ve oradan da tambura gönderilir. Bu sistemde dışarıda hava kanalları yer almaz ama makina içinde ısı değiştiricisi gereklidir.

Bu iki sistemin haricinde şekil 1-c'de kısmi çevrimli sistemde genelde nem gidermek için ısı değiştiricisi yoktur.



Şekil 2.4 : Tamburlu kurutucularda kullanılan çeşitli sistemler

$$\left[\frac{\dot{M}_{da}}{M_L} \right] \times (\omega_{ao} - \omega_{ai}) = \left[\frac{A_L}{M_L} \right] \times \frac{[\beta]}{R_v \bar{T}_L} \times \{a(X, \bar{T}_L) \times p_s(\bar{T}_L) - p_{p,a}\} \quad (1)$$

$$\left[\frac{\dot{M}_{da}}{M_L} \right] \times (h_{ao} - h_{ai}) = \left[\frac{A_L}{M_L} \right] \times \frac{[\beta]}{R_v \bar{T}_L} \times \{a(X, \bar{T}_L) \times p_s(\bar{T}_L) - p_{p,a}\} \\ \times \{I_{fg}(\bar{T}_L) + C_{pV} \times (T_{ao} - \bar{T}_L)\} + (C_{pL} + C_{pH_2O} \times X) \times \frac{dT_L}{dt} + \left[\frac{\dot{Q}_L}{M_L} \right] \quad (2)$$

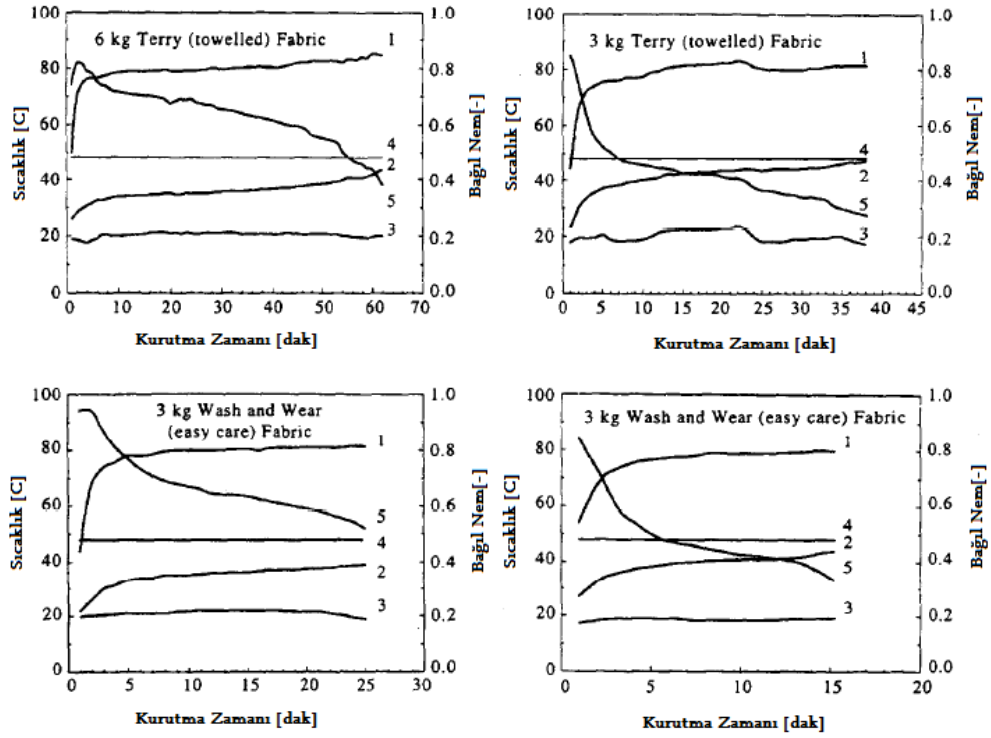
Şekil 2.5 : Kurutma prosesi için modelleme denklemleri

Kurutma prosenin basit modellenmesi;

Kurutma prosenin modellenmesinde iki denklem yer alır; biri kütle korunumu (1), diğeri enerji korunumudur (2).

(1) ve (2) denklemlerinde köşeli parantezlerdeki terimler tekstil karakteristiklerini veya prosesin parametrelerini temsil eder.

Kurutmayı sağlayan mekanizma ise çamaşırdaki suyun mevcut buhar basıncı ile kurutma havasının kısmi su buharı basıncı arasındaki farktır.



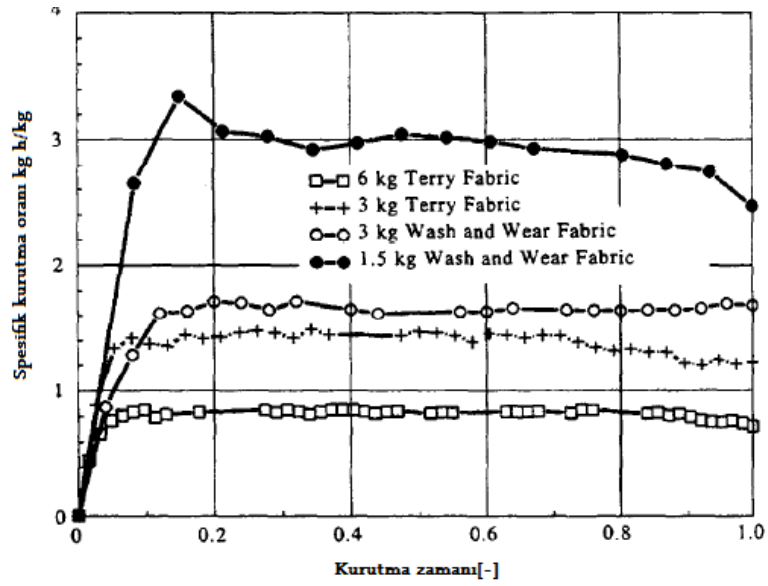
Şekil 2.7 : Sıcaklık ve bağıl nem eğrileri

(1)Tambur girişindeki hava sıcaklığı; (2)Tambur çıkışındaki hava sıcaklığı;(3)Ortam havası sıcaklığı; (4)Ortam havası bağıl nemi; (5)Tambur çıkışında havanın bağıl nemi

Ölçülen hava debisi oranları için önemli oranda belirsizlik vardır. Ortalama değer olarak 250 m³h⁻¹ dikkate alınmıştır. Bu standart 6 kg kuru çamaşır yükü için tahminen 50 kg^h-1 hava/kg kuru çamaşır ‘a tekabül etmektedir.

Ölçümlerin analizleri göstermiştir ki kurutma adyabatik koşullar altında gerçekleşmektedir (havanın entalpisi ancak tambur girişinden çıkışına kadar değişir). Kayıplar tambur ve şasiden olmakta fakat giriş-çıkıştaki hava entalpisini belirli oranda değiştirmemektedir. Hava kaçağı, hava debisinin ölçülmesinde belirsizlik faktörü olmaktadır. Fan, tamburdan emme veya tambura basma yönünde yerleştirilebilir. Emme olarak yerleştirilirse, ortam havası ısıtıcıya gitmeden tambura emilebilir (hava sıcaklığını düşürerek kurutma işini yavaşlatır) ; basma olarak yerleştirilirse, ısıtıcıdan ısınarak çıkan havanın tambura girmeden kaçma problemi

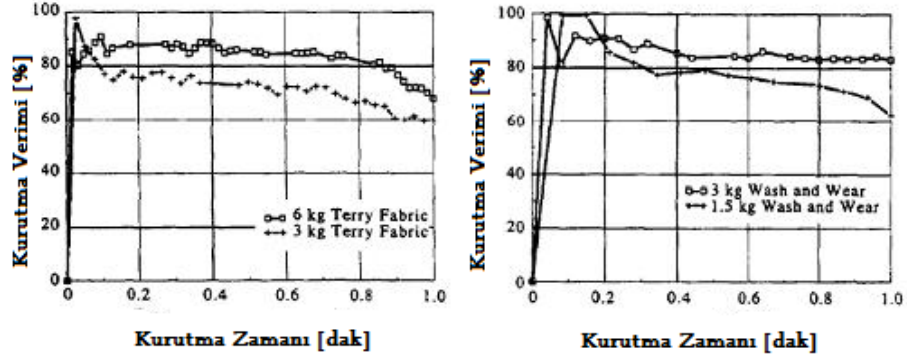
ortaya çıkar. Mevcut kurutma oranı sabit giriş sıcaklığındaki çamaşırın yüzey alanı ve akışla orantılıdır.



Şekil 2.8 Değişik kurutma zamanları için spesifik kurutma oranları

Kurutma prosesinin adyabatik olarak ilerlediği düşünülürse, kurutma havası tarafından alınabilecek maksimum su miktarı, termodinamiksel olarak tambur girişindeki havanın yaş termometre sıcaklığı ile sınırlıdır. Böylece prosesin kurutma verimliliğini hava kaçaklarını ihmal ederek şöyle tanımlayabiliriz;

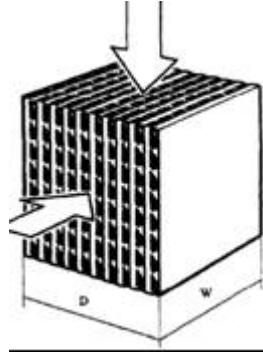
Şekil 2.20'de tambur içindeki çamaşır yüküne bağlı olarak kurutma verimliliğinin değişimi gösterilmektedir (tambur içindeki çamaşır yükü arttıkça verimlilik yükselmektedir).



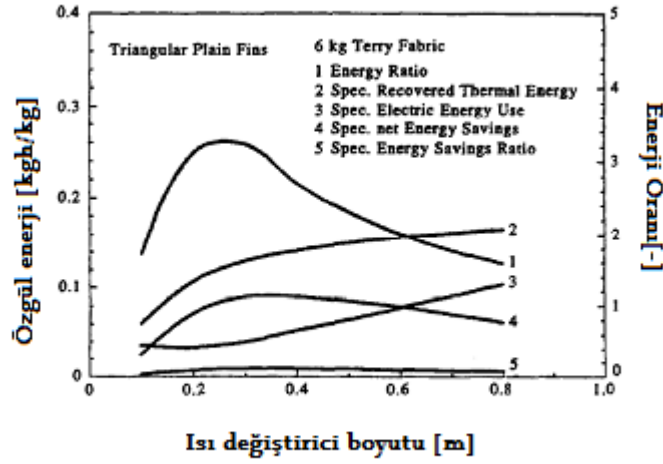
Şekil 2.9 : Dört deneyde ölçülen iki farklı tekstil malzemesi için kurutma verimliliğinin karşılaştırılması

Bunun anlamı, “tambur hacmi/kuru çamaşır ağırlığı(kg)” oranı tambur dizaynının optimizasyonunda önemli bir parametredir. Bu arada nominalden düşük yüklerin kurutulması işleminde spesifik enerji tüketimi artacaktır.

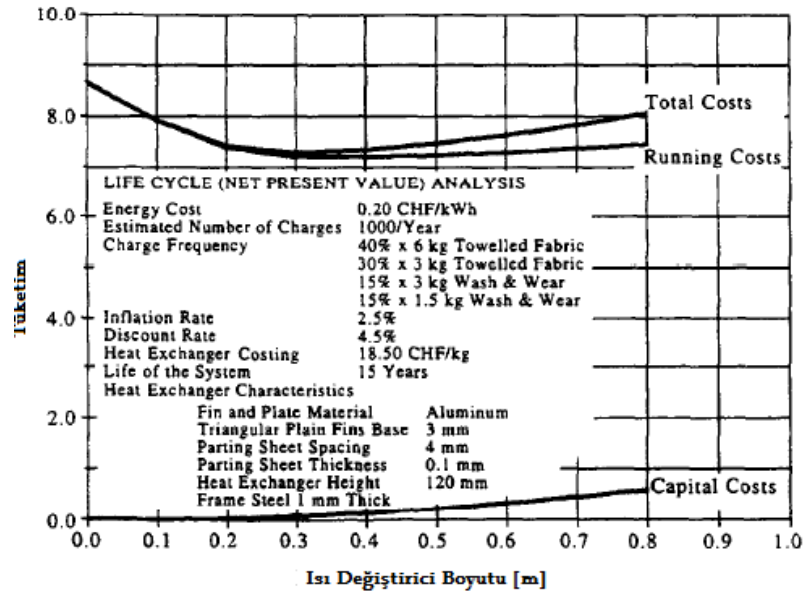
Isı geri kazanımı tamburlu kurutucularda enerji korunumu açısından uygun bir metoddur. Bu iş seçilen ısı değiştiricisi tipi üçgensel finlidir, boyutları da normal 6 kg kurutma kapasitesine sahip kurutucularınkiyle aynıdır.



Şekil 2.10 : Isı değiştiricisinin şematik gösterimi

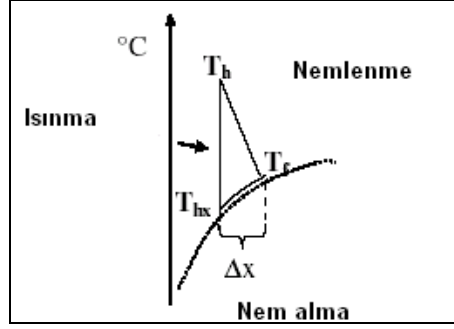


Şekil 2.11 : Isı değiştiricisi boyutlarına göre ısı geri kazanımı potansiyelinin analizi



Şekil 2.12 : Normal uygulamadaki analiz ve sonuçlar

Çeşitli türdeki çamaşır yüküne ve makinanın kullanılma sıklığına göre ısı geri kazanımlı sistemin kendisini amorti etme süresi 2 yıldan azdır. Genelde bu tip sistemlerin kullanılması sırasında çeşitli problemlerin çıkabileceği ve daha çok soruna yol açabileceği tartışılmaktadır. Örneğin yoğunlaşmanın olduğu kondenserde hav, vb. parçacıkların birikerek nem alma kapasitesini etkilemesi gibi. Günümüzde



Şekil 2.14 : İdeal kurutma prosesi

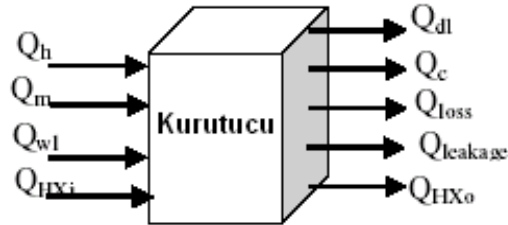
Nemlendirmenin yapıldığı tambur içinde T_h sıcaklığında tambura giren havanın, çamaşırlardan aldığı nem ile sıcaklığı T_f sıcaklığına düşer. Bu proseste Δx kadar nem artar. Bu proses ideal olarak izentalpik ve tamburu terk eden havanın bağıl nemi %100 olarak kabul edilir. Nem alma işleminin yapıldığı ısı değiştirici çıkışında sıcaklık T_{hx} e düşer ve havanın nemi Δx kadar azalır. Son olarak kurutma havası sabit nemde T_h sıcaklığına kadar elektriksel ısıtıcı kullanılarak ısıtılır.

Kapalı çevrim içindeki suyun dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m_{H_2O_i} = m_{H_2O_e} + m_c + m_{leakage} \quad (2.15)$$

Islak çamaşırlar içindeki su miktarı ($m_{H_2O_i}$), kondenserde yoğuşan su miktarı (m_c) çamaşırlarda kalan su miktarı ($m_{H_2O_e}$) ve sistemden su buharı olarak kaçan miktarın ($m_{leakage}$) toplamına eşittir. Kurutma işlemi sonunda çamaşırların kuru yük ağırlığının değişmediği kabulü yapılmıştır.

Tamburlu kurutucudaki enerji dengesi Şekil 25 de verilmektedir.



Şekil 2.15 : Kapalı çevrim tamburlu kurutucu enerji dengesi

Kurutucuda toplam enerji girişı; Isıtıcı için gerekli enerji (Q_h), tambur ve fanların dönmesi için kullanılan motor için gerekli enerji (Q_m), ıslak kurutma yükünün enerjisi (Q_{wl}), kurutucuya giren dış hava akışının enerjisi (Q_{Hxi}) olarak belirtilmiştir.

Kurutucudaki toplam enerji çıkışı ise; kuru yük içindeki enerji miktarı (Q_{dl}), ısı değıştiriciyi terkeden yoğunlaşma (Q_c), kurutucu dış yüzeyleri boyunca olan konveksiyon ve iletim kaynaklı kayıplar (Q_{loss}), su buharı kaçakları ($Q_{leakage}$), ısı değıştiricisini soğutmada kullanılan dış havanın enerjisi (Q_{Hxo}) şeklindedir.

Toplam enerji dengesi,

$$Q_h + Q_m + Q_{wl} + Q_{Hxi} = Q_{dl} + Q_c + Q_{loss} + Q_{leakage} + Q_{Hxo} \quad (2.16)$$

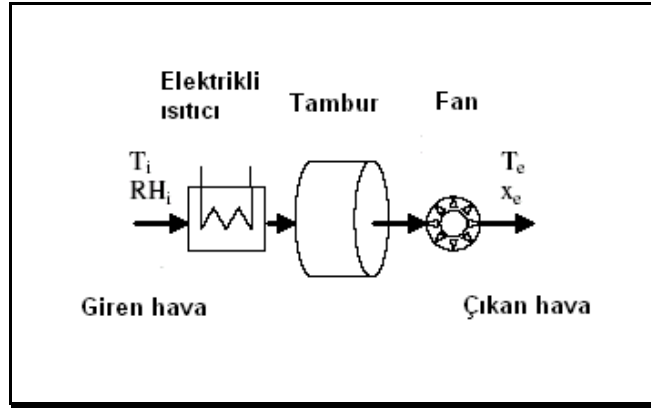
şeklindedir. [18]

2.1.1.2 Çamaşır Kurutma Makinesi İçin Sistem Performansı Analiz Çalışmaları ve Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi [15-19,9,27]

Yapılan araştırmalarda ve bu tez kapsamında yapılacak olan denelerde kullanılan çamaşırlar özel olarak deneyler için kullanılan pamuklu çamaşırlardır. Yapılan tüm deneyler aynı standart kurutma programı olan pamuklu dolap kuruluşunda yapılmıştır. Deneylerde pamuklu çamaşırlar çamaşır makinesinde nemlendirilerek kurutucuda test etmek için hazırlanır. Kurutucuya hazırlanan bu çamaşırlara kurutucu yükü adı verilmektedir. Farklı yük oranlarında ve farklı dönme hızlarında kurutucu yükleri test edilmiştir. Her bir testte kurutma işlemi boyunca harcanan toplam enerji tüketimi ölçülmüştür.

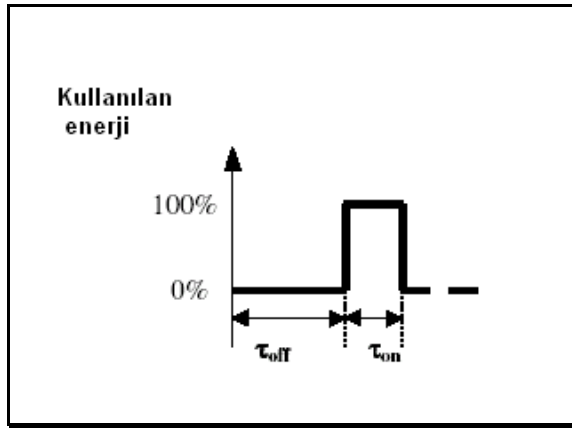
Deneysel çalışmalar incelenirken hem kapalı hemde açık çevrimli kurutucular için yapılan çalışmalar incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Açık çevrimli bir kurutucu için termodinamik olarak hava akışı ve bu şematik resim üzerinde deneysel çalışmalarda yapılan ölçümlerde kullanılan sensörlerin yerleri belirtilmiştir. [Şekil 2.4]



Şekil 2.16 : Açık çevrimli kurutucunun deneysel çalışmada kullanılan sensörlerle birlikte şematik olarak gösterilmesi

T_{A1} ve T_{A2} sisteme giren ve çıkan hava sıcaklıklarını RH_{A1} ve RH_{A2} giren ve çıkan havanın bağıl nemini göstermektedir. Açık çevrimli kurutucuda kullanılan ısıtıcı gücü maksimum 2500 W'tır. Yapılan deneyler esnasında ısıtıcı gücü azaltılmış ve periyodik düzenlemeler yapılarak kurutucu süresi değiştirilmiştir. Çevrimde ısıtıcı gücünün çevrimde kullanımının şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.17 : Isıtıcı gücünün çevrimde kullanımının şematik gösterimi

Yapılan tüm testlerde τ_{off} periyodu 10 dakika olarak alınmıştır. τ_{on} periyodu ise ortalama güce ulaşılabilmek için değiştirilmiştir.

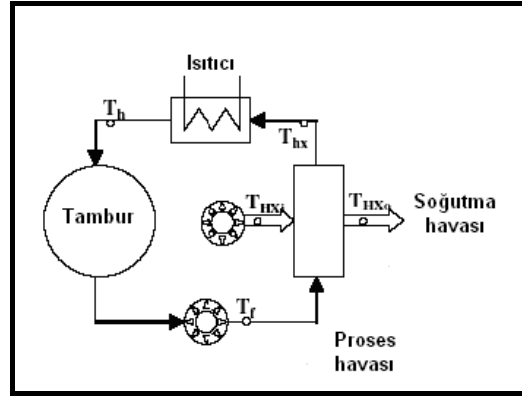
$$\dot{Q}_m = \frac{\dot{Q}_{ısıtıcı} \tau_{on}}{\tau_{off} + \tau_{on}} \quad (2.17)$$

Ortalama güç

olarak hesaplanır.

Deneyler sabit oda koşullarında **oda bağıl nemi %60 ve sıcaklığı 20°C** yapılmıştır. Kurutucularda 6 kg ve %70 nemli çamaşırlar test edilmiştir. Ayrıca 5 ve 3 kg testleri de %70 nemli olarak test edilmiştir.

Açık çevrimli kurutucularda olduğu gibi kapalı çevrimli bir kurutucu için sıcaklık ve bağıl nemin ölçüm yerlerinin gösterildiği şematik resim aşağıda gösterilmiştir. [Şekil 2.6]



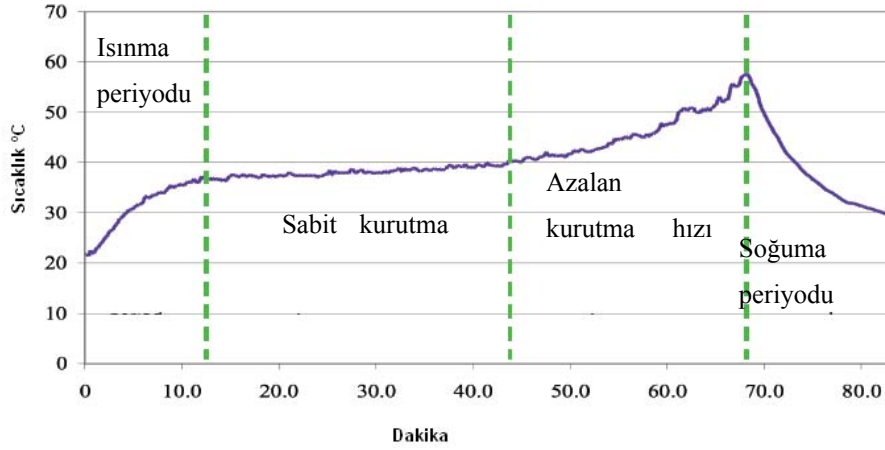
Şekil 2.18 : Kapalı çevrimli kurutucunun şematik olarak gösterilmesi

Resimden de anlaşılacağı gibi kurutucunun her bir komponentinin arasına sıcaklık sensörleri yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. Bu çalışmada kurutucu içerisinden geçen hava debisi kurutucu dışarısına yerleştirilen bir kanal (Prandtl borusu) ve U tipi manometre ile ölçülmüştür. Ayrıca atmosfer basıncı U tipi manometre yardımı ile ölçülürken sistemde komponentler arasındaki statik basınç farkları da ölçülmüştür.

Kapalı çevrimli kurutucularda kullanılan deney yükü 5 kg ve %45 nem içeriğine sahiptir.

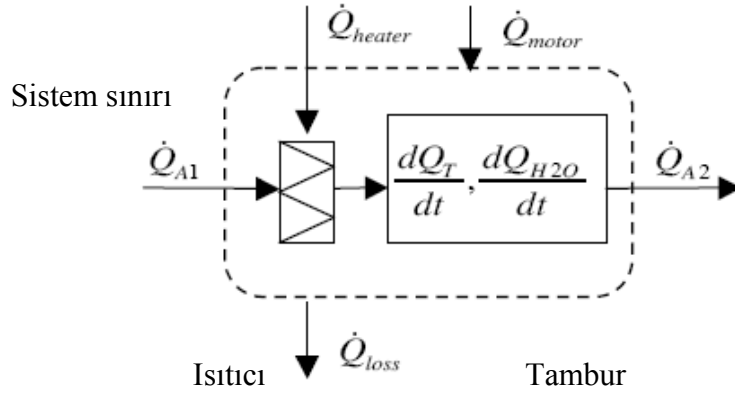
Kurutuculardaki ölçüm noktaları belirlendikten sonra bir kurutucu için kurutma prosesi boyunca sıcaklık değişimi aşağıda gösterilmektedir. [Şekil 2.7]. Kurutma periyodu kurutmahızı açısından 4 ana bölgeye ayrılmaktadır. Kurutma hızının hızlı artış gösterdiği ısınma periyodu bu periyodun sonunda çamaşırlar üzerindeki ne doyma noktasına gelir ve bu noktadan sonra kurutma hızı yaklaşık olarak sabitlenir.

Bu periyodun tamamlanması ile birlikte artık çamaşırlar üzerindeki son nemim alındığı ve kurutma hızının azaldığı üçüncü bölgeye geçilir. En son periyot ise soğuma periyodu olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.19 : Kurutma prosesinde sıcaklık değişimin gösterilmesi

Kurutucular için kurutma hızından sonra enerji ve kütle dengesi şu şekilde gerçekleşmektedir. Enerji ve kütle dengesi açık ve kapalı sistemlerin her ikisi açısından da incelenmiştir. Bunun nedeni kondenserli tip bir kurutucuda termodinamik açıdan hem kapalı hem de açık sistem yer almaktadır. Çamaşırların üzerinde dolaşan nemli havanın sirkülasyonu kapalı, nemli havanın yoğuşmasını sağlayan diğer hava akışı olan soğutma havasının izlediği akış ise açık çevrimi simüle etmektedir.



Şekil 2.20 : Açık çevrimli bir kurutucuda kurutucunun dışını çevreleyen sistemin enerji dengesi

Açık çevrimli bir kurutucu için enerji akışı yukarıdaki şekilde verilmiştir. Burada sistemden olan kaçaklar çok küçük mertebelerde olduğu için ihmal edilerek enerji dengesinde gösterilmemiştir.

Bu tip kurutuculardaki enerji dengesi

$$\frac{dQ_T}{dt} + \frac{dQ_{H_2O}}{dt} = \dot{Q}_{heater} + \dot{Q}_{motor} + \dot{Q}_{A1} - \dot{Q}_{A2} - \dot{Q}_{loss} \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklemde $\frac{dQ_T}{dt}$ çamaşırlardaki enerji değişimini, $\frac{dQ_{H_2O}}{dt}$ sudaki enerji değişimini gösterir. Isıtıcıya verilen güç $\dot{Q}_{heater}$, fan ve tambur motoru için sağlanan enerji ise $\dot{Q}_{motor}$ ile gösterilir. $\dot{Q}_{loss}$ tamburdan dışarıya taşınan enerji kaybını göstermektedir.

$\dot{m}_A$ kurutudan geçen kuru hava debisini göstermekte ve hemen hemen kurutma işlemi boyunca sabit olduğu varsayılmaktadır.

Kurutucuya giren $\dot{Q}_{A1}$ ve çıkan $\dot{Q}_{A2}$ hava arasındaki enerji akışı

$$\dot{Q}_{A1} - \dot{Q}_{A2} = \dot{m}_A (i_{A1} - i_{A2}) \text{ şeklinde hesaplanmaktadır.}$$

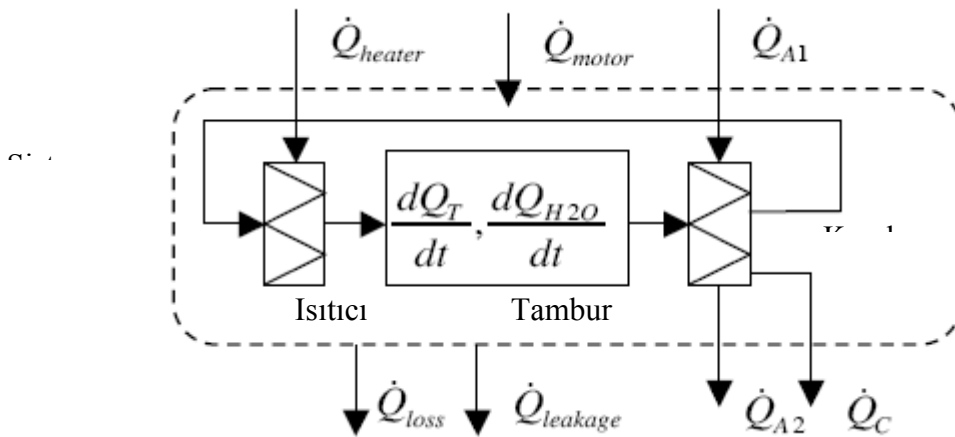
i_{A1} ve i_{A2} sırası ile giren ve çıkan havanın entalpilerini göstermektedir. Burada denklem havanın nem içeriğinin artmasına bağlı olarak yazılmıştır. (Giren havanın nem içeriği çıkan havanın nem içeriğine göre daha yüksektir.)

Açık çevrimli kurutucular için kütle dengesi

$$\frac{dm_{H2O}}{dt} = \dot{m}_A (x_1 - x_2) \quad (2.19)$$

$\frac{dm_{H2O}}{dt}$ çamaşırlardaki su miktarının değişimini göstermektedir.

Kapalı tip çevrimli kurutucular için yazılan enerji dengesi için sistem sınırları kurutucunun dış çevresi olarak alınmıştır.



Şekil 2.21 : Kapalı çevrimli kurutucular için enerji dengesi

Kapalı çevrimli kurutucuda enerji dengesi açık çevrimli kurutucuya benzemektedir. Kapalı çevrimli kurutucuda farklı olarak kurutucudan yoğunlaşan suyun atılması ve kaçaklar enerji dengesine dahil edilmiştir. Bu tip kurutucularda su kondenserde yoğunlaşarak kurutucu dışına transfer edilir.

Kondenserde yoğunlaşan suyun enerjisi

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_C C_{p,C} T_C \quad (2.20)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. $\dot{m}_C$ yoğuşan suyun kütleli debisi T_C [°C] yoğuşma sıcaklığını göstermektedir. Kapalı çevrimli kurutucularda nemli hava kaçağı söz konusudur. Kaçaklara bağlı enerji kaybı kaçak miktarı ve kaçan havanın entalpisine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Kapalı çevrimde kurutma prosesi boyunca suyun kütle dengesi

$$\frac{dm_{H_2O}}{dt} = -\dot{m}_C - \dot{m}_{leakage} \quad (2.21)$$

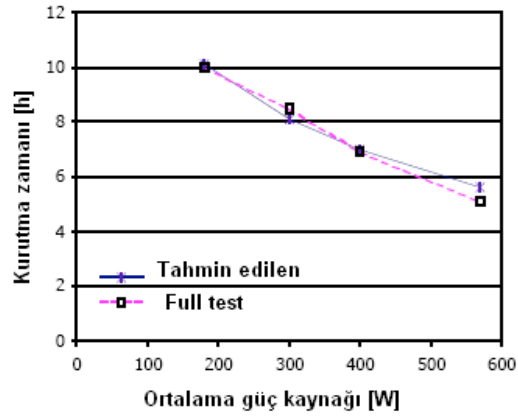
olarak tanımlanır. Tamburdan olan enerji kaybının iletimle olduğu varsayılmıştır. Ayrıca tambur üzerindeki entalpinin izentalpik olduğuna varsayılabilir. **(Bansal 2001) [15]**

Deneysel çalışmalar incelendiğinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

Açık çevrimli kurutucular için ısıtıcının sağladığı güce bağlı olarak enerji tüketimi değişmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda ısıtıcı gücü azaltılmış fakat azalan ısıtıcı gücü ile birlikte kurutma süresi artmıştır.

Ayrıca yapılan deneysel çalışmalarda üzerinde durulan önemli bir konu ise kurutma süresinin ilk saatinde enerji tüketiminin nasıl tahmin edileceğinin araştırılmasıdır. Bu araştırmada sıcaklığa bağlı olan bir kontrol mekanizması oluşturulmuştur. Kontrol mekanizması oluşturulurken yukarıda Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 da gösterilen ölçüm noktalarından alınan deneysel ölçüm noktalarından alınan veriler kullanılmıştır. Yapılan deneylerde hep aynı yükte ve aynı nem oranında şartlandırılmış çamaşır (tekstil) kullanılmış ve ısıtıcı gücü değiştirilmiştir. (6 kg % 70 nemli çamaşır, güç 180 w ile 540 W arasında değiştirilmiştir.)

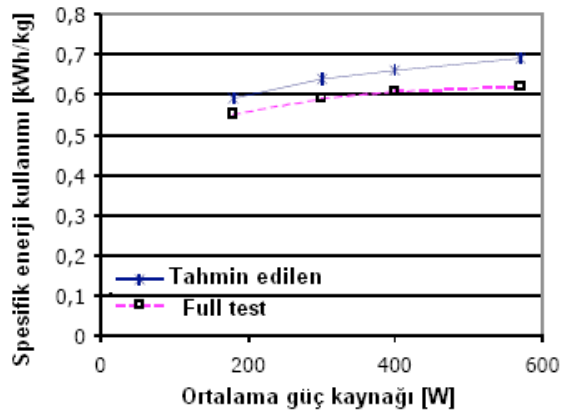
Deneysel çalışmanın sonuçları ile tahmin edilen değerler birbiri ile uyum içerisinde çıkmıştır.



Şekil 2.22 : Test sonuçları

Kurutma zamanı full testlerde ve tahmin edilen testlerle iyi bir uyum sağlamıştır.

Yapılan test sonuçları göstermiştir ki kurutma yükünü önceden bilebilirsek kurutma zamanını ve spesifik enerji kullanımını önceden tahmin etmek mümkün olabilir.



Şekil 2.23 : Test sonuçları

Yapılan araştırmalarda görülmüştür ki kapalı çevrimli kurutucuların performansını etkileyen ve arttıran bir yöntem olarak ısı geri dönüşümlü ısı değiştirgenleri kullanılarak enerji tüketiminde önemli azalmalar elde edildiği belirtilmiştir. Isı geri dönüşümü açık çevrimli bir kurutucu için eksoz edilen havanın tekrar geri kazanılması anlamına gelmektedir. Bu durumda açık çevrimli kurutucular için %70 oranında iyileşme sağlanabilir.

Çalışma kapsamında değinilen bir başka önemli konu ise kapalı çevrimli kurutucularda açık çevrimli kurutuculara göre daha fazla enerji tüketmesidir. Kurutucularda kaçak noktaları belirlenerek bu noktaların enerji tüketimine etkisi ele alınmıştır. Teorik hesaplamalar yapılmış ve deneysel çalışmalar ile teorik bilgiler karşılaştırılmış ve kaçak noktalarıda dikkate alınarak hava akışının tambur içerisinde nasıl bir dağılım izlediği belirlenmeye çalışılmıştır. Enerji ve kütle dengesi (teorik hesaplamalar) ile birlikte kurutucuda değiştirebilecek veya düzeltilebilecek noktalara işaret edilmesi amaçlanmıştır. Teorik olarak yazılan enerji ve kütle dengesinin deneysel veriler ile doğrulanması ile sonuçların güvenilirliği belirlenmiştir. [9]

Kurutucularda enerji tüketimine kaçakların etkisinin araştırılması çalışmasında su buharı kaçağının giren suyun toplam % 25 'i kadar olduğu görülmüştür. Sistemden olan kaçağın tambur ve ısıtıcı arasında olduğu görülmüştür. İç sistemden kaçan havanın sıcaklığı yüksek ve bağıl nem oranının düşük olmasından dolayı önemli derecede enerji kaybı oluşturmaktadır. Elde edilen bu sonuçlardan sonra sistemde kaçak meydana gelen yerin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Tambur ve kondenser arasında meydana gelen sistem içerisine doğru olan kaçakta spesifik enerji tüketimini arttırmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda kurutucu arka duvarının izole edilmesi, ısıtıcı ve tambur arasındaki kaçağın azaltılması ve kurutma hızının azaldığı bölge boyunca işlemleri kaldırarak % 17 oranında spesifik enerji tüketiminde azalma elde edilmiştir.

Kurutucu arka tarafı için yapılan yalıtım çalışmaları ile teorik olarak %1 oranında spesifik enerji tüketiminde iyileşme sağlanmıştır. Bu uygulama kolaylıkla herhangi bir kurutucuya uygulanabilir. Aynı zamanda Lambert'in 1991 yılında açık çevrimli kurutucular için yaptığı çalışmada da kurutucu etrafına yapılan yalıtımla olan gelişmelerden bahsetmiştir. [16]

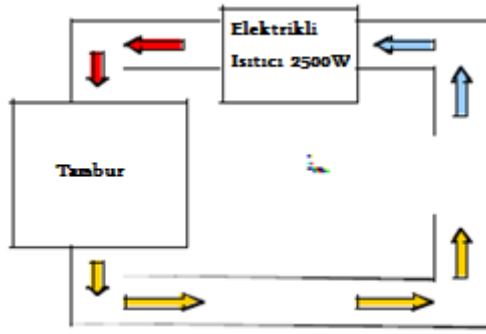
Çamaşır kurutma makinelerinde enerji performansını etkileyen en önemli unsurlar ısı değiştirgeci (ısı pompalı kurutucular için) ve sistemde meydana gelen ısı kaçaklarıdır. Isı değiştiricilerinin ve kaçakların performansa etkisi kurutma süresi boyunca incelenmiştir. [17] Çamaşır kurutma işlemi enerji yoğunluklu bir proses

olduğu için enerji veriminin artırılması kaçakların incelenmesi sonucu ortaya çıkan tablo ile yakından ilişkilidir. Yapılan incelemeler göstermiştir ki proses havasından hatırı sayılır miktarda hava kaçağı bulunmaktadır. (warm air) Bu da sistemde enerji kaybı olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara ulaşılması için yapılan deneysel çalışmada standart olarak 5 kg % 70 nemli çamaşır kullanılmıştır.

Kurutucuda meydana gelen kaçakların belirlenmesi ile enerji tüketiminin iyileştirilmesi yönünde de çalışmalar yapılabilir. Kaçak noktaların tespiti ve kaçakların azaltılması ile mevcut enerji tüketimi iyileştirilebilmektedir.

Tespit edilen kaçak noktalarının belirlenmesi ile kaçakları azaltmak için çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir. Sistemde en fazla kaçağın olduğu nokta tambur arka tarafı yani ısıtıcının olduğu kısımdır. Bu bölgeye yalıtım uygulanabilir. Ayrıca çapraz ısı akışı sağlayan kondenserin giriş ve çıkışındaki noktalara iyice sızdırmazlık sağlanarak bu noktalardaki kaçaklarda minimuma indirilmeye çalışılmaktadır.

Sistem analizinin yapılması ile birlikte çamaşır kurutma makinesi sisteminde %20 ve %35 oranında kaçaklar değişmektedir ve en yüksek kaçak oranı **ısıtıcı ve tambur arasında bulunmuştur**. Ayrıca bir diğer önemli kaçak noktası ise kondenser önünde ve arkasında olan contalardan kaynaklanmaktadır. Kaçak oranının tespit edilmesinde ısıtıcı ve kondenser arasında proses havasının bağıl nem değerlerinden anlaşılmaktadır. Yapılan ölçümlerde ısıtıcı ve tambur arasına bir adet nem sensörü, tambur ile ısıtıcı arasına ise 3 adet sıcaklık sensörü konulmuştur. Kaçakların azaltılması durumunda %60 olarak ölçülen bağıl nem değerleri %75 ve %80 değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte sistemin enerji tüketimi artmış kaçak oranı ise proses havasından yaklaşık olarak %20 civarındadır.



Şekil 2.24 : Tambur ve ısıtıcı arasına yerleştirilen nem ve sıcaklık sensörlerinin gösterilmesi

Kurutucu dış yüzeyine tamamı ile yapılan yalıtım ile enerji tüketiminde yaklaşık olarak %6,5-9 arasında azalma görülmüştür. Yapılan ölçüm sonuçları yerleştirilen sensörler vasıtası ile iç akıştaki kaçağın %20 ile %40 arasında değiştiği öngörülmüştür. Proses havasından dış ortama olan kaçağın en büyük kısmı kondenser ve tambur girişinden olmaktadır. Sistemin yalıtılmasından sonra enerji tüketiminde artış değişen proses parametrelerine ve azalan kondenser kapasitesine bağlanmıştır. Sistemdeki tüm kaçak azaltma çalışmaları sonucunda %20 oranında kaçaklar düşürülmüştür. Kurutucu dış yüzeyine sarılan plastik sonucu yapılan yalıtım çalışmaları ise %6,5 ile %9 oranında kurutucuda enerji tüketimini azaltmıştır.

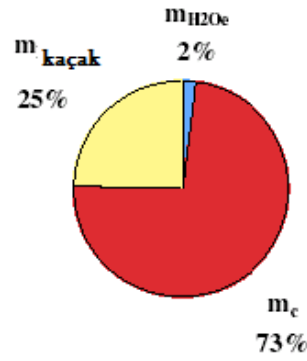
Çamaşır kurutma makinesine ıslak çamaşırlar atıldıktan sonra belli bir süre içerisinde kalan kurutma zamanı hesaplanabilmektedir. Çamaşırlar üzerindeki su miktarı ve kalan kurutma süresi bir korelasyon ile bağlanabilir. Korelasyon yardımı ile kurutma için kalan zaman çamaşırlar kurutucuya atıldıktan bir iki dakika sonra hesaplanabilmektedir. Böylece çamaşırlar üzerindeki nem içeriği , proses havası sıcaklığı kurutucu performansına etki eden birer parametre olarak incelenebilmektedir. [17]

Kurutucuların performansına etki eden parametreler incelenirken kurutuculardaki enerji tüketiminin iyileştirilmesi için ısı geri dönüşümlü ısı değiştiricileri kullanılarak kurutucu performansının iyileştiği gözlemlenmiştir. [18]

Bu çalışmayı destekleyen farklı bir çalışmada kapalı çevrime sahi kurutucularda tüketilen yüksek elektrik enerjisi tüketiminin iyileştirilmesi çalışmalarında sistemin

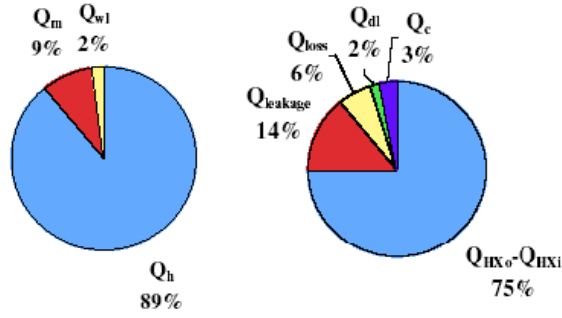
enerji ve kütle dengeside incelenmiştir. Enerji ve kütle dengesinden yola çıkılarak sistemdeki kaçak miktarı ve kullanılan enerji miktarı hesaplanmaya çalışılmıştır. Sistemde kurutma süresi boyunca su buharı kaçağının %20 ile %25 olduğu tespit edilmiştir. Kaçak miktarının azaltılması ile birlikte sistem enerji verimliliği artırılabilir. [19]

Bu çalışmada yapılan testlerde 1,5 kg, 3 kg ve 5 kg kuru yüklere sahip çamaşırlara kurutma testleri yapılmıştır. Testler esnasında enerji dengesi için ısıtıcı ve tambur motoru güçleri, proses havası sıcaklıkları ve temel bileşenlerin statik basınç değişimleri ölçülmüştür. 5 kg kuru çamaşırlara ait yapılan 3 testin ortalamasının gösterildiği Şekil 2.25 te, su buharı kaçaklarının miktarı, yoğuşan su miktarı ve çamaşırlarda kalan su miktarı gösterilmektedir.



Şekil 2.25 : Kurutma esnasındaki su buharının dağılımı

Kurutucudan olan su buharı formundaki su kaçağı %20-25 mertebesinde. Isı değiştiricisinin her iki tarafı, tambur ve ısıtıcı arasındaki statik basınçlar pozitifdir. Tambur ve fan arasındaki statik basınç negatif yani vakum ölçülmüştür. Enerji dengesine ait sonuçlar Şekil 27 de gösterilmiştir.



Şekil 2.26 : 5 kg kuru çamaşıra ait enerji dengesi

Kaçaklar açısından sistem değerlendirildiğinde;

Ölçülen statik basınç değerlerine göre, ısıtıcı ve tambur arasından proses havası dış ortama kaçmaktadır. Kaçan bu hava elektriksel ısıtıcı ile ısıtılmış olup, bu noktadaki kaçak sistemde önemli miktarda enerji kaybına yol açmaktadır.

Kapalı çevrim içindeki kurutma prosesi ideal durumdan sapmaktadır. Tambur boyunca olan proses ısı kayıplardan ötürü izentalpik değildir. Tamburu terk eden hava ise %100 bağıl neme ulaşmamaktadır. Ayrıca tambur ve ısı değiştiricisi arasında dış ortam havasından proses havasına olan kaçak ısı değiştiricisine giren havanın bağıl nemini ekstra düşürecektir. Bağıl nem %100 ün altında ise yoğunlaşmanın başlaması için sıcaklığın daha fazla düşürülmesi ihtiyacı doğar. Bu artan enerji kayıplarından ötürü enerji verimliliğinin düşmesine yol açacaktır.

Isıtıcı ve tambur arasından dış ortama olan kaçak, enerji verimliliğinin artırılması için azaltılmalıdır. Aynı zamanda tambur-ısı değiştirici arasındaki kaçak da azaltılmalıdır. Kaçaklar bileşenler arasındaki bağlantı elemanlarının geliştirilmesi veya negatif/pozitif basınç bölgeleri oluşturularak azaltılabilir.

Enerji dengesi açısından sistem değerlendirildiğinde;

Ölçümler sonucunda elde edilen test sonuçları hesaplamalarla uyum içindedir. Kaçak olarak tanımlanan enerji çıkışı test tamamlandıktan sonra sistemde bulunmayan su ile alakalıdır. Suyun sistemi su buharı formunda terk ettiği kabulü yapılmıştır. Bu yaklaşım elde edilen yakın sonuçlar nedeniyle enerji dengesi tarafından doğrulanmıştır.

Tamburlu kurutucudan olan ısı kayıplarının iletim ve taşınımından kaynaklandığı söylenebilir. Çalışmada gerçekleştirilen testlerde kurutucu dış çevresinin sahip olduğu düşük sıcaklıklardan dolayı (radyasyonla olan ısı transferi çok düşük) radyasyondan dolayı olan ısı kayıplar dikkate alınmamıştır.

Çalışılan kurutucu modelinde dış ortam havası kurutucuyu terk etmeden önce kurutucu içerisinde dolaşmaktadır. Bu tamburun soğutulması demektir. Kurutucunun enerji verimliliğinin artırılması için dış yüzeylerinin izolasyonun yapılması önemlidir. Ayrıca tambur üzerindeki ısı kayıplarda azaltılmalıdır. Kurutucu üzerindeki enerji ve kütle dengeleri enerji verimliliğinin artırılması için önemli araçlardır. Enerji dağılımı ve kaçaklar hakkındaki bilgi kurutucunun enerji tüketimini azaltmada kullanılabilir.

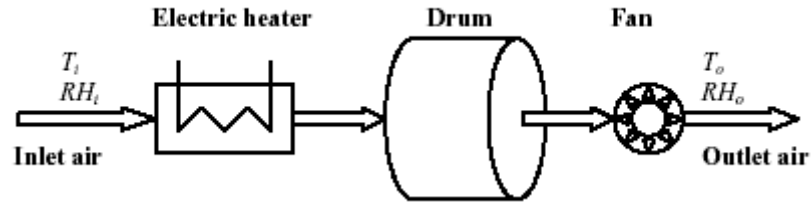
Enerji ve termal verimliliği açısından sistem değerlendirildiğinde;

Literatürdeki tamburlu kurutucu hakkındaki diğer çalışmalarda farklı enerji ve termal verimlilik tanımları mevcuttur. Bu çalışmada genel tanımlar kullanılmıştır. Kapalı çevrim tamburlu kurutucuda yaklaşık olarak enerjinin %57 si buharlaştırma için kullanılmaktadır. Bu talaş parçacıkların kurutulmasında kullanılan akışkan yataklı buharlı kurutucuda elde edilen %64 enerji verimliliği ile karşılaştırılabilir. Literatürde yapılan çalışmalara göre kapalı çevrim tamburlu kurutucunun enerji verimliliği açık çevrim tamburlu kurutucudan daha yüksektir. Bununla birlikte özgül enerji tüketimi kapalı çevrim kurutucu kullanıldığında artmaktadır. Düşük imalat masraflarıyla birlikte enerji verimliliğini arttırmak için ısı kazanımlı ısı değiştiricilerinin kullanılması en kolay yoldur. Ek olarak kapalı çevrim kurutucunun egzoz havasının binadan dışarı atılması gereksinimi yoktur.

Kapalı çevrim tamburlu kurutucunun enerji verimliliğini arttıran önemli etkiler;

- Kurutucu etrafındaki ısı kayıpların azaltılması
- Isıtıcı ve tambur arasındaki proses havasından dış ortama olan su buharı kaçığının azaltılması
- Tambur ve ısı değiştirici arasına dış ortamdan giren kaçığın azaltılması

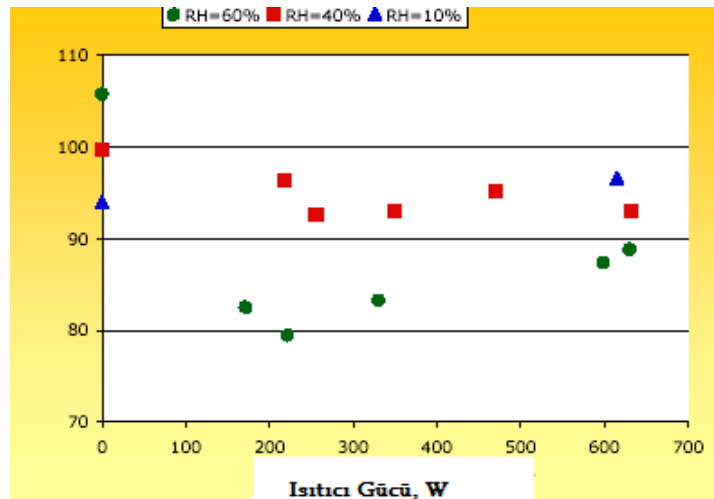
Kondenserli kurutucularda enerji verimliliği incelenirken en çok yararlanılma model açık çevrimli kurutucu olma bacalı tip kurutuculardır. Isıtıcı güçleri ve giriş havası bağıl nemleri için, bacalı kurutucunun buharlaşma hızı ve enerji verimliliği incelendiği çalışmalardan bulunan bulgular kapalı çevrim için bir girdi teşkil etmektedir.



Şekil 2.27 : Bacalı kurutucu şematik gösterimi

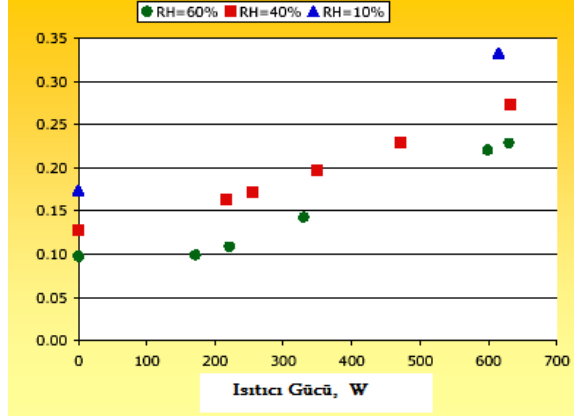
Isıtıcı kullanılmayan tamburlu kurutucuda sadece tambur motoru ve fanın çektiği güç mevcuttur. Kurutma süresini azaltmak için ısıtıcı gücüne ihtiyaç vardır. Bu nedenle kurutma zamanı ile enerji verimliliği arasında zıt bir ilişki vardır.

Farklı ısıtıcı güçleri ve farklı giriş bağıl nem değerleri için kurutucu verimliliği değişmektedir. (Bknz Şekil) Düşük giriş bağıl nem değerlerinde kurutma verimi artmaktadır. Özel bir durum olarak ısıtıcı devreden çıkartıldığında, giriş havası bağıl nemi düşürüldüğünde kurutucu verimi azalmaktadır.



Şekil 2.28 : Farklı giriş havası bağıl nemlerinde Isıtıcı gücü - kurutma verimi ilişkisi

Buharlaşma hızının farklı ısıtıcı güçleri ve farklı bağıl nem değerlerine göre değişim göstermektedir.(Bknz şekil 32). Buharlaşma hızı ısıtıcı gücüyle yaklaşık olarak lineer olarak değişmektedir. Giriş bağıl nemi azaldıkça buharlaşma hızı artmaktadır.



şekil 2.29 : Farklı giriş havası bağıl nemlerinde Isıtıcı gücü – buharlaşma hızı ilişkisi

Bacalı ve kondenserli kurutucu arasındaki önemli farklardan biri 3,18 kg test yükü için kondenserli kurutucuda (23°C , %35 Rh) 1 kg nemi uzaklaştırmak için gereken enerji, bacalı kurutucudan (22,7°C , %54 Rh) %104 daha fazladır. Kondenserli kurutucuda daha fazla enerji kullanılmasının nedenlerinden biri kondenserde proses havası ile soğutma havası arasındaki ısı transferinin yeterince verimli olamamasıdır. [27] Ayrıca bacalı ve kondenserli tip kurutucuları karşılaştırdığımızda bacalı kurutucular için, enerji verimliliği havanın bağıl nemine bağlıdır; hava ne kadar kuru ise, enerji verimliliği o kadar fazla olur. Açık çevrimli kondenserli kurutucularda, verimli bir ısı değiştiricisi kullanmak dışarı atılan sıcak havadan mümkün olduğunca enerjiyi geri kazanmamızı sağlar. Bu bedava enerji özgül nem alma oranında ciddi azalmalar sağlar. Bacalı kurutucuya göre, açık çevrimli kondenserli kurutucular ve kapalı çevrimli ısı geri kazanımlı kondenserli kurutucular %14 daha verimli iken kapalı çevrimli kondenserli kurutucular %7 daha verimlidir.[29] Yapılan farklı bir araştırma sonucu göstermiştir ki ,ısı pompalı tamburlu kurutucular enerji verimliliği açısından diğer tipteki kurutuculara nazaran %40'lara varan iyileştirme sağlayabilmektedir.[30]

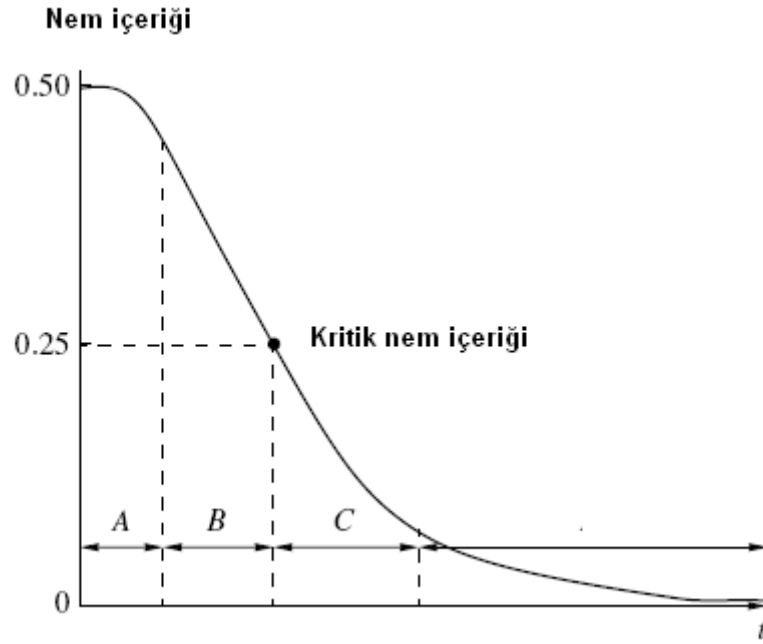
2.1.1.3 Çamaşır Kurutma Makinesinde Çamaşırların Nem İçeriğinin ve Kurutma Hızının Sistem Üzerine Etkileri[18,20,22-24]

Çamaşır kurutma makinelerinde bir saatin sonunda sistemin karakteristliği hemen hemen belli olmaktadır. Kondenserli kurutucularda kurutma işlemi hava koşullarına bağlı olmadan ve kurutma süresi azalarak kurutma çevrimini tamamlamaktadır. Bu bir saatlik süre ele alınarak , kurutmanın kalan süresi, giriş ve egzoz çıkış sıcaklığı ve 1 saat boyunca alınan özgül nem değeri kullanılarak tahmin edilmektedir.[20] Bu tahminin bilinebilmesi için kurutma yükü (çamaşırların ağırlığının) önceden bilinmesi gerekmektedir. Kurutucu yükünün önceden bilinmesi ile birlikte kurutucu sistem mekanizmasında kontrol altında tutulabilmektedir. Kurutucudan çıkan yani eksoz edilen hava sıcaklığı ve nem miktarı (bacalı tip kurutucular için) kurutma sisteminin kontrol altında tutulması için oluşturulacak korelasyon bağıntıları için önemli birer parametre olmaktadır. [18,20]

Ticari bir firma ile anlaşarak özel bir kurutucu (Frigidaire kurutucu) üzerinde dnmeler yapılarak sistem performansı incelenerek enerji tüketimine ait parametrelerin belirlenmiştir. Kurutma zamanı boyunca sitem gözlemlenerek sistem kaçak noktaları belirlenmiştir. Sistem çalışması incelendikten sonra enerji verimliliğinin arttırabilmesi için fan hızı, tambur hızı, çamaşırların nem içeriği değiştirilmesi önerilmiştir.. Bassiliy, A.M & Colver ,G.M. 2003 [2]

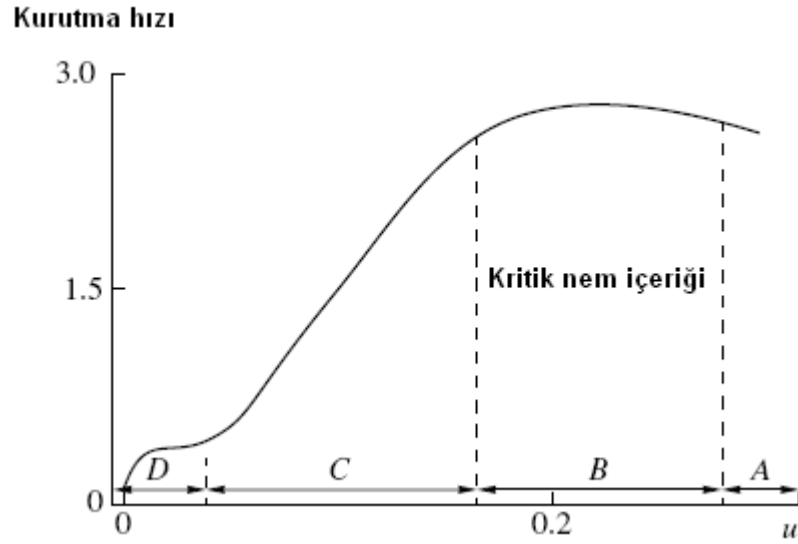
Ayrıca kütle transferinde yapılan çalışmalar göstermiştir ki, kütle transfer katsayısını tekstillerin ağırlığı, hava debisi, kurutucu dışarısındaki havanın bağıl nemi, tekstil malzemesi etkilemektedir. Korelasyonun kurulmasında Schmit, Gukhman, Reynolds sayısı tambur hızı ve kurutucu yükünün ağırlığının doğrulanmasında Sherwood sayısında kütle transfer alanının belirlenmesinde kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda tekstillerin ağırlığının artması ile birlikte çamaşırlarla en iyi etkileşimi sağlayabilecek olan tambur hızı ayarlanmıştır. Tambur içerisindeki hava sıcaklığının artması ve içerideki karışma mekanizmasının geliştirilmesi ile birlikte kütle transfer sabiti artmaktadır. [22]

Kurutucu sistemi için en önemli parametrelerden biri çamaşır nem oranıdır.



Şekil 2.30 : Bir tekstil malzemesinde nem içeriğinin gösterilmesi

Herhangi bir tekstil malzemesi için şekilde malzemenin nem içeriği gösterilmiştir. Burada A bölgesi ısınma, B bölgesi sabit kurutma hızını, C bölgesi birinci düşük kurutma hızı bölgesini, D ise ikinci kurutma hızında düşen bölgeyi göstermektedir.



Şekil 2.31 : Bir tekstil malzemesi için kritik nem içeriğinin kurutma hızına bağlı değişimi

Ayrıca bir tekstil malzemesinde kurutma işlemi sırasında kurutma hızının değişimi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Burada da bir tekstil malzemesi için nem içeriği grafiğinde gösterildiği gibi A,B,C ve D aynı bölgeleri karakterize etmektedir.

Tekstil malzemesi için kurutma işleminin başlangıcı ısınma periyodu ile başlamaktadır ve malzeme ısınırken kurutma hızı düşüktür. Malzeme ısınmaya başladıktan sonra kurutma hızı artmaktadır ve bir pik noktasına kadar da artmaya devam eder. Pik noktası sabit kurutma hızı periyoduna gelindiğini gösterir. Malzemede kritik nem seviyesi olarak bilinen nem düzeyine gelindiğinde çamaşırdaki nem seviyesi düşmeye başlar ve kurutma hızının düşmeye başladığı periyodu başlar. Kurutma hızının düşmeye başladığı periyot boyunca çamaşır yüzeyindeki doyma işlemini sürdürmek için nem akışı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle de bu periyot ikiye ayrılmıştır. Birinci düşük kurutma hızının olduğu bölge sabit kurutma hızı ve ikinci düşük kurutma hızı bölgesi arasındaki geçişi göstermektedir. Sabit kurutma hızı bölgesinde gaz buharının nemi, sıcaklığı ve debisi olarak tanımlanan dış etkenler daha baskındır. Düşük kurutma hızı bölgesinde (ikinci düşük kurutma hızı bölgesi) ise nem ve çamaşırlar üzerindeki enerji geçişi baskındır. Sabit kurutma hızı bölgesinde tekstil yüzeyi üzerinden buharlaşma meydana gelmektedir. Kurutma hızının büyük bir bölümü sıcaklık ve hava akışına bağlı olarak sıvının buharlaşmasından oluşmaktadır. Yüksek hızlarda tekstilin yüzeyindeki durgun gaz filmi kalınlığı azalır bu da ısı ve kütle transfer katsayılarını arttırmaktadır. Az nem içeriği olan yüzeylerde tamamı ıslak olan yüzeylere göre daha az bir kurutma hızı görülmektedir(falling drying rate) [23]

Çamaşırlar üzerindeki nem oranının dışında en önemli diğer ikinci parametre sıcaklıktır. Kurutma başlangıcındaki çamaşırlardaki su miktarı ile ısıtıcının kapatıldığı anda havaya transfer edilen enerji arasında kuvvetli bir korelasyon vardır. Bu ilişki kullanılarak nemlendirilmiş havanın çıkış sıcaklığı ölçülerek kurutmanın sonlanması yaptırılabilir. Başlangıçtaki kuru çamaşır yükünün belirlenmesi metodun dezavantajı olarak gözükmektedir. Bunu belirlemek için ısıtıcı birkaç kez devreden çıkarılıp sıcaklık düşmelerindeki değişim izlenerek kuru çamaşır yükünün belirlenebileceği önerilmektedir. [24]

3. DENEYSEL ÇALIŞMALARI

Enerji bilançosu, çamaşır kurutma makinesine giren elektrik enerjisinin sistemdeki dağılımının sayısal olarak belirlenmesidir. Enerji bilançosunu belirlemek için çamaşır kurutma makinesinin sıcaklık haritasının ayrıntılı olarak çıkarılması gerekmektedir. Ayrıca, çevrim süresince tambur ve makine iç ortamı arasındaki ısı geçişi profilinin belirlenmesi için bu bölelerde de ayrıntılı olarak sıcaklık ölçümleri de yürütülmelidir. Bu amaçla sıcaklık ölçümleri için termokupllar çamaşır kurutma makinesi üzerinde uygun noktalara yerleştirilmektedir. Sıcaklık dışında deney düzeneğinde ölçülecek büyüklükler enerji tüketimi, kurutma adımlarına göre suyun buharlaşması ve çamaşırla üzerindeki nem miktarı, kurutma adımlarındaki basınç değerleridir. Enerji tüketimi, akım ve gerilimin ölçülerek gücün hesaplanması ve zaman adımı ile çarpılması sonucunda elde edilmektedir. Çamaşır kurutma makinesi ölçüm sistemine bağlandıktan sonra yük ve konularak standart koşullarda ölçümlere başlanmaktadır. Bölüm 3.1’de enerji bilançosu deney düzeneği tanıtılacak, kalibrasyon ve ölçüm hassasiyeti ile ilgili bilgiler sunulacaktır. Bölüm 3.2’de sıcaklık, basınç ve nem ölçümlerine ilişkin çalışmalar hakkında bilgi verilecek, Bölüm 3.3’te ise deney makinesinin pamuklu-60 programında ısı kamera ile görsellenmesi üzerinde durulacaktır. Son olarak Bölüm 3.3’te standart pamuklu dolap kuruluğu proramındaki enerji bilançosunun çıkarılmasına yönelik çalışmalar özetlenmiştir.

3.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Enerji bilançosu deney düzeneği temel olarak şu elemanlardan oluşmaktadır:

Termokupllar

Nem sensörleri

Basınç sensörleri

Hassas tartı

Veri toplama panosu

Deney makinesi

Enerji bilançosu ölçüm sonuçlarının doğruluğu amacıyla ortam sıcaklık ve neminin belirli koşullar altında bulunması gerekmektedir. Bu amaçla proje dahilinde enerji bilançosu ölçümlerinin yapılacağı bir kurutucu odası kurulmuştur. Kurutucu odasında ortamın bağıl neminin %55 (± 5) ve ortam sıcaklığının 23 (± 2) olması gerekmektedir. İstenilen bağıl nem kurutucu odasına kurulmuş olan nemlendirici ve nem alma ünitesi yardımı ile olmaktadır.

İki adet enerji analizörünün yardımı ile tambur motoru ve kurutucunun çektiği toplam güç değerlerini ayrı ayrı ölçülebilmektedir. (Quadratic Integra marka analizör tercih edilmiştir.) Ayrıca kurutma süresi boyunca çekilen akım, voltaj ve güç değerleri ölçülerek, elektrik enerjisi kullanan ısıtıcı, tambur motoru, proses ve soğutma fanları ve tahliye pompası ekipmanlarının kurutma süresi boyunca çektiği elektriksel enerji değerleri hesaplanmaktadır.

Bilgisayar sistemi ile birlikte sıcaklık, nem, basınç, güç ölçümleri zamana bağlı olarak kaydedilmektedir.

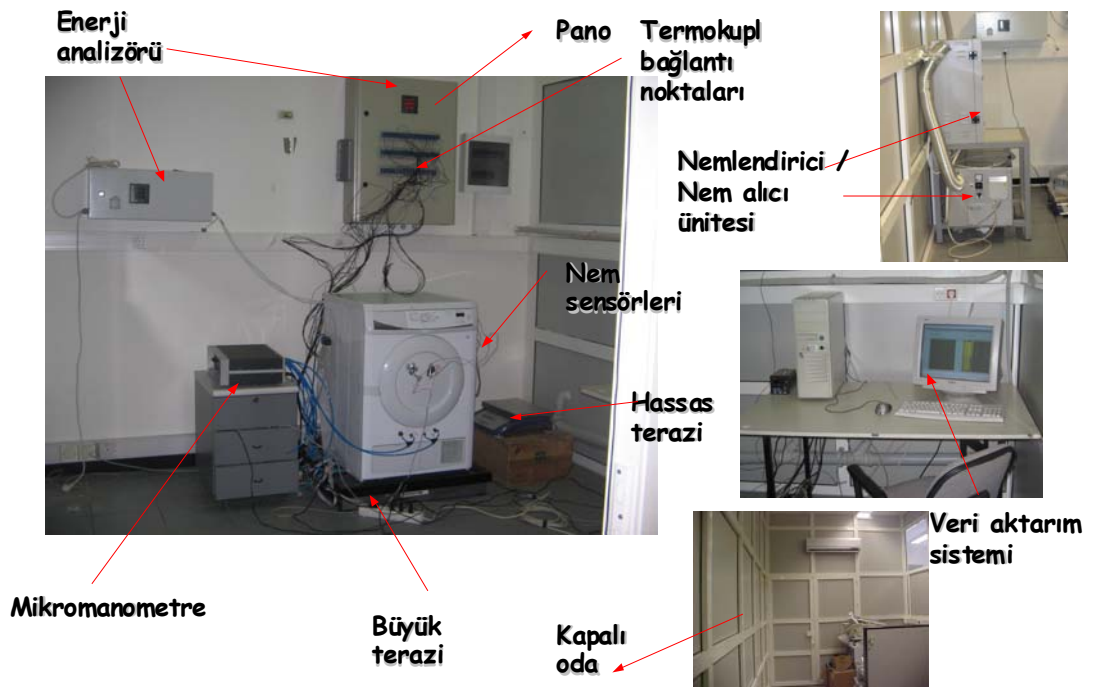
Bağıl nem ölçümü için aynı anda sıcaklık değerini de ölçme imkânı veren Sensirion marka sensörler kullanılmıştır.

Sıcaklık ölçümleri için belirlenen noktalara termocupllar yerleştirilerek kuru termometre sıcaklıkları ölçülmektedir.

Kurutucuda yoğuşma suyunun zamana bağlı birikimini ve kurutucu sistemindeki zamana bağlı değişimi ise bilgisayar uyumlu hassa teraziler yardımı ile yapılmaktadır.

Performans deneyleri yapılan kondenserli kurutucularda proses ve soğutma hava devrelerine yerleştirilen basınç prizleri vasıtasıyla tüm kurutma süresi boyunca basınç değişimleri kaydedilmektedir. Statik basınç ölçümü için mikro manometre kullanılmıştır. Ölçüm noktaları ikili priz olarak düzenlenip bir T bağlantı parçası ile birleştirilmiştir.

Ayrıca yine kurutucu odasında gerçekleştirilen debi ölçümleri ise kurutucunun kapağı açık olarak yüksüz durumda pitot tüpü ile yapılmaktadır. Ayrıca kurutucu yüklü durumda iken de debi ölçümü yapılmaktadır. Daha hassas ölçüm yapılması durumlarında PIV ölçümleri yapılmaktadır. Şekil ' de kurutucu odası performans deneylerinde kullanılan ekipmanlar ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Kurutucu deney odası

3.1.1 Termokupllar

Termokupl sıcaklık ölçen termoelektrik bir sensördür. Uçları lehimle ya da mekanik olarak birleştirilmiş iki metalden oluşmaktadır. Metal tellerin üzerinde plastik bir kılıf bulunur. Termokuplun bir ucu, ölçüm sistemine bağlamak için kullanılan bir konnektör ile kapatılmıştır. Ölçüm sistemi bağlantısı dışı konnektörle sağlanır (Bkz.

Şekil 3.1). Metallerin birleşim yerleri ısıtıldığında ya da soğutulduğunda, sonradan sıcaklığa çevrilebilen bir gerilim sinyali oluşmaktadır. Farklı koşullarda kalibre edilmiş ve farklı metal kombinasyonlarına sahip termokupllar bulunmaktadır. En sık kullanılan tipler, J, K, T ve E tipleridir. Termokupl seçiminde temel olarak ölçüm yapılacak sıcaklık aralığı ile aşınma, titreşim vs olumsuz koşullara göre dayanım rol oynar.



Şekil 3.2 : Termokupl bağlantısı

3.1.2 Hassas tartı

Ağırlık ölçümlerinde kullanılan cihaz, Mettler Toledo firmasına ait, ID1 Plus modeli LED göstergeli hassas tartıdır. Tartı, ağırlık ölçümü yapılan bir platform ve göstergedan oluşmaktadır (Bkz. Şekil 3.6) . Ölçümler için uygun sıcaklık aralığı $-10^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ağırlık ölçümü, strain gage kuvvet sensörleri ve elektromanyetik güç kompanzasyonu esasına dayanarak yapılmaktadır.



Şekil 3.3 : Hassas tartı

3.1.3 Veri toplama panosu

Ölçümlerde kullanılan veri toplama panosunda, sıcaklık ölçümleri için kullanılan Agilent Technologies firmasına ait bir datalogger, enerji ölçümleri için kullanılan bir analizör ve ölçüm kanalları bulunmaktadır. Sıcaklık için 60 adet ölçüm kanalı mevcuttur. Veri toplama panosu bilgisayar bağlantısına sahiptir.

Sıcaklık ölçümleri için kullanılan Agilent 34970A marka dataloggerda, 20 ölçüm kanallı 3 adet multiplexer bulunmaktadır (Bkz. Şekil 3.3). Cihaz sıcaklık, gerilim, akım, frekans ve direnç ölçümleri için kullanılabilir. Sıcaklık ölçümleri termokupl, termistör veya RTD ile yapılabilir. Cihazın T tipi termokupllar için $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındaki ölçüm hatası $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Toplam ölçüm hatasının bulunması için termokupl sensörü hatasının da bu değere eklenmesi gerekir.

Veri toplama panosunda enerji ölçümleri için kullanılan cihaz, Schneider Electric firmasına ait ION 6200 model tüketim sayacıdır (Bkz. Şekil 3.4). Sayaç, LED göstergeye sahip olup, gerilim, akım, güç, enerji ve frekans ölçümleri almaktadır. Gerilim ölçüm hassasiyeti, okuma değerinin % 0.5'idir. Frekans ölçüm hassasiyeti $\pm 0.1\text{ Hz}$ değerindedir. Okunan değer % 0.3'ü hassasiyetle akım ölçülmektedir. Güç ve enerji ölçümlerindeki hassasiyet % 0.5 mertebesindedir. Sayaç, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ çalışma sıcaklık aralığına sahiptir.



Şekil 3.4 : Datalogger ve multiplexer, enerji analizörü

3.1.4 Deney makinesi

Deneylerde kullanılan çamaşır kurutma makinesi, 6 kg yük kapasiteli, Arçelik markasına ait kondenserli tip bir kurutucu modelidir.

3.2 Farklı Koşullarda Enerji Bilançosu Ölçümleri

Deneyisel ölçümlerin yapıldığı çamaşır kurutma makinesi kondenserli tipte bir makinedir. Deney makinesi kondenserli kurutucu için farklı yük (3 – 4 – 5 – 6 - 7 kg), farklı kurutma öncesi nem oranı (%60 - %70 - %80), farklı kondenserler, farklı kondenser arka contası ve tambur arka taraf keçesi, farklı kurutma programları (pamuklu dolap kuruluğu, ütüye hazır), kurutma süresi boyunca tek ısıtıcı kullanılması gibi deneyler yapılmıştır. Deneylerde değişen koşullar karşısında enerji bilançosu ölçümlerinde sıcaklık, basınç, bağıl nem güç ölçümlerindeki farklılıklar irdelenmiştir.

Farklı koşullar altında yapılan enerji bilançosu deneyisel ölçümleri açısından şu şekilde değerlendirilebilir.

3.2.1 Basınç ölçümleri

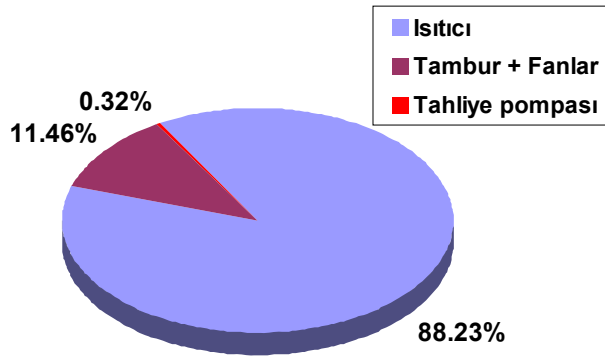
Deneyisel çalışmaların yapıldığı kurutma makinesi deneylerinde kurutma makinesi içerisine yerleştirilen farklı basınç ölçüm noktalarında basınç prizleri vasıtasıyla tüm kurutma süresi boyunca basınç değişimleri incelenmektedir. Ölçüm değerleri

neticesinde sistemde oluşan basınç kayıpları, negatif ve pozitif basınca maruz kalan bölgeler, fanın sağladığı statik basınç artışı hakkında fikir sahibi oluna bilinmektedir.

3.2.2 Güç ölçümleri

Kurutma süresi boyunca çekilen akım, voltaj ve güç değerleri ölçülerek, elektrik enerjisi kullanan ısıtıcı, tambur motoru, proses ve soğutma fanları ve tahliye pompası ekipmanlarının kurutma süresi boyunca çektiği elektriksel enerji değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan kurutucudaki tambur motoru aynı zamanda soğutma ve proses fanlarını da tahrik etmektedir.

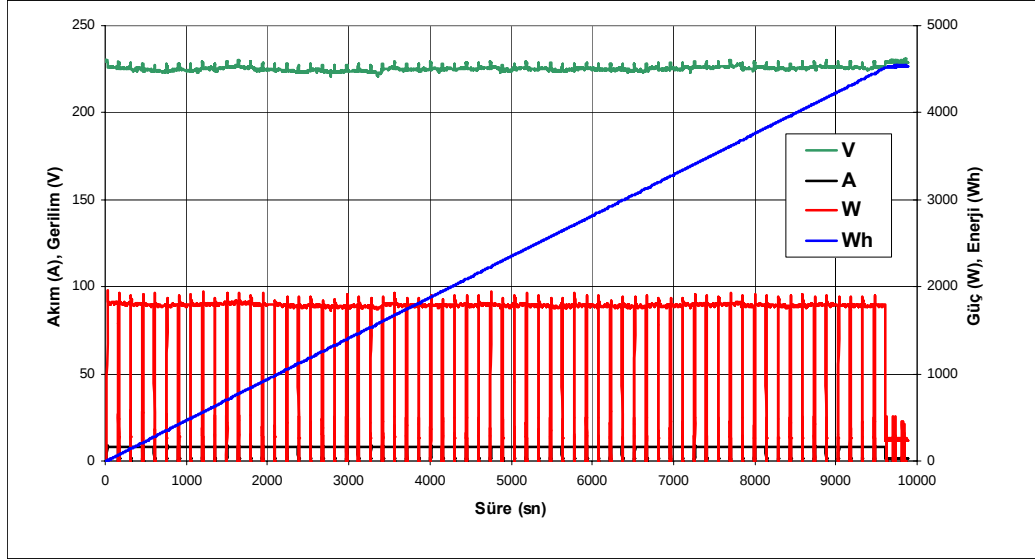
Yapılan ölçümler sonucunda elektrik enerjisi harcayan ekipmanların çalışma süreleri dikkate alınarak harcanan toplam enerjinin dağılımı hesaplanmıştır. Beklenildiği gibi ısıtıcı toplam enerjinin %88'ini kullanmaktadır. Bu nedenle harcanan toplam enerji değerini düşürmek için ısıtıcının çalışma süresi ve nominal güç değeri önem kazanmaktadır. Tahliye pompasının harcadığı enerji miktarı (%0.32) ise oldukça düşüktür. Tambur motorunun çektiği güç (%11.4) aynı zamanda proses ve soğutma fanlarını döndürmek için de kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 : Harcanan elektrik enerjisi dağılımı

Yapılan tüm farklı deneylerde (kondenser arka contası ve tambur arka keçesinin değiştirilmesi, Önaysan marka kondenser kullanılması, (3-4-5-7 kg pamuklu dolap kurulumu deneyleri) enerji dağılımı çok az değişmektedir. Sadece kurutma süresi

boyunca tek ısıtıcının devrede olduğu durumda yapılan ölçümde ısıtıcının harcadığı enerji oranı %82' ye düşmüştür. Buna karşılık kurutma süresi uzadığından tambur motorunun çektiği güç % 17.5'a çıkmıştır.



Şekil 3.6 : Kurutma süresi boyunca güç ölçüm sonuçları

3.2.3 Sıcaklık ve Bağıl nem ölçümleri

Performans deneyleri gerçekleştirilen kurutucunun proses ve soğutma havası kanallarındaki sıcaklık, bağıl nem ve özgül nem değerleri kurutma süresini ve enerji sarfiyatını etkilemektedir.

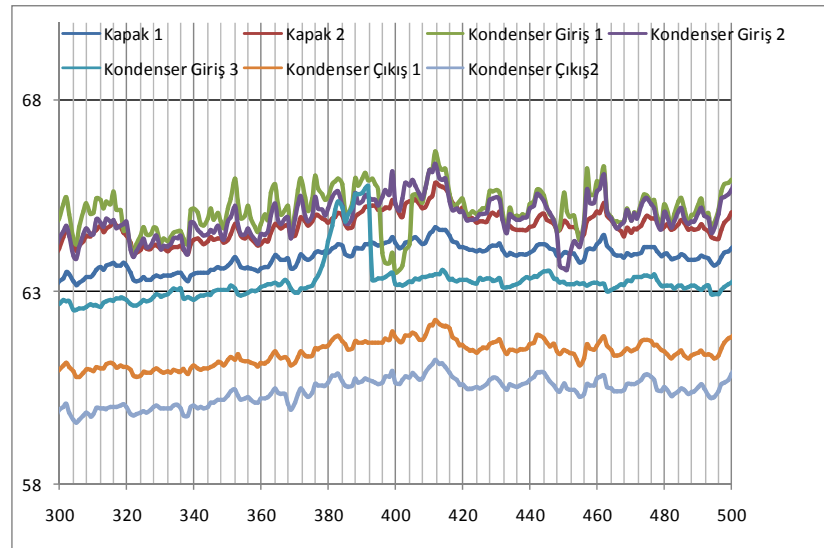
Tamburlu kurutucudaki proses havası kapalı bir çevrime sahiptir. Proses havası (kurutucu içerisinde dolaşan hava) devresinde tambur içerisine sevk edilen ısıtılmış hava çamaşırlar üzerindeki ıslaklığı alarak bağıl nem yüzdesi artmaktadır. Tambur çıkışından bir kanal vasıtasıyla kondensere yönelen nemli havanın sıcaklığı düşmekte ve kondenser çıkışında yoğunlaşmaktadır. Daha sonra ise bir ısıtıcı üzerinden geçirilerek tekrar sıcaklığı artmakta ve tambur içerisine yeniden yönelmektedir. Bu işlem kurutma işlemi sonlanana kadar devam etmektedir.

Tambur çıkışından kondenser çıkışına kadar bağıl nem artmakta fakat sıcaklık değerleri düşmektedir. Rejim halinde tambur çıkışında ölçülen bağıl nem %85RH, kondenser girişinde 3 farklı noktada %90RH, kondenser çıkışında ölçülen 6 farklı

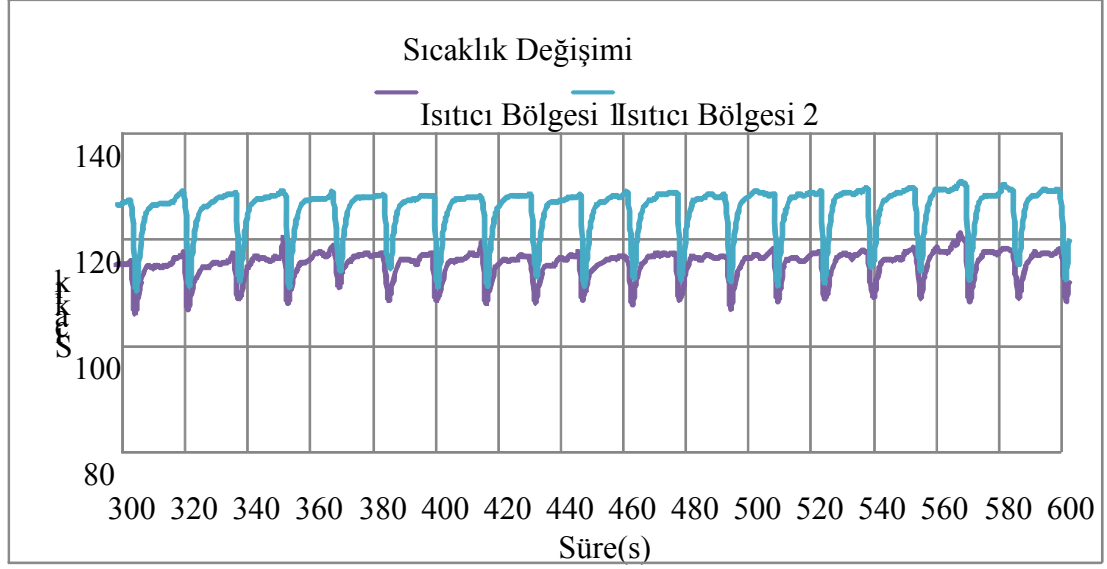
noktada ise yaklaşık %90-93RH civarındadır. Isıtıcı girişinde ölçülen bağıl nem %93RH, ısıtıcı çıkışında ise bağıl nem %5RH civarındadır.

Tek ısıtıcı durumuna geçildiğinde tambur çıkışında ölçülen bağıl nem değerleri hızla düşerek havalandırma başındaki ortam nemi değerlerine %55RH gelmektedir. Tek ısıtıcı durumunda kondenser çıkışında bağıl nem değerleri ise %75RH mertebelerine kadar düşmektedir. Tek ısıtıcı konumuna geçildiğinde ısıtıcı çıkışı %9RH mertebesine çıkmaktadır.

Proses havası devresinde ölçülen sıcaklık değerlerine bakıldığında yaklaşık 40-45 dakika sonra rejime ulaşılmaktadır. Ortalama 45-50 dakika süren rejim halinden sonra tek ısıtıcının devreye girmesiyle sıcaklık değerleri düşmektedir.



Şekil 3.7 : Kurutucuda sıcaklık dağılımı 1



Şekil 3.8 : Kurutucuda elektrikli ısıtıcı bölgesi sıcaklık değişim

3.3 Kondenserli Kurutucu Enerji Performansının İyileştirilmesi Çalışmaları

3.3.1 LUNA Platformu Kondenserli Kurutucunun Enerji Sınıfı Açısından Değerlendirilmesi

Kondenserli kurutucuların enerji bilançosunun çıkarılması tez çalışması kapsamında yapılan ayrıntılı ölçümler sonucunda en fazla enerji tüketiminin hangi komponente ait olduğu ve hava kaçaklarının etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kondenserli kurutucular için enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. En çok ısı kaybının yaşandığı ısıtıcı bölgesine yalıtım yapılması, tamburun oturtulduğu bölgedeki keçe ve contaların çift kat yapılarak iyileştirilmesi, şasi bölgesindeki komponentlerin ısı kaybını önlemek şasi yalıtımı yapılması, ön kapak kaçağının önlenmesi için bant ile izole edilmesi, optimum soğutma ve proses havası debileri ve kurutma süresinin belirlenmesi yapılan enerji tüketimi azaltma çalışmalarıdır.

Yapılan çalışmalar ayrıntılı olarak rapor dahilinde anlatılmış ve LUNA Platformu için sonuçlar karşılaştırmalı olarak tablolar halinde sunulmuştur. Sonuçta sağlanan

iyileşme mevcut olarak üretimde kullanılan veya yeni kurutucu tasarımlarında örnek bir model olarak kullanılabilir.

Kondenserli kurutucularda enerji sınıfları beyan edilirken gerçekte C sınıfı olan bir kondenserli kurutucunun enerji tüketimi, bir üst sınıf enerji tüketimi limitinin %10 veya %15 fazlası ise, B sınıfı kurutucu olarak beyan edilmesine imkan tanınmaktadır.

Tablo 3.1: Kurutucu enerji sınıfları deklarasyon tablosu

SINIFLAR	KONDENSERLİ KURUTUCU ENERJİ TÜKETİMİ	% 10 TOLERANSLAR DAHİLİNDE	%15 TOLERANSLAR DAHİLİNDE
A	$E < 0.55$	$E < 0.605$	$E < 0.606$
B	$0.55 < E < 0.64$	$E < 0.704$	$E < 0.736$
C	$0.64 < E < 0.73$	$E < 0.809$	$E < 0.839$

Luna platformu kondenserli kurutucuda düşük soğutma/proses havası debileri ve yalıtım çalışmalarının birlikte yapılması ile orijinal duruma göre %9,1 spesifik enerji tüketiminde düşme sağlanmıştır. Böylece LUNA platformu kondenserli kurutucu 6 kg %60 nemli çamaşır için %15 tolerans ile enerji sınıfı atlayarak B sınıfı olarak beyan edilebilir duruma gelmiştir.

Tablo 3.2: LUNA kondenserli kurutucu deney sonuçları (Enerji bilançosu ölçüm laboratuvarı)

	Test Edilen Kapasite (kg)	Kurutma Öncesi Nem Oranı (%)	Kurutma Süresi (dak)	Spesifik Enerji Tüketimi (kWh/kg)	Su Tutma Verimi (%)	% 15 tolerans ile Enerji Sınıfı
LUNA ORİJİNAL	6	60	128	0,796	71,2	C
KONDENSER + ISITICI + ŞAŞI + ARKA KEÇE + ÖN KEÇE + ÖN KEÇE + YALITIMI	6	60	109	0,744	65,4	C
YALITIMLAR + DÜŞÜK SOĞUTMA VE PROSES HAVASI DEBİSİ	6	60	88	0,724	67,2	B

LUNA platformu kondenserli kurutucuda yapılan enerji tüketimi iyileştirmesi ile piyasadaki rakiplerini yakalamıştır. Ayrıca LUNA kondenserli kurutucu yapılan değişikliklerle diğer kurutuculara nazaran daha kısa sürede kurutma yapılmaktadır.

Kurutucuda mevcut (orijinal) soğutma havası debisi 59 l/s, proses havası debisi ise 39 l/s' dir. Soğutma ve proses havası debilerinde yapılan kısılmalar sonucu proses havası debisi 28 l/s, soğutma havası debisi ise 37,5 l/s olmuştur.

Yapılan izolasyonlar ve düşük debiler neticesinde proses ve soğutma havası devresindeki ölçüm noktalarındaki sıcaklıklarda artışlar meydana gelmiştir. Isıtıcının yer aldığı arka panelde yapılan yalıtım ile birlikte tambur girişinde sağ ve sol tarafta (yaklaşık 12-23 °C) sıcaklık artışları meydana gelmiştir. Proses havası kondenser bölgesinde ise, kondenser giriş-çıkış sıcaklıkları yaklaşık 10 °C artmıştır. Benzer şekilde soğutma havası sıcaklıklarında kondenser girişinde yaklaşık 5 °C, kondenser çıkışında ise yaklaşık 9 °C 'lık yükselme gözlenmiştir.

LUNA Platformuna yapılan değişiklikler ile elde edilen sonuçların çok sayıda kurutucuda denenmesi için kurutucu işletmesinden alınan 3 adet LUNA kurutucuya yapılan tüm değişiklikler uygulanarak her bir kurutucuya 5 veya 7 adet %60 nemli çamaşır 6 kg ve 7 kg kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.3: LUNA kondenserli kurutuculara ait performans deney sonuçları

(*TEMTEK Laboratuvarı)

	Test Edilen Kapasite (kg)	Kurutma Öncesi Nem Oranı (%)	Kurutma Süresi (dak)	Spesifik Enerji Tüketimi (kWh/kg)	Su Tutma Verimi (%)	% 15 tolerans ile Enerji Sınıfı
LUNA ORİJİNAL	6	60	107	0,78	74,1	C
LUNA İZOLASYONLU	6	60	95,8	0,726	64,6	B
LUNA ORİJİNAL	7	60	128	0,774	73,6	C

LUNA İZOLASYONLU	7	60	109,4	0,704	64,1	B
---------------------	---	----	-------	-------	------	---

3 kurutucuya ait 6 kg %60 nemli çamaşır deneylerin spesifik enerji tüketimi ortalaması 0.726 mertebesindedir. Geline bu değer %15 tolerans kullanımı durumunda B enerji sınıfı limitleri arasına düşmektedir.

7 kg %60 nemli deneylerin spesifik enerji tüketimi ortalaması ise 0.704 mertebesindedir. Geline bu değer %10 tolerans kullanımı durumunda B enerji sınıfını üst limitden yakalamaktadır.

LUNA Platformu kondenserli kurutucuda yapılan enerji tüketimi iyileştirme çalışmalarında kurutucuya ait olan kurutma süresinin tamamı kullanılmamıştır. 6 kg çamaşır için belirlenmiş olan 128 dakikalık program süresi olan toplam kurutma süresi 93 dakikada (88 dakika kurutma+5 dakika havalandırma) bitirilmiş, 7 kg deneylerinde ise bu süre 109 dakika olarak belirlenmiştir. (104 dakika kurutma +5 dakika havalandırma) ,

Enerji tüketimi azaltma çalışmalarında çeşitli bölgelerde yapılan yalıtımlar sonucu elde edilen yüksek sıcaklıklar nedeniyle ısıtıcı NTC ‘si devre dışı bırakılarak deneyler yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında incelenen **LUNA** platformu kondenserli kurutucu debileri, kurutma süreleri, enerji tüketimleri, ısıtıcı güçleri, fan tasarımları gibi bir çok temel özellik bakımından diğer incelenen kondenserli kurutucular arasında farklılık göstermektedir. İncelenen kondenserli kurutucular arasındaki yerini belirtmek için Tablo 2’de genel bir karşılaştırma yapılmıştır. Enerji tüketimini azaltmak amacı ile yapılan çalışmalar sayesinde tolerans dahilinde LUNA Platformu kondenserli kurutucu enerji sınıfı atlayarak C sınıfından B sınıfına yükselmektedir.

Kondenserli kurutucularda enerji sınıfları beyan edilirken belli toleranslar kullanılmaktadır. Gerçekte C sınıfı olan bir kondenserli kurutucu %10 veya %15 tolerans ile piyasada B sınıfı kurutucu olarak lanse edilebilmektedir. Tablo 1 e

bakıldığında kondenserli kurutucu enerji tüketimi %10 tolerans dahilinde 0,704; %15 tolerans dahilinde ise 0,736 olduğunda B sınıfı beyan edilebilir.

SINIFLAR	KONDENSERLİ KURUTUCU ENERJİ TÜKETİMİ	% 10 TOLERANSLAR DAHİLİNDE	%15 TOLERANSLAR DAHİLİNDE
A	$E < 0.55$	$E < 0.605$	$E < 0.606$
B	$0.55 < E < 0.64$	$E < 0.704$	$E < 0.736$
C	$0.64 < E < 0.73$	$E < 0.809$	$E < 0.839$

Tablo 2 ‘ye bakıldığında AEG, Whirpool, Arthur Martin gibi rakip üreticilerinde piyasada sahip oldukları kurutucuların tolerans dahilinde B sınıfı olduğu görülmektedir. LUNA Platformu kondenserli kurutucuda yapılan enerji tüketimi iyileştirmeleri ile piyasadaki rakiplerini yakalamıştır.

Genel olarak LUNA platformunu orijinal ölçüm sonuçları açısından karşılaştırsak aşağıdaki gibi bir tablo ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3.4: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucunun diğer kondenserli kurutucular ile karşılaştırılması

	Test Edilen Kapasite (kg)	Kurutma Öncesi Nem Oranı (%)	Kurutma Süresi (dak)	Spesifik Enerji Tüketimi (kWh/kg)	Su Tutma Verimi (%)	% 10-15 tolerans ile Enerji Sınıfı
LUNA orijinal	6	60	128	0,796	71,2	C
LUNA	6	60	93	0,724	67,2	B
Benchmark 1	6	60	116,4	0,719	74,2	B
Benchmark 2	7	60	130	0,727	88,8	B
Benchmark 3	7	60	107	0,693	83,3	B
Benchmark 4	6	70	121,2	0,722	81,6	B
Benchmark 5	6	70	127	0,709	71,7	B

LUNA Kondenserli Kurutucu yapılan değişikliklerle diğer kurutuculara nazaran kısa sürede kurutma yapmaktadır. Buna rağmen su tutma verimi orijinal durumu ile

yakın çıkmıştır. Kullanılan optimum debiler sayesinde daha düşük debilerle de aynı su tutma verimi sağlanmış, yalıtım ve kaçak azaltma çalışmaları sayesinde ise daha kısa sürede kurutma yapılabilmiştir.

Kondenserli kurutucularda çamaşır ağırlığının artışı spesifik enerji tüketimi (kWh/kg) açısından yarar sağladığı için B sınıfı olarak beyan edilen kurutucular genellikle 7 kg olarak piyasaya sürülmektedir. (BOSCH, WHIRPOOL)

*Benchmark 1, 2, 3, 4, 5 kurutucuların ölçümleri TEMTEK laboratuvarında gerçekleştirilmiştir

3.3.2 LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu Enerji Tüketimi Çalışmaları

Çamaşır kurutma makinelerinde diğer tüm beyaz eşyalarda olduğu gibi enerji tüketim değerleri gittikçe önem kazanmaktadır. Pazarda diğer kurutucu üreticileri ile aynı oranda rekabet edebilmek için enerji tüketimini azaltma çalışmaları artmaktadır. Kurutuculardan daha çok verim alabilmek amacı ile mevcut enerji kayıplarının belirlenmesi ve iyileştirilmesi yöntemine gidilmiştir.

Çamaşır kurutma makinelerinde her bir makine komponenti (ısıtıcı, kondenser, fan, hava kanalı, conta...vb) enerji tüketimine ve verimine etki etmektedir. Kurutucunun bu parçalarında yapılan değişimler yada farklı tasarımlarla elde edilen iyileşmeler doğrudan kurutucu enerji sarfıyatında azalmayı sağlayarak kurutucu verimini arttırabilir.

Bu nedenle kurutucularda mevcut kaçaklar ve iyileştirme yapılacak parçalar belirlenerek alternatif çalışmalar yapılmıştır. LUNA platformu kondenserli kurutucuda enerji tüketiminin azaltılması için yapılan değişiklikler şu şekildedir.

- 1- Isıtıcı bölgesinin yalıtımı
- 2- Kondenser ön ve arka oturma yüzeylerinin yalıtımı
- 3- Kondenser ve şasi yalıtımının birlikte yapılması
- 4- Kondenser, şasi ve ısıtıcı bölgesi yalıtımının birlikte yapılması

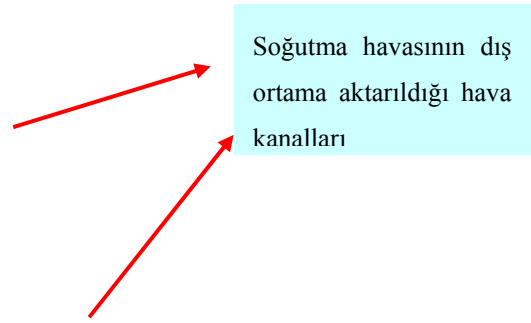
5- Arka keçe, kondenser, şasi ve ısıtıcı bölgesi yalıtımının birlikte yapılması

6- Arka Keçe, ön keçe, kondenser, şasi ve ısıtıcı bölgesi yalıtımının birlikte yapılması

3.3.2.1 Yalıtım ve Kaçak Azaltma Çalışmaları

Isıtıcı Bölgesi Yalıtım Çalışmaları

LUNA kondenserli kurutucuda en çok enerji kaybı ısıtıcı arka yüzeyinden gerçekleşmektedir. Isıtıcıdan kaynaklanan ısı kaybı engellemek amacı ile 30 mm kalınlığında iğneli cam yünü (beyaz) kullanılmıştır. Kullanılan cam yününün ısıtıcı arkasına yerleşimi Şekil 3.9’de gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : LUNA kondenserli kurutucunun arkadan görünüşü



Isıtıcı kapağının etrafı alüminyum folyo ile kaplanmıştır.

Şekil 3.10 : Isıtıcı etrafının alüminyum folyo ile bantlanması

Isıtıcı kapağının arka saca vidalandığı kısımlardan olan hava kaçaklarının engellenmesi amacı ile, arka panel yalıtımı yapılırken ısıtıcı kanalının kenarları alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Bunun üzerine 30 mm iğneli cam yünü ile arka panel tamamen yalıtılmıştır. Yalıtım esnasında cam yünü üzerine alüminyum folyo sarılmıştır. Tablo 3 'de arka panel yalıtımı sonucunda enerji tüketimindeki iyileşme görülmektedir.

Kondenserli kurutucu arka sac paneli 30 mm cam yünü ile kaplanmıştır.

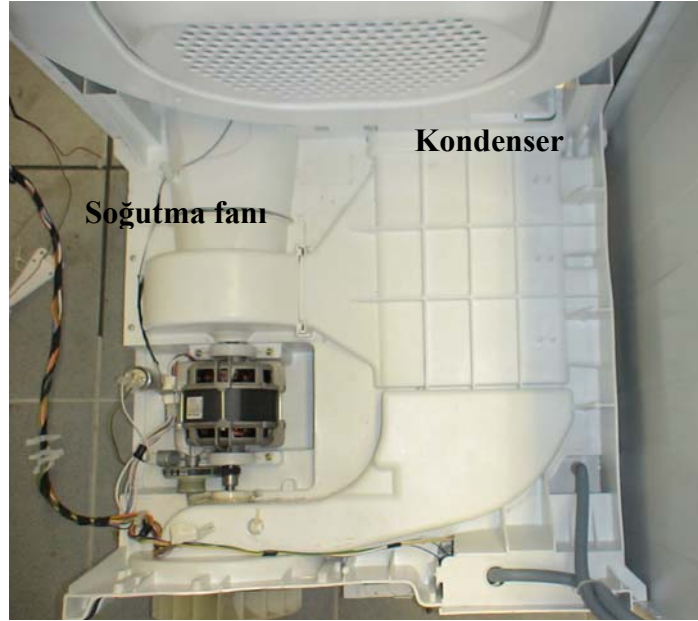


Şekil 3.11 : Kurutucu arka panelinin yalıtım ile kaplanması

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sıcaklık değerleri değerlendirildiğinde; ısıtıcının yer aldığı arka panelde yapılan yalıtım ile birlikte ısıtıcı çıkışında sağ ve sol tarafta 9 °C lik sıcaklık artışı meydana gelmiştir. Proses ve soğutma havası kondenser giriş çıkış sıcaklıkları incelendiğinde sıcaklık değerlerinde çok fazla bir değişim olmadığı görülmektedir. Yüzey sıcaklıklarında ise 2-3 °C lik bir artış vardır.

Arka taraf yalıtımı ile birlikte en fazla ısı kaybının yaşandığı ısıtıcı bölgesi tarafında sıcaklık artışı sayesinde %2,83 civarında spesifik enerji tüketiminde iyileşme sağlanmıştır.

Şasi Bölgesi Yalıtım Çalışmaları



Şekil 3.12 : LUNA Kondenserli kurutucu platformu tambur altı şasisinin üstten görünüşü

Şasi bölgesi yalıtım çalışmalarında ısıtıcı arka tarafında olduğu gibi **30 mm** iğneli cam yünü (beyaz) kullanılmıştır. Şekil 5 'te görüldüğü gibi cam yünü üzerine alüminyum folyo sarılmaktadır. Şasi bölgesinde yapılan bu yalıtım ile birlikte tambur içi sıcaklık değerlerinde yükselmeler hedeflenmektedir. Ayrıca alüminyum folyo ile sarılması tambur etrafında yansıtıcı bir yüzey sağlayarak ısı kazancıda sağlanmaktadır.

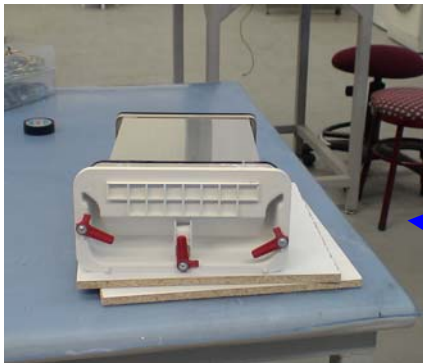


Şekil 3.13 : LUNA Kondenserli kurutucu platformu tambur altı şasinin cam yünü ile yalıtılıp üzerinin bant ile kaplanması üstten görünüşü

Kondenser Bölgesi Yalıtım Çalışmaları

Kurutucu performansının değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden biri de su tutma verimidir. Su tutma verimini etkileyen parametre ise kurutucudaki mevcut kaçaklardır. Kondenserin yerleştirildiği kısma tam oturabilmesi için kullanılan keçe ve contaların iyileştirilmesi veya bu kısımların silikonlanması ile kaçaklar minimuma indirilmeye çalışılmaktadır.

LUNA Platformu enerji tüketimi iyileştirme çalışmaları kapsamında kondenserde kaçakların azaltılması için; kondenserin yerleştirildiği kısımda arka tarafta bulunan keçeler yenilenmiş. Ön tarafta ise silikonlama yapılmıştır.



Kondenserin yerleştirildiği kısım

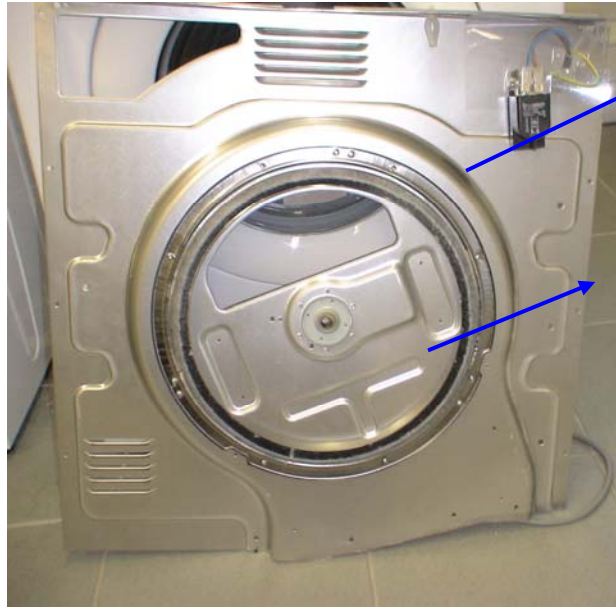


Kondenserin
silikonlanan
kısımları

Şekil 3.14 : LUNA Platformu Kondenserli kurutucu için kondenser yalıtımın yapılışı

Hava Kaçakları Azaltma Çalışmaları

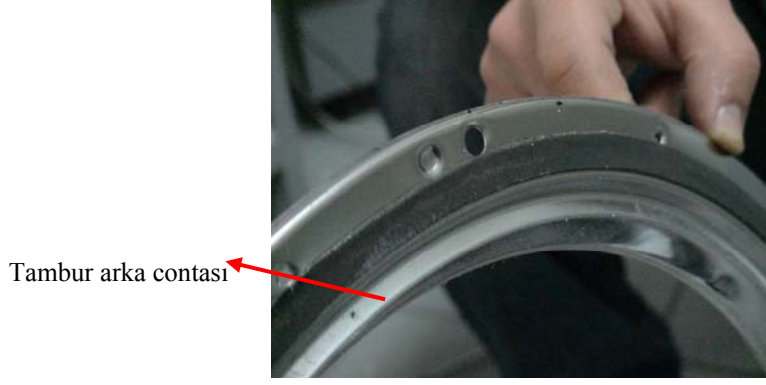
Proses havası devresinden olan hava kaçaklarının azaltılması için tambur arka tarafında ve ön tarafındaki keçeler çift kat yapılmıştır. Arka ve ön keçe değişimleri, kullanılan malzemeler, yerleşim şekilleri aşağıda anlatılmaktadır.



Tambur arka keçesi

Isıtıcının yer aldığı
kurutucu arka paneli

Şekil 3.15 : 10



Şekil 3.16 : AYÇ Kurutucu arka sacına basan kısım

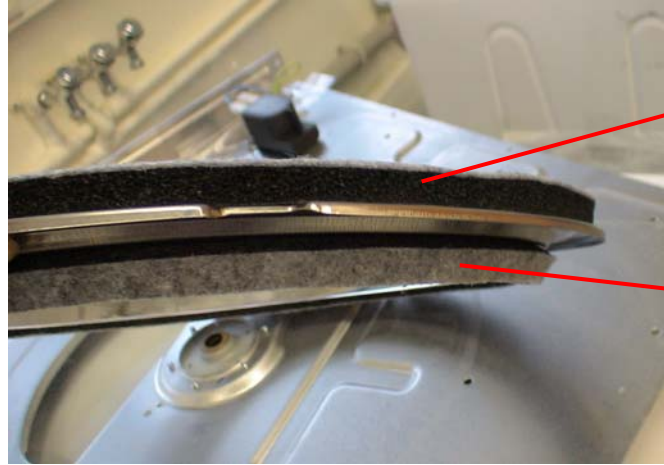


Şekil 3.17 : AYÇ tambura basan kısım

LUNA kondenserli kurutucuda arka keçe iyileştirme çalışmalarında contanın bulunduğu yüzeye, keçe kısmının olduğu yüzeydeki keçelerden yapıştırılmıştır. Böylece arka yataklama çemberi olarak adlandırılan kısmın saca bastığı ve tambura bastığı her iki yüzeye de keçe yerleştirilmiş oldu.



Şekil 3.18 : Arka yataklama çemberi



Arka yataklama çemberinin
ön ve arka tarafına keçe
yerleştirilmesi

Şekil 3.19 : Arka yataklama çemberinin ön ve arka kısımlarına keçe yerleştirilmesi

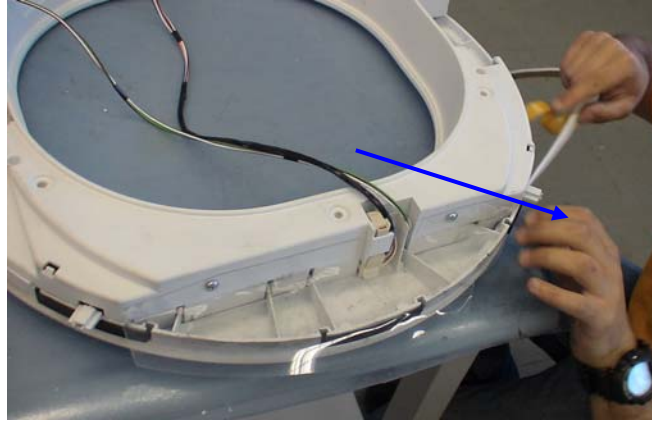
Ön yataklama çemberi için yapılan değişiklikler şu şekildedir.

Lagerhouse üzerinde bulunan yeşil renkli keçe çıkarılmıştır. Keçenin çıkarıldığı kısma TERRA kondenserli kurutucuda arka yataklama keçesi olarak kullanılan keçeden yerleştirilmiştir. (beyaz renkli). Daha sonra lagerhouse 'un kendi keçesi tekrar ikinci bir kat olarak diğer keçenin üzerine yerleştirilmiştir.

Kullanılan Terra arka yataklama çember keçesi (beyaz renkli olan) çift taraflı bant yapıştırılarak kullanılmıştır.



Şekil 3.20 : Lagerhouse ön yataklama çemberi



Şekil 3.21 : Lagerhuse keçesi altına Terra arka keçesinin yerleştirilmesi

3.3.3 LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu Enerji Tüketimi Azaltma Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

3.3.3.1 Yalıtım ve Kaçakların Azaltılması Deneylerinin Sonuçları

Luna Platformu kondenserli kurutucuda enerji tüketimini azaltmak amacıyla yapılan yalıtım ve kaçakların azaltılması çalışmaları sonucunda orijinal duruma göre %6,53 spesifik enerji tüketiminde düşme sağlanmıştır. Tüm değişikliklerin yapılmış olduğu alternatif deneyde (*kondenser + şasi + arka keçe + ön keçe + ısıtıcı yalıtımı*) LUNA Platformu kondenserli kurutucu için manuel olarak 93 dakikada kurutma süresi durdurulmuştur. Burada kurutma sonu nem oranı ± 3 toleranslarında kalması hedeflenmiş ve enerji tüketimindeki azalma irdelenmiştir.

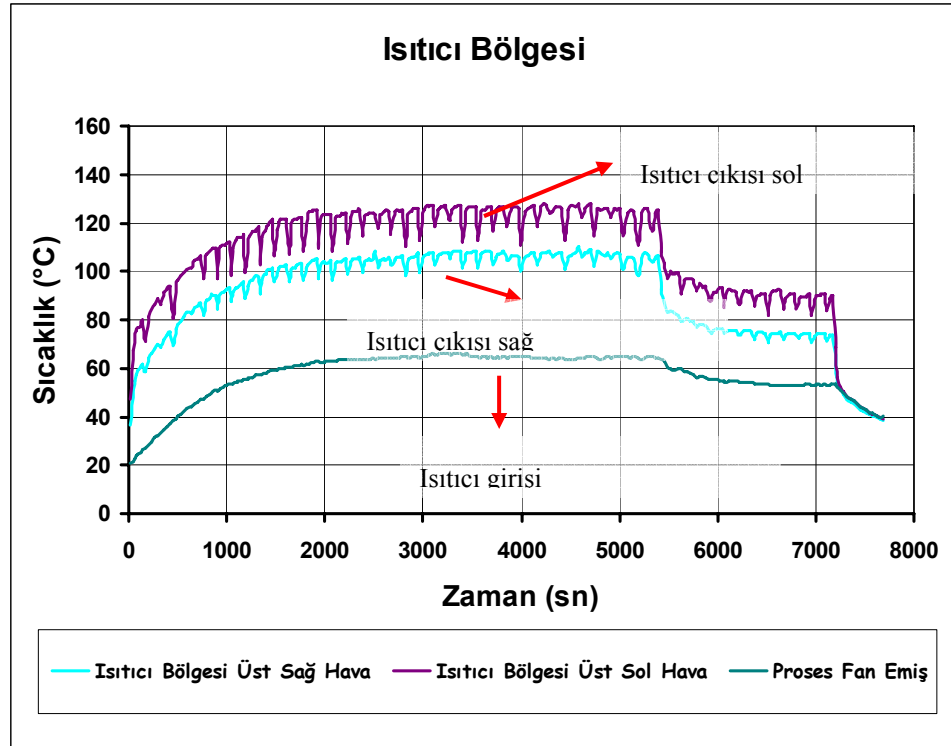
Tablo 3.5: Enerji tüketimi, kurutma sonu nem oranı ve su tutma veriminin LUNA Platformu alternatif deneyleri için değişimi

	Test Edilen Kapasite (kg)	Kurutma Öncesi Nem Oranı (%)	Kurutma Süresi (dak)	Spesifik Enerji Tüketimi (kWh/kg)	Su Tutma Verimi (%)	% 10-15 tolerans ile Enerji Sınıfı
LUNA ORJİNAL	6	60	128	0,796	71,2	C
KONDENSER+ ISITICI+ ŞAŞI+ ARKA KEÇE+ ÖN KEÇE+ YALITIMI	6	60	109	0,744	65,4	C

Sadece kondenserin kurutucuya takıldığı yüzeye ek conta takılması ve silikon ile yerinin sağlamlaştırılması sonucu yapılan deneyde su tutma verimi orijinal duruma göre artış göstermiştir.

Aşağıda yapılan deneyler sonucunda proses ve soğutma havası devresinde yapılan sıcaklık ölçümlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Isıtıcı Bölgesi Sıcaklık Değişimi



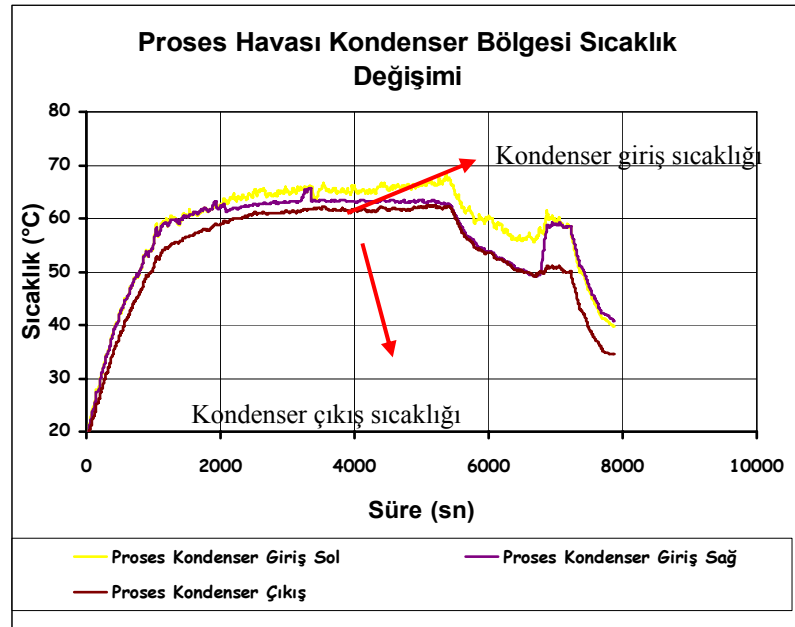
Şekil 3.22 : Isıtıcı Bölgesi sıcaklık değişimi (Orijinal durum)

Arka panel üzerine yapılan yalıtım neticesinde ısıtıcı çıkış sıcaklıkları artış göstermektedir. Bu tambur içerisine sevkedilen ısıtılmış havanın nem alma potansiyeli bakımından faydalıdır. Yapılan alternatif deneylerde tekil etkiler incelendiğinde ısıtıcı bölgesinde sıcaklık değerlerini en çok etkileyen çalışma arka panel ve şasi yalıtımı olmuştur. Ayrıca arka panel, kondenser ve şasi yalıtımı ile birlikte ısıtıcı çıkışı sağ ve sol tarafındaki sıcaklık farkı (2 °C) minimuma inmiştir. Isıtıcı bölgesi için oluşturulan tabloda sıcaklık değerleri rejim hali dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 3.6: Isıtıcı bölgesi sıcaklık değerlerinin değişimi

	Isıtıcı Girişi (°C)	Isıtıcı Çıkışı Sol (°C)	Isıtıcı Çıkışı Sağ (°C)	Isıtıcı Çıkışı Sağ-Sol Fark (°C)
LUNA Orijinal	62	126	108	18
Arka Duvar Yalıtımı	63	137	132	5
Kondenser Yalıtımı	63	132	125	7
Kondenser+ Şasi Yalıtımı	64	136	131	5
Arka Duvar +Kondenser+ Şasi Yalıtımı	65	144	142	2
Arka Duvar+ Kondenser+ Şasi + Arka Keçe Yalıtımı	65	142	136	6
Arka Duvar +Kondenser+ Şasi +Arka ve Ön Keçe Yalıtımı	62	138	125	13

Proses Havası Kondenser Bölgesi Sıcaklık Değişimi



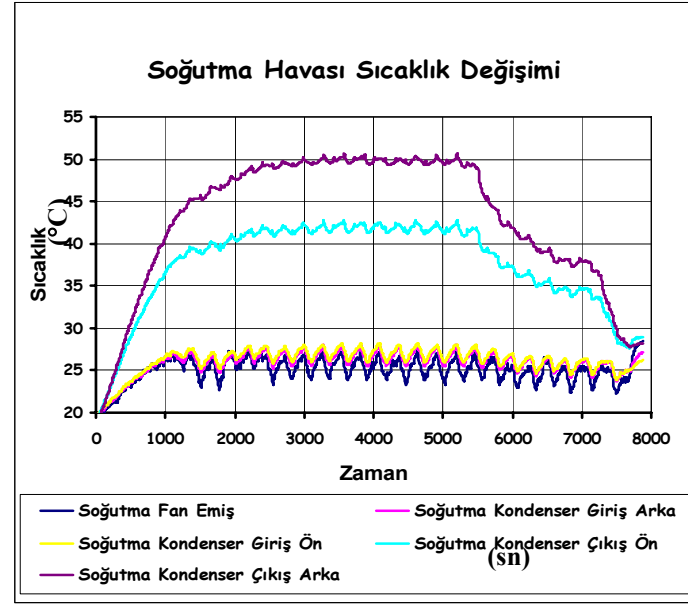
Şekil 3.23 : Proses Havası Kondenser Bölgesi Sıcaklıkları (Orijinal Durum)

Tablo 3.7: Proses Havası Kondenser Giriş ve Çıkış Sıcaklık Değişimi (°C)

	PROSES HAVASI	
	Kondenser giriş	Kondenser çıkış
LUNA ORİJİNAL	65	62
KURUTUCU ARKA DUVAR YALITIMI	67	64
KONDENSER YALITIMI	67,5	63
KONDENSER + ŞAŞİ YALITIMI	68,5	65
ARKA DUVAR+KONDENSER+ŞAŞİ YALITIMI	69	66
ARKA DUVAR+KONDENSER+ŞAŞİ +ARKA KEÇE YALITIMI	70	66,5
ARKA DUVAR+KONDENSER+ŞAŞİ +ARKA KEÇE+ ÖN KEÇE YALITIMI	67	63

Yapılan yalıtım ve hava kaçaklarının azaltılması çalışmaları kondenser giriş ve çıkış sıcaklıklarını yükseltmektedir. Proses Havası kondenser bölgesinde en büyük sıcaklık artışı arka panel+kondenser+şasi+arka keçe yalıtımının yapıldığı deneysel çalışmada elde edilmiştir. Kondenser giriş sıcaklığı bu deneyde 5 °C, kondenser çıkış sıcaklığı ise 4,5 °C artmıştır. Proses havası kondenser sıcaklıkları değişiminde giriş-çıkış arasındaki sıcaklık farkı 3 ile 3,5 °C arasında değişmektedir. Ve bu durum tüm alternatif deneylerde korunmuştur.

Soğutma Hava Sıcaklık Değişimi



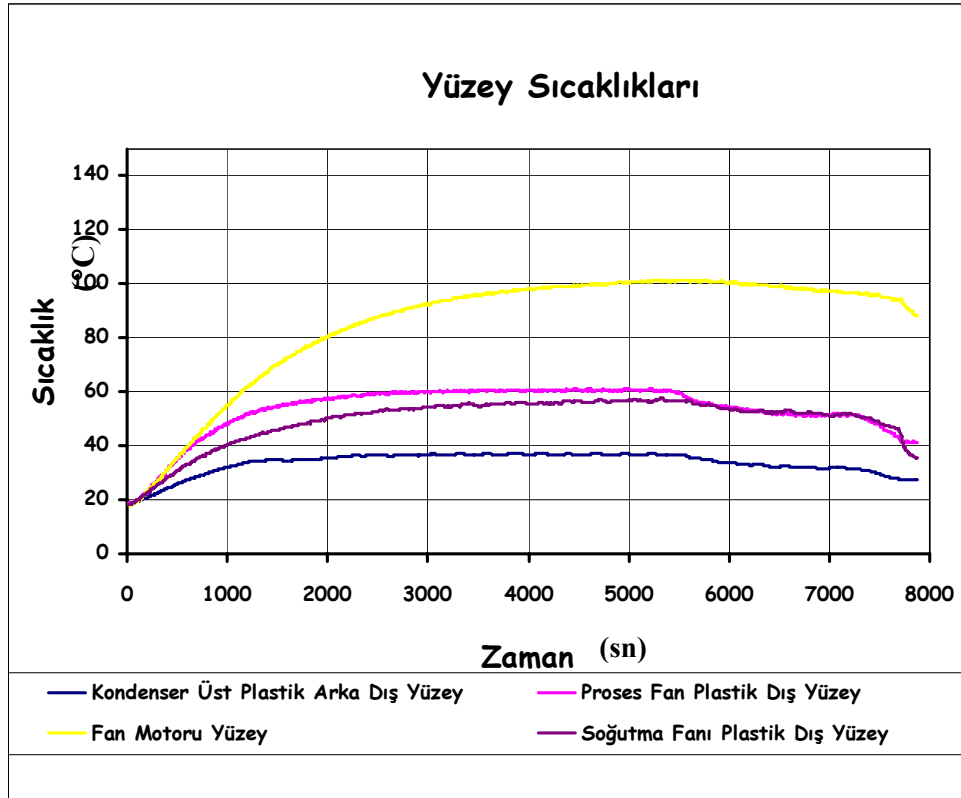
Şekil 3.24 : Soğutma Hava Sıcaklık değişimi (Orijinal Durum)

Tablo 3.8: Soğutma hava sıcaklık değişimi (°C)

	SOĞUTMA HAVASI		
	Kondenser Çıkış	Kondenser Giriş	Fan Emiş
Luna Orijinal	42	28	27
Kurutucu Arka Duvar Yalıtımı	42,5	28	26
Kondenser Yalıtımı	42,5	27	26
Kondenser + Şasi Yalıtımı	47	30	26
Arka Duvar+ Kondenser+ Şasi Yalıtımı	47	29,5	29
Arka Duvar+ Kondenser+ Şasi + Arka Keçe Yalıtımı	48	30	29
Arka Duvar +Kondenser+ Şasi +Arka ve Ön Keçe Yalıtımı	43	30	29,5

Enerji tüketimi azaltma çalışmaları kapsamında yapılan deneylerde soğutma hava sıcaklıklarında kondenser girişinde 2 °C, kondenser çıkışında ise 6 °C ‘lık yükselme elde edilmiştir.

Yüzey ve Panel Hava Sıcaklık Değişimleri



Şekil 3.25 : Yüzey sıcaklıkları değişim grafiği (Orijinal durum)

Tablo 3.9: Yüzey ve panel hava sıcaklıkları değişimleri (°C)

	YÜZEY VE PANEL SICAKLIKLARI						
	Motor Üst	Pro ses Fan	Soğutma Fan Üzeri	Konde nser Üst	Sol Panel	Sağ Panel	Üst Panel
Luna Orijinal	100	60	56	37	46	50	51
Kurutucu Arka Duvar Yalıtımı	100	63	60	38	48	54	52
Kondenser Yalıtımı	100	62	60	37	47	54	52
Kondenser + Şasi Yalıtımı	113	65	76	34	49	53	53
Arka Duvar+ Kondenser+ Şasi Yalıtımı	114	66	78	35	49	54	53

Arka Duvar+ Kondenser+ Şasi + Arka Keçe Yalıtımı	116	66	78	36	51	54	55
Arka Duvar +Kondenser + Şasi +Arka ve Ön Keçe Yalıtımı	115	64	77	31	48	54	50

Enerji tüketimi çalışmalarında şasi yalıtımı çalışması ile birlikte soğutma fan yüzeyi sıcaklık değerleri proses fanı sıcaklık değerlerinden daha yüksek değerler almaya başlamıştır. Proses ve soğutma fanı üzeri sıcaklıkları arasında sıcaklık farkı 2-4 °C arasında değişirken, şasi yalıtımının yapılması ile birlikte sıcaklık farkı 10-12 °C ‘ye çıkmıştır. Panel hava sıcaklıkları ise yapılan alternatif enerji tüketimi azaltma çalışmaları ile ortalama olarak 3 - 4 °C artmıştır.

Optimum Proses ve Soğutma Havası Debisi Çalışması Sonuçları

Alternatif enerji tüketimi çalışmalarına ek olarak optimum debileri de kullanarak düşük debide enerji tüketimi azaltma çalışması yapılmıştır. Buradaki amaç soğutma ve proses havası çevrimlerinde kullanılan debilerin optimum değerinin kullanılması ile hem enerji sarfiyatında hem de kullanılan fan boyutlarının küçülmesi sağlanarak maliyette ve enerjide tasarruf sağlamaktır.

Tablo 3.10: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi sonuçlarının karşılaştırılması

	Test Edilen Kapasite (kg)	Kurutma Öncesi Nem Oranı (%)	Kurutma Süresi (dak)	Spesifik Enerji Tüketimi (kWh/kg)	Su Tutma Verimi (%)	% 10-15 tolerans ile Enerji Sınıfı
LUNA ORİJİNAL	6	60	128	0,796	71,2	C
YALITIMLAR+ DÜŞÜK SOĞUTMA VE PROSES HAVASI DEBİLERİ	6	60	88	0,724	67,2	B

Düşük soğutma ve proses havası debileri ve alternatif enerji tüketimi çalışmalarının birlikte yapılması ile spesifik enerji tüketimi 0,724 kWh/kg 'a düşürülmüştür. Böylece LUNA kondenserli kurutucu %15 tolerans ile enerji sınıfı atlayarak **B sınıfı** olarak beyan edilebilir duruma gelmiştir.

Arka keçe ,ön keçe, kondenser, şasi ve ısıtıcı bölgesi yalıtımının birlikte yapılması, proses ve soğutma havası debilerinin düşürülmesi ve ayrıca kapak etrafında kaçakların önlenmesi için ön kapağın etrafı bant ile kapatılmıştır. Bu deneyde elde edilen sonuçlarda; kurutucuya uygulanan değişiklikler içerisinde en önemli paya sahip olan soğutma ve proses havası debilerinin düşürülmüş olmasıdır.

Kurutucuda mevcut (orijinal) soğutma havası debisi 59l/s, proses havası debisi ise 39l/s' dir. Soğutma ve proses havası debilerinde yapılan kısılmalar sonucu proses havası debisi 28 l/s , soğutma havası debisi ise 37,5 l/s olmuştur.

LUNA Platformu için ayarlanan kurutma süresi 128 dakikadır. Yapılan gözlemler ve deneyler sonucunda bu süre sonucunda yapılan alternatif değişikliklerle birlikte çamaşırlarda aşırı kuruluk belirlenmiştir. Tolerans dahilinde olan kurutma sonu nem oranına ($\pm \%3$) ve 128 dakika sonucunda harcanan fazla enerji tüketiminden tasarruf etmek için program çalışma süresi 90 dakikada kesilmiştir.

Isıtıcı Bölgesi Sıcaklık Değişimi

Enerji tüketimi azaltma çalışmalarında kullanılan optimum soğutma ve proses havası debileri ile birlikte ısıtıcı bölgesinde diğer çalışmalarda olduğu gibi sıcaklık artış eğilimi devam etmektedir.

Isıtıcı bölgesinde farklı olarak ısıtıcı girişinde önceki çalışmalarda pek fazla değişim yakalanmaz iken düşük soğutma ve proses havası debisi ile birlikte orijinal duruma göre 10 derecelik bir artış elde edilmiştir.

Tablo 3.11: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi ısıtıcı bölgesi sıcaklık sonuçlarının karşılaştırılması (°C)

	Isıtıcı Girişi (°C)	Isıtıcı Çıkışı Sol (°C)	Isıtıcı Çıkışı Sağ (°C)	Isıtıcı Çıkışı Sağ-Sol Fark (°C)
LUNA ORİJİNAL	62	126	108	18
TÜM YALITIMLAR	62	138	125	13
DÜŞÜK SOĞUTMA VE PROSES HAVASI DEBİSİ	72	142	131	11

Düşük Proses ve soğutma havasının kullanıldığı alternatif çalışmada daha önceki çalışmalarda yapılan tüm değişiklikler mevcuttur. (arka duvar, kondenser, şasi, arka ve ön keçe yalıtım çalışmaları)

Proses Havası Kondenser Bölgesi Sıcaklık Değişimi

Kondenser bölgesinde debilerin düşürülmesi ile birlikte hem kondenser girişinde hem de kondenser çıkışında 10 derecelik yükselme elde edilmiştir. Kondenser giriş çıkışı arasındaki fark ise korunmuştur. (3-4°C)

Tablo 3.12: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi proses havası kondenser bölgesi sıcaklık sonuçlarının karşılaştırılması (°C)

	PROSES HAVASI	
	Kondenser Giriş	Kondenser Çıkış
LUNA ORİJİNAL	65	62
TÜM YALITIMLAR	67	63
DÜŞÜK SOĞUTMA VE PROSES HAVASI DEBİSİ	75	72

Soğutma Havası Sıcaklık Değişimi

Kondenser çıkışında 9°C, kondenser girişinde ise orijinal duruma göre 5°C 'lık artış meydana gelmiştir. Fan emişinde de aynı şekilde sıcaklık artış eğilimi devam etmektedir.

Tablo 3.13: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi soğutma havası sıcaklık değişimi sonuçlarının karşılaştırılması

	SOĞUTMA HAVASI		
	Kondenser Giriş	Kondenser Çıkış	Fan Emiş
LUNA ORİJİNAL	42	28	27
TÜM YALITIMLAR	43	30	29,5
DÜŞÜK SOĞUTMA VE PROSES HAVASI DEBİSİ	51	33	30

Yüzey ve Panel Havası Sıcaklık Değişimleri

LUNA Platformu yüzey ve panel sıcaklıklarında önemli ölçüde sıcaklık artışı meydana gelmiştir. Düşük soğutma ve proses havası debisi çalışması dışında yapılan diğer alternatif çalışmalarda soğutma fanında elde edilen yüksek sıcaklık artışları , debilerin düşürülmesi ile birlikte proses fanı üzerinde de elde edilmiştir. Proses fanı üzerinde sıcaklık artışı orijinal duruma göre 12°C'dir. Panel havası sıcaklıklarında ise ortalama 5-8°C lik artış meydana gelmiştir.

Tablo 3.14: LUNA Platformu Kondenserli Kurutucu orijinal ve düşük debi yüzey ve panel sıcaklık sonuçlarının karşılaştırılması(°C)

	YÜZEY VE PANEL SICAKLIKLARI						
	Motor Üst	Proses Fan	Soğutma Fan Üzeri	Kondenser Üst	Sol Panel	Sağ Panel	Üst Panel
LUNA ORİJİNAL	100	60	56	37	46	50	51
TÜM YALITIMLAR	115	64	77	31	48	54	50

DÜŞÜK SOĞUTMA VE PROSES HAVASI DEBİSİ	112	72	84	35	52	58	56
---	-----	----	----	----	----	----	----

SONUÇLAR

Çamaşır kurutma makinesi üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, enerji bilançosunun çıkarılması ve teorik çalışmalar ile yapılan parametrik analizler sonucunda toplam enerji tüketimini azaltabilecek çeşitli çalışmalar yapılabilir. Pamuklu dolap kuruluğu programında program enerji bilançolarından da anlaşılabileceği gibi, tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %80 ni kullanılan elektrikli ısıtıcıdan kaynaklanmaktadır. Bu enerjinin geri kazanım yapılması mümkündür. Bunun sonucunda çamaşır kurutma makinesinde tekrarlana kurutma deneylerinde de enerji kazanımı sağlanabilmektedir.

Pamuklu dolap kuruluğu programında enerji bilançoları incelendiğinde enerji tüketiminin program sıcaklık ayarına bağlı olarak yaklaşık %25 kadarının dış ortama ısı kayıp olarak atıldığı görülmektedir. Dış kaybın azaltılması ile ilgili uygulamaların kurutma işlemi boyunca bu ısı kaybın nasıl önlenebileceği ve kurutma adımlarında hangi oralarda etki edebileceği incelenebilir.

Isı kaybının yüksek olması nedeniyle, ısı kaybını azaltıcı uygulamalar enerji tüketiminin azaltılması yönündeki etkisi de büyük olmaktadır. Toplam elektrik enerjisinin %80'nin ısıtıcı kullanmakta ve en büyük ısı kaybı yine bu bölgeden olmaktadır. Bu bölgede yapılabilecek her türlü iyileştirme adımı kurutma makinelerinde enerji performansına olumlu yönde etki edecektir.

Ortam şartlarının sıcaklık ve özellikle ne oranı çamaşır kurutma makinesi performansına etki eden önemli parametrelerdir. Bu nedenle ısı model yapılırken parametrik analiz kısmında bu parametreler ile ilgili çeşitli çalışmaların yapılması enerji performansının analizinin doğru yapılmasına katkıda bulunacaktır. Ortam şartlarındaki değişimin enerji performansına etkisi böylece daha net ortaya konmuş olacaktır.

Çamaşır kurutma makinelerinde gerek yapısal, gerekse kurutma profilinde yapılacak değişikliklerin enerji tüketime etkilerinin belirlenmesi için oluşturulacak ısıl modele deneysel çalışmalar sonunda çıkarılmış olan sıcaklık, basınç, nem ve enerji tüketim haritaları önemli bir anahtar rolü göstermektedir ve doğru modelleme yapılması açısından faydalı olacaktır

KAYNAKLAR

- [1] **GEA Wet Appliances**, 1995. *Tech Econ Analysis*, Drier,
- [2].**Bassiliy, A.M & Colver ,G.M., 2003.** Performance Analysis of an Electric Clothes Dryer, *Drying Technology*, 23(7), 499- 524,
- [3] **Bansal, P.K.; Braun, J.E.;Groll, E.A., 2001.** Improving the Energy Efficiency of Conventional Tumble Clothes Drying Systems, *International Journal of Energy Research*, 1315-1332.
- [6] **Beiron, J., Brunzell, L., 2005.** Energy efficiency and drying capacity for an unheated or partially heated air vented tumble dryer, *Proceedings of the 3rd Nordic Drying Conference*, University of Karlstad
- [7]**Berghel, J., 2004.** Improved Fluidized Bed Drying Technology for Wood Fuels, Karlstad University Studies,
- [8] **Conde, M.R.,1997.** Energy Conservation with Tumbler Drying in Laundries, *Applied Thermal Engineering*, **17**, 1163-1172,
- [9] **Brunzell, L., 2006.** Energy Efficient Textile Drying, *PhD Thesis*, University of Karlstad, Sweden.
- [10] **Braun, J.E.; Bansal, P.K.; Groll, E.A. ,2002.** Energy Efficiency Analysis of Air Cycle Heat Pump Dryers, *International Journal of Refrigeration*, 954-9652,
- [11]**Braun, J.E., Bansal, P.K.,Groll, E.A.,** Energy Efficiency Analysis of Air Cycle Heat Pump Dryers, *International Journal of Refrigeration*, 954-9652, 2002.

- [12] **Washing Machines, Driers and Dishwashers Backround Report – Driers:** Long Term Efficiency Targets a Technical and Economic Analysis, *En Kemma Van Holsteijn*, Netherland
- [14] **Guide to Industrial Drying**, Arun S. Mujumdar, *Colour Publications Pvt. Ltd*, 2004
- [15] **BS EN 61121**, 1999, Tumble Dryers for household use – Methods for measuring the performance, British Standards, England
- [16] **Çengel, Y., Boles M.**, 1994, *Thermodynamics:An Engineering Approach*, NewYork
- [17] **Berghel, J., Brunzell, L., Bengtsson, P.**, 2004, *Proceedings of the 14th Interntional Drying Symposium* ,
- [18] **Conde,M.R.**, 1997, Kapalı çevrimli kurutucularda enerji verimliliğinin geliştirilmesi, *Applied Thermal Engineering*, **17-12**, 1163-1172,
- [19] **Brunzell,L., Renström, R.**, 2006, *15nd International Drying Symposium*, University of Karlstad, Sweden
- [20] **Bengtsson, P.**, 2006, *15nd International Drying Symposium*, ASKO Cylinda,
- [22] **Bassily, M., Colver, G.M.**, 2005. Correlation of the Area-Mass Transfer Coefficient Inside the Drum of aClothes Dryer , *Drying Technology*, **21(5)**, 1515-1540,
- [23] **Haghi, A.K.**, 2004, Nem içeriğne Sabit Kurutma Hızı Boyunca Sıcaklık Etkisi, *Transport Phenomena in Porous Media: A Review*,
- [24] **Brunzell, L., Renström, R.**, 2005, Temperature as an indicator of the moisture content during the constant drying rate, *Proceedings of the 3rd Nordic Drying Conference*, University of Karlstad, Karlstad, Sweden,
- [25] **Beiron,J., Brunzell, L.**,2005, University of Karlstad, *Proceedings of the 3rd Nordic Drying Conference*

- [26] **Ohlsson,M., Fredoson, S., Renström, R., 2006, 15nd International Drying Symposium**, University of Karlstad,
- [27] **Kao,J.Y.,2005**, National Institute of Standarts and Technology,
- [28] **Bassily, A.M., Colver, G.M.,2007**, Numerical Optimization of the Annual Cost of a Clothes Dryer, *Drying Technology* ,
- [29] **Bansal, P. K., Braun, J.E., Groll, E.A., 2001**, Improving the energy efficiency of conventional tumbler clothes drying systems,
- [30] **Braun, J.K., Bansal, P.K.,Groll, E.A., 2002**, Energy efficiency analysis of air cycle heat pump dryers,
- [31] **Turner, I., Mujumdar A.S.,2001**, Kurutma Teknolojilerinde Matematiksel Modelleme ve Nümerik Teknikler

ÖZGEÇMİŞ

Tuba Kartal 25.04.1983 tarihinde İstanbul'da doğdu. Orta öğrenimini 2001 yılında İzmit Süper Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Kocaeli Üniversitesi Makina Fakültesi 'ni birincilikle bitirerek Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isı-Akışkan Yüksek Lisans Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2005-2007 yılları arasında iki yıl süresince İ.T.Ü. ve ARÇELİK A.Ş. arasında imzalanmış üniversite-sanayi işbirliği anlaşması çerçevesince ARÇELİK A.Ş. Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi'nde proje asistanı olarak görev yaptı. ARÇELİK A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesi'nde ürün geliştirme mühendisi olarak görevini sürdürmektedir. İngilizce bilmektedir.