

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVA YOĞUŞTURMALI KURUTMA MAKİNELERİNDE ENERJİ
VERİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

Meryem ATİLA tarafından hazırlanan tez çalışması 02.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Özden AĞRA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Özden AĞRA, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Semih ÖZTUNA, Üye
Trakya Üniversitesi

Doç. Dr. Alp Tekin ERGEÇ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Özden AĞRA sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Hava Yoğuşturmalı Kurutma Makinelerinde Enerji Verimini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Meryem ATİLA

İmza



Bu çalışma, Arçelik Çamaşır Kurutma Makinesi İşletmesi tarafından desteklenmiştir.



Aileme
ve
dostlarıma

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, karşılaştığım zorluklarda ilgi yardımını esirgemeyen, hayatım boyunca örnek alacağım değerli hocam, Doç. Dr. Özden AĞRA' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın yürütülmesi için imkân sağlayan, Arçelik Kurutma Makinesi İşletmesi' ne, tez konumun belirlenmesine katkı sağlayan ve çalışmalarımda manevi ve teknik desteklerini hiç esirgemeyen değerli iş arkadaşlarım Selçuk KARAGÖZ, Onur ERCAN ve Fatih ÖZDEMİR' e,

Yaz stajım sırasında kendisi ile tanışma fırsatı bulduğum ve daha sonra lisans ve yüksek tezimin teorik ve deneysel çalışmalarında bilgi ve birikimleri ile yanımda olan, olumlu öneri ve eleştirileri ile beraber bu çalışmaya katkıda bulunan çalışma arkadaşım ve kardeşim gibi sevdiğim Sn. Gökhan SIR' a,

Deney düzeneğinin hazırlanmasını sağlayan değerli çalışma arkadaşım Seçkin DOĞAN' a ve deneylerin zamanında ve hatasız yapılmasında emekleri olan Berkan GÜVERCİN, Fatih AK' a ve Arçelik Kurutma Makinesi İşletmesinin bütün Ar-Ge Performans Laboratuvarı teknisyenlerine,

Bugünlere gelebilmemde büyük emeği olan; maddi ve manevi her türlü desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, karşılaştığım zorluklarla baş edebilmemde beni cesaretlendiren, başta annem Nevin ATİLA olmak üzere tüm değerli aileme,

Hayatımı anlamlı ve renkli kılan, sıkıntılı geçen zamanlarında samimiyetleri ve destekleriyle yanımda olan sevgili dostlarım Öykü SINEM ÖZER, Işık CANTÜRK, Sumru YELİNER ve Müjgan HÜSMÜLLÜ' ye sonsuz minnettarlığımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Meryem ATİLA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
TABLO LİSTESİ	xvi
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	8
2 Literatür Araştırması	10
2.1 Elektrikli Bacalı Çamaşır Kurutma Makinelerinde Toplam Enerji Dengesi	10
2.2 Özel Kontrol Yöntemleriyle Düşük Çamaşır Kapasitesine Sahip Tamburlu Kurutma Makinelerinde Enerji Kazancı	18
2.3 Yoğuşmalı Kurutma Makinelerinde Sızdırmazlık ve Birim Su buharı Uzaklaştırmak için Harcanması Gereken Enerjinin Modellenmesi	22
2.4 Ev Tipi Kurutma Makinelerinde Tambur İçerisindeki Tekstil Hareketinin Kurutma Performansına Etkisinin İncelenmesi	26
2.5 Pazar Araştırması	31
3 Deneysel Çalışmalar	34

3.1	Deney Düzenineğinin Tanıtılması.....	34
3.2	Ölçüm Sisteminin Tanıtılması.....	37
3.3	Belirsizlik Analizi	39
3.4	Debi Ölçümü	41
3.5	Deney Tasarımı.....	43
3.6	Deneylerin Yapılışı	45
3.7	Deney Sonuçları	47
3.7.1	İstatistiksel Analizlerle Değişkenlerin MER Değerine Etki Derecelerinin Belirlenmesi	48
3.7.2	İstatistiksel Analizlerle Değişkenlerin Kurutma Hızına Etki Derecelerinin Belirlenmesi	54
3.7.3	İstatistiksel Analizlerle Değişkenlerin Kurutma Sonu Nem Etki Derecelerinin Belirlenmesi	57
3.8	Deneyssel ve İstatiksel Analiz Sonuçlarının Hava Yoğuşturmalı Kurutma Makinesinde Kontrol Edilmesi.....	59
3.9	Deneyssel, İstatiksel Analiz ve Gerçek Sonuçların Karşılaştırılması	60
4	Teorik Çalışma	65
4.1	Hava Soğutmalı Isı Değiştiricilerde Enerji Dengesi.....	65
4.1	Hava Soğutmalı Isı Değiştiricilerde Yoğuşma Verimi	67
5	Sonuç ve Öneriler	69
	Kaynakça	72
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	73

SİMGE LİSTESİ

A_j	Yüzey Alanı
c	Çamaşır Ağırlığı
C_a	Kuru Havanın Özgöl Isısı
C_d	Kurutucunun Özgöl Isısı
C_s	Soğutma Havası Özgöl Isısı
C_t	Tekstil Özgöl Isısı
C_v	Su Buharı Özgöl Isısı
C_{wi}	Çamaşırdaki Suyun Özgöl Isısı
E_{ao}	Kurutucudan Havaya Verilen Enerji
E_{co}	Kurutucudan Taşınım ile Odaya Verilen Enerji
E_{coj}	Her Bir Yüzeyden Taşınım ile Olan Isı Transferi
$E_{\text{ç}}$	Sistemden Çıkan Toplam Enerji
E_{do}	Kurutucunun Gövdesinden Çıkan Enerji
E_{dry}	Tam Yük Çamaşırın Enerji Tüketimi
$E_{dry1/2}$	Yarım Yük Çamaşırın Enerji Tüketimi
E_{eli}	Elektronik Kartların Tükettiği Enerji
E_{emi}	Motorun Tükettiği Enerji
E_{eri}	Isıtıcının Tükettiği Enerji
E_{evo}	Su Buharını Buharlaştırmak İçin Gerekli Enerji
E_g	Sisteme Giren Toplam Enerji
E_i	Sisteme Giren Toplam Enerji
$E_{KH_çıkış}$	Kurutma Havası Çıkış Enerjisi
$E_{KH_giriş}$	Kurutma Havası Giriş Enerjisi

E_{ksm}	Kurutma ve Soğutma Havası Motorlarının Toplam Enerji Tüketimi
E_o	Sistemden Çıkan Toplam Enerji
E_{ro}	Kurutucudan Radyasyonla Odaya Verilen Enerji
$E_{SH_çıkış}$	Soğutma Havası Çıkış Enerjisi
$E_{SH_giriş}$	Soğutma Havası Giriş Enerjisi
E_t	Ağırlaştırılmış Enerji Tüketimi
E_{to}	Tekstile Verilen
E_u	Kayıp Enerji
E_{wo}	Su Buharını Isıtmak İçin Gerekli Enerji
f_{ain}	Kurutucuya Giren Toplam Nemli Havanın Kütlesel Debisi
f_{vin}	Su Buharı Kütlesel Debisi
f_{von}	Çıkan Su Buharı Kütlesel Debisi
f_{aon}	Çıkan Kuru Hava Kütlesel Debisi
f_{in}	Kurutucuya Giren Toplam Nemli Havanın Kütlesel Debisi
f_{on}	Kurutucudan Çıkan Toplam Nemli Havanın Kütlesel Debisi
h_a	Kuru Havanın Entalpisi
h_j	Isı Transfer Katsayısı
h_v	Su Buharı Entalpisi
L_v	Buharlaşma Entalpisi
m_{bd}	Kuru Tekstilin Kütlesi
m_d	Kurutucunun Kütlesi
m_{ev}	Buharlaşan Su Kütlesi
m_k	Kurutma Havası Kütlesel Debisi
m_s	Soğutma Havası Kütlesel Debisi
m_{su}	Kurutma İşlemi Sonrası Çamaşırdan Uzaklaştırılan Su Kütlesi

m_{tf}	Tekstil Deney Sonu Kütlesi
m_{ti}	Tekstil Deney Başlayıcındaki Islak Kütlesi
m_{wi}	Çamaşırdaki Su Kütlesi
η	Kurutma İşleminin Verimini
P_e	Elektronik Kart Güç Tüketimi
P_{eri}	Isıtıcı Güç Tüketimi
P_{kh}	Kurutma Havası Motoru Güç Tüketimi
P_l	Kurutma İşlemi Sonrası Elektronik Mekanik Parçaların Tükettiği Güç
P_{nh}	Motor Güç Tüketimi
P_o	Kurutma Sırasında Elektronik Mekanik Parçaların Tükettiği Güç
P_{sh}	Soğutma Havası Motoru Güç Tüketimi
Q_h	Sistemdeki Isı Transferi
Q_{KH}	Kurutma Havası Enerjisi
Q_{SH}	Soğutma Havası Enerjisi
Q_{tot}	Sistemin Tükettiği Toplam Enerji
q_v	Su Buharı Doyma Sıcaklığındaki Entalpisi
T_{am}	Ortam Sıcaklığı
T_{df}	Kurutucu Deney Sonu Sıcaklığı
T_{di}	Kurutucu Deney Başlangıç
T_{dry}	Tam Yük Çamaşırın Kuruma Süresi
$T_{dry1/2}$	Yarım Yük Çamaşırın Kuruma Süresi
t_f	Deney Sonu Zamanı
t_i	Deney Başlangıç Zamanı
T_j	Yüzey Sıcaklığı
$T_{kç}$	Kurutma Havası Çıkış Sıcaklığı

T_{kg}	Kurutma Havası Giriş Sıcaklığı
T_l	Kurutma İşlemi Sonrası Elektronik Mekanik Parçaların Çalıştığı Süre
$T_{sç}$	Soğutma Havası Çıkış Sıcaklığı
T_{sg}	Soğutma Havası Giriş Sıcaklığı
T_t	Ağırlaştırılmış Süreç
T_{wf}	Tekstil Kurutma Sonu Sıcaklığı
T_{wi}	Tekstil İlk Sıcaklığı
V	Isı Değiştirici Yoğuşma Verimi
V_E	Soğutma Havası Hacimsel Debisi
V_i	Kurutma Havası Hacimsel Debisi
w	Özgül nem
w_{in}	Giren Havadaki Özgül Nem
Δt	Toplanan Zaman Verisi

KISALTMA LİSTESİ

Adj SS	Düzeltilmiş Değişkenler Toplamı
AEC	Yıllık Enerji Tüketimi
DOE	Deney Tasarımı
EEI	Enerji Sınıfı Enerji Verim Katsayısına
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
KSN	Kurutma Sonu Nem
MER	Birim Su Buharını Yoğuşturmak İçin Gerekli Enerji Miktarı
SAEC	Standart Yıllık Enerji Tüketimi
SMER	Birim Enerji Tüketiminde Yoğuşturulan Su Miktarı
VTs	Veri Toplama Sistemi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Bacalı çamaşır kurutma makinesi çevrimi.....	2
Şekil 1.2	Isı pompalı çamaşır kurutma makinesi çevrimi.....	3
Şekil 1.3	Yoğuşturmalı çamaşır kurutma makinesi çevrimi.....	4
Şekil 1.4	Yoğuşturmalı kurutma makinesi kurutma havası kapalı çevriminin psikometrik diyagramda gösterimi.....	4
Şekil 1.5	Ev tipi tamburlu kurutma makinesi enerji sınıfı etiketi	6
Şekil 2.1	Kurutma işlemi enerji (sürekli çizgiler) ve kütle (kesikli çizgiler) korunumu şematik gösterimi. LH=düşük nem ve HH=yüksek nem....	31
Şekil 2.2	Bacalı çamaşır kurutma makinesi hava akışının şematik gösterimi ...	14
Şekil 2.3	Zamana bağlı buharlaşma hızı değişikliğinin yapılan kurutucu (a), referans kurutucu (b)	15
Şekil 2.4	Zamana sıcaklık değişimi (a) değişiklik yapılan kurutucu (b), referans kurutucu	16
Şekil 2.5	Hesaplanan kütle transfer katsayısı, H_m (); Sherwood sayısı (Sha) hesaplanan () ve tahmini (Δ), Schmidt sayısı Sc	17
Şekil 2.6	Harcandığı enerji miktarının parça bazlı dağılım.....	18
Şekil 2.7	Bacalı kurutma makinesinin şematik gösterimi	19
Şekil 2.8	Kurutma çevrimindeki sıcaklık ve nem içeriğinin model ve deney	20
Şekil 2.9	Kurutma çevrimindeki sıcaklık ve nem içeriğinin model ve deney sonuçları ile karşılaştırılması (3,32 kg kuru çamaşır ağırlığı).....	20
Şekil 2.10	Kurutma çevrimindeki sıcaklık ve nem içeriğinin model ve deney sonuçları ile karşılaştırılması (4,72 kg kuru çamaşır ağırlığı)	21
Şekil 2.11	SMER için istatistiksel ve fiziksel modelin karşılaştırılması.....	24
Şekil 2.12	Kaçan nem miktarının istatistiksel ve ölçüm değerleri ile karşılaştırılması (Kaçak miktarı istatistiksel modelden, tamburdan kaçan nem ise deneysel ölçümlere aittir.).....	24
Şekil 2.13	İstatistiksel modele göre SMER' in 2 farklı iç ortam hava debisinde (kurutma havası) farklı ısıtıcı gücü ve dış ortam havası (ısı değiştirici soğutma havası) ile ilişkisi.....	25

Şekil 2.14	İstatiksel modele göre kaçan havanın 2 farklı iç ortam hava debisinde (kurutma havası) farklı ısıtıcı gücü ve dış ortam havası (ısı değiştirici soğutma havası) ile ilişkisi.....	25
Şekil 2.15	Farklı kurutma çevrimlerinde tambur içindeki kumaşa hareketinin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.16	Kumaş tipine göre tambur içerisinde çamaşırın hareketi (kumaş boyutları 60x60 cm ² ve tambur dönme hızı 45-50 rpm).....	27
Şekil 2.17	Çamaşır miktarına göre tambur içerisinde çamaşırın hareketi (kumaş boyutları 60x60 cm ² ve tambur dönme hızı 45-50 rpm).....	29
Şekil 2.18	Tambur devrine göre tambur içerisinde çamaşırın hareketi (kumaş boyutları 60x60 cm ² ve tambur dönme hızı 45-50 rpm).....	30
Şekil 2.19	Tambur devrine göre kurutma performansı (kumaş boyutları 60x60 cm ² ve çamaşır miktarı 5 kg)	31
Şekil 2.20	İngiltere’ deki 2017-2018 yıllarına ait satış adetleri.....	32
Şekil 2.21	Batı Avrupa 2017-2018 yıllarına ait satış adetleri.....	32
Şekil 2.22	Güney Kore 2018-2019 yılları arası çamaşır kapasitesine göre satış adetleri	33
Şekil 3.1	Deney düzeneğinin şematik gösterimi	34
Şekil 3.2	Kurutma havasının çevrimde izlediği yol ve fanını tahrik eden motor.....	35
Şekil 3.3	Tambur hızının değiştirilmesini sağlayan motor	36
Şekil.3.4	Motor devrinin değiştirilmesinin tambur dönme hızına etkisinin incelenmesi	36
Şekil 3.5	Açık çevrim hava akışı ve soğutma fanı motoru.....	37
Şekil 3.6	Çapraz akışlı hava-hava ısı değiştirici	37
Şekil 3.7	Deney düzeneği ve ölçüm sistemi.....	38
Şekil 3.8	Terazi	39
Şekil 3.9	Rüzgâr tüneli debi ölçüm deney düzeneği	42
Şekil 3.10	Minitab programı ile DOE seçilmesi	44
Şekil 3.11	Kesikli deney tasarımında değişken sayısına göre yapılması gereken deney sayısı	44
Şekil 3.12	Minitab programına deney değişkenlerinin yazılması.....	45
Şekil 3.13	Kesikli faktörlü deney tasarımı	45

Şekil 3.14	Kurutma havası tambur çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi	47
Şekil 3.15	Değişkenlerin MER etki derecesi DOE istatistiksel çözümü	50
Şekil 3.16	Değişkenlerin MER etki derecesi DOE istatistiksel çözümü	51
Şekil 3.17	Değişkenlerin MER etki derecelerinin grafik gösterimi	52
Şekil 3.18	Isıtıcı gücü MER etki derecesi grafiği	53
Şekil 3.19	Tambur devri MER etki derecesi grafik gösterimi	53
Şekil 3.20	En düşük MER değerini veren değişkenlerin istatistiksel analizi	54
Şekil 3.21	Değişkenlerin kurutma hızına etki derecesi DOE istatistiksel çözümü....	55
Şekil 3.22	Değişkenlerin kurutma hızına etki derecelerinin grafik gösterimi	56
Şekil 3.23	Isıtıcı gücü ve soğutma hava debi etkileşiminin kurutma hızına etki grafik gösterimi (kurutma hava debisi 44 [lt/sn])	56
Şekil 3.24	Isıtıcı gücü ve kurutma hava debi etkileşiminin kurutma hızına etki grafik gösterimi (soğutma hava debisi 53 [lt/sn])	57
Şekil 3.25	En hızlı kurutma süresi veren değişkenlerin istatistiksel analizi.....	57
Şekil 3.26	Değişkenlerin kurutma hızına etki derecesi istatistiksel çözümü	58
Şekil 3.27	Değişkenlerin kurutma sonu nem değerine etki derecelerinin grafik gösterimi.....	59
Şekil 3.28	Minitab programında MER istatistiksel modelin çözdürülmesi	61
Şekil 3.29	Minitab programında süre istatistiksel modelin çözdürülmesi	62
Şekil 3.30	Deneysel, istatistiksel ve gerçek MER değerlerinin karşılaştırılması grafik gösterimi.....	63
Şekil 3.31	Deneysel, istatistiksel ve gerçek kurutma süresinin karşılaştırılması grafik gösterimi.....	64
Şekil 4. 1	Hava soğutmalı ısı değiştirici	65
Şekil 4. 2	Hava soğutmalı ısı değiştirici enerji dengesi.....	66

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Benzer çamaşır kurutma kapasitesine sahip makinelerin enerji tüketimi ve kurutma süresi.....	5
Tablo 1.2	Enerji verim katsayısına göre enerji sınıfları	6
Tablo 2.1	Üç farklı çamaşır miktarı ile yapılan deneysel çalışmanın ve teorik modelin karşılaştırılması	21
Tablo 2.2	Çamaşır kuru ağırlığının 1,87 kg olduğu 0,035 [kg/sn] ve 0,028 [kg/sn] hava debisi için test sonuçları. Ortalama ısıtıcı gücü 1,8 [kW]	22
Tablo 2.3	Deney tasarımı değişkenleri	23
Tablo 2.4	Deney sonuçları	23
Tablo 2.5	Çalışmada kullanılan tekstillerin özellikleri	26

Hava Yoğuşturmalı Kurutma Makinelerinde Enerji Verimini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi

Meryem ATİLA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Özden AĞRA

Şehirleşmenin artması, yaşam alanlarının daralması ve insanların kıyafetlerini kurutacak zamanlarının azalması ile de son yıllarda kurutucu (çamaşır kurutma makinesi) kullanımında artış görülmektedir. Ancak kurutucular enerji kullanımında yüksek bir paya sahiptirler. Bacalı, hava yoğuşturmalı ve ısı pompalı kurutma teknolojileri aynı çamaşır kurutma kapasitesi için karşılaştırıldığında; ısı pompalı kurutma makineleri bacalı kurutma makinelerine göre ~3 kat, hava yoğuşturmalı kurutuculara göre de ~1,4 kat daha az enerji tüketmektedir. Ancak ısı pompalı kurutucuların kurutma süresi bacalı kurutuculara göre 21% kat fazla iken hava yoğuşturmalı kurutuculardan 40% kat daha uzundur [1]. Ayrıca ısı pompalı kurutucuların üretim maliyetleri yoğuşturmalı kurutuculara göre 23% daha fazladır [2].

Pazar verileri incelendiğinde 8 kg ve üzerinde çamaşırı kurutabilen kurutma makinelerine talebinin arttığı fark edilmiştir [1]. Bu sebeple çamaşır kurutma

kapasitesi ≥ 8 kg, üretim maliyeti düşük ve kurutma süresi kısa olan yoğuşturmalı kurutucuların enerji verimini arttırmak beyaz eşya üreticileri için önemlidir.

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında yüksek kapasiteli (10 kg) çamaşır kurutma kapasitesine sahip hava yoğuşturmalı kurutma makinesinin enerji verimini etkileyen değişkenlerin (ısıtıcı gücü, hava debisi, tambur devri) nem alma, enerji tüketimi ve kurutma süresine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kurutma teknolojileri, çalışmanın amacı ve izlenen yöntem genel hatlarıyla açıklanmıştır.

İkinci bölümde kurutma makinelerinde enerji verimini etkileyen değişkenler ve Pazar talepleri araştırılmıştır. Yapılan inceleme sonucu literatürde 10 kg çamaşır kapasitesine sahip hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinin ve ısıtıcı gücü, soğutma ve kurutma hava debisi ve tambur hızının birbirleri ile etkileşimlerinin araştırılmadığı görülmüştür.

Üçüncü bölümde hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinde en düşük MER değerini sağlayacak en uygun ısıtıcı gücü, debi ve tambur hızı vs. değişkenlerini tespit edebilmek için hazırlanan deney düzeneği ve gerçekleştirilen ölçümler ve istatistiksel analizlerden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde bazı kabuller dahilinde hava soğutmalı ısı değiştirici yoğuşma verimi analitik olarak incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde deneysel çalışmaların sonuçları analiz edilip en düşük MER değeri için kritik parametreler belirlenmiştir. Ayrıca deneysel verilerin geçerliliğini ispatlamak için bir yoğuşturmalı kurutma makinesi MER değeri en düşük olan ısıtıcı, soğutma ve kurutma hava debisi ve tambur hızı ile çalıştırılıp mevcut tasarım ile karşılaştırılarak elde edilen özetlenmiş ve ileride gerçekleştirilebilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimi, yoğuşturmalı kurutma makinesi, deney tasarımı

Investigation Of Factors Which Affecting Energy Efficiency In Household Electrical Condenser Dryers

Meryem ATİLA

Department of Mechanical Engineering

Master Thesis

Advisor: Prof. Dr. Özden AĞRA

Tumble dryer penetration to houses increased with more civilization and less time for clothes to dry. However, tumble dryer's energy consumption is high among white goods. When air vented, condenser and heat pump system tumble dryers with same capacity compared, heat pump dryers have energy consumption ~3 times less than air vented and ~1,4 times less than condenser dryers. On the other hand, the heat pump dryer's program duration is 21% longer than air vented, 40% longer than the condenser dryer [1]. Moreover, the heat pump dryer's cost of production is 23% higher than the condenser dryer [2].

According to the market analysis panel market aims to capacities 8 kg and above. Therefore it becomes more important to produce dryers with ≥ 8 kg capacity and less program duration condenser tumble dryers with lower costs for white goods producers.

In this study, the effects of variables to the humidification, energy consumption and drying duration of high capacity (10 kg) condenser tumble dryer have experimented.

This study includes five main parts. Firstly, drying technologies, the purpose of the project and methods are explained

Secondly, factors affect energy efficiency and market demands are analyzed. According to the analysis, it is observed that interactions between 10 kg clothes capacity and heater power, cooling and drying air flow rate and drum speed are not researched.

In the third section, experimental setup to determination of best heater with lowest MER value, flow rate, and drum speed are explained. Also in this section, experimental results and statistical analysis are explained.

In the fourth section with some assumptions air cooling heat exchanger condensation efficiency analyzed.

In the fifth and the last section experimental results analysed and critical parameters for lowest MER value are determined. In addition, proposals for future studies are summarized.

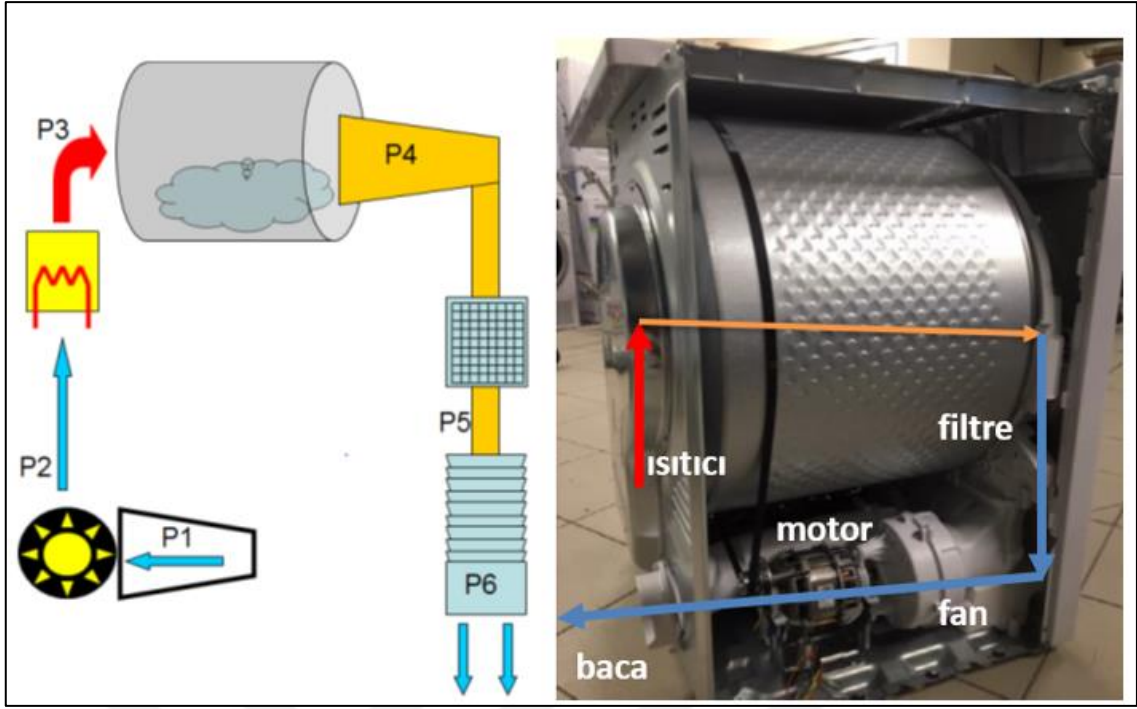
Keywords: Energy efficiency, condensing dryer, experimental design,

1.1 Literatür Özeti

Kurutma işlemi bir malzemede bulunan sıvının sıcaklık, debi ve ortam basıncı gibi değişkenlerin etkisi ile uzaklaştırıldığı ısı ve kütle transferidir. Kurutma tekstil, gıda ve kâğıt endüstrileri başta olmak üzere birçok sektörde kullanılan ve yüksek enerji ihtiyacı olan bir işlemdir.

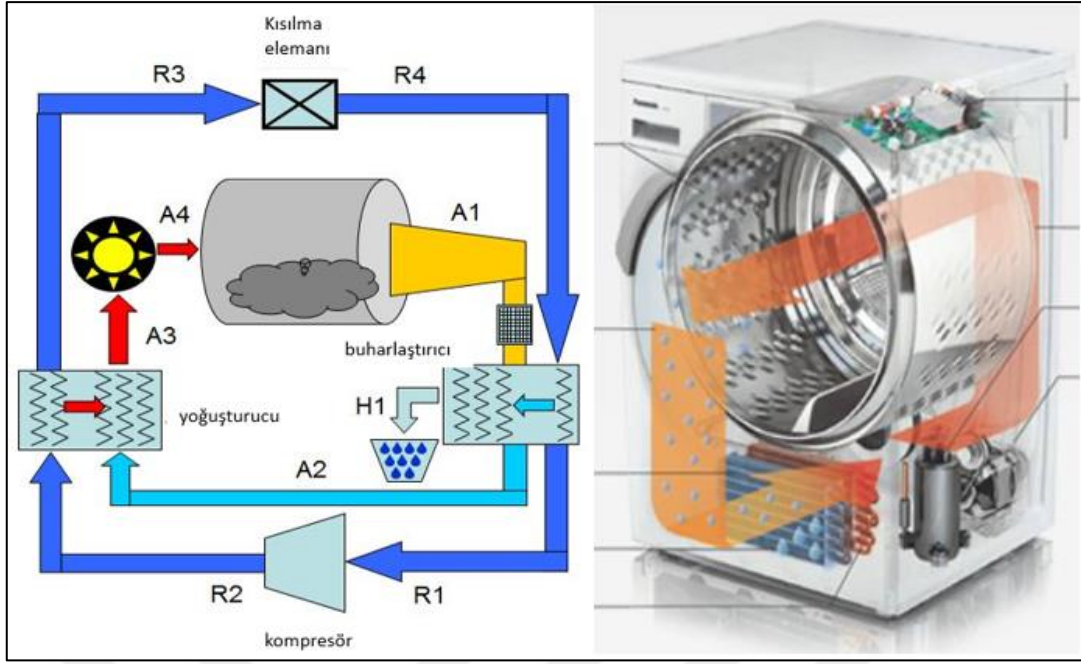
Kurutma işlemine ticari kullanımı dışında günlük hayatta evlerde çamaşır için sıkça ihtiyaç duyulmaktadır. Şehirleşmenin artması, yaşam alanlarının daralması ve insanların kıyafetlerini kurutacak zamanlarının azalması ile de son yıllarda evsel kullanım için çamaşır makinesi kullanımı artış göstermektedir. Ancak çamaşır kurutma makineleri elektrik enerjisi kullanımında yüksek bir paya sahip olmaktadır. Bu nedenle kalabalık aileler başta olmak üzere kullanıcılar için fazla miktarda çamaşırı kısa sürede kurutabilen ve enerji tüketimi az kurutma makinelerinin önemi artmaktadır [1].

Günümüz teknolojisi ile bacalı, hava yoğunlaştırıcı ve ısı pompalı olmak üzere üç adet ev tipi kurutma makinesi vardır. Bunlardan en ilkel olanı bacalı kurutma makinesi açık kurutma çevrimi ile çamaşır kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Bacalı kurutma makinelerinde (Şekil 1.1) ortam havası kurutma işlemi için ısıtıcı üzerinden geçirilir (P1-P2). Isıtıcı üzerinden geçen hava sıcaklığının artması ile nem alma kapasitesi artan kuru hava tambur içerisinde bulunan çamaşırların yüzeyinden ısı ve kütle transferi ile nemi alır (P2-P3). Daha sonra bu nemli hava bir fan ile bacadan dış ortama atılmaktadır (P5-P6). Açık çevrim bacalı kurutma makinesinin dezavantajı çamaşırdan alınan nem ile birlikte ısı enerjisine sahip kısmen sıcak havanın ortama atılması ile oluşan enerji kaybıdır.



Şekil 1.1 Bacalı çamaşır kurutma makinesi çevrimi

Kurutma makinesi tiplerinden olan ısı pompalı kurutma makineleri kapalı çevrim kurutma prensibine göre çalışmaktadır. Kurutma makinesi teknolojileri içinde en gelişmiş ve enerji tüketimi en az olan bu makineler buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ve kurutma havası çevrimi olmak üzere iki tip kapalı akışkan çevrimi içermektedir. Kompresör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve kısılma elemanından oluşan ısı pompasında bir fan yardımıyla hava, yoğuşturucuda ısıtılarak sıcak ve kuru halde tambur içerisinde bulunan tekstildeki suyu ısı ve kütle transferleri sayesinde almaktadır. Daha sonra bağıl nemi artmış ve sıcaklığı düşmüş havanın içerisindeki su buharı buharlaştırıcıda yoğuşmaktadır. Bu kurutma çevrimi tüm çamaşırlar kuruyana kadar devam etmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Isı pompalı çamaşır kurutma makinesi çevrimi

Kapalı çevrim çalışan bir diğer çamaşır kurutma makinesinde hava yoğuşturmalı kurutma makineleridir. Bu tip makinelerde iki adet hava çevrimi bulunmaktadır. Bunlardan ilki çamaşırları kurutmak diğeri ise hava soğutmalı ısı değıştiriciyi (yoğuşturucu) soğutup nem alma kapasitesini arttırmak için kullanılmaktadır. İlk hava çevriminde fan yardımıyla ısıtıcıya yönlendirilen hava ısıtılarak (P5-P1) tambur içerisinde bulunan çamaşırların yüzeyine temas edip nemi bünyesine almaktadır (P1-P2). Tamburdan çıkan nemli hava daha sonra çapraz akışlı hava-hava ısı değıştiricisinin soğuk yüzeyine temas ederek su buharı yoğuşmakta ve tekrar ısıtıcıya yönlenmektedir. Psikometrik diyagramda (Şekil 1.4) kurutma havası çevrimi çamaşırlar kuruyana kadar tekrar etmektedir. Isı değıştiricide yoğuşan su bir pompa yardımıyla su tankına pompalanıp birikmektedir. Kullanıcı kurutma çevrimi bittikten sonra su tankını boşaltmaktadır.

göre çok daha kısa olduğu görülmektedir. Tüm kurutma makinelerinde çamaşır kurutma kapasitesi arttıkça kurutma süresi ve enerji tüketim değerinin arttığı tespit edilmiştir [2].

Tablo 1.1 Benzer çamaşır kurutma kapasitesine sahip makinelerin enerji tüketimi ve kurutma süresi [2].

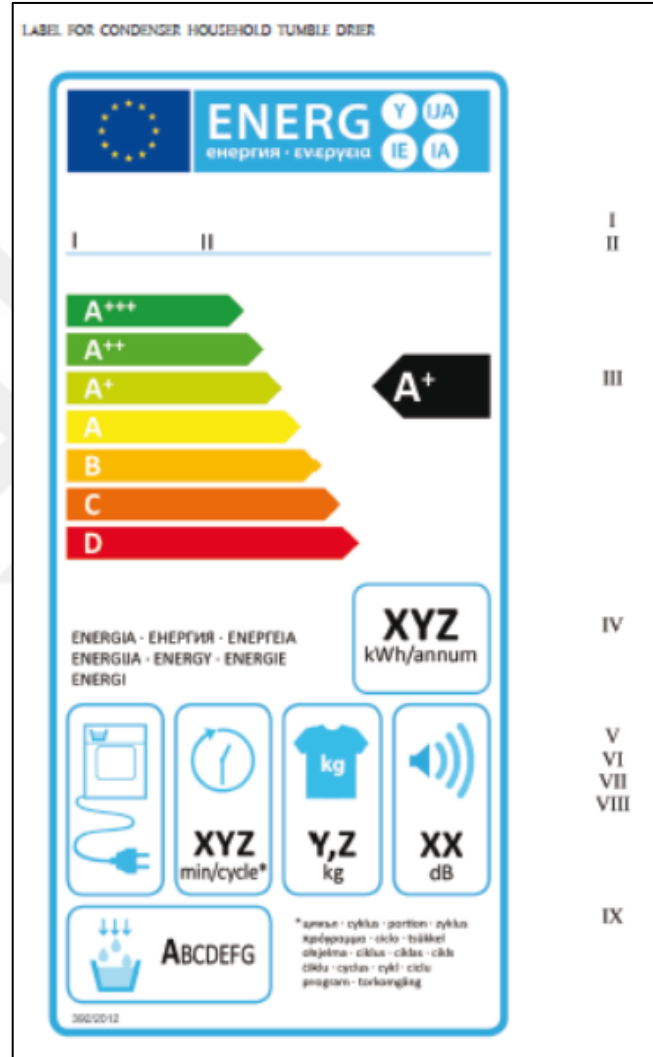
Kurutma Makinesi Tipi	Bacalı	Hava Yoğuşturmalı			Isı Pompalı		
Kurutma Kapasite [kg]	8	8	9	10	8	9	10
Isıtıcı Gücü [W]	2000	2300	2300	2300	-	-	
Enerji Verimi Sınıfı	C	B	B	B	A++	A++	A++
Yıllık Enerji Tüketimi [kWh]	577,5	560,7	616,5	670,6	226,6	258,8	281,0
Tam Yük Enerji Tüketimi [kWh]	5,10	4,71	5,11	5,73	1,80	2,14	2,37
Yarım Yük Enerji Tüketimi [kWh]	2,44	2,54	2,85	2,99	1,06	1,18	1,25
Tam Yük Kurutma Süresi [dk.]	165	137	149	165	210	209	215
Yarım Yük Kurutma Süresi [dk.]	80	78	84	85	131	119	120
Tam Yük Su Toplama Verimi (%)	-	85%	85%	81%	85%	86%	91%
Yarım Yük Su Toplama Verimi (%)	-	85%	85%	81%	85%	86%	91%

Tablo 1.1’ de bahsedilen enerji sınıfı hesabı IEC 61121 standardına göre yapılmaktadır. IEC 61121 standardında ev tipi kurutma makineleri için enerji tüketim, kurutma süresi ve su toplama verimi değerlerini tespit etmeyi sağlayan deneylerin yapılışı ve yıllık enerji tüketimi bu standartta detaylı anlatılmıştır. Beyaz eşya üreticileri ürün enerji sınıfını belirlerken makinenin enerji performans testlerinde bu standardı uygulamaktadır [3].

Ev tipi kurutma makinelerinin enerji sınıfı enerji verim katsayısına (EEI) göre belirlenmektedir. Bu standartın uygulanmasının zorunluğu olduğu ülkelerde beyaz eşya üreticileri Şekil 1.5’ de bulunan enerji etiketi ile kurutma makinesi satmak zorundadır. Günümüzde Avrupa Regülasyonu’ na göre beyaz eşya üreticilerinin C enerji sınıfının altında makine satmaları yasaklanmıştır. Avrupa Regülasyonu’ na göre tam yük enerji tüketimin en fazla 6% aşacak şekilde ürün satılmasına izin verilebilmektedir [3, 4].

Tablo 1.2 Enerji verim katsayısına göre enerji sınıfları [3]

Enerji Verim Sınıfı	Enerji Verim Katsayısı
A+++	$EEI < 24$
A++	$24 \leq EEI < 32$
A+	$32 \leq EEI < 42$
A	$42 \leq EEI < 65$
B	$65 \leq EEI < 76$
C	$76 \leq EEI < 85$
D	$85 \leq EEI$



Şekil 1.5 Ev tipi tamburlu kurutma makinesi enerji sınıfı etiketi [4]

Enerji verim katsayısı standart pamuklu programında yıllık enerji tüketim değerinin standart yıllık enerji tüketimine oranlanması ile hesaplanmaktadır [3].

$$EEI = (AEC / SAEC) \times 100 \quad [3] \quad (1.1)$$

Standart yıllık enerji tüketimi kurutma kapasitesi ile ilintili olup eşitlik 1.2' ye göre tespit edilmektedir.

$$SAEC = 140 \times c^{0.8} [3] \quad (1.2)$$

Yıllık enerji tüketimi değeri de üreticinin önerdiği en fazla kurutma kapasitesi ve o kapasitenin yarısı olan çamaşır miktarını kurutmak için harcanan enerji tüketimi, süre ve elektronik parçaların tükettiği enerjiye göre bulunmaktadır. Standarda göre bir çamaşır kurutma makinesi ağırlıklı olarak üç defa tam yük ve dört defa yarım yük ile çalışmakta olduğu ve yılda 160 defa kullanıldığı kabul edilmektedir [3].

$$AEC = E_t \times 160 + \frac{\{(Pl \times Tl \times 160) + Po \times [525600 - (Tt \times 160) - (Tl \times 160)]\}}{60 \times 1000} [3] \quad (1.3)$$

Yıllık enerji tüketimini hesaplarken faydalanan ağırlaştırılmış kurutma süresi ve enerji tüketimi önerilen çamaşır kurutma kapasitesinin tam ve yarım yükteki kurutma süresinin ve enerji tüketiminin ağırlıklı ortalanmasına göre hesaplanmaktadır [3].

$$Tt = (3 \times T_{dry} + 4 \times T_{dry1/2}) / 7 [3] \quad (1.4)$$

$$E_t = (3 \times E_{dry} + 4 \times E_{dry1/2}) / 7 [3] \quad (1.5)$$

Po değeri makinenin tam yük çamaşır kurutulurken makine elektronik kartlarının tükettiği güç miktarıdır [3].

Pl kullanıcının kurutma işlemi bittikten sonra makineyi kapatacağı zamana kadar elektronik parçaların tükettiği güç miktarıdır [3].

1.2 Tezin Amacı

Yapılan araştırmalara göre; Batı Avrupa ve Uzak Doğu pazarında 8 kg ve üzerinde çamaşır kurutabilen enerji verimi yüksek kurutma makinelerine gün geçtikçe talebin arttığı görülmüştür [1,5].

Bu yüzden beyaz eşya üreticileri kurutma süresi kısa ve enerji verimi yüksek kurutma makineleri için araştırma yapmaktadır. Enerji verimleri yüksek olan ısı pompalı kurutma makineleri araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Ancak kurutma süresi hava yoğuşmalı kurutma makinesine göre 40% daha uzun ve üretim maliyetleri 23% daha fazla olması sebebiyle araştırmacılar hava

yoğuşturmalı kurutma makinelerinin enerji verimlerini iyileştirmeye odaklanmıştır [2].

IEC 61121 standardına göre yapılan hesaplamalara göre şu an pazarda bulunan hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinin enerji sınıfı B seviyelerindeyken, ısı pompalı kurutma makineleri A enerji sınıfından başlamaktadır. Çamaşır kurutma kapasitesi arttıkça da hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinin B enerji sınıfına sahip olması güçleşmektedir. Örneğin; günümüzde hava yoğuşturmalı kurutma makineleri 9 kg çamaşır kurutma kapasitesine kadar B tolerans kullanılmadan B enerji sınıfını sağlıyorken, 10 kg çamaşır kapasitesinde 3% toleransla B enerji sınıfını sağlamaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı; 10 kg çamaşır kurutma kapasitesine sahip ev tipi tamburlu yoğuşturmalı kurutucuların enerji seviyelerinin B enerji seviyesine ulaşması için en uygun değişkenlerin (devir, hava debisi vs.) literatür araştırması ve deneysel çalışmalar ile tespit edilmesidir.

1.3 Hipotez

Gerçekleştirilen literatür araştırmasında çamaşır kurutma makinelerinde enerji verimini artırmak amacıyla farklı ısıtıcı güçleri, proses havası debisi, farklı kapasitelerdeki çamaşır miktarı, iç ve dış hava debisi, iç ve dış ortam bağıl nem içeriği, iç ve dış ortam sıcaklıklarının ve tambur devirlerin enerji verimine etkisi incelendiği görülmüştür. Ancak bu değişkenlerin birbirleri ile etkileşimleri, çamaşırın karıştırılmasının ve çamaşır tipinin nem alma işlemine etkisinin incelenmediği fark edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerde; 10 kg çamaşırı en düşük enerji tüketimiyle kurutmak için farklı ısıtıcı güçleri, kurutma havası debisi, ısı değiştirici soğutma havası debisi çamaşırın karıştırılmasıyla ilintili tambur devri değişkenlerinin birbiri ile etkileşimleri araştırılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları kullanılarak yüksek çamaşır kurutma kapasitesine sahip hava yoğuşturmalı kurutucuların enerji tüketiminin azaltılması konusunda neler yapılabileceği ve enerji sınıfını yükseltmek için yapılması gereken mühendislik çalışmalarının neler olabileceği ortaya konulmuştur.

Tez çalışması kapsamında literatür araştırması yapılarak; ev tipi kurutma makinelerinin enerji verimini arttırmak için yapılan bilimsel çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca Pazar araştırması yapılarak kullanıcıların talep ettiği ev tipi tamburlu kurutma makinesi özellikleri tespit edilerek, tez kapsamında çalışılacak kurutma makinesi tipi ve çamaşır miktarına karar verilmiştir. Kurutma makinesi tasarımcılarının temel hedefi, makinelerin kurutma süresini kısaltmak ve enerji tüketim değerlerini düşürmektir.



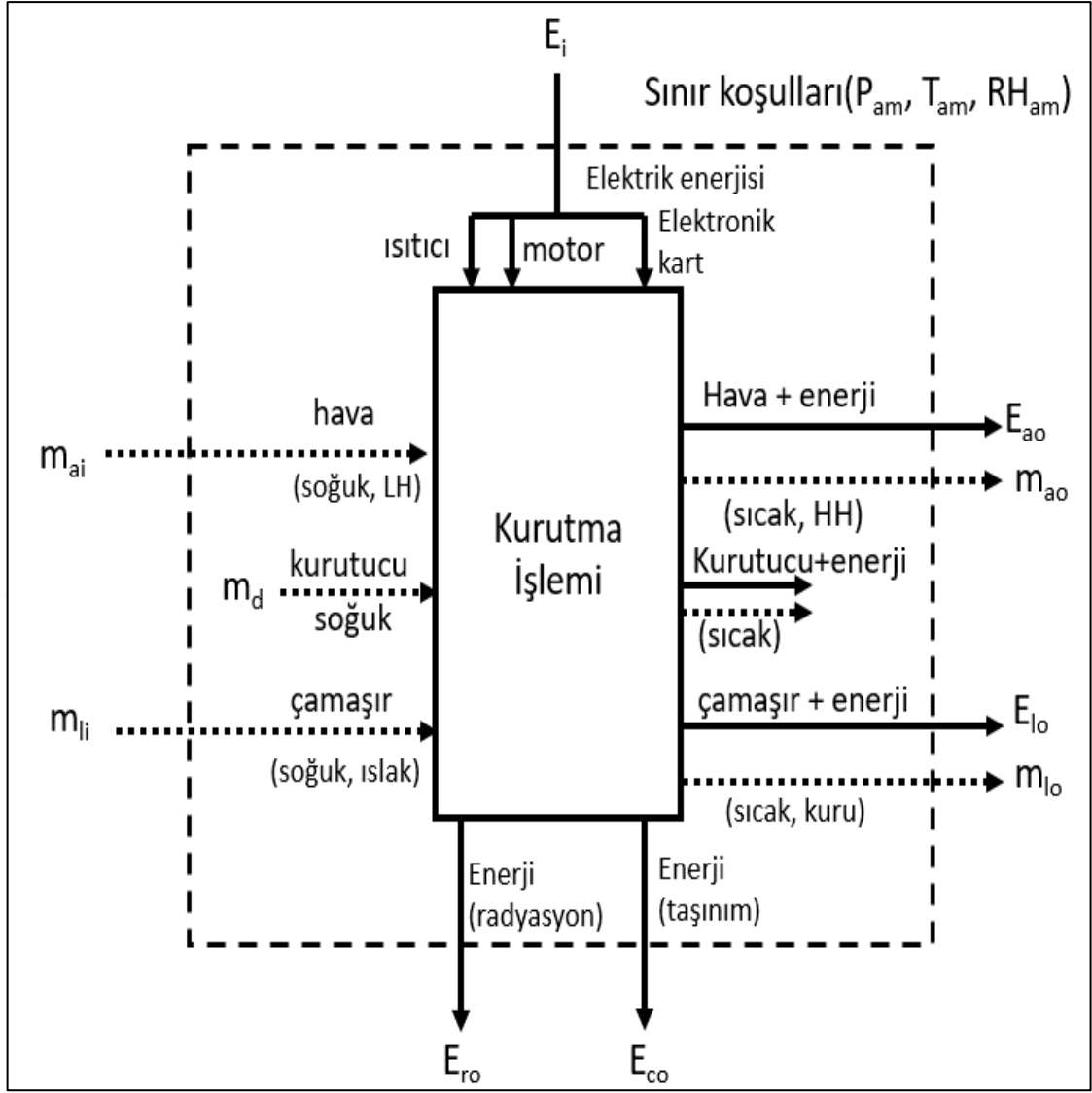
2.1 Elektrikli Bacalı Çamaşır Kurutma Makinelerinde Toplam Enerji Dengesi

Guadalupe Huelsz ve arkadaşları “Total Energy Balance Method for Venting Electric Clothes Dryers” [6] isimli makaleyi 2013 yılında yayınlamış ve araştırmada ev tipi bacialı kurutma makinelerin enerji kayıplarının tespit etmeyi amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışmada bacialı kurutma makinesinin enerji verimine etki eden değişkenleri teorik ve deneysel çalışmalar ile karşılaştırmışlardır. Bacialı kurutma makinesi için kütle ve enerji korunum denklemleri yazmışlardır. Literatürde çamaşırdan buharlaşan su havanın psikometrik tablodaki davranışına göre hesaplanmaktadır. Kurutma makinesinde ısıtıcıdan ve motor tahrikinden alınan enerji tekstildeki suyu buharlaştırmak, tekstili ve kurutucuyu ısıtmak için kullanılır. Enerji kayıplarında taşınım ve ısı transferi ile olmaktadır. Bu makalede yapılan literatür araştırmasına göre daha önce tekstil, hava ve yüzeyden olan kayıplar hesaplanmış ancak kurutucunun depoladığı enerji göz önünde bulundurulmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada teorik model kurulmuş ve kurutucunun depoladığı enerji de göz önünde bulundurulmuştur. Bu enerjilerin nasıl hesaplandığı çalışmada detaylandırılmıştır [6].

Teorik model kurulurken enerji tüketen elemanlar ve sisteme enerji veren elemanlar tespit edilmiştir. Performans analizinde deneysel sonuçlar ve teorik model karşılaştırılmıştır. Kütle ve enerji korunum denklemleri yazılmıştır [6].

Teorik model için makineye giren ve çıkan enerji dengesi yazılmıştır. Enerji tüketen kısımlar üçe bölünmüştür. Bacialı kurutma makinesinde enerji tüketen parçalar;

- Isıtıcı
- Elektrik motoru (fan ve tamburu tahrik eden)
- Elektronik parçalar (elektronik kart vb.)



Şekil 2.1 Kurutma işlemi enerji (sürekli çizgiler) ve kütle (kesikli çizgiler) korunumu şematik gösterimi. LH=düşük nem ve HH=yüksek nem [6]

Enerjinin korunumu kanuna göre sisteme giren enerji çıkan enerjiye eşittir.

$$E_i = E_o \quad [6] \quad (2.1)$$

Sisteme giren enerji;

$$E_i = E_{eri} + E_{emi} + E_{eli} \quad [6] \quad (2.2)$$

$$E_i = t_f - t_i \sum P(t) \Delta t \quad [6] \quad (2.3)$$

t_i giriş kurutma süresi, t_f kurutma sonu süresidir. Δt toplanan zaman verisidir. P ise toplam güç değerini ifade etmektedir.

Kurutucuda kullanılan elektronik kart, motor ve ısıtıcının enerjisi aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$E_{eli} = P_e (t_f - t_i) \quad [6] \quad (2.4)$$

$$E_{emi} = P_{nh} (t_f - t_i) - E_{eli} \quad [6] \quad (2.5)$$

$$E_{eri} = E_i - E_{emi} - E_{eli} [6] \quad (2.6)$$

P_e ısıtıcı ve motor çalışmıyorken 5 dakika boyunca sistemden ölçülen elektronik parçaların tükettiği güç değeridir. Sistemden çıkan enerji kurutucunun gövdesine (E_{do}), tekstile (E_{to}), radyasyonla odaya (E_{ro}), termal enerji transfer ile kurutucudan, taşınım ile odaya (E_{co}), termal enerji ile kurutucudan havaya (E_{ao}) için Eşitlik (2.7)'ye göre hesaplanmaktadır.

$$E_o = E_{do} + E_{to} + E_{ao} + E_{co} + E_{ro} [6] \quad (2.7)$$

Kurutma makinesine iletilen enerji;

$$E_{do} = m_d C_d (T_{df} - T_{di}) [6] \quad (2.8)$$

Tekstile verilen enerji tekstilin kuru ağırlığı (m_{bd}), özgül ısısı (C_t), ilk (T_{tf}) ve son sıcaklığına (T_{ti}) göre;

$$E_{to} = m_{bd} C_t (T_{tf} - T_{ti}) [6] \quad (2.9)$$

Tamburdan çıkan hava enerjisi (E_{ao}), tekstildeki suyun sıcaklığını arttırmak (E_{wo}), tekstildeki suyu buharlaştırmak (E_{evo}) ve kayıp enerji (E_{uo}) olarak değerlendirilmektedir.

$$E_{ao} = E_{wo} + E_{evo} + E_{uo} [6] \quad (2.10)$$

Sonuç olarak sistemden çıkan toplam enerji denklemi;

$$E_o = E_{do} + E_{to} + E_{wo} + E_{evo} + E_{uo} + E_{co} + E_{ro} [6] \quad (2.11)$$

Kütlenin korunumu kanuna göre kütle dengesi denklemleri kurulmuştur. Kurutucuya giren toplam nemli havanın debisi (f_{in}), giren kuru hava kütleli debisi (f_{ain}) ve su buharı kütleli debisi (f_{vin}) toplanarak hesaplanmaktadır.

$$f_{in} = f_{ain} + f_{vin} [6] \quad (2.12)$$

Çıkan toplam havanın kütleli debisi (f_{on}), çıkan kuru hava kütleli debisi (f_{aon}) ve su buharı kütleli debisi (f_{von}) toplanarak hesaplanmaktadır.

$$f_{on} = f_{aon} + f_{von} [6] \quad (2.13)$$

Giren havadaki su buharının kütleli debisi (f_{vin}), giren hava debisi (f_{ain}) ve giren havadaki özgül nem (w_{in}) değerinin çarpılması ile tespit edilmektedir.

$$f_{vin} = f_{ain} w_{in} [6] \quad (2.14)$$

Çıkan havadaki su buharının kütleli debisi (f_{von}), çıkan hava debisi (f_{aon}) ve çıkan havadaki özgül nem (w_{on}) değerinin çarpılması ile hesaplanmaktadır.

$$f_{von} = f_{aon} w_{on} [6] \quad (2.15)$$

Çamaşırdaki suyu ısıtmak için gerekli enerjiyi bulmak için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$E_{wo} = m_{wi} C_{wi} (T_{wf} - T_{wi}) [6] \quad (2.16)$$

Test başlangıcında çamaşırdaki bulunan su miktarı hesaplamak için tekstilin ilk ıslak ağırlığından(m_{ti}) tekstilin kuru ağırlığının (m_{bd}) çıkarılması ile bulunmaktadır.

Tekstilin yüzeyindeki suyu buharlaştırmak için gerekli ısı (E_{evo}) hesabı buharlaşan su miktarı (m_{ev}) ve buharlaşma entalpisinin (L_v) çarpılması ile bulunmuştur.

$$E_{evo}=m_{ev}L_v [6] \quad (2.17)$$

Dışarıya atılan ve kurutma işleminde kullanılmayan kayıp enerji (E_{uo}):

$$E_{uo} = E_{ao} - E_{wo} - E_{evo} [6] \quad (2.18)$$

Makinenin yüzeyinden taşınım ile olan ısı transferi hesabı kurutma makinesinin her bir yüzeyi (E_{coj}) için hesaplanmıştır.

$$E_{co} = j=16 \sum E_{coj} [6] \quad (2.19)$$

Kurutucunun her bir yüzeyinden olan ısı transferi hesabı (E_{coj}) yüzeyi alanının (A_j), çevre sıcaklığı (T_{am}) ve yüzeyin test başlangıcı ve sonuna kadar zamana bağlı ortalama sıcaklık (T_j) farkının, ısı transfer katsayısı (h_j) ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$E_{coj} = h_j A_j (T_j - T_{am}) (t_f - t_i) [6] \quad (2.20)$$

Makinenin yüzeyinden ışınila olan ısı enerjisi kaybı (E_{ro}) her bir yüzeyden odaya olan ısı transferinin (E_{roj}) toplanmasıyla tespit edilmektedir.

$$E_{ro} = j=6 \sum E_{roj} [6] \quad (2.21)$$

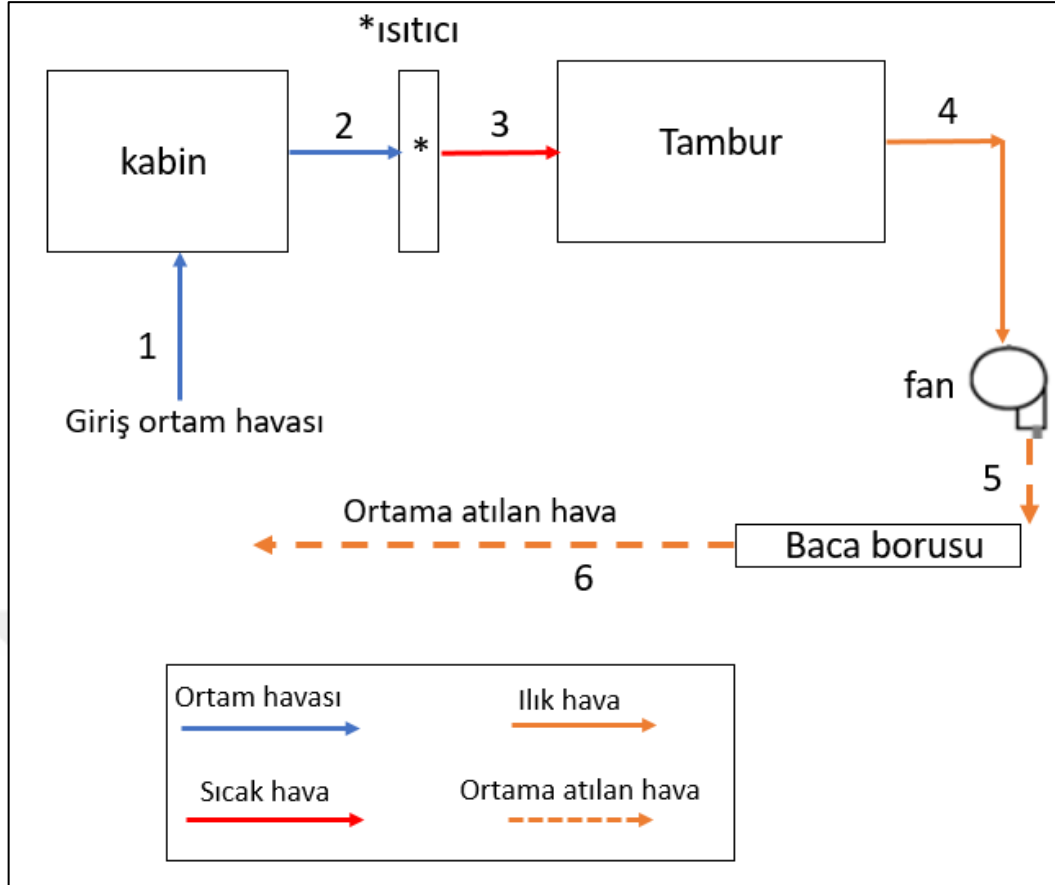
Tekstilden uzaklaştırılan suyu buharlaştırmak için kullanılan enerji miktarı kurutma işleminin verimini(η) göstermektedir.

$$\eta = E_{evo} / E_i [6] \quad (2.22)$$

Kurutma verimini gösteren bir diğer göstergede kurutma süresi boyunca çamaşırdan alınan su miktarın harcanan enerjiye oranlanması ile bulunmaktadır. Bu gösterge MER olarak ifade edilip aşağıdaki formüldeki gibi hesaplanmaktadır.

$$MER = E_i / m_{ev} [6] \quad (2.23)$$

$$\Delta t_d = t_f - t_i [6] \quad (2.24)$$

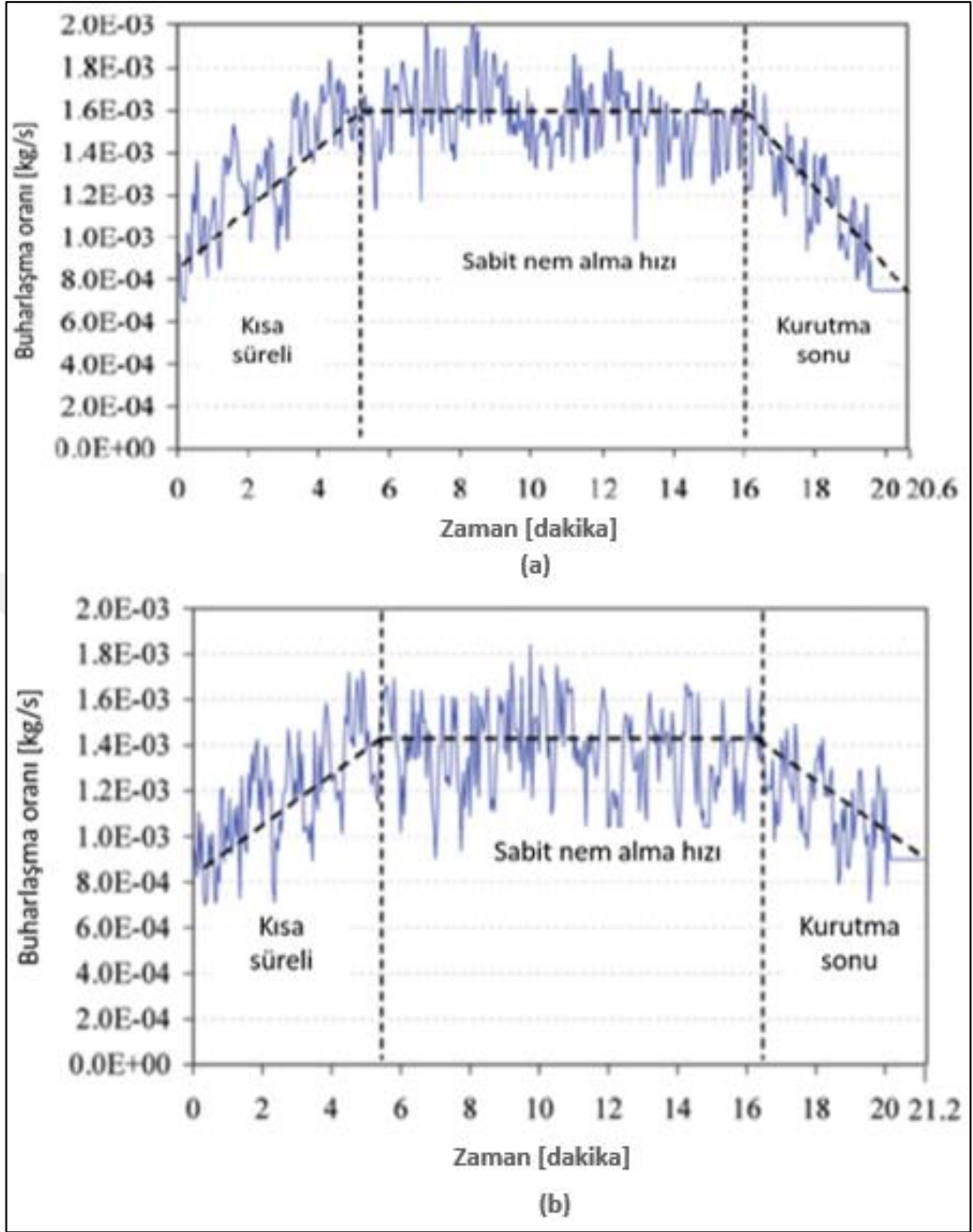


Şekil 2.2 Bacalı çamaşır kurutma makinesi hava akışının şematik gösterimi [6]

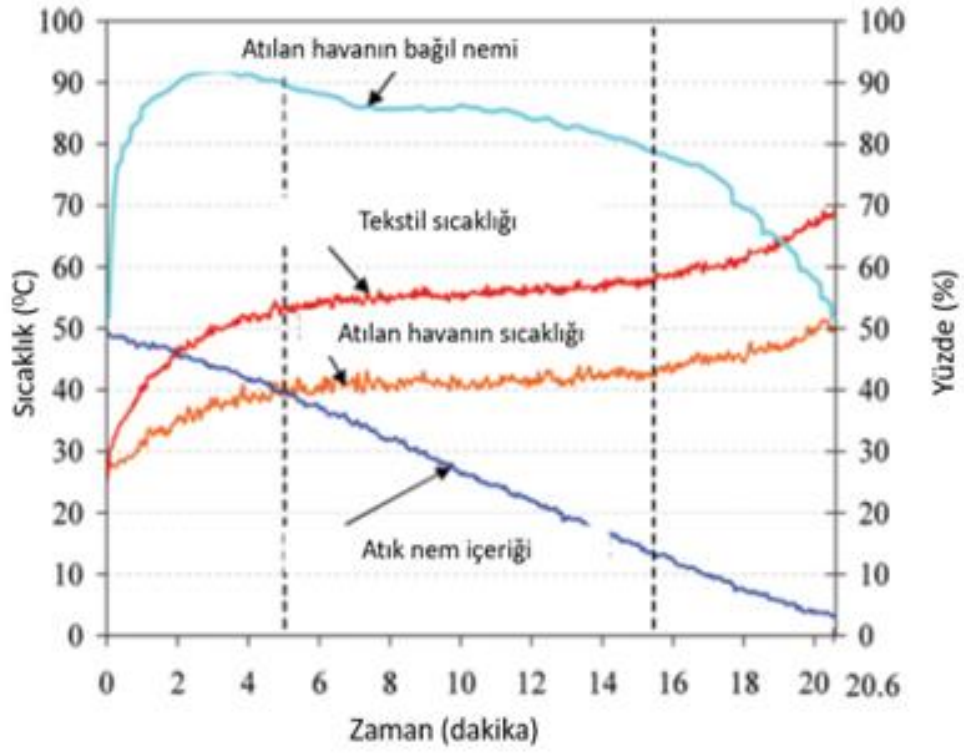
Bu çalışmada yukarıda bahsedilen teorik model kurulduktan sonra deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar için kullanılan deney düzeneği için 2 adet bacalı kurutma makinesi kullanılmıştır. Makinelerden biri referans kurutma makinesi olup, diğeri ise üzerinde değişiklik yapılan kurutma makinesidir. Referans kurutma makinesinin ısıtıcı gücü 5,374 [W], elektrik motoru 242 [W], elektronik parçaları ise 2 [W] güç tüketmektedir. Üzerinde değişiklik yapılan kurutma makinesi ise ısıtıcı gücü 4,160 [W] kadar azaltılmış ve elektronik parçaların güç tüketimi değiştirilmemiştir. Her iki makinede 5 tekrarlı test yapılmıştır [6].

Deneylerde terazi, veri toplama sistemi (VTS), tambur giriş ve çıkışındaki bağıl nem sıcaklığı ölçmek için nem sensörleri, yüzeyden olan ısı transferini hesaplamak için 32 adet termokupl ve ısı akısı ölçmek için higrotermal anometre kullanılmıştır. Veri toplama sistemi 3 saniyede bir veri kaydetmektedir [6].

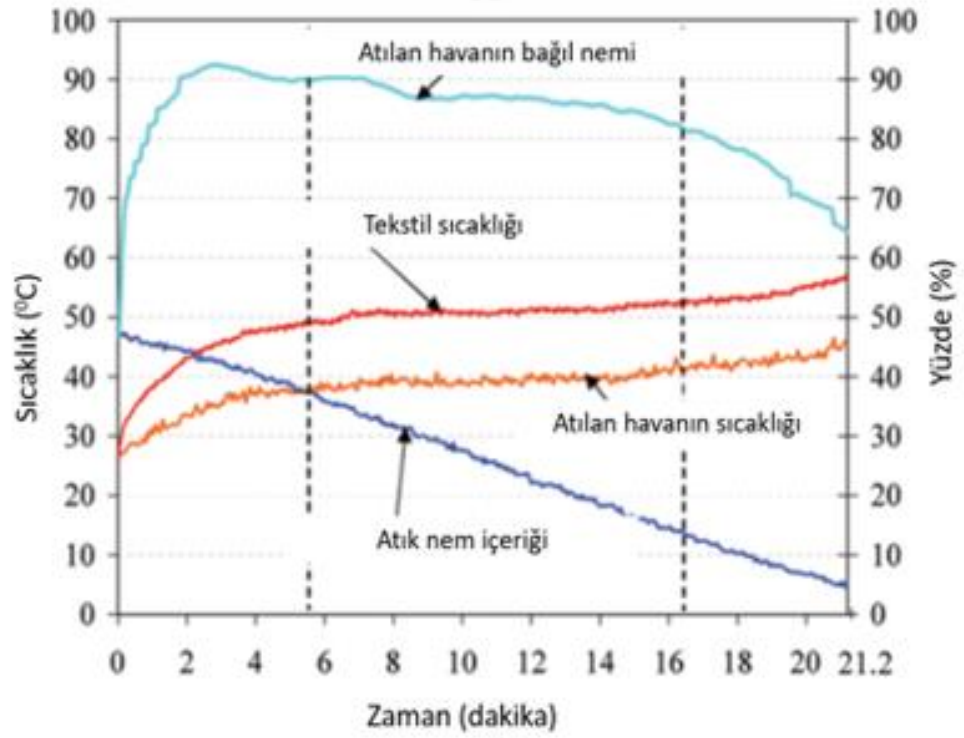
Deneyler bittikten sonra test sonuçları analiz edilmiştir. Hesaplamalar için birim zamanda çamaşırdan buharlaşan su miktarının değişmediği zaman aralığı kullanılmıştır. Deneylere ait test sonuçları Şekil 2.3 ve Şekil 2.4' de gösterilmiştir [6].



Şekil 2. 3 Zamana bağılı buharlaşma hızı değişikliğin yapılan kurutucu (a), referans kurutucu (b) [6]

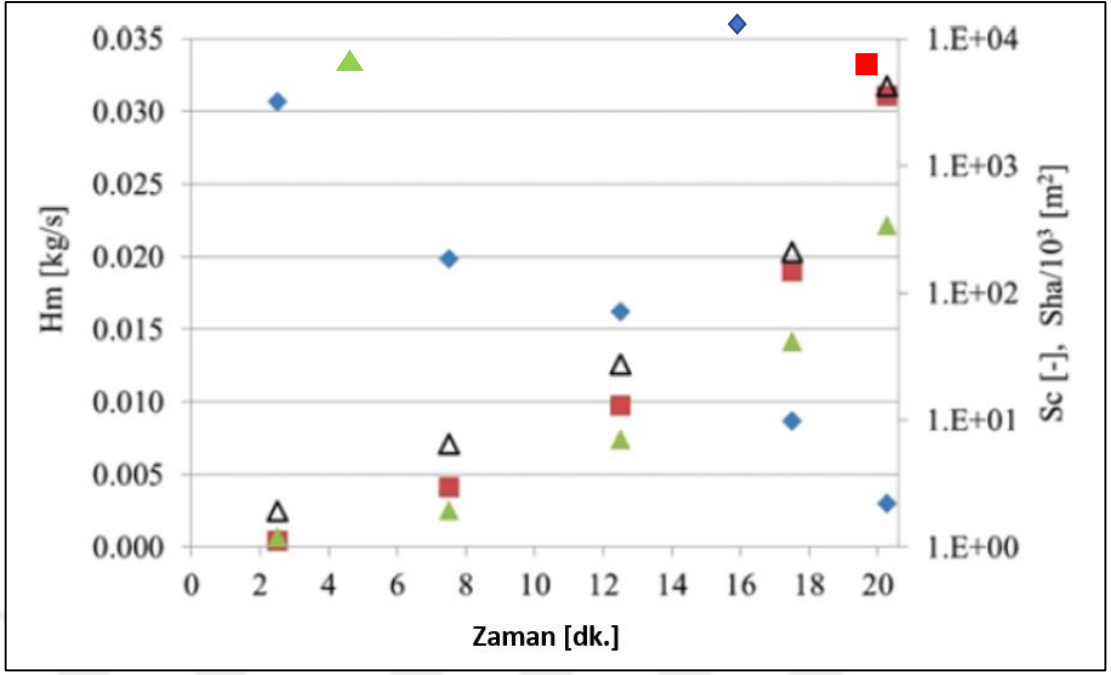


(a)



(b)

Şekil 2.4 Zamana sıcaklık değişimi (a) değişiklik yapılan kurutucu (b), referans kurutucu [6]

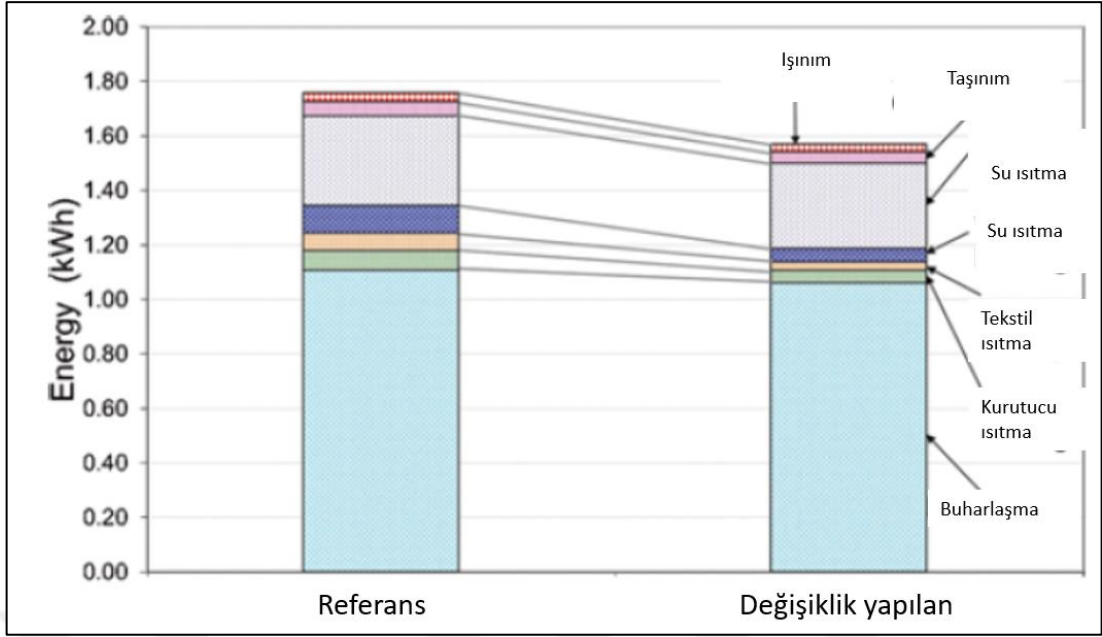


Şekil 2.5 Hesaplanan kütle transfer katsayısı, H_m (◆); Sherwood sayısı (Sha) hesaplanan (▲) ve tahmini (△), Schmidt sayısı Sc (■) [6]

Her iki model kurutucuda da enerji dengesi kurulduğunda ısıtıcı gücü azaltılan makinede kurutma süresi 0,8 dakika artmasına karşın enerji tüketimi 10,8 % azalmıştır. Referans kurutucunun verimi 63,1% iken değişiklik yapılan kurutucunun verimi %68,1' dir. Referans kurutucuda MER 7,34 [kWh/kg] iken değişiklik yapılan kurutucunun 6,94 [kWh/kg]' dır. Bunun nedeni suyu buharlaştırmak için kullanılan ısıtıcının enerjisinin azalmasıdır [6].

Bu çalışmada bacalı kurutma makinelerinde farklı ısıtıcı gücünün bir gram su buharın buharlaştırmak için gerekli enerjisinin etkisi incelenmiş ve enerji tüketim değerinin azaltılması için ısıtıcı gücünün düşürülmesi gerektiği sonucu elde edilmiştir [6].

Enerji bilançosu hesabında da kurutma işleminde en fazla enerjinin çamaşırdaki suyu buharlaştırmak için harcandığı tespit edilmiştir. Çamaşırdaki suyu buharlaştırma sonrası en fazla enerji kayıp enerjidir [6].



Şekil 2.6 Harcandığı enerji miktarının parça bazlı dağılım [6]

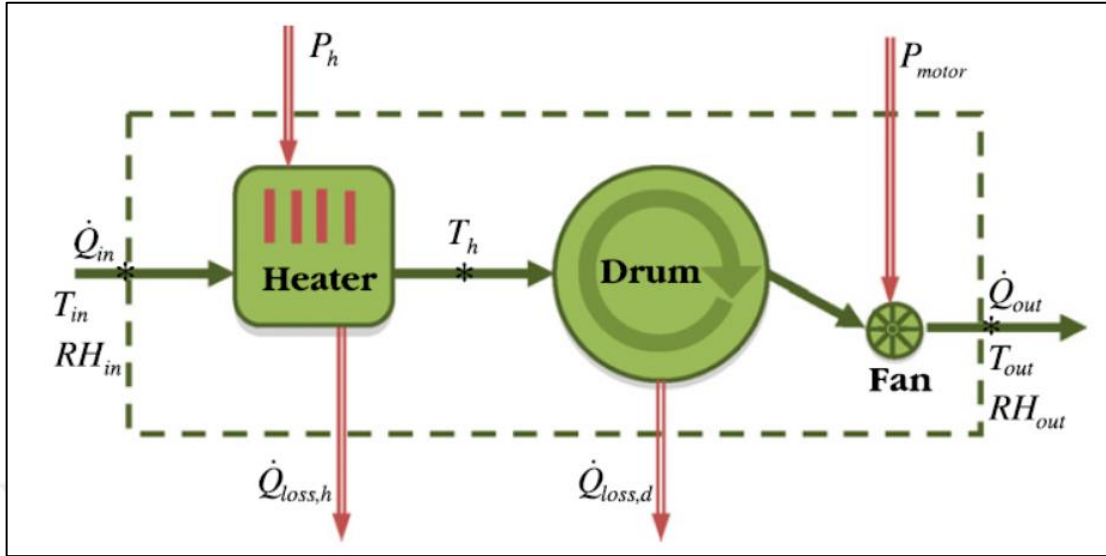
2.2 Özel Kontrol Yöntemleriyle Düşük Çamaşır Kapasitesine Sahip Tamburlu Kurutma Makinelerinde Enerji Kazancı

Lena ve arkadaşları [7] 2013 yılında gerçekleştirdikleri “Potential Energy Savings Made By Using A Specific Control Strategy When Tumble Drying Small Loads” isimli çalışmada, makinelerde düşük kapasitede çamaşırlar kuruturken enerji tüketimini düşürmek hedeflenmektedir. Bacalı kurutucularda düşük kapasitedeki çamaşırlar kurutulurken enerji verimini kontrol etmek için matematiksel model gerçekleştirilmiştir [7].

Kurdukları matematiksel modeli deneysel çalışmalar ile doğrulamışlardır. Bu araştırmada yapılan performans testlerinde üç farklı çamaşır kapasitesi kullanılmıştır. Bacalı kurutma makinesinde yapılan deneylerde enerji tüketimini azaltmak içinde ısıtıcı gücü ve kurutma havası debisi azaltılması yönteminden faydalanılmıştır [7].

Gerçekleştirilen deneylerde fanı ve tamburu tahrik eden 145 [W] gücünde motor, 2500 [W] ısıtıcı kullanılmış olup kurutma çevrimi boyunca tambura giren ve çıkan havanın bağıl nemi ve sıcaklığı ölçülmüştür. Ayrıca fan giriş ve çıkışındaki havasında bağıl nemi ve sıcaklığı ölçülmüştür. Deney düzeneğinde bulunan veri toplama

sistemi 10 dakikada bir veri toplamaktadır. Tambur girişindeki havaya ait veriler kurutma makinesine giren kanaldan toplanmıştır [7]



Şekil 2. 7 Bacalı kurutma makinesinin şematik gösterimi [7]

Isıtıcıya (P_h) ve ve fana (P_{motor}) olan enerji akışı sürekli ölçülmüştür. Isıtıcıya giren (T_{in}) ve çıkan (T_h) havanın sıcaklığı, ortama atılan havanın sıcaklığı (T_{out}) ölçülmüştür. Havanın bağıl nemi ısıtıcı giriş (RH_{in}) ve ortama atılan havadan (RH_{out}) ölçülmüştür [7].

İlk deney tasarımında ısıtıcı gücü, motor gücü ve hava debisi değiştirilmeyip farklı çamaşır kapasitelerinde testleri yapılmıştır. Testlerde kullanılan çamaşır kapasiteleri 1,94 kg, 3,32 kg, 4,72 kg'dır [7].

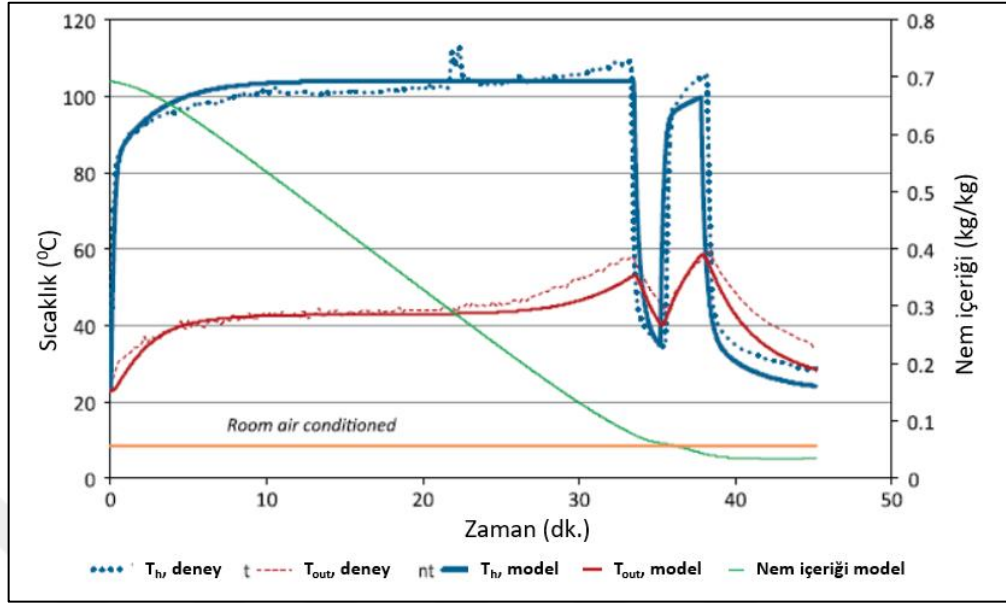
İkinci deney serisinde ise deneyler 1 kg çamaşır ile yapılmış olup kurutma havasının debisi azaltılmıştır [7].

Daha sonra aşağıdaki kabuller yapıp SMER hesaplanmıştır.

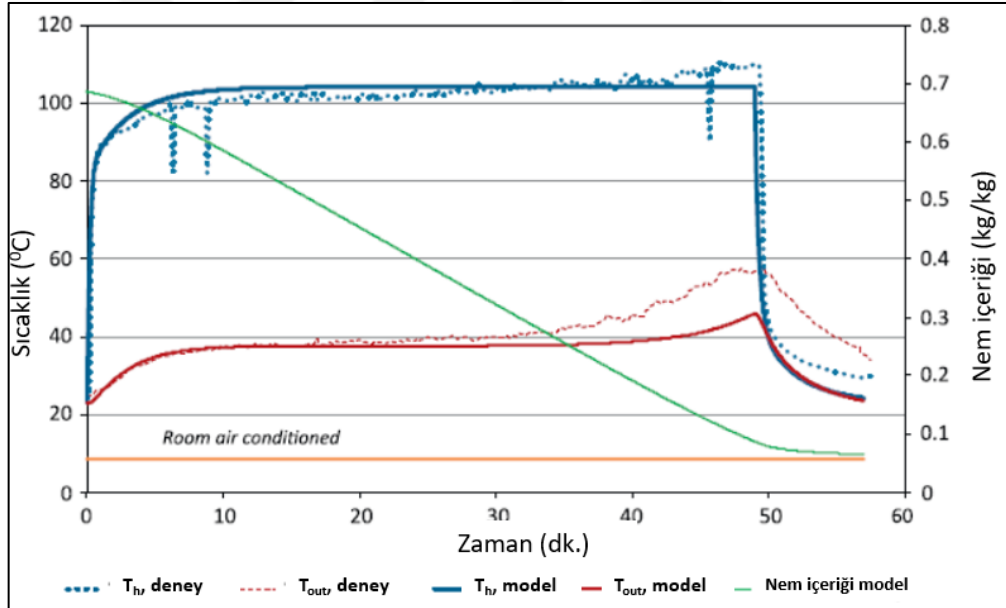
Kabuller;

- Isıtıcıdan çevreye olan ışıınım ile ısı kaybı ihmal edilmiştir.
- Isıtıcının tüm yüzeyi ısıtıcı duvarı ile kaplı olduğu varsayılmıştır.
- Isıtıcının dış yüzeyinden taşınım ile olan ısı transfer katsayısı 5 [W/m^2K] kabul edilmiştir.
- Tekstil, tambur ve tamburda olan hava aynı sıcaklıkta kabul edilmiştir.

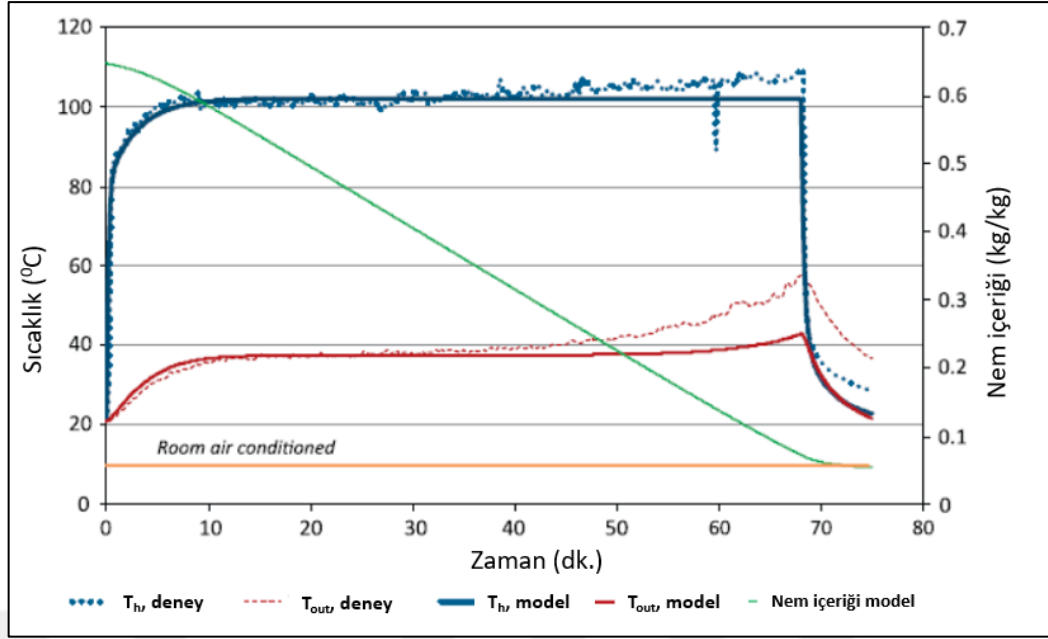
SMER hesaplandıktan sonra; teorik model ve deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır.



Şekil 2.8 Kurutma çevrimindeki sıcaklık ve nem içeriğinin model ve deney [7]



Şekil 2.9 Kurutma çevrimindeki sıcaklık ve nem içeriğinin model ve deney sonuçları ile karşılaştırılması (3,32 kg kuru çamaşır ağırlığı) [7]



Şekil 2.10 Kurutma çevrimindeki sıcaklık ve nem içeriğinin model ve deney sonuçları ile karşılaştırılması (4,72 kg kuru çamaşır ağırlığı) [7]

Tablo 2.1 Üç farklı çamaşır miktarı ile yapılan deneysel çalışmanın ve teorik modelin karşılaştırılması [7]

Çamaşır Ağırlığı	1,94 [kg]		3,32 [kg]		4,72 [kg]	
	Test	Model	Test	Model	Test	Model
Başlangıç Nem İçeriği [%]	69	69	69	69	65	65
Deney Sonu Nem İçeriği [%]	4	3,4	5,7	6,5	6	4,8
SMER [kg/kWh]	0,769	0,792	0,948	0,946	0,911	0,930
hmAt		8,23E-08		1,13E-07		1,20E-07
Kurutma Süresi [dk.]	45	45	57	57	75	75

Tablo 2.1’ de gösterilen değerler ısıtıcı gücü 2,5 [kW], ortam bağıl nemi 24-25% ve sıcaklığı 21-23 °C olduğu koşullara aittir. İlk deney tasarımına göre çamaşır miktarı arttıkça kurutma süresi artmakta 2,5 [kW] ısıtıcı gücü için en iyi kurutma verimi 3,32 kg çamaşır yükü için sağlandığı tespit edilmiştir [7].

İkinci deney tasarımında ise yük miktarı sabit tutulup hava debisi değiştirilerek kurutma verimi incelenmiştir [7].

Tablo 2.2 Çamaşır kuru ağırlığının 1,87 kg olduğu 0,035 [kg/sn] ve 0,028 [kg/sn] hava debisi için test sonuçları. Ortalama ısıtıcı gücü 1,8 [kW] [7]

	Mevcut Hava Debisi		Azaltılmış Hava Debisi	
	Test	Model	Test	Model
Başlangıç Nem İçeriği [%]	81	81	85	85
Deney Sonu Nem İçeriği [%]	8,9	5,6	9,8	5,6
SMER [kg/kWh]	0,776	0,825	0,816	0,847
hmAt	-	1,19E-07	-	1,13E-07
Kurutma Süresi [dk.]	58	58	58	59

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar sonunda düşük kapasitelerdeki çamaşırlar kurutulduğunda kurutma hava debisi veya ısıtıcı gücü düşürülerek SMER yani enerji veriminin iyileştirilebileceği saptanmıştır. Bu çalışmada düşük kapasiteli yüklerde ısıtıcı gücünü ve debiyi düşürmek enerji verimini %6 arttırmıştır. Her iki deney tasarım sonucu da incelendiğinde teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki farkın kurutma sisteminde oluşan kayıplardan kaynaklandığı varsayılmaktadır [7].

2.3 Yoğuşmalı Kurutma Makinelerinde Sızdırmazlık ve Birim Su buharı Uzaklaştırmak için Harcanması Gereken Enerjinin Modellenmesi

Lena Stwabereberg ve arkadaşları [8] çok fazla enerji tüketimine neden olan yoğuşmalı kurutma makinelerinde ısıtıcı gücü, kurutma hava debisi ve ısı değiştiriciyi soğutmak için kullanılan hava debisi parametrelerinin enerji tüketimine etkisini incelemek için 19 adet test yapmış ve matematiksel model oluşturmuşlardır [8].

Çalışmalarındaki amaç en birim enerji ile en fazla alınabilecek nem oranını (SMER) tespit etmektir. Ayrıca çamaşırları kurutmak için kullanılan havanın çevrim sırasında ortama sızması makinenin bulunduğu yerin bağıl nemini artırıp ortam havasının konforunu azaltacağından kaçığın en az olduğu koşulu bulmayı hedeflemişlerdir [8].

Bu kapsamda yaptıkları deneylerde 4 [kg] kuru ağırlığı olan 100% pamuklu yük 60% başlangıç nemli tekstili üç farklı ısıtıcı gücü, kurutma ve ısı değiştirici soğutma hava debisi ile kurutarak SMER ve kaçan iç hava miktarını hesaplanmışlardır [8].

Tablo 2.3 Deney tasarımı değişkenleri [8]

Değişkenler	En Düşük	Orta	En Yüksek
Isıtıcı gücü [W]	1400	1550	1700
Kurutma havası debisi [m ³ /saat]	66	77	88
Isı değiştirici soğutma hava debisi [m ³ /saat]	72	113	155

Yaptıkları deneyler sonucu SMER aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplanmışlardır.

$$SMER = (m_{wi} - m_{wo}) / Q_{tot} [8] \quad (2.33)$$

Ortama kaçan su miktarını da tekstil yükünün ilk kuru, nemli ağırlığı ve test sonu ağırlığı ve test sonunda su tankında toplanan su miktarı arasındaki ilişkiden bulmuşlardır.

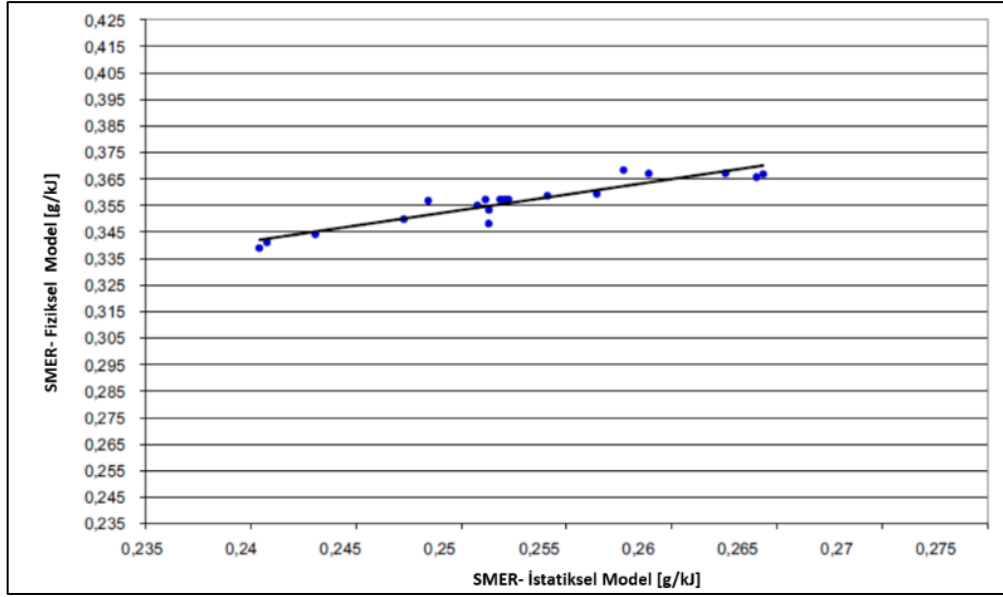
$$Lv = (m_{wi} - m_{wo} - m_{bd}) / (m_{wi} - m_{wo}) [8] \quad (2.34)$$

Tablo 2.4 Deney sonuçları [8]

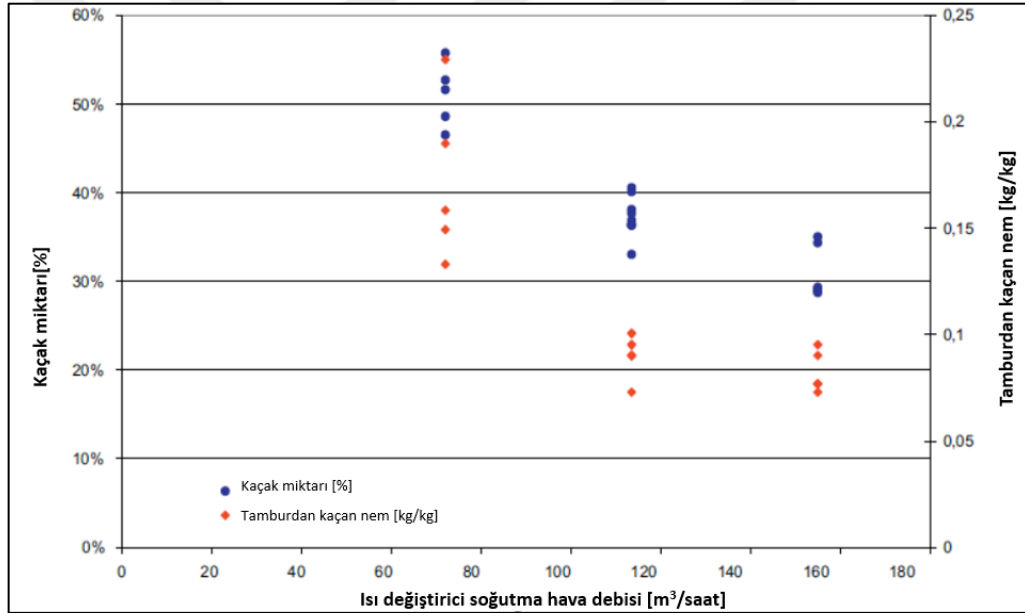
Deney No	Değişkenler			Sonuçlar	
	Q _h	Vi [m ³ /saat]	VE [m ³ /saat]	SMER (gr/kWh)	Lv (%)
1	1355	66	72	0,259	50,1
2	1666	66	72	0,264	49,7
3	1329	88	72	0,257	56,3
4	1606	88	72	0,265	54,3
5	1381	66	155	0,241	29,3
6	1673	88	155	0,248	30,3
7	1401	88	155	0,241	35,8
8	1660	88	155	0,253	34,2
9	1381	77	113	0,257	38,8
10	1617	77	113	0,249	37,4
11	1500	66	113	0,253	32,1
12	1521	88	113	0,264	42,4
13	1578	77	113	0,243	46,4
14	1510	77	113	0,251	30,7
15	1442	77	113	0,251	38
16	1516	77	113	0,251	37,7
17	1529	77	113	0,251	38,1
18	1575	77	113	0,256	35,2
19	1523	77	113	0,252	36,2

Test sonuçlarını Anova regresyon modelini kullanarak analiz edip istatistiksel olarak SMER ve su buharı kaçağını modellemişlerdir. Ayrıca fiziksel olarak sistem için denklemler kurularak istatistiksel ve fiziksel model arasındaki fark incelenmiştir [8].

Test sonuçlarına göre fiziksel ve istatistiksel aynı hata payı çalışmaktadır [8].



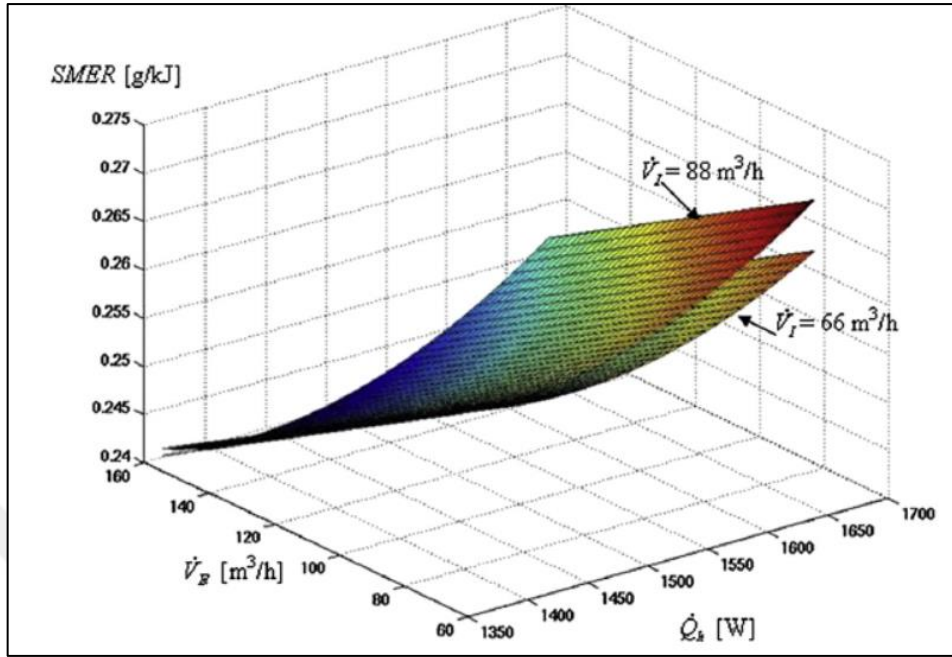
Şekil 2.11 SMER için istatistiksel ve fiziksel modelin karşılaştırılması [8]



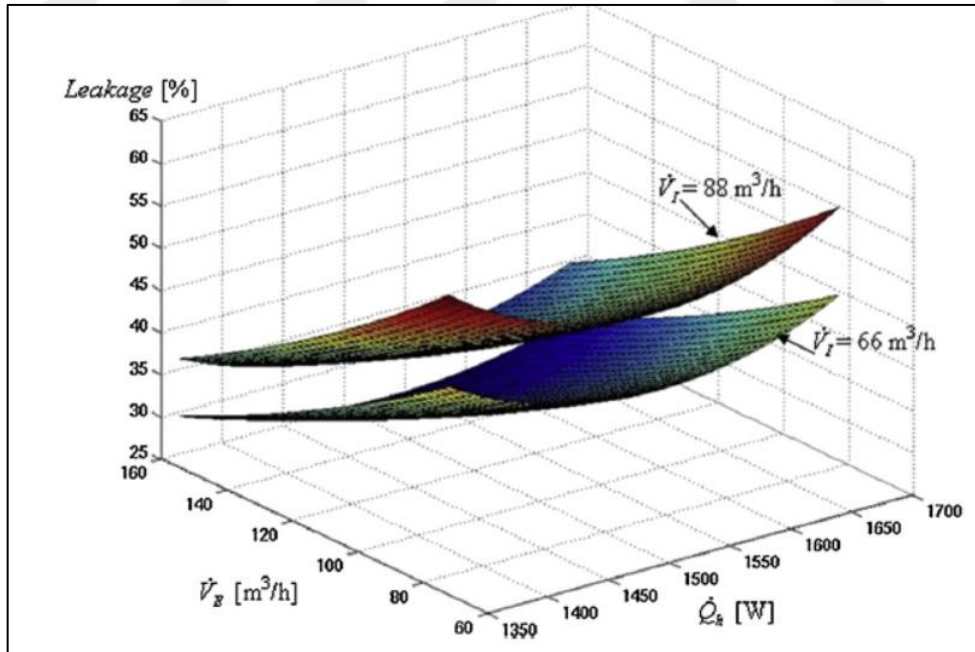
Şekil 2.12 Kaçan nem miktarının istatistiksel ve ölçüm değerleri ile karşılaştırılması (Kaçak miktarı istatistiksel modelden, tamburdan kaçan nem ise deneysel ölçümlere aittir.) [8]

Yapılan çalışmalar analiz edildiğinde ortama kaçan nem miktarının ısı değiştirici soğutma hava debisi miktarının artması ile azaldığı tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre en fazla SMER en az kaçığın olacağı en uygun koşul hangisi olacağı aralarında ters ilişki olduğundan bulunamamıştır. Çünkü en yüksek SMER değeri tamburdan en fazla su buharı kaçağı olduğunda olmaktadır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13 incelendiğinde istatistiksel modele göre iç ortam hava debisinin ve ısıtıcı gücünün

artması ile SMER değerin arttığı, ancak iç ortam hava debisinin artmasının kaçak miktarını arttırdığı görülmektedir [8].



Şekil 2.13 İstatiksel modele göre SMER' in 2 farklı iç ortam hava debisinde (kurutma havası) farklı ısıtıcı gücü ve dış ortam havası (ısı değiştirici soğutma havası) ile ilişkisi [8]



Şekil 2.14 İstatiksel modele göre kaçan havanın 2 farklı iç ortam hava debisinde (kurutma havası) farklı ısıtıcı gücü ve dış ortam havası (ısı değiştirici soğutma havası) ile ilişkisi [8]

2.4 Ev Tipi Kurutma Makinelerinde Tambur İçerisindeki Tekstil Hareketinin Kurutma Performansına Etkisinin İncelenmesi

Yuhui Wei ve arkadaşları [9] Kasım, 2018 tarihinde yayınladıkları makalede tekstil tipi, boyutu, ağırlığı ve tambur hareketi değişkenlerinin kurutma verimine etkisini anlatmışlardır. Deneysel çalışmalarda bacalı tip açık çevrim kurutma makinesinde gerçekleştirmişlerdir [9].

Çalışma kapsamında yüksek çözünürlüklü bir kamera ile kurutma çevrimi boyunca tekstil hareketini kaydetmişlerdir. Büyük, küçük boyutlardaki tekstil parçalarının tambur içindeki düşme ve dönme hareketi incelenmiştir. Çamaşırların birbiri üzerinden kayması ve düşmesinin, tamburun tek yöne dönmesinden daha fazla kurutma verimi sağladığı tespit edilmiştir. Optimum kurutma verimi için tambur dönme hızının 45-50 [rpm] arasında olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır [9]

Deneylerde kullanılan tekstil tipi ve boyutları Tablo 2.5’ de bulunmaktadır.

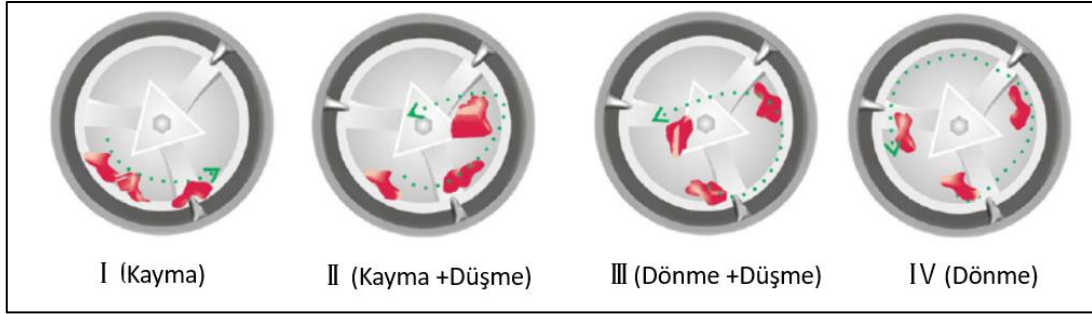
Tablo 2. 5 Çalışmada kullanılan tekstillerin özellikleri [9]

Özellik	C1	C2	W1	W2
İplik içeriği	100% pamuk	100% pamuk	100% yün	100% yün
Örgü tipi	Düz	Düz	Rib	Rib
Ağırlık [g/m ²]	57,9	116,5	368,8	514,9
Kalınlık [mm]	0,167	0,392	0,893	1,103
Su içeriği [%]	106,7	267,5	486,2	627,9
Döküm katsayısı [%]	53,4	61,2	91,4	96,2

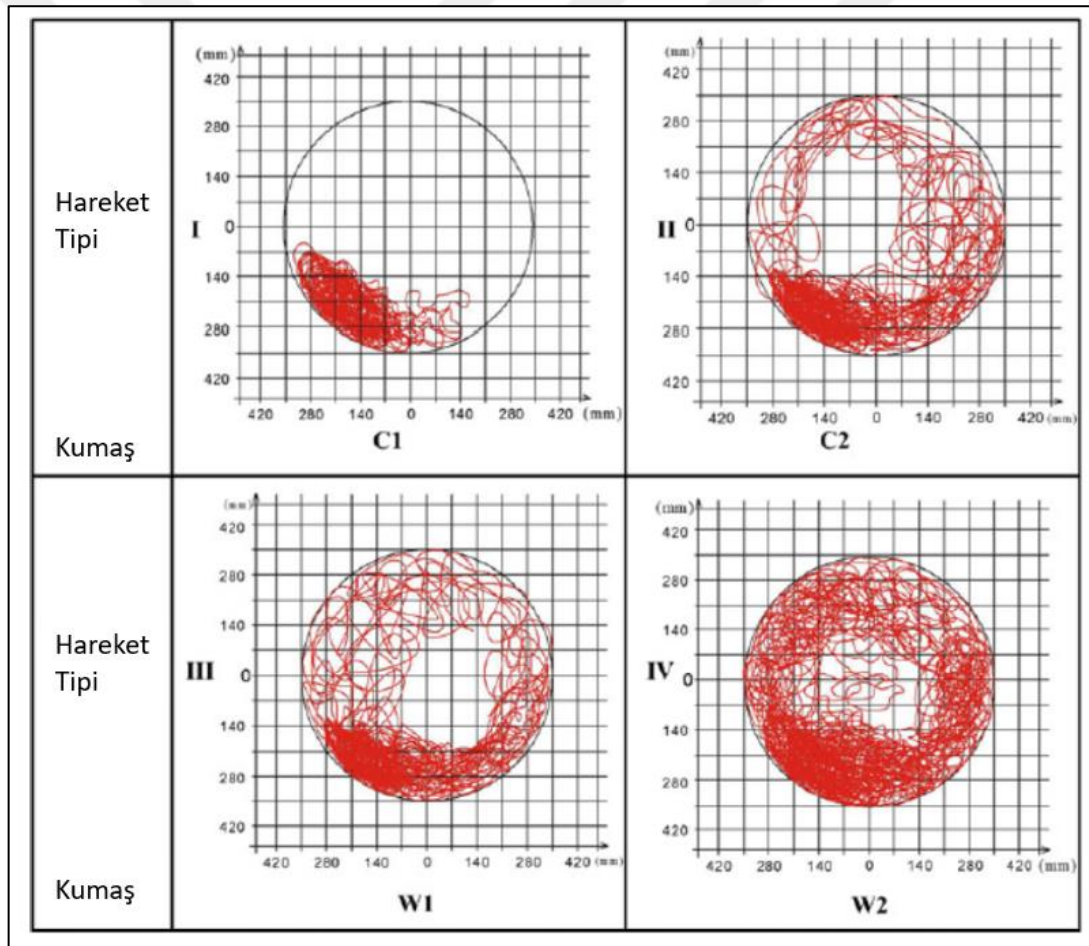
Tambur içinde farklı miktar ve içerikteki tekstil yükleri dört farklı tambur hareketi ile kurutulup kurutma sonu çamaşırdaki nem miktarı, makine enerji tüketim verileri ve tekstil yüzey pürüzsüzlüğü kontrol edilmiştir. Kumaş boyutları 38x38 cm², 60x60 cm² ve 80x80 cm² olup deneyler öncesinde 20±2 °C ve 65 ±2% bağıl nemde 24 saat şartlandırılmıştır. Deneyler yüklerinin kurutma çevrimi öncesi 70% olacak şekilde başlangıç nem içerikleri sabit tutulmuştur. Kumaşların deney sonu nem içeriği hesabı Eşitlik (2.35)’ de anlatılmıştır [9].

$$\delta = [(m_i - m_o) / (m_o)] 100\% [9] \quad (2.35)$$

Kumaşların kayma, kayma ve düşme, dönme ve düşme, sadece dönme olmak üzere dört farklı şekilde tambur içerisinde hareket ettirilerek kurutma verimi ve performansı gözlemlenmiştir [9].



Şekil 2.15 Farklı kurutma çevrimlerinde tambur içindeki kumaşa hareketinin şematik gösterimi [9]

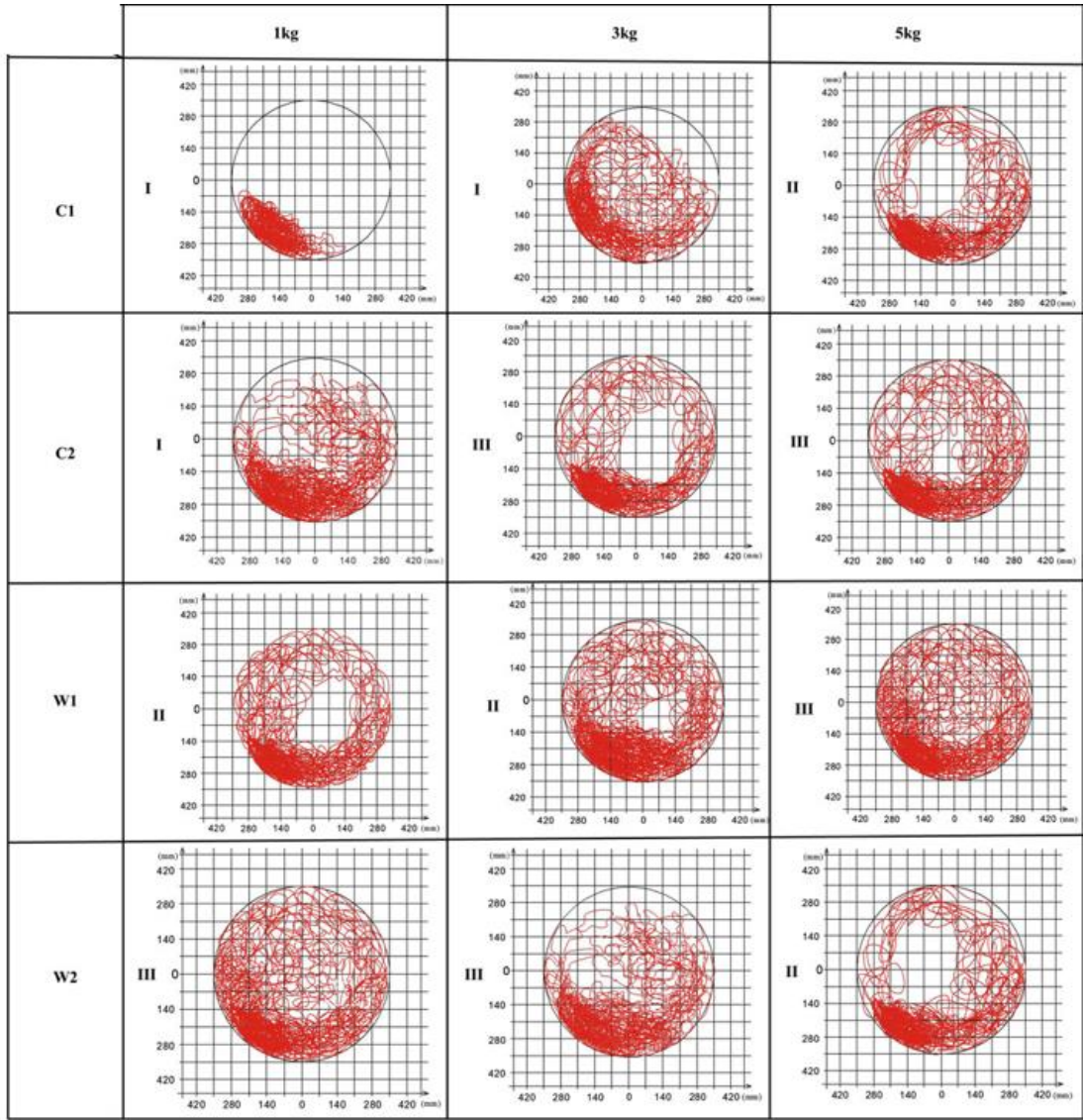


Şekil 2.16 Kumaş tipine göre tambur içerisinde çamaşırın hareketi (kumaş boyutları 60x60 cm² ve tambur dönme hızı 45-50 rpm) [9]

Şekil 2.16 incelediğinde farklı kumaş tipinin aynı tambur hızında tambur içindeki dağılımın farklı olduğu görülmüştür. Bu deneylerde kullanılan yüklerin ağırlığı 1

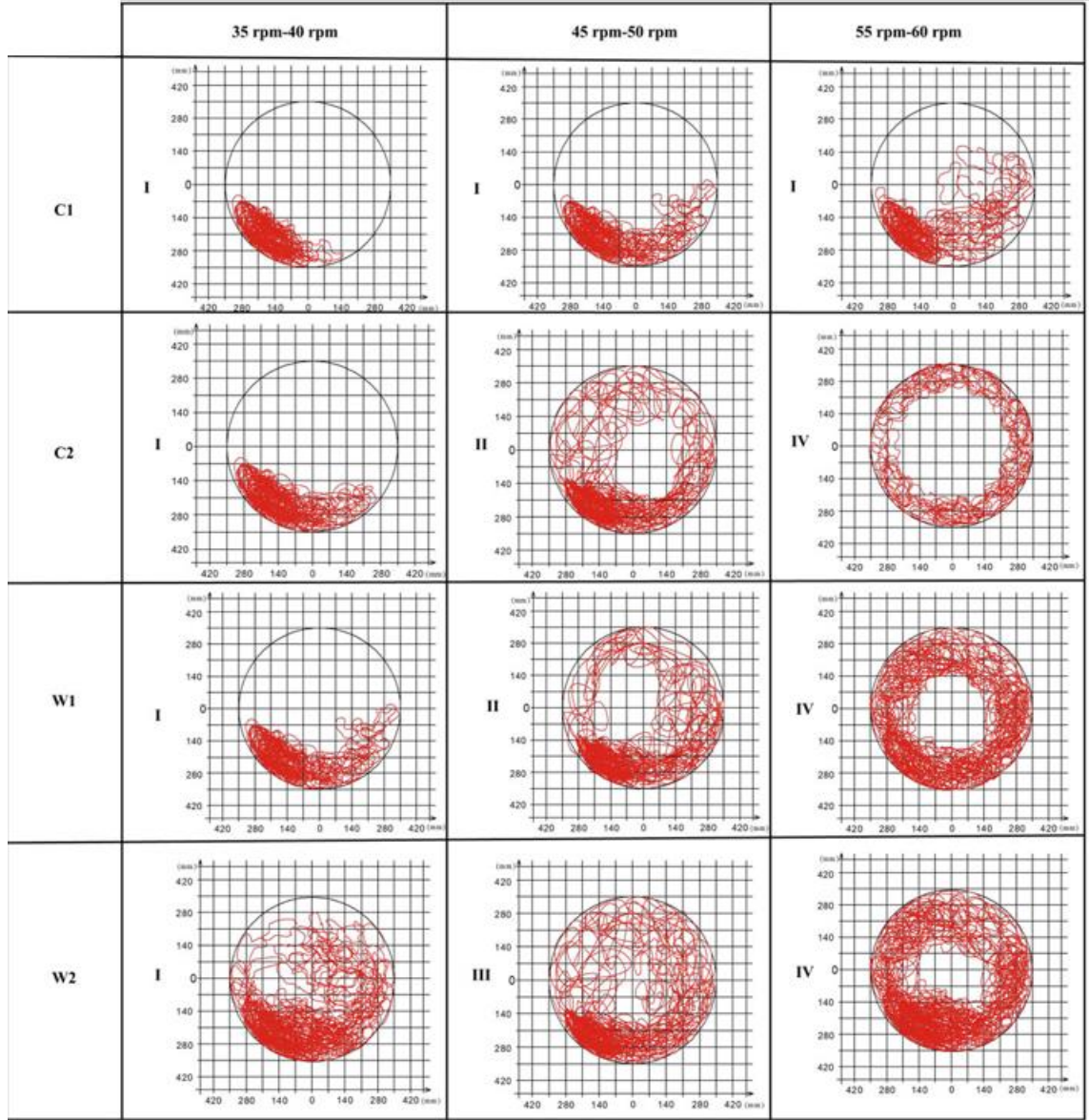
[kg]' dır. İnce ve hafif kumaşlar (C1) tambur duvarında sadece kaymakta olduğu ve çamaşırların düşük sürtünme yaptığı görülmüştür. Video kayıtlarına göre kumaş (W2) tipinde kurutma çevrimi başında kumaşların sadece kayma, sabit nem alma işleminde dönme ve düşme yaptığı ve kurutma çevrimi sonunda sadece dönme yaptığı gözlemlenmiştir. Kumaş (W1) tipinde çevrim başlarında sadece kayma hareketi görülmüştür. Ancak bu kayma miktarı kumaş tipi (C1)' den çok daha azdır. Kurutma çevriminin sabit nem alma aşamasında ise birinci, üçüncü ve dördüncü tambur içindeki kumaş hareketi görülmüştür [9].

Ayrıca çalışma kapsamında tekstil miktarının ve kumaş tiplerinin ikili etkileşiminin çamaşır hareketi kurutma performansına etkisi çalışılmıştır. Analize göre tambur içerisindeki çamaşır miktarının değişmesinin çamaşır hareketi için ayırt edilebilir bir fark yaratmadığı tespit edilmiştir [9]



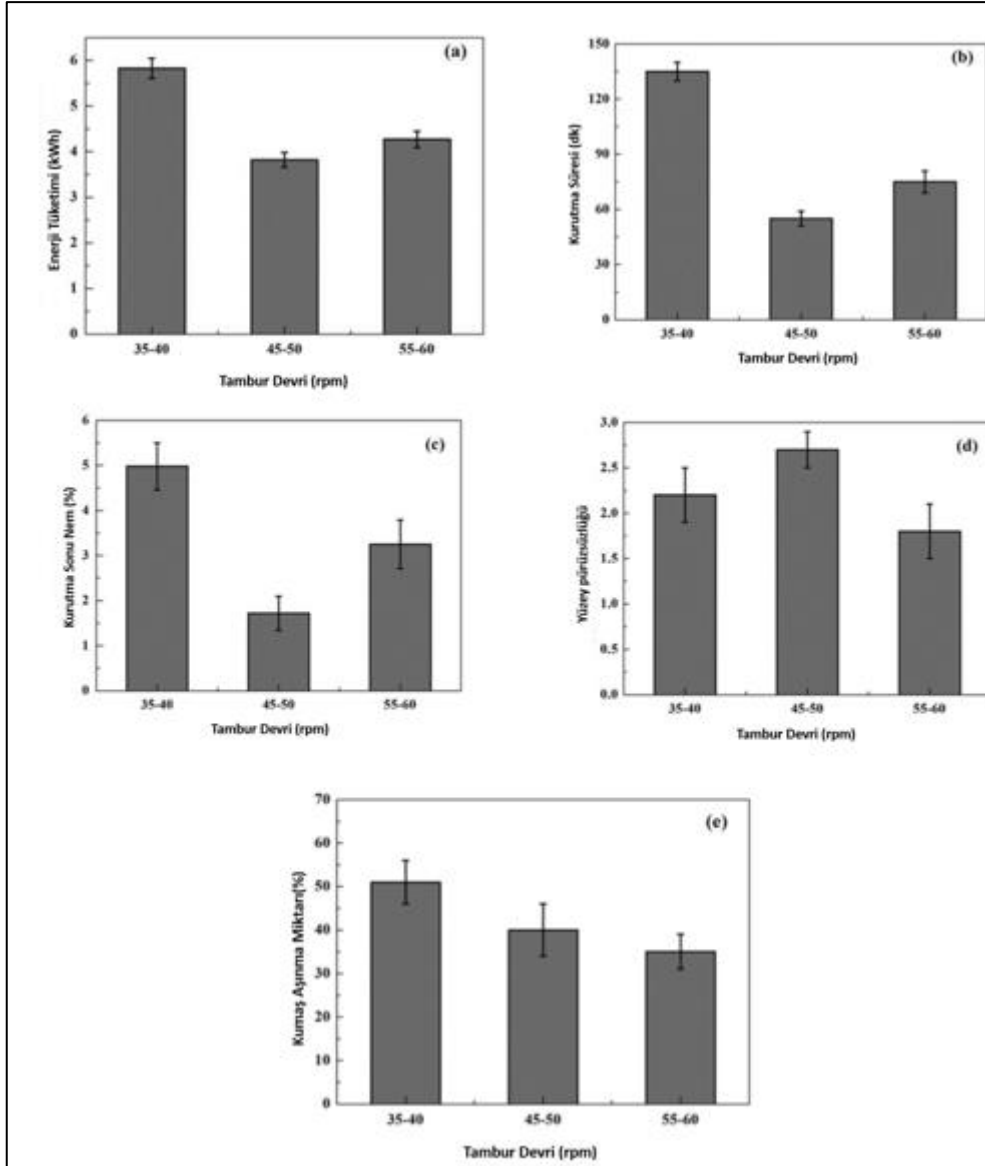
Şekil 2.17 Çamaşır miktarına göre tambur içerisinde çamaşırın hareketi (kumaş boyutları 60x60 cm² ve tambur dönme hızı 45-50 rpm) [9]

Araştırmacılar daha sonra tüm tekstil tiplerinde 1 kg çamaşır miktarı sabit kalması koşuluyla farklı tambur devirlerinde kumaş hareketlerini incelemişlerdir. Tespitlerine göre tambur devri arttıkça (C1) kumaş tipi dışında diğer tiplerin tamamının tambur çeperine yapıştığı tespit edilmiştir. Düşük tambur devirlerinde de kalın yünlü kumaşlar (W2) dışındaki tekstillerin sadece kayma hareketi yaptığı görülmüştür. Sonuç olarak; tambur devrine bağlı olarak kumaş sürtünme katsayısının tambur içinde kumaş hareketini etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca kumaş boyutunun kumaş hareketinde anlamlı bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır [9].



Şekil 2.18 Tambur devrine göre tambur içerisinde çamaşırın hareketi (kumaş boyutları 60x60 cm² ve tambur dönme hızı 45-50 rpm) [9]

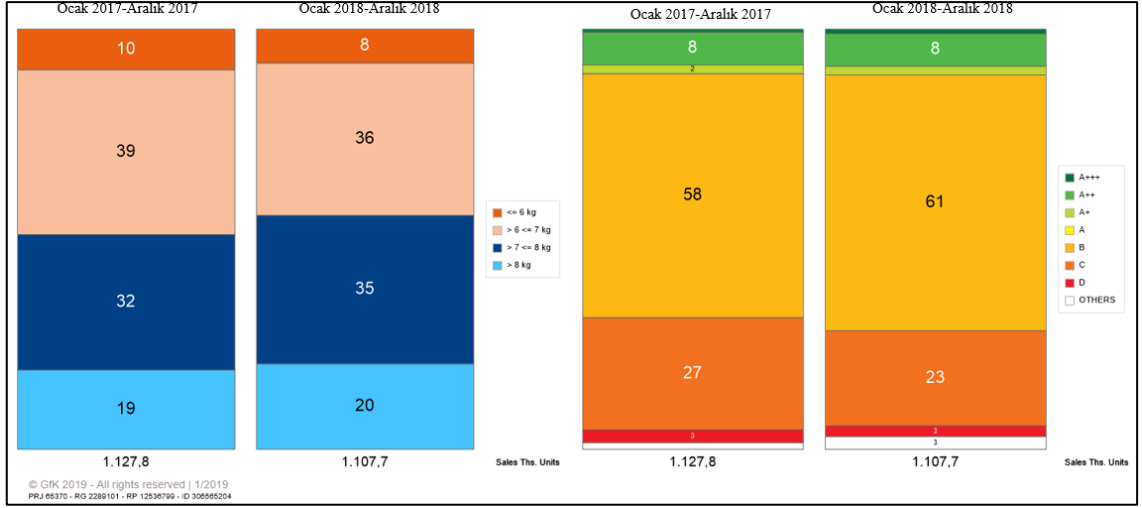
Tambur içindeki kumaş hareketinin incelendiği bu çalışmada en az enerji tüketimi ve kurutma süresi, kurutma sonu çamaşırdaki kalan nem, en fazla çamaşır pürüzsüzlüğü, en az tekstil aşınması için en uygun tambur devrinin 45-50 [rpm] olması gerektiğine karar verilmiştir [9].



Şekil 2.19 Tambur devrine göre kurutma performansı (kumaş boyutları 60x60 cm² ve çamaşır miktarı 5 kg) [9]

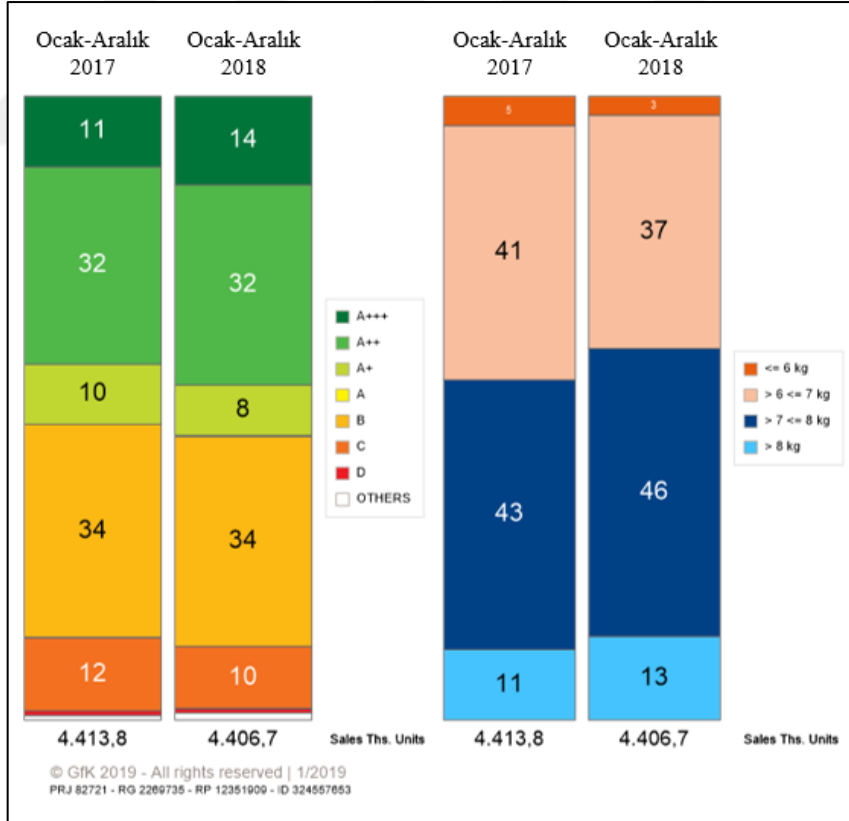
2.5 Pazar Araştırması

Hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinin en fazla kullanıldığı İngiltere ve Batı Avrupa pazarı incelendiğinde 8 kg ve üzerinde çamaşır kurutabilen kurutma makinelerine talep arttığı görülmektedir [1].

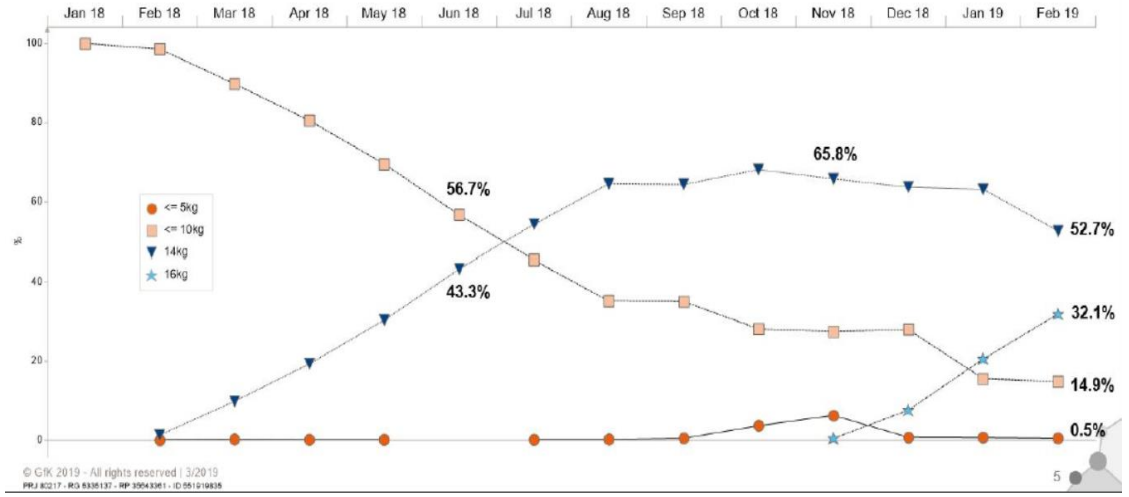


Şekil 2.20 İngiltere’deki 2017-2018 yıllarına ait satış adetleri [1]

Bunun yanı sıra Batı Avrupa GfK verilerine göre 2018 yılında 2017 yılına göre 8 kg ve üzeri çamaşır kurutabilen makinelere talep 2% arttığı tespit edilmiştir. Özellikle Güney Kore pazarında 10 kg’ dan daha az çamaşır kurutabilen makinelere neredeyse hiç ilgili olmadığı saptanmıştır.



Şekil 2.21 Batı Avrupa 2017-2018 yıllarına ait satış adetleri [1]



Şekil 2.22 Güney Kore 2018-2019 yılları arası çamaşır kapasitesine göre satış adetleri [5]

1) Kurutma havası fanı ve motoru

2) Isıtıcı

3) Tankur

4) Filtre

5) Hava soğutmalı ısı değıştirici

6) Soğutma havası fanı ve motoru

7) Tankur tahrik motoru

8) Sıcaklık ölçüm sensörü

9) Bağıl nem ölçüm sensörü

Bilgisayar

Veri Toplama Sistemi

Terazi

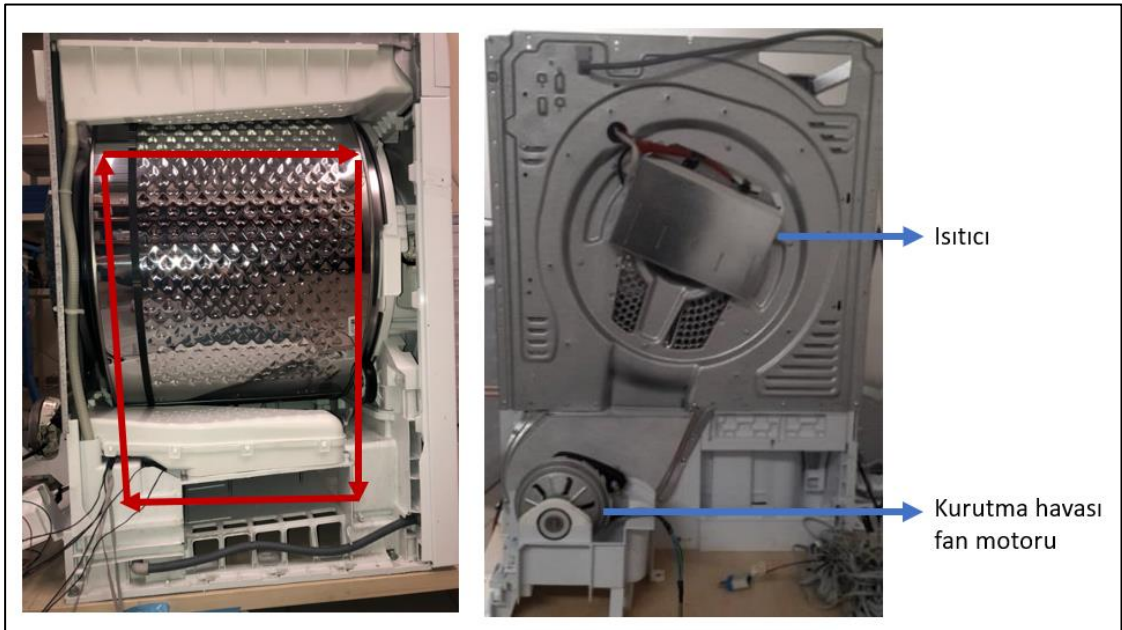
Şekil 3.1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi

3.1 Deney Düzenekğinin Tanıtılması

Araştırma için hazırlanan deney düzeneğini anlatan detaylı resimler bu bölümde verilmiştir. Bu deney düzeneğinde biri kapalı diğeri açık olmak üzere iki çevrim bulunmaktadır. Bunlardan ilki; çamaşır, ısıtıcı, fan ve tamburdan oluşan kapalı çevrimdir. Bu çevrim çamaşırların kurutulması için kullanılan havanın tahrik edildiği çevrimdir. İkinci çevrim ise hava-hava soğutmalı ısı değiştirici ve fandan

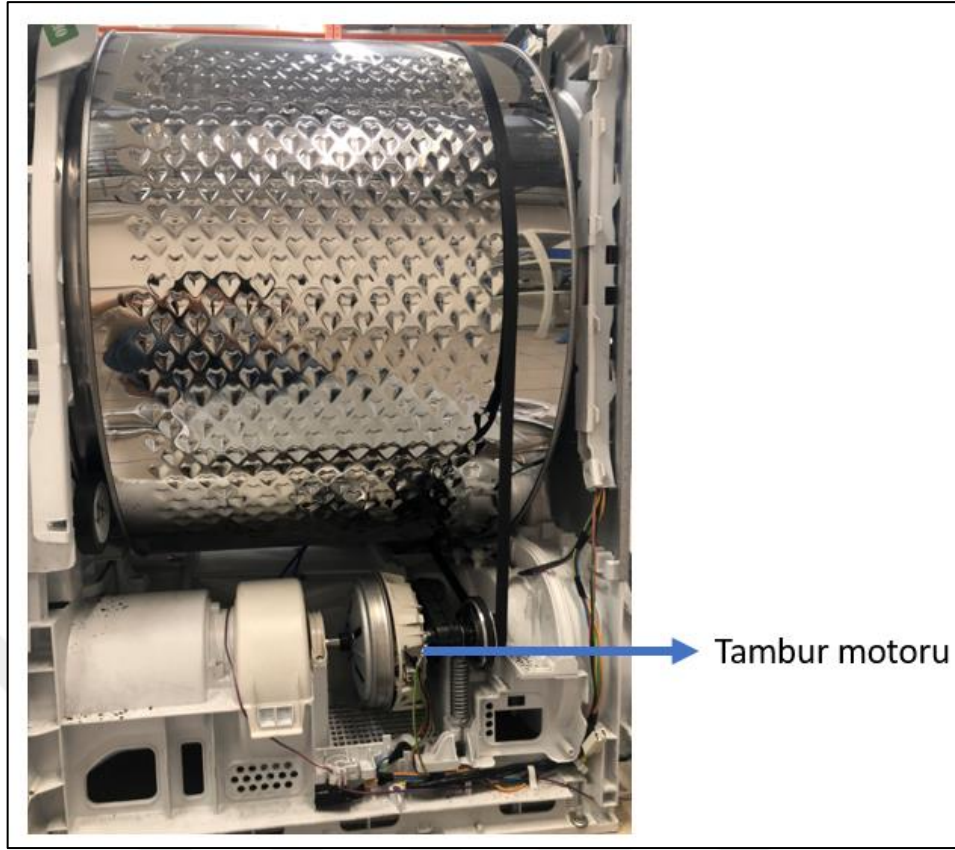
oluşan açık çevrimdir. Bu çevrimin amacı ısı değiştiricinin yüzeyinin soğutulması ve çamaşırdan alınan havadaki nemin çapraz akışlı ısı değiştirici üzerinde yoğunlaştırılmasıdır.

Ticari çamaşır kurutma makinelerinde kurutma havası fanı, soğutma havası fanı ve tambur tek bir motor tarafından çalıştırılmaktadır. Her bir değişkenin etkisini birbirinden bağımsız gözlemleyebilmek için bu çalışmada değişken devirli motorlar kullanılmıştır. Farklı ısıtıcı güçlerinin kurutma performansına etkisini görmek içinde deney planına göre ısıtıcılar değiştirilmiştir.

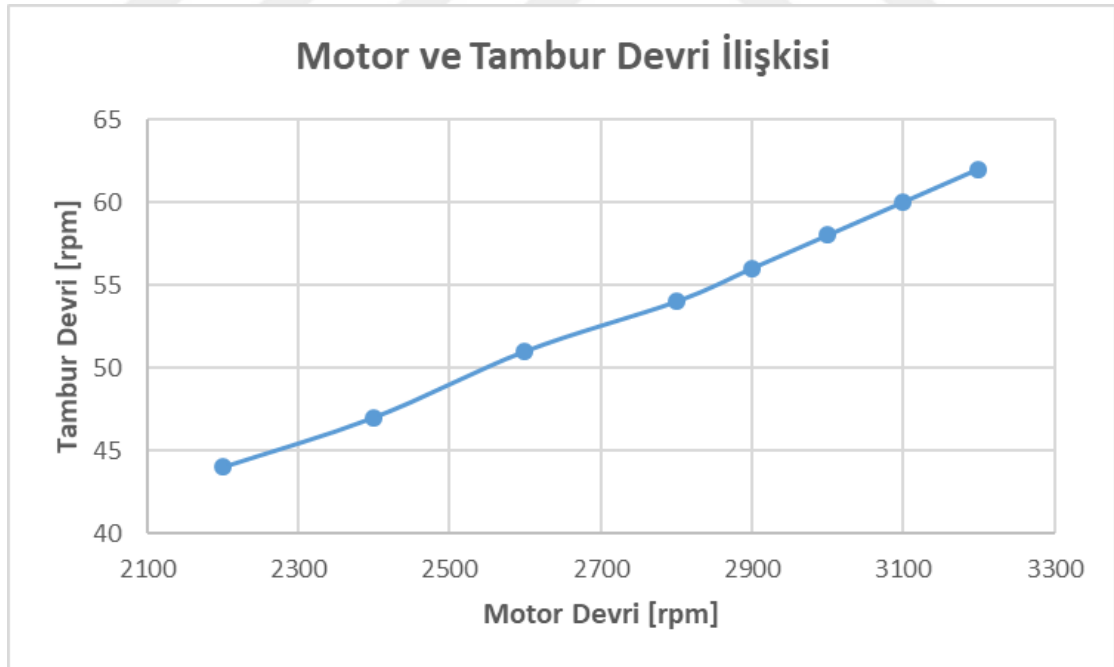


Şekil 3.2 Kurutma havasının çevrimde izlediği yol ve fanını tahrik eden motor

Tambur dönme hızının enerji tüketimine ve kurutma performansını incelemek için değişken devirli motor 2200 [rpm] ile 3200 [rpm] arasında çalıştırılmış ve tamburun dakikadaki dönme sayısı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 3.4' de bulunmaktadır.

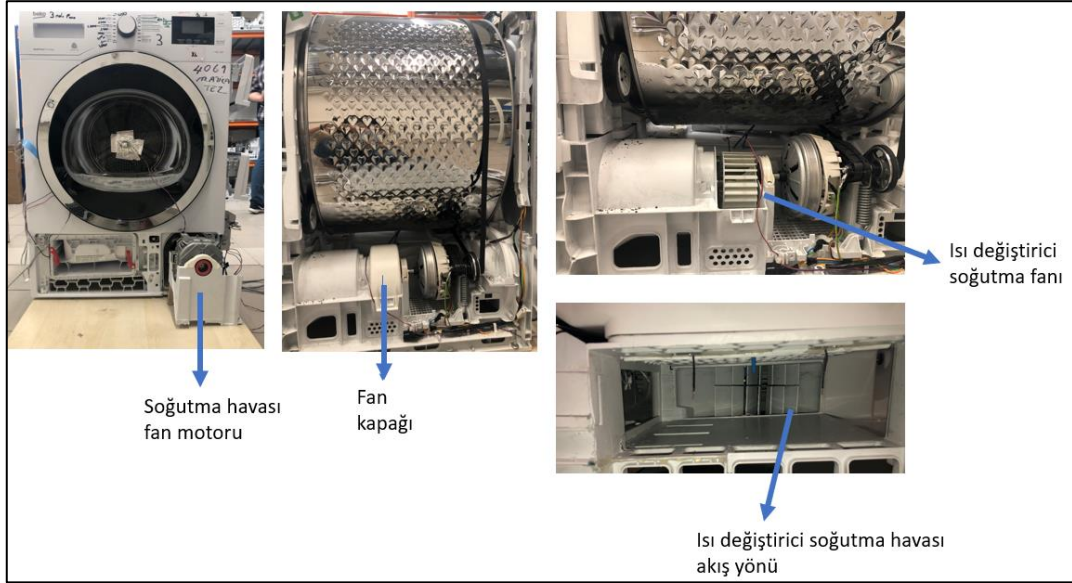


Şekil 3.3 Tambur hızının değiştirilmesini sağlayan motor



Şekil 3.4 Motor devrinin değiştirilmesinin tambur dönme hızına etkisinin incelenmesi

Kurutma çevrimi sırasında çamaşırdan alınan nem hava-hava soğutmalı ısı değiştiricide yoğunlaştırılmaktadır. Sistemin kurutma hızını bu açık çevrimdeki havanın sıcaklığı ve debisi doğrudan etkilemektedir. Ancak deneylerin yapıldığı Arçelik Çamaşır Kurutma Makinesi İşletmesi Ar-Ge Performans Laboratuvarı sıcaklığı 21-25 °C arasında değiştiğinden bu etki çalışma kapsamında kontrol edilememiştir. Hesaplamalarda laboratuvar sıcaklığı ortalama sıcaklık olarak 23 °C kabul edilmiştir.



Şekil 3.5 Açık çevrim hava akışı ve soğutma fanı motoru



Şekil 3.6 Çapraz akışlı hava-hava ısı değiştirici

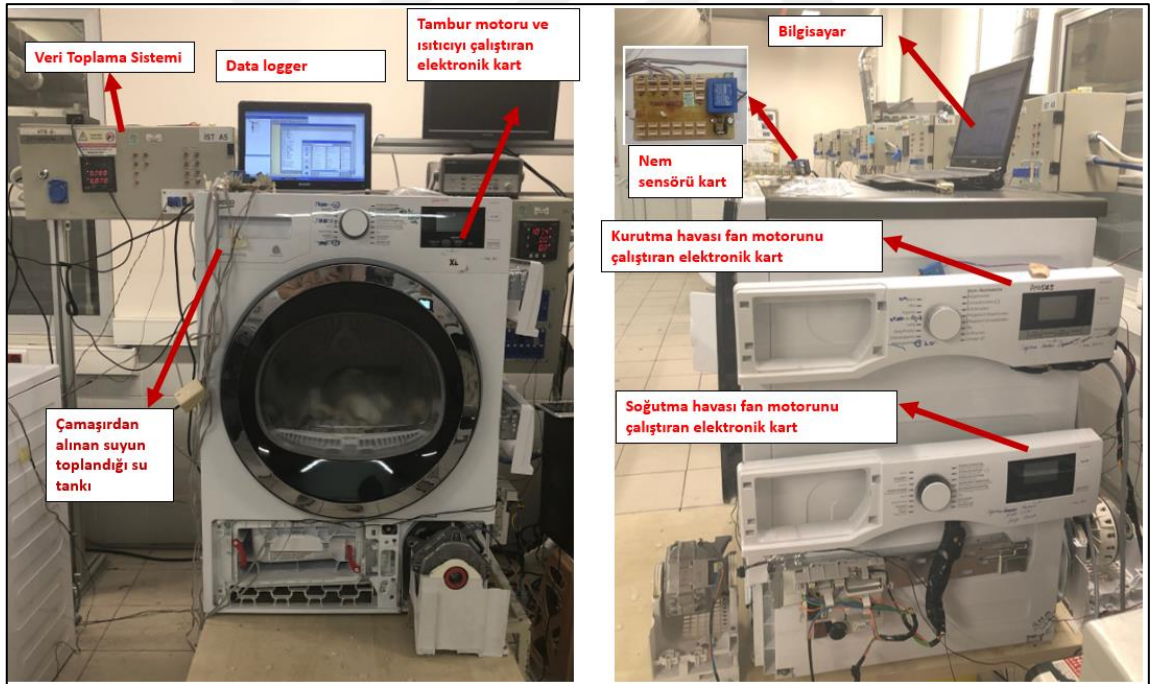
3.2 Ölçüm Sisteminin Tanıtılması

Bölüm 3.3' de anlatılan deney düzeneğinde ısıtıcı gücü, tambur devri, soğutma ve kurutma hava debileri değişkenlerinin Tablo 3.5' de bulunan verilere etkisi araştırılmıştır.

Tablo 3.1 Deneyler sonrası değişkenlerin etkisinin inceleneceği veriler

Kontrol Edilecek Veriler
Kurutma Sonu Tüketilen Toplam Enerji [kWh]
Kurutma Süresi [dk.]
Çamaşırdan Uzaklaştırılan Su Miktarı[gr]
Birim Su Buharını Uzaklaştırmak İçin Harcanan Enerji [kWh/gr.su buharı]
Kurutma Havaşı Giriş Bağıl Nemi [%]
Kurutma Havaşı Çıkış Nemi [%]
Kurutma Havaşı Giriş Sıcaklığı [°C]
Kurutma Havaşı Çıkış Sıcaklığı [°C]
Soğutma Havaşı Giriş Sıcaklığı [°C]
Soğutma Havaşı Çıkış Sıcaklığı [°C]

Gerçekleştirilen tüm deneylerde sıcaklık ve nem sensörleri ile kurutma ve soğutma havaşı bağıl nemi ve sıcaklık değerleri kontrol edilmiştir. Sıcaklık değerlerinin ölçülmesi için termokupllar, bağıl nem ölçümü için nem sensörleri ve yoğuşan su miktarını tespiti için terazi kullanılmıştır. Deney düzeneğindeki ısıtıcı, motor ve diğer elektronik elemanların güç ve enerji tüketimlerini ve kurutma süresini ölçmek için veri toplama ünitesi ve bilgisayardan faydalanılmıştır.



Şekil 3.7 Deney düzeneği ve ölçüm sistemi



Şekil 3.8 Terazî

3.3 Belirsizlik Analizi

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonunda birim su buharını uzaklaştırmak için gereken enerji tüketimi (MER) yani kurutma verimi hesaplanacağından ölçüm sisteminde kullanılan sıcaklık, özgül nem ve entalpi değerlerinin belirsizliği, sistem açısından dikkate alınması gereken gerekli bir unsurdur.

Ölçüm belirsizliği hesaplama yöntemi Kline ve McClintock [10] tarafından tespit edilen bir hesaba göre yapılmaktadır. Bu hesaba göre; kullanılan deney düzeneğinde bir takım deneysel ölçümler yaparak hesaplanması gereken büyüklük K ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişken ise $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olmak üzere denklem 3.1' e göre yazılabilir [10].

$$K = K(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad [10] \quad (3.1)$$

Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve K büyüklüğünün hata oranı w_k ise, belirsizlik analizi yöntemi;

$$w_k = \pm \left[\left(\frac{\partial P}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial P}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right] \quad [10] \quad (3.2)$$

Eşitliği ile ifade edilmektedir.

Deney düzeneğinde kullanılan ölçme aletlerinin ölçüm doğruluk değerleri Tablo 3.2’ da gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Ölçüm cihazları markaları ve ölçüm hassasiyetleri

Cihaz	Marka-Model	Ölçüm Doğruluk değeri
Termokupl	Watlow Gardon T30-2-506	IEC 60584-2 standardına göre $\pm 0,2$ °C doğruluk
Terazi	Precisa LX10200D	0,1 gr Çözünürlük, $\pm 0,15$ gr Doğruluk
Nem Sensörü	Sensirion SHT-75	Sıcaklık $\pm 0,3$ °C, RH $\pm 1,8\%$

Bu tez çalışması kapsamında çamaşırdan uzaklaştırılan su miktarı terazi, yoğunlaşma hızı nem sensörleri, soğutma havası ve kurutma havası sıcaklıkları termokuplar ile ölçülüp bilgisayara kaydedilmiştir. Ölçüm cihazları ve deney düzeneğinde bulundukları yerler Tablo 3.3’ de belirtilmiştir. Ölçülen bu değerler ile ısıtıcı gücü, soğutma ve kurutma havası ve tambur devri olmak üzere dört bağımsız değişkenin enerji tüketimine etkisi hesaplanmıştır. Bu dört bağımsız değişkenin hata oranları denklem 3.2’ e yazılarak MER değeri 3,88 % belirsizlik analizi ile hesaplanmaktadır.

Tablo 3.3 Ölçüm sisteminde bulunan cihazların listesi

Ölçüm Noktası	Cihaz İsmi	Ölçülen Değer
Kurutma havası ısı değiştirici girişi	Termokupl	2 noktadan sıcaklık
	Nem sensörü	2 noktadan bağıl nem
Kurutma havası ısı değiştirici çıkışı	Termokupl	2 noktadan sıcaklık
	Nem sensörü	2 noktadan bağıl nem
Tambur girişi	Termokupl	3 noktadan sıcaklık
Tambur çıkışı	Termokupl	1 noktadan sıcaklık
Soğutma havası ısı değiştirici girişi	Termokupl	1 noktadan sıcaklık
Soğutma havası ısı değiştirici çıkışı	Termokupl	1 noktadan sıcaklık
Kurutma işlemi öncesi çamaşır ağırlığı	Terazi	Ağırlık
Kurutma işlemi sonrası çamaşır ağırlığı	Terazi	Ağırlık

3.4 Debi Ölçümü

Farklı motor devirlerinde soğutma ve kurutma havası debisinin nasıl değiştiğini incelemek için Arçelik Kurutma Makinesi İşletmesi'nde bulunan rüzgâr tüneline debi ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Debi ölçümleri “Arçelik Rüzgar Tüneli Debi Ölçüm Test” talimatına göre yapılmıştır [11]. Kurutma hava debi ölçümleri tambur içerisinde 10 [kg] %60 nemli çamaşır ile yapılmıştır.



Şekil 3.9 Rüzgâr tüneli debi ölçüm deney düzeneği [11]

Kurutma makinesinin soğutma ve kurutma havası fanlarını tahrik eden motorların 2200 [rpm], 2800 [rpm] ve 3200 [rpm] devirlerinde sağladıkları debi değerleri ölçüm sonrası Tablo 3.4' e kaydedilmiştir. Mevcut tasarımda fanları tahrik eden motor devri 2800 [rpm] olup bu çalışma kapsamında bu değerin altında ve üstüne denk gelen debi değerlerinin enerji verimine etkisi incelenmiştir.

Tablo 3. 4 Tambur devriyle soğutma ve kurutma hava debisi değişimi

Motor Devri [rpm]	Soğutma Hava Debisi [lt/sn]	Kurutma Hava Debisi [lt/sn]
2200	42	35
2800	57	45
3200	67	53

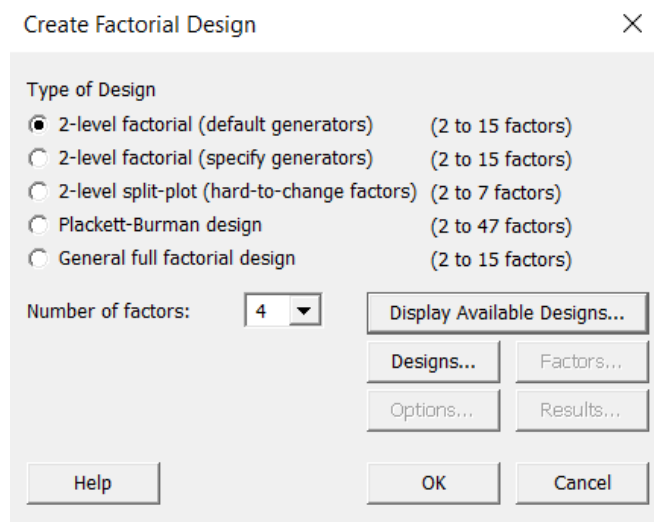
3.5 Deney Tasarımı

Çalışma kapsamında 60%' ı ıslak 10 kg çamaşırın kurutulması için gereken en düşük enerji tüketiminin sağlayan değişkenlerin belirlenmesi amacıyla 6-Sigma temeline oturtularak DOE (Deney Tasarımı) yapılmıştır. Bunun için Minitab programı kullanılarak Tablo 3.5'deki deney değişkenleri için deney tasarımı oluşturulmuştur.

Tablo 3.5 Deney değişkenleri

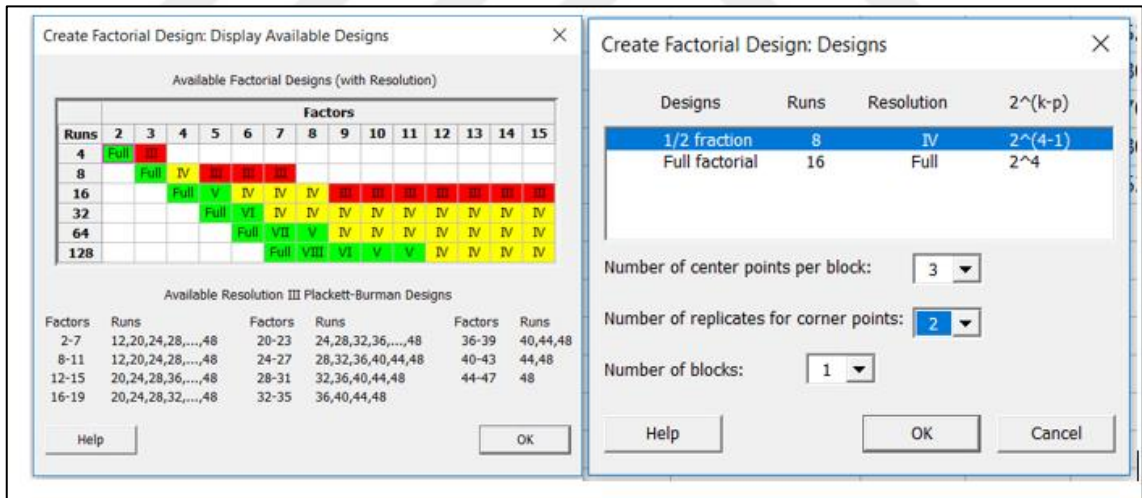
Değişkenler	En Düşük	Orta	En Yüksek
Isıtıcı Gücü [W]	2300	2500	2700
Tamburu Tahrik Eden Motor Devri [rpm]	44	54	62
Kurutma Havası Debisi [lt/sn]	35	45	53
Soğutma Havası Debisi [lt/sn]	42	57	67

Minitab programında gerçekleştirilen tasarımla ilgili olarak Şekil 3.10'da DOE' nin nasıl oluşturulduğu görülmektedir. Eğer tüm değişkenlerin birbirleri ile etkileşimlerinin Tablo 3.5' deki kontrol verilerine etkisini analiz edebilmek için toplamda 162 adet iki tekrarlı deney yapılması gerekmektedir. IEC 61121 Ev tipi çamaşır kurutma makinesi standardına göre de her bir deney arası ölçüm sisteminin tekrar şartlanması için 24 saat beklenmesi koşulu göz önünde bulundurulduğunda çalışmanın tamamlanması için en az 5,5 ay zaman kaynağı gerekmektedir. Zaman kaynağının verimli değerlendirilmesi amacıyla deney tasarımı "General full factorial design" ile değil "2-level factorial (default generators)" temeline göre oluşturulmuştur. Böylece 162 deney yerine 19 adet deney ile değişkenlerin etkisi analiz edilebilmiştir. 2-level factorial(default generators) deney tasarımı temeli aşağıda detaylı anlatılmıştır.



Şekil 3.10 Minitab programı ile DOE seçilmesi

2-level factorial (default generators)” yani kesikli deney tasarımı deney sonuçlarının analizinin çözünürlüğü için yapılması gereken en az deney sayısının ne olması gerektiğine “Display Available Design” bölümüne bakarak karar verilmiştir. 4 değişkenli bir deney tasarımı en az 8 farklı koşul deney yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.11 Kesikli deney tasarımı değişken sayısına göre yapılması gereken deney sayısı

Bu doğrultuda “1/2 fraction” 2 tekrarlı deneylerde 3 tanede merkez noktası seçilerek deney tasarımı oluşturulmuştur. Bu deney tasarımı tipinde değişkenlerin en yüksek ve en düşük değerleri kontrol edilmektedir. Merkez nokta seçimi sayesinde bu değişkenlerin orta değerleri de kontrol edilebilecektir.

Factor	Name	Type	Low	High
A	Isıtıcı Gücü	Numeric	2300	2700
B	Tambur Devri	Numeric	44	62
C	SoğutmaDebi	Numeric	42	67
D	Kurutma Debi	Numeric	35	53

Şekil 3.12 Minitab programına deney değişkenlerinin yazılması

Design Summary					
Factors:	4	Base Design:	4; 8	Resolution:	IV
Runs:	19	Replicates:	2	Fraction:	1/2
Blocks:	1	Center pts (total):	3		

Şekil 3.13 Kesikli faktörlü deney tasarımı

Bu çalışmada deney tasarımına göre 19 adet deney yapılarak kurutma çevrimi sonrası tüketilen toplam enerji, kurutma süresi ve çamaşırların ıslaklığı kontrol edilerek MER hesaplanmıştır.

3.6 Deneylerin Yapılışı

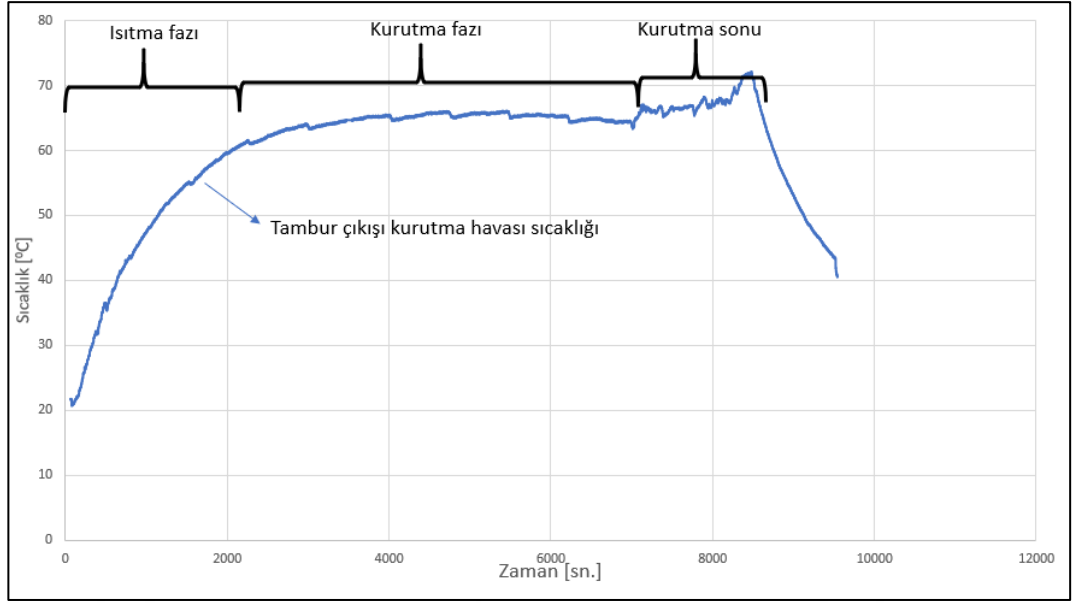
Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneyler Arçelik Çamaşır Kurutma Makinesi İşletmesi Performans Test Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneylerin yapılacağı laboratuvar sıcaklığı 23 ± 2 °C olup bağıl nemi 55 ± 5 % olup deneyler 230 ± 2 [V] şebeke geriliminde yapılmıştır. Her bir deney öncesi kurutma makinesi bu koşullarda 24 saat beklenmiştir.

Deneyler, hazırlanan deney talimatına göre yapılmıştır. Bu deney talimatında deney yapılışında izlenen adımlar ve veri alma metodu belirlenmiştir. Talimatın adımları aşağıdaki gibidir;

- Deneylerde kullanılacak 10 [kg] çamaşır IEC 61121 Ev tipi çamaşır kurutma makinesi standardına göre hazırlanır. Standartta göre; deneylerde 100% pamuklu yastık kılıfı, havlu ve çarşaf kullanılmalıdır. Çamaşır kurutma kapasitesine göre bu

parçaların adetleri standartta belirtilmiştir. Çamaşır kapasitesi standartta test yükü olarak isimlendirilmektedir. Test yükleri IEC 60734 standardına göre veya $2,5\pm0,2$ [mmol/l] sertlikteki, 15 ± 2 [°C] sıcaklıktaki su ve IEC 60456:2010 bahsedilen standart deterjan ile yıkanmalıdır. Deneyler ncesi yükler 20 ± 2 [°C] ve $65\pm5\%$ nemli ortam koşullarında şartlandırılarak yüklerin kuru ağırlığı tespit edilmektedir. Bu işlem yk şartlandırma işlemi olarak adlandırılıp çamaşırlar 10 defa yıkanıp kurutulduktan sonra tekrarlanmalıdır. Ayrıca test yüklerinin kullanım sayısı 80' ni geçmemelidir. Yani her yük yıkama ve kurutma çevriminde sonra birer yaş yaşlanmaktadır. Yükler için yaş takibi havlu, yastık veya çarşafların 80 yaşından sonra değiştirilmesi ile yapılmaktadır. Tüm deneylerde kullanılan çamaşırların nem içeriği kurutma çevrimi öncesi kuru ağırlığının 60%' ı kadardır. Çamaşırlar ~ 15 [°C] sıcaklıktaki su ile yıkanmıştır.

- Deneylerde kullanılacak çamaşırlar yıkandıktan sonra terazide tartılarak ağırlıklarının 60% nemli olup olmadıkları kontrol edilir.
- Deney yükü hazırlandıktan sonra makinenin tamburuna yerleştirilip veri toplama sistemi çalıştırılır.
- Test makinesinin sırası ile kurutma havası motoru, soğutma havası motoru ve tambur motoruyla ısıtıcı çalıştırılarak teste başlanır.
- Bilgisayar çalıştırılarak bağıl nem ve sıcaklık değerleri llr.
- Deneyler sırasında üç farklı nem alma fazı grlmektedir. Birinci faz ısınma fazıdır. Bu fazda deney düzeneği serbest çalıştırılır. İkinci faz kararlı rejim fazıdır. Bu fazda sıcaklık ve nem alma hızı değişmediği için veri alma bu fazda gerçekleşir. nc ve son fazda ise çamaşır üzerindeki su miktarı azaldığı için hava sıcaklığı artmakta ve bağıl nem azalmaktadır. Bu fazda veri alınmaz ve deney sonlandırılır.



Şekil 3.14 Kurutma havası tambur çıkış sıcaklığının zamana bağlı değişimi

- Deney sonuna çamaşır ağırlıkları terazide tartılarak kaydedilir.

3.7 Deney Sonuçları

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile hava yoğunlaştırıcı kurutma makinelerinde ısıtıcı gücü, debi ve tambur dönme hızının enerji tüketimi, kurutma süresi ve kurutma sonu nem değerlerini etkileyen değişkenlerin etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışma sonunda ölçülen kurutma süresi, enerji tüketimi ve çamaşır ağırlığı verileri ile birim su buharını yoğunlaştırmak için gereken enerji miktarı (MER) ve çamaşırların kurutma sonu nem oranları hesaplanmıştır. Daha sonra deney değişkenlerinin ölçülen kurutma süresi ve hesaplanan MER ve kurutma sonu nem değerlerine etkisini karşılaştırmak için istatistiksel analiz yapılmıştır.

Deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneylerde kurutma süresi deneyin başlangıcı ile çamaşırlardan nem alma işleminin durduğu ve kurutma havası sıcaklığının arttığı süre farkına göre tespit edilmiştir.

Kontrol edilen değişkenlerin MER üzerine etkisi test edilen koşul bitene kadar deney düzeneğinin tükettiği enerji miktarının çamaşırdan alınan neme oranlanması ile hesaplanmıştır. Deney düzeneğinin tükettiği enerji hesaplanırken kurutma ve soğutma hava debilerini tahrik eden motorların enerji tüketimleri ihmal edilmiştir.

Soğutma ve kurutma hava debilerini sağlayan motorların farklı devirlerdeki güç tüketimleri ölçülmüş ve kurutma süresi ile çarpılarak kurutma çevrimi boyunca tükettikleri enerji miktarları hesaplanmıştır. Tablo 3.6’ da motor devrine bağlı motorların güç tüketimleri verilmiştir.

$$m_{su}=m_{ti}-m_{tf} \quad (3.2)$$

$$MER= (E_i-E_{ksm})/m_{su} \quad (3.3)$$

$$E_{ksm}= (P_{sh}+P_{kh}) * \Delta t \quad (3.3)$$

Tablo 3.6 Motor devrine bağlı güç tüketimleri

Motor Devri [rpm]	Kurutma Hava Debisini Tahrik Eden Motor Gücü [W]	Soğutma Hava Debisini Tahrik Eden Motor Gücü [W]	Tamburu Tahrik Eden Motor Gücü [W]
2200	33	26	102
2800	57	46	114
3200	80	59	123

Gerçekleştirilen deneylerde değişkenlerin çamaşırı kurutma verimine etkisi de araştırılmıştır. Çamaşır kurutma verimi çamaşırların ilk ağırlıklarının kurutma çevrimi sonrası ağırlıklarına oranlanması belirlenmiştir.

$$KSN= (m_{ti}-m_{tf})*100/m_{ti} \quad (3.4)$$

3.7.1 İstatistiksel Analizlerle Değişkenlerin MER Değerine Etki Derecelerinin Belirlenmesi

Gerçekleştirilen deney tasarımında ısıtıcı gücü, tambur dönme hızı, kurutma ve soğutma hava debisi değişkenlerinin MER’ e etkisi deneysel olarak tespit edilmiştir. Hangi değişkenin daha etkili olduğunun belirlenmesi için ileri seviyede istatistiksel analizlerin yapılması ve etkin değişkenin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Minitab programında yapılan deney tasarımının sonuçlarından olan MER değerleri Minitab’de analiz edilmiştir. Şekil 3.11’ de değişkenlerin ve etkilerinin çözüm sonuçları görülmektedir. 6-Sigma analiz yönteminde p değerine göre Ha ve Ho olmak üzere iki hipotez kurulmakta ve değişkenlerin sonuçlar üzerinde etkili olup olmadığına karar verilmektedir. Eğer p değeri 5%’ten küçük ya da diğer bir

anlatımla 0,05 değerinden küçükse 95% güven aralığında ilgili değişkenin sonuç üzerinde etkili olduğu söylenebilir ve H_0 hipotezi kabul edilir. Eğer p değeri 0,05 değerinden büyük ise H_a hipotezi kabul edilir ve ilgili değişkenin sonuç üzerinde 95% etkili olmadığına karar verilir.

Bu analizde seçilen değişkenlerin MER üzerinde incelenmesi gereken değişkenlerin olarak doğru seçildiğini ve oluşturulan genel doğrusal modelin MER değeri çözümlemesinin 96,77% oranında ifade ettiği anlamına gelmektedir. Bu R-sq (adj) değeri ile açıklanmaktadır.



Factorial Regression: MER [kWh/gr_su] versus Isıtıcı; ... ebisi; CenterPt

Backward Elimination of Terms

α to remove = 0,05

The initial model was saturated. The stepwise procedure removed the following terms in order to obtain sufficient degrees of freedom to begin: Soğutma hava debisi; Isıtıcı*Soğutma hava debisi

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	0,141172	0,035293	60,91	0,001
Linear	2	0,084850	0,042425	73,22	0,001
Isıtıcı	1	0,034481	0,034481	59,51	0,002
Tambur devri	1	0,050370	0,050370	86,93	0,001
2-Way Interactions	1	0,050370	0,050370	86,93	0,001
Isıtıcı*Tambur devri	1	0,050370	0,050370	86,93	0,001
Curvature	1	0,005952	0,005952	10,27	0,033
Error	4	0,002318	0,000579		
Total	8	0,143490			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0240716	98,38%	96,77%	*

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1,04565	0,00851	122,86	0,000	
Isıtıcı	-0,13130	-0,06565	0,00851	-7,71	0,002	1,00
Tambur devri	0,15870	0,07935	0,00851	9,32	0,001	1,00
Isıtıcı*Tambur devri	-0,15870	-0,07935	0,00851	-9,32	0,001	1,00
Ct Pt		-0,0818	0,0255	-3,20	0,033	1,00

Regression Equation in Uncoded Units

MER [kWh/gr_su] = -4,442 + 0,002008 Isıtıcı + 0,1190 Tambur devri
- 0,000044 Isıtıcı*Tambur devri - 0,0818 Ct Pt

Alias Structure

Factor	Name
A	Isıtıcı
B	Tambur devri
C	Soğutma hava debisi
D	Kurutma hava debisi

Aliases

I + ABCD
A + BCD
B + ACD
AB + CD

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	MER [kWh/gr_su]	Fit	Resid	Std Resid
9	0,9638	0,9638	0,0000	* X

X Unusual X

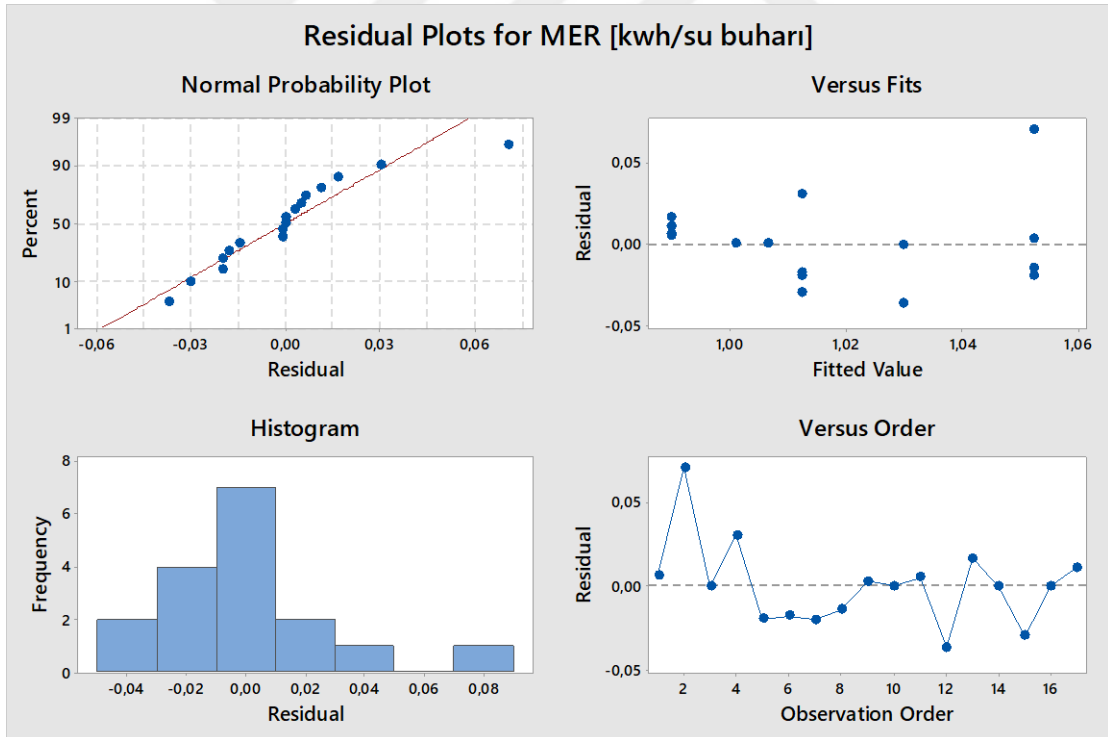
Effects Pareto for MER [kWh/gr_su]

Residual Plots for MER [kWh/gr_su]

Şekil 3.15 Değişkenlerin MER etki derecesi DOE istatistiksel çözümü

Gerçekleştirilen analizde bir diğer kritik nokta ise elde edilen MER verileri oluşturulan istatistiksel modelin artıklarının normal olması gerekmektedir. Şekil 3.16’de artıkların analizinde kullanılan ve modelin çözünürlüğünü anlatan 4 yaklaşımın grafik gösterimi bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan ilki grafikte artıkların doğrusal olması ve p değerinin 0,05 değerinden büyük olması gerektiğini göstermektedir. İkinci grafikte yine artıkların modelden elde edilen değerlere göre değişiminin huni etkisi gibi artarak veya azalarak dağılmamasını gerektiğini belirtmektedir. Bu grafik artıkların modelden elde edilen değere göre homojen dağılıp dağılmadığını göstermektedir. Üçüncü grafikte ise artıkların frekans değerlerinin normal dağılım eğrisine uygun bir dağılım göstermesi gerekmektedir. Dördüncü grafik artıklar farklı değişkenlere aynı değeri göstermemeli ve farklı dağılmalıdır.

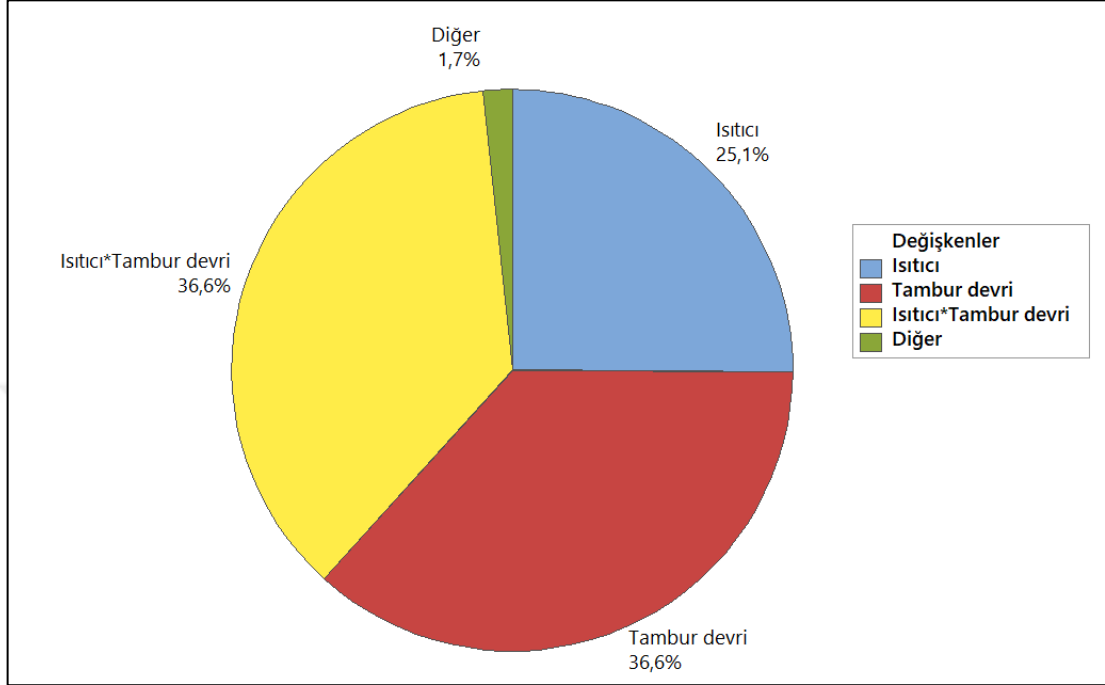
Bu yaklaşımlara göre artıkların normal dağılım gösterdiği ve buna bağlı olarak modelin güvenilir olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 3.16 Değişkenlerin MER etki derecesi DOE istatistiksel çözümü

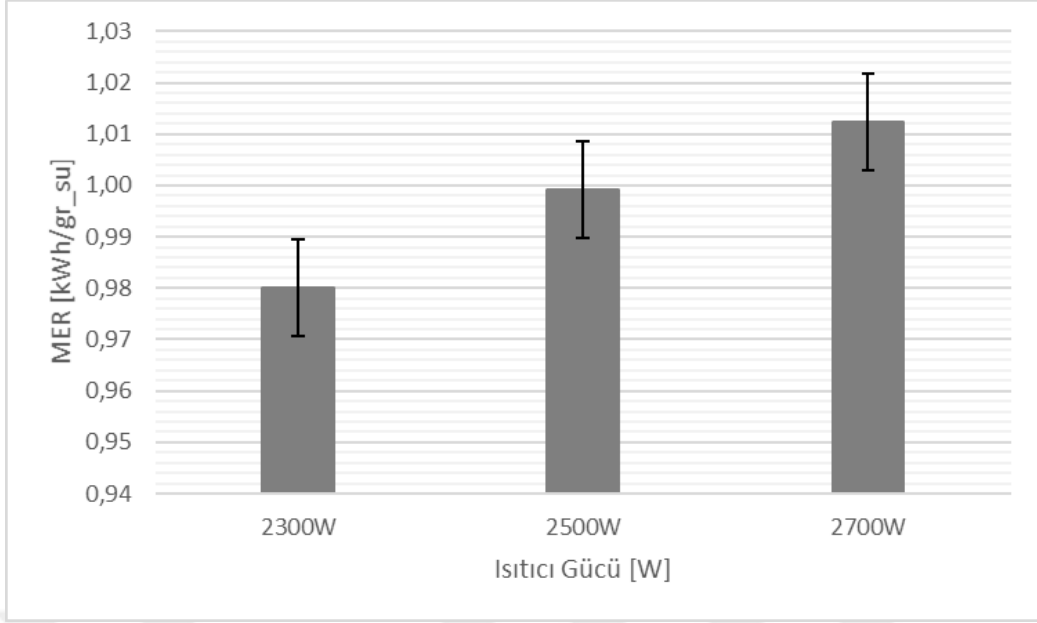
Minitab istatistiksel analiz yönteminde Adj SS değeri değişkenin çıktı üzerindeki etkisini göstermektedir. Adj SS değeri arttıkça ilgili değişkenin çıktı üzerine etki oranı artmaktadır. Bu bilgi doğrultusunda Şekil 3.15’deki Adj SS değerlerine göre

Çizdirilen pasta grafiğinde birim su buharını yoğuşturmak için gerekli enerji tüketiminde yani MER değeriinde 36,6% tambur dönme hızı, 36,6 % tambur dönme hızı ve ısıtıcı gücü ikili etkileşimi, 25,1% de ısıtıcı gücünün etkili olduğı, soğutma ve kurutma hava debi etkilerinin ihmal edilebilir olduğı görölmektedir.



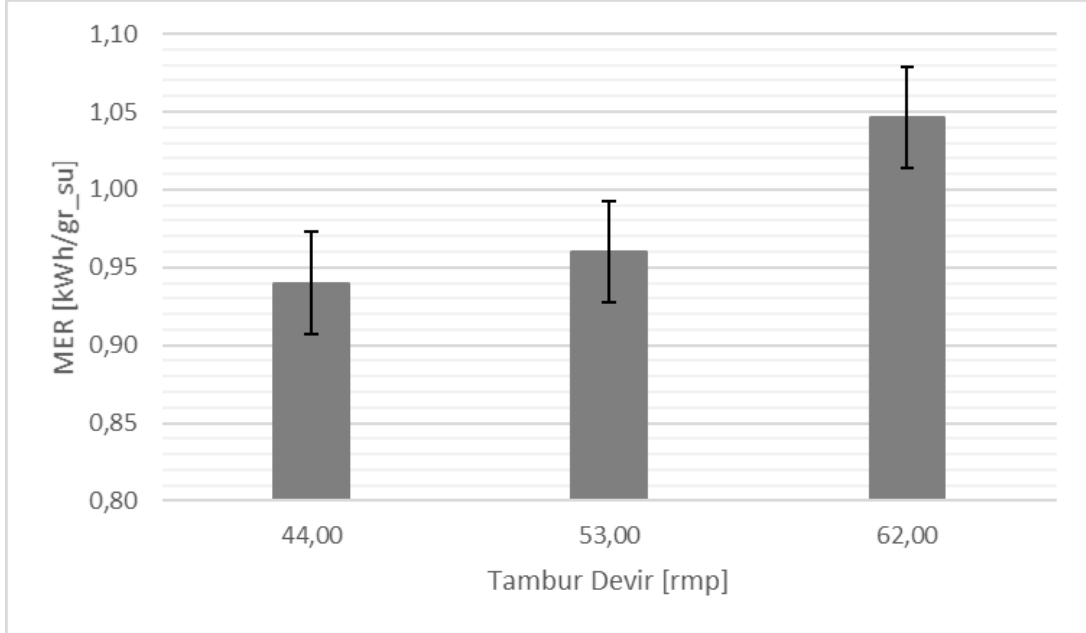
Şekil 3.17 Değişkenlerin MER etki derecelerinin grafik gösterimi

MER üzerinde en etkili olan tambur devri ve ısıtıcı güçleri deneysel veriler kullanılarak Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’ de bulunan grafikler çizilmiştir. Grafiklere göre Kurutma hava debisi 53 [lt/sn], soğutma hava debisi 44 [lt/sn], ve tambur devri 44 [rpm]’ de olmak koşuluyla ısıtıcı gücü arttıkça birim su buharını sistemden uzaklaştırmak için gereken enerji miktarı artığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.18 Isıtıcı gücü MER etki derecesi grafiği

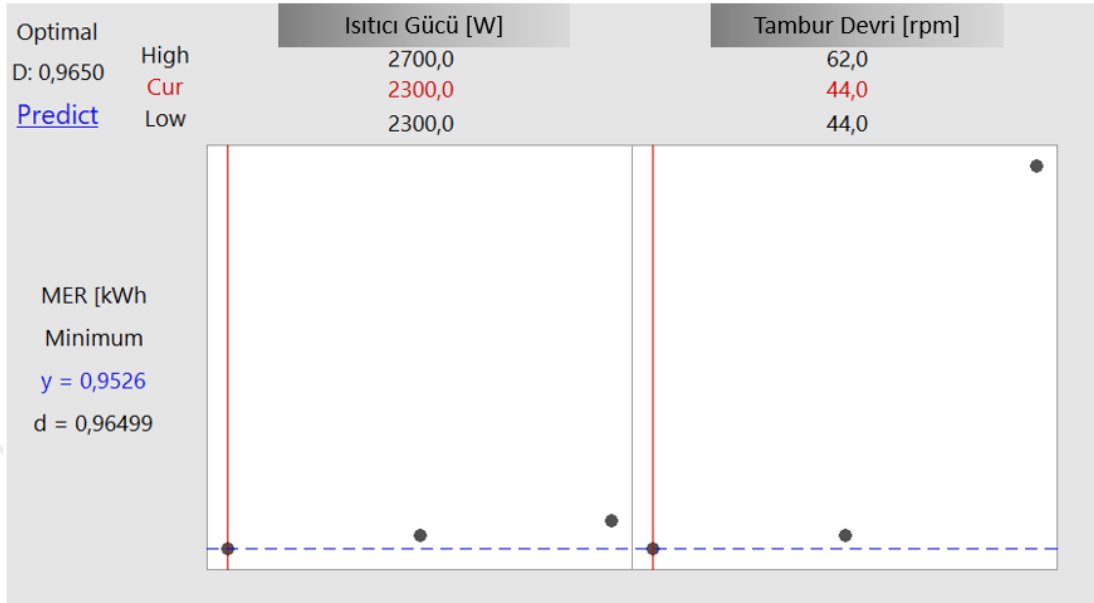
Kurutma hava debisi 53 [lt/sn] ve soğutma hava debisi 67 [lt/sn] ve ısıtıcı gücü 2300 [W] olan koşullarda tambur dönme hızının artması ile sistemin arttıkça yine birim su buharını sistemden uzaklaştırmak için gereken enerji miktarı artığı görülmektedir.



Şekil 3.19 Tambur devri MER etki derecesi grafik gösterimi

İstatiksel analize göre kurulan model Minitab programında en düşük MER değerini tespit etmesi için çözdürülmüştür. Gerçekleştirilen deneyler sonunda elde edilen

verilere göre modele göre en düşük MER değeri Şekil 3.20' de belirtildiği gibi 0,9526 [kWh/gr_su] olup ısıtıcı gücünün 2300 [W] ve tambur devrinin 44 [rpm] olması gerekmektedir.



Şekil 3.20 En düşük MER değerini veren değişkenlerin istatistiksel analizi

3.7.2 İstatistiksel Analizlerle Değişkenlerin Kurutma Hızına Etki Derecelerinin Belirlenmesi

Deneyssel değişkenlerin MER etkisinin istatistiksel yaklaşımla belirlenmesine benzer şekilde değişkenlerin kurutma hızına etkileri de 6-Sigma istatistiksel analiz yöntemine göre incelenmiştir. Şekil 3.21' de görüldüğü üzere p değerinin 0,05' in üzerinde olup olmadığına bakılarak kurutma hızı için tambur devrinin etkili olmadığı sonucu çıkartılırken kurutma hava debisinin 49,5% oranla etkili değişken olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kurutma hızı üzerinde 23,3% soğutma hava debisi, 21,5% oranla da ısıtıcı gücünün etkili olduğu anlaşılmıştır.

Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre ele alınan değişkenler j katsayısı üzerine etki eden değişkenliğin %90,83'ünü açıklamaktadır.

Factorial Regression: Süre [dk] versus Isıtıcı; Tambur ... debisi; CenterPt

Backward Elimination of Terms

α to remove = 0,05

The initial model was saturated. The stepwise procedure removed the following terms in order to obtain sufficient degrees of freedom to begin: Isıtıcı*Tambur devri; Isıtıcı*Kurutma hava debisi

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	1199,53	399,845	27,42	0,002
Linear	3	1199,53	399,845	27,42	0,002
Isıtıcı	1	273,55	273,546	18,76	0,007
Soğutma hava debisi	1	296,22	296,218	20,31	0,006
Kurutma hava debisi	1	629,77	629,770	43,19	0,001
Error	5	72,91	14,581		
Curvature	1	33,55	33,547	3,41	0,139
Lack-of-Fit	4	39,36	9,840	*	*
Total	8	1272,44			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3,81857	94,27%	90,83%	84,21%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		155,86	1,27	122,45	0,000	
Isıtıcı	-11,70	-5,85	1,35	-4,33	0,007	1,00
Soğutma hava debisi	-12,17	-6,09	1,35	-4,51	0,006	1,00
Kurutma hava debisi	17,74	8,87	1,35	6,57	0,001	1,00

Regression Equation in Uncoded Units

Süre [dk] = 214,9 - 0,02924 Isıtıcı - 0,529 Soğutma hava debisi + 0,986 Kurutma hava debisi

Alias Structure

Factor	Name
A	Isıtıcı
B	Tambur devri
C	Soğutma hava debisi
D	Kurutma hava debisi

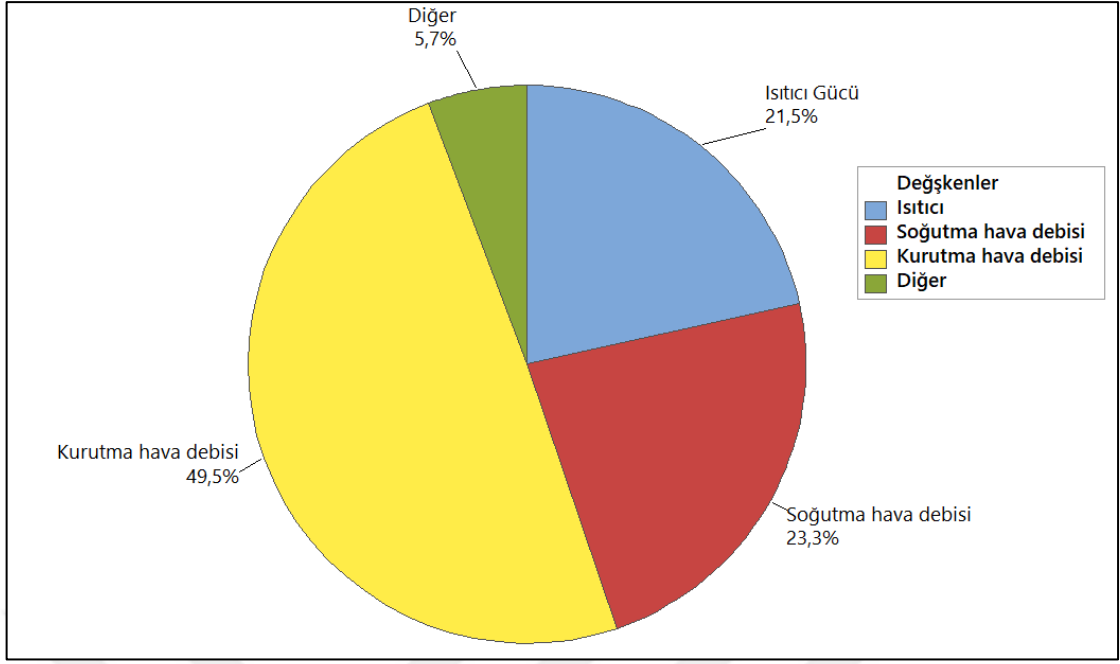
Aliases

I + 0,89 ABCD
A + BCD
C + ABD
D + ABC

Effects Pareto for Süre [dk]

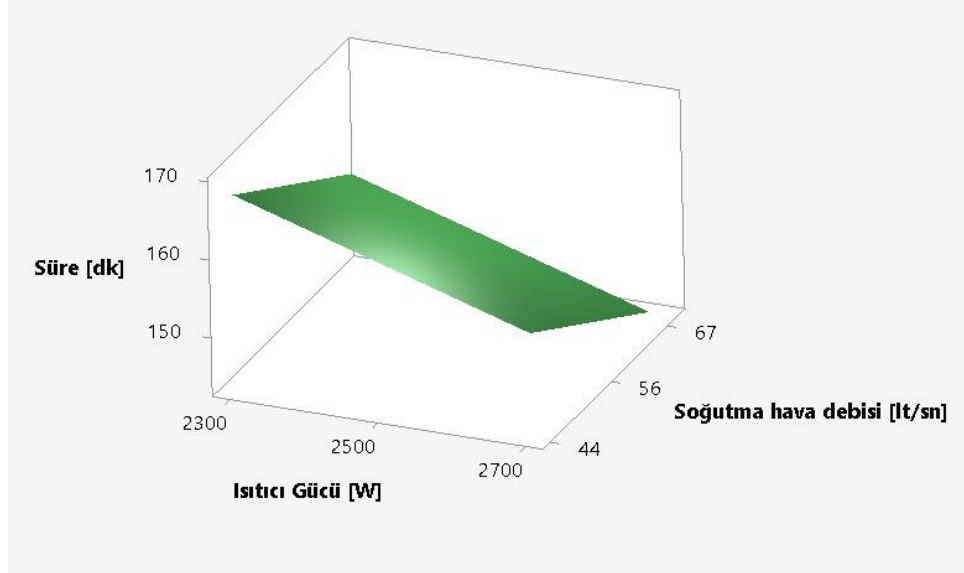
Residual Plots for Süre [dk]

Şekil 3.21 Değişkenlerin kurutma hızına etki derecesi DOE istatistiksel çözümü



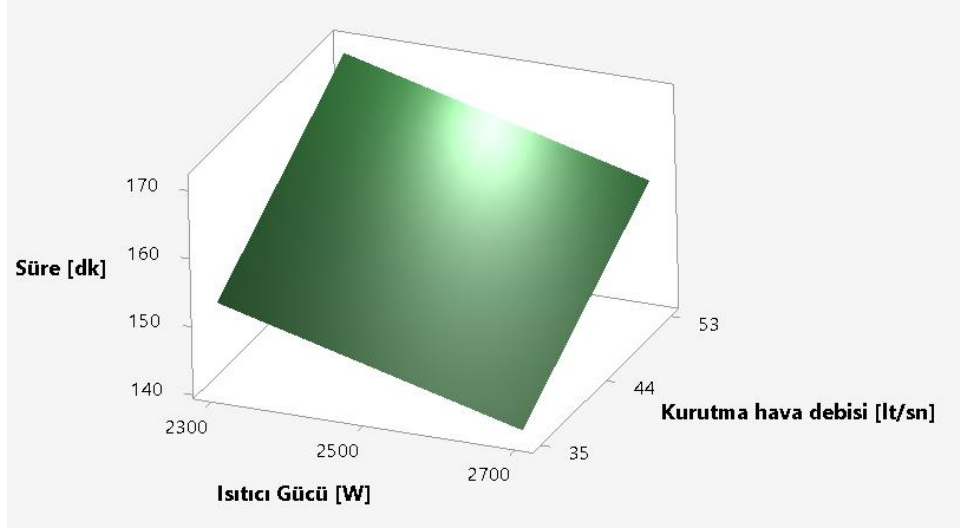
Şekil 3.22 Değişkenlerin kurutma hızına etki derecelerinin grafik gösterimi

Isıtıcı gücü ve soğutma hava debisinin çamaşır kurutma süresine etkisi incelendiğinde hızlı kurutma için ısıtıcı gücü ve soğutma hava debisinin artırmak gerektiği sonucu çıkartılmıştır.



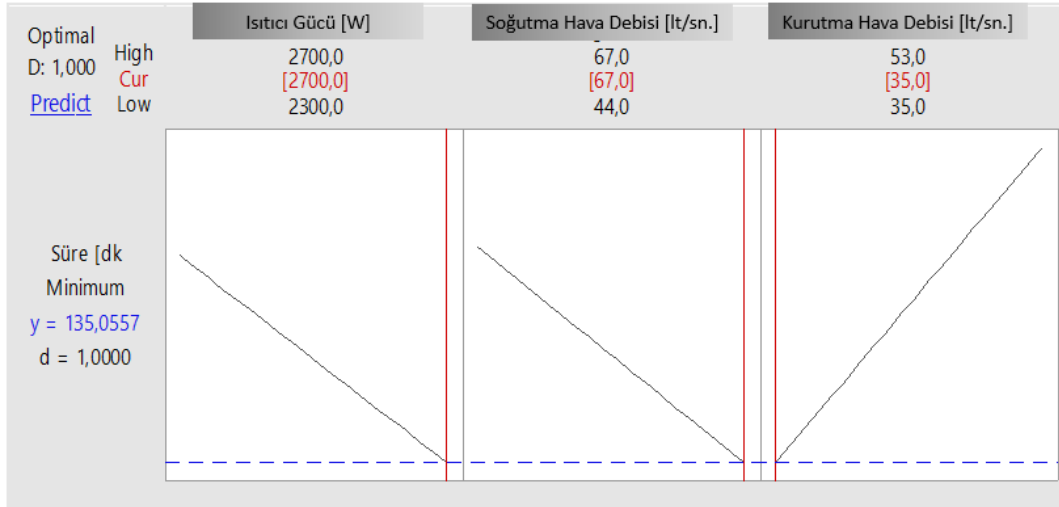
Şekil 3.23 Isıtıcı gücü ve soğutma hava debi etkileşiminin kurutma hızına etki grafik gösterimi (kurutma hava debisi 44 [lt/sn])

Benzer şekilde düşük kurutma süresi elde edilebilmesi için yine yüksek ısıtıcı gücü gerekirken kurutma hava debisinin azaltılması gerekmektedir.



Şekil 3.24 Isıtıcı gücü ve kurutma hava debi etkileşiminin kurutma hızına etki grafik gösterimi (soğutma hava debisi 53 [lt/sn])

Gerçekleştirilen deneylerde kullanılan değişkenler ile en hızlı kurutma süresi tespiti için kurulan modelde çözdürüldüğünde; en düşük kurutma süresi ısıtıcı gücünün 2700 [W], soğutma hava debisinin 67 [lt/sn], kurutma hava debisinin de 35 [lt/sn], olması koşuluyla ~135 dakikadır.

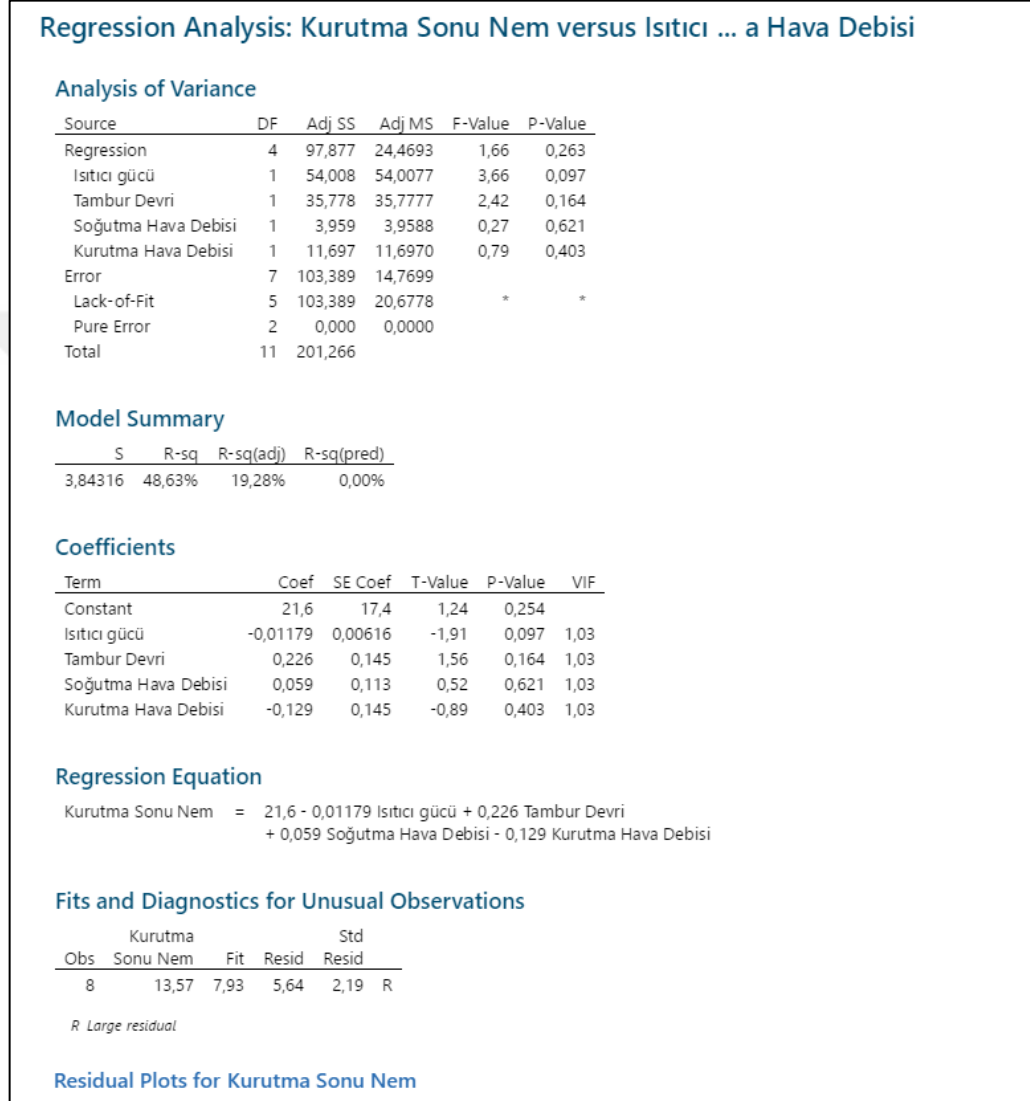


Şekil 3.25 En hızlı kurutma süresi veren değişkenlerin istatistiksel analizi

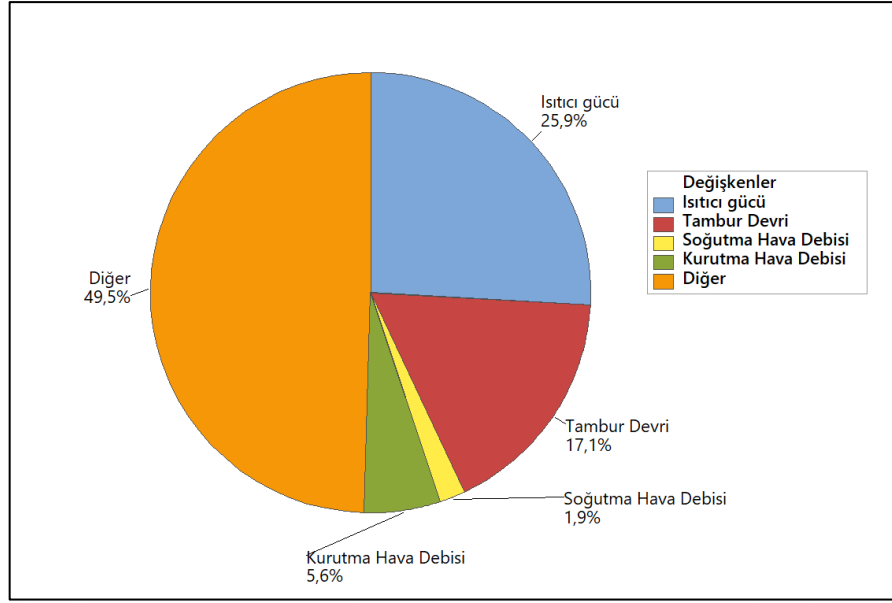
3.7.3 İstatistiksel Analizlerle Değişkenlerin Kurutma Sonu Nem Etki Derecelerinin Belirlenmesi

MER ve kurutma hızını etkileyen değişkenlerin tespitinden sonra kurutma sonu nem diye isimlendirilen kurutma veriminin etkileyen değişkenler yine 6-Sigma istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak bu çalışma kapsamında tespit edilmesi

istenmiştir. Ancak Şekil 3.26’ da görüldüğü gibi tüm değişkenlerin p değerinin 0,05’ in üzerinde olup H_0 hipotezine göre model üzerinde değişkenlerin etkili olmadığı kabulü yapılmış olup Şekil 3.19’daki pasta grafiği de incelendiğinde kurutma sonu nem değeri üzerinde 49,5% bu çalışma kapsamında kontrol edilmemiş başka değişkenlerin etkili olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 3.26 Değişkenlerin kurutma hızına etki derecesi istatistiksel çözümü



Şekil 3.27 Değişkenlerin kurutma sonu nem değerine etki derecelerinin grafik gösterimi

3.8 Deneysel ve İstatiksel Analiz Sonuçlarının Hava Yoğuşturmalı Kurutma Makinesinde Kontrol Edilmesi

10 kg çamaşır kurutma kapasitesine sahip kurutma makinelerinde B enerji sınıfının sağlanabilmesi için enerji tüketim değerlerinin 3% azaltılması gerektiği Bölüm 1.1’ de çalışmanın amacı olarak anlatılmıştı. Bu amaçla deney düzeneğinde gerçekleştirilen deneysel verilerin çıktıları ile istatiksel analiz yapılmış ve en düşük MER değerini sağlayacak değişkenler Bölüm 3.7’ de belirlenmişti. En düşük MER değeri 2300 [W] ısıtıcı ve 44 [rpm] tambur devrinde gerçekleşebileceği tespit edilmişti.

Bu bölümde de 10 kg çamaşır kapasitesindeki hava yoğuşturmalı kurutma makinesine bu değişkenler uygulanarak IEC 61121 standardına göre makinenin performans (enerji tüketim, kurutma süresi ve kurutma sonu nem) değerleri ölçülmüştür ve referans tasarım verileri ile karşılaştırılmıştır. Referans 10 kg kurutma makinesi ısıtıcı gücü de 2300 [W]’ tır. Bu yüzden birinci test koşulunda makinede ısıtıcı gücü değiştirilmemiştir. Referans kurutma makinesinin tambur devri 53 [rpm] olup Bölüm 3.7.1’ deki analizlerde en düşük MER için tambur devri 44 [rpm] düşürülmüş ve enerji tüketim değerinde 3% iyileştirilerek B enerji sınıfında olması sağlanmıştır. Ayrıca istatiksel analizlerde MER üzerinde etkisiz

çıkan kurutma ve soğutma hava debilerinin arttırması ile ikinci deney koşulunda enerji tüketim değerlerinin referansa göre 6% iyileşebileceği tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen ölçüm ve enerji verim hesabı sonuçları Tablo 3.7' de bulunmaktadır.

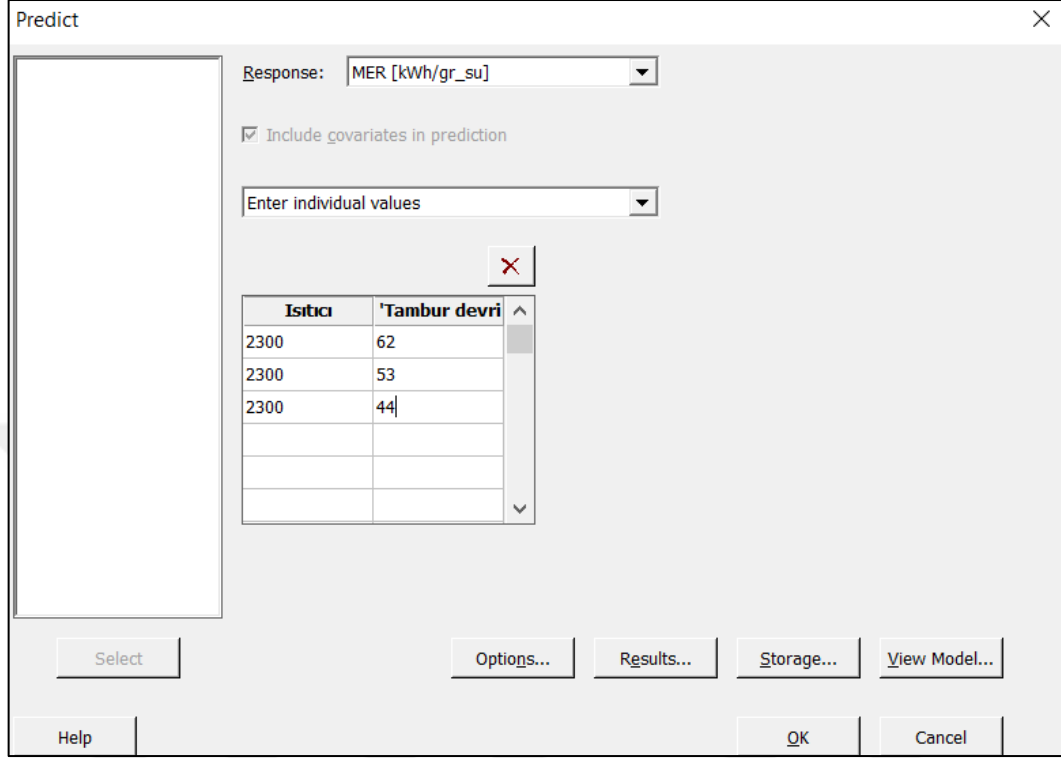
Tablo 3.7 Hava yoğuşturmalı kurutma makinesinde tasarım değişkenlerinin enerji verim sınıfına etkisinin gösterimi

	B Enerji sınıfı için gerekli değerler	Referans tasarım	1. Koşul	2. Koşul
Kurutma Hava Debisi [lt/sn]	-	44	53	53
Soğutma Hava Debisi [lt/sn]	-	56	44	67
Tambur Devri [rpm]	-	53	44	44
Isıtıcı Gücü[W]	-	2300	2300	2300
EEI	75,91	78,48	76,13	74,02
Enerji Verim Sınıfı	B	C	B	B
SAEC [kWh/yıl]	883,34	883,34	883,34	883,34
AEC [kWh/yıl]	671	693	672	654
Et [kWh]	4,16	4,31	4,18	4,06
E _{dry} [kWh]	5,73	5,89	5,80	5,62
E _{dry1/2} [kWh]	2,99	3,12	2,96	2,89
P ₀ [W]	0,5	0,5	0,5	0,5
P ₁ [W]	1	1	1	1
T ₁ [dk]	30	30	30	30
T _t [dk]	119	118	127	129
T _{dry} [dk]	165	162	175	172
T _{dry1/2} [dk]	85	85	92	97
B enerji sınıfı iyileştirilmesi gereken enerji oranı		3%	0%	-3%

3.9 DeneySEL, İstatikSEL Analiz ve Gerçek Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde deney düzeneğinde gerçekleştirilen ölçümler sonucu hesaplanan MER ve kurutma süreleri istatistiksel analiz ve Bölüm 3.8' de anlatılan gerçek makine sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

İstatiksel analiz modelinde 2300 [W] ısıtıcı gücü için farklı kurutma ve soğutma hava debileri ile tambur devrinin MER ve kurutma süresine etkisi Minitab programında Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’ de belirtildiği gibi çözdürülmüştür.



Predict

Response: MER [kWh/gr_su]

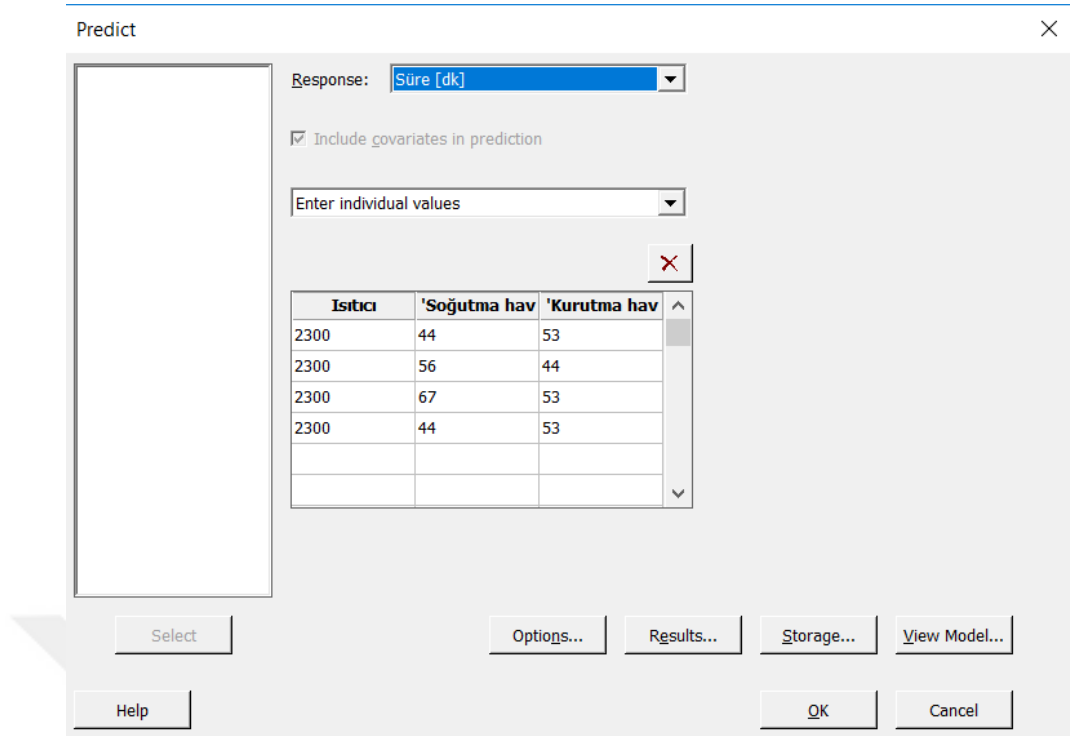
☒ Include covariates in prediction

Enter individual values

Isıtıcı	Tambur devri
2300	62
2300	53
2300	44

Select Options... Results... Storage... View Model... Help OK Cancel

Şekil 3.28 Minitab programında MER istatiksel modelin çözdürülmesi

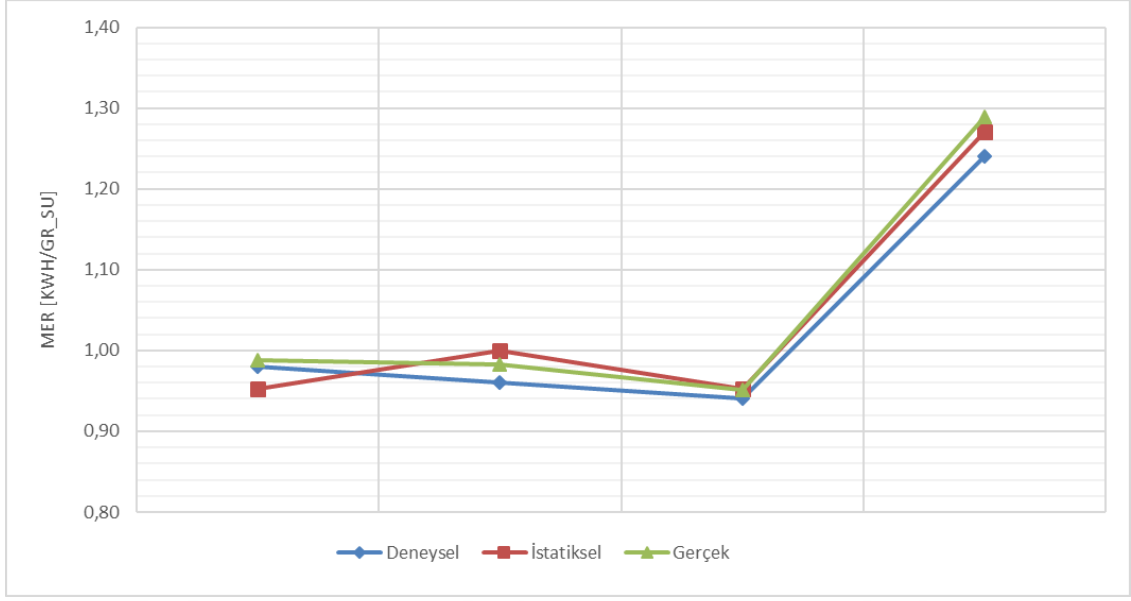


Şekil 3.29 Minitab programında süre istatistiksel modelin çözülmesi

Deney sistematğinde ölçülen ve istatistiksel modelin çıktısı olarak elde edilen MER değerleri ile gerçek kurutma makinesinde kontrol edilmiş değerler ve karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki Tablo 3.8’de ve Şekil 3.30 incelendiğinde test edilen deney koşulları modelin girdileri olarak alındığında deney düzeneğinde elde edilen verilerle hesaplanan MER değerleri ile istatistiksel model ile 3%, gerçek makine üzerindeki ölçümler ile 1% farkla örtüştüğü görülmüştür.

Tablo 3.8 Deneyssel, istatistiksel ve gerçek MER değerlerinin karşılaştırılması

Açıklama	Değişkenler				MER [kWh/gr_su]		
	Kurutma Hava Debisi [lt/sn]	Soğutma Hava Debisi [lt/sn]	Tambur Devri [rpm]	Isıtıcı Gücü [W]	Deneyssel	İstatistiksel	Gerçek
Referans tasarım	53	44	44	2300	0,98	0,95	0,99
1.koşul	44	56	53	2300	0,96	1,00	0,98
2.koşul	53	67	44	2300	0,94	0,95	0,95
3.koşul	53	44	62	2300	1,24	1,27	1,29

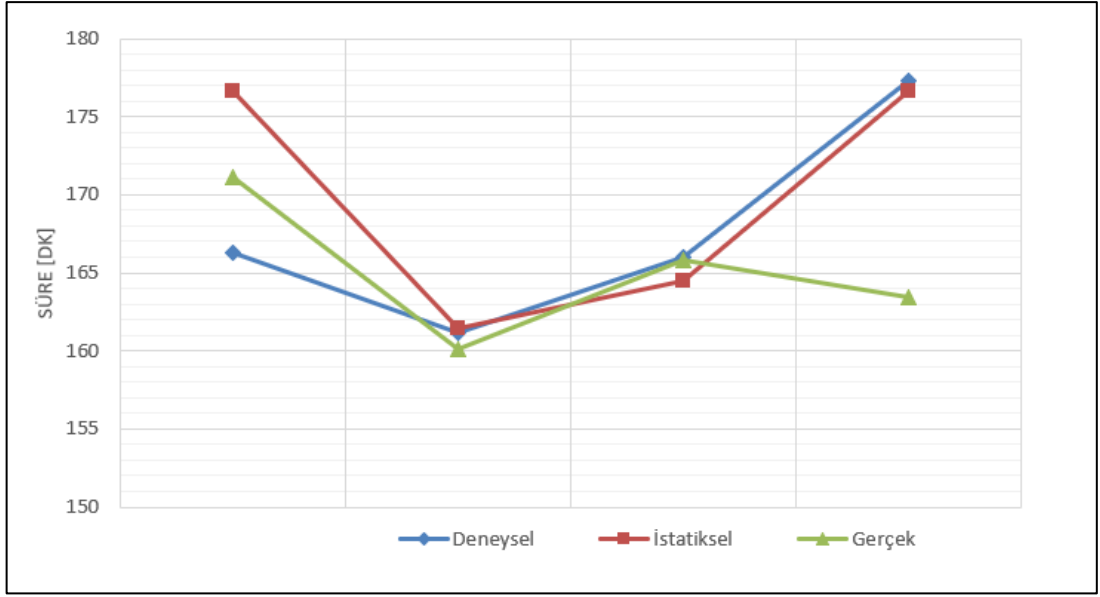


Şekil 3.30 Deneyisel, istatiksel ve gerçek MER değerlerinin karşılaştırılması grafik gösterimi

Benzer şekilde deney düzeneğinde ölçülen kurutma süresi istatiksel model ve gerçek makine sonuçları Şekil 3.31’de Tablo 3.9’ de gösterilmiştir. Deney düzeneğinde ölçülen kurutma süresi ile gerçek makine üzerinde ölçülen kurutma süreleri arasında 3,5%, istatiksel model hesabı ve gerçek makine kurutma süreleri arasında 3,3% fark bulunmaktadır. Bölüm 3.3’ de bahsedilen ölçüm düzeneğindeki belirsizlik analizinde ölçümlerin 3,88% doğrulukta olabileceği göz önünde bulundurulduğunda aradaki fark kabul edilebilir seviyededir.

Tablo 3.9 Deneyisel, istatiksel ve gerçek kurutma sürelerinin karşılaştırılması

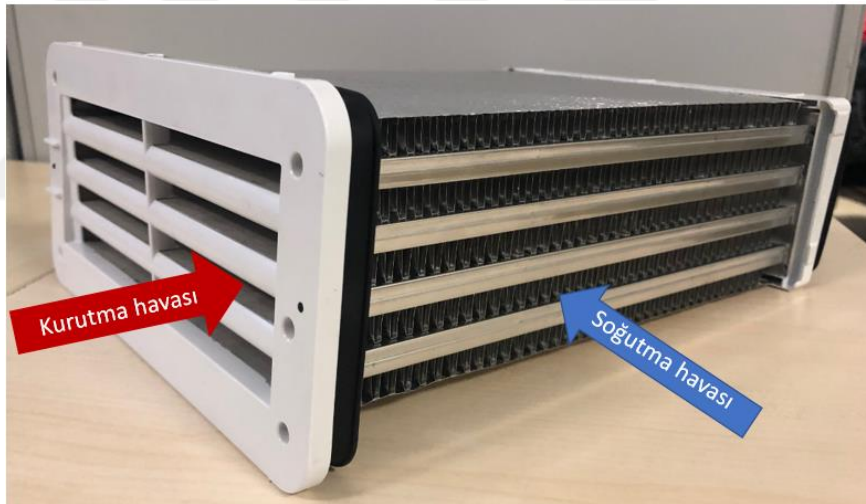
Açıklama	Değişkenler				Süre [dk]		
	Kurutma Hava Debisi [lt/sn]	Soğutma Hava Debisi [lt/sn]	Tambur Devri [rpm]	Isıtıcı Gücü [W]	Deneyisel	İstatiksel	Gerçek
Referans tasarım	53	44	44	2300	166	177	171
1.koşul	44	56	53	2300	161	161	160
2.koşul	53	67	44	2300	166	164	166
3.koşul	53	44	62	2300	177	177	163



Şekil 3.31 Deneysel, istatiksel ve gerçek kurutma süresinin karşılaştırılması grafik gösterimi

4.1 Hava Soğutmalı Isı Değiştiricilerde Enerji Dengesi

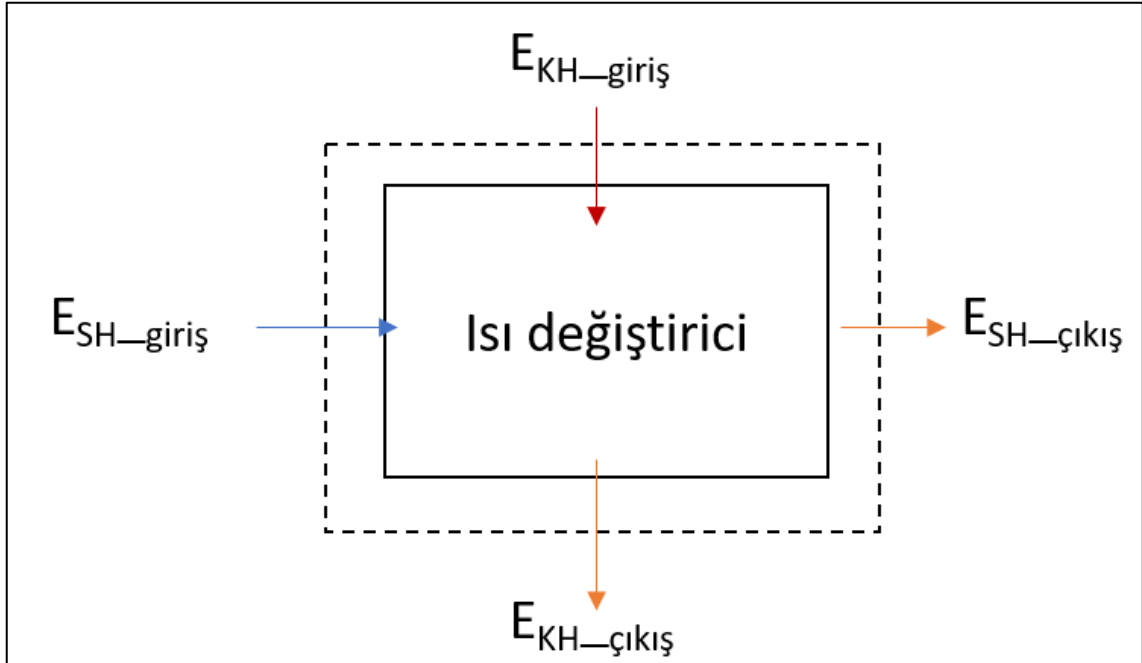
Kurutma işleminde hava-su buharı karışımının termodinamik özellikleri önemlidir. Kurutma havası kuru termometre sıcaklığı arttıkça ve bağıl nemi azalttıkça kurutma hızı ve kurutma verimi artmaktadır. Kurutma havası bağıl neminin azaltılması için kuru havadan bünyesindeki su buharının uzaklaştırılması gerekmektedir. Hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinde kurutma havasındaki su buharı Şekil 4.1’ de resmi bulunan hava-hava soğutmalı ısı değiştirici ile gerçekleşmektedir. Soğutma havası ve kurutma havası termodinamik özellikleri ısı değiştiricinin yoğuşturma verimini belirlemektedir.



Şekil 4.1 Hava soğutmalı ısı değiştirici

Bölüm 3’ de 10 kg çamaşır kurutma kapasitesine sahip hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinin enerji tüketim değerlerinin iyileştirilmesi için olması gereken ısıtıcı gücü, kurutma ve soğutma hava debileri ve tambur dönme hızı gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonunda tespit edilmişti. Bu bölümde tespit edilen bu değişkenlerin kurutma ve soğutma havası termodinamik özelliklerine etkisi incelenerek ısı değiştirici yoğuşturma verimi hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalarda ölçülen sıcaklık ve bağıl nem değerleri hesaplarda kullanılmıştır. Ölçüm değerleri

Şekil 3.14' deki grafikte gösterilen kurutma fazı süresi boyunca toplanan verilerin ortalamasıdır.



Şekil 4.2 Hava soğutmalı ısı değiştirici enerji dengesi

Enerjinin korunumu kanuna ısı değiştiricinin sistem sınırlarına giren enerji çıkan enerjiye eşit olup Eşitlik 4.1' deki gibi ifade edilmektedir.

$$E_g = E_ç \quad (4.1)$$

$$E_g = E_{SH_giriş} + E_{KH_giriş} \quad (4.2)$$

$$E_ç = E_{SH_çıkış} + E_{KH_çıkış} \quad (4.3)$$

Isı değiştiricisinin bulunduğu ortamın izole edildiği düşünülüp ısı geçişinin sadece kurutma havası ve ortam havası arasında olduğu kabul edilmiştir. Isı değiştirici verimi soğutma havası enerjisinin kurutma havası yoğunlaştırma enerjisine oranlanması ile bulunmaktadır.

$$V = Q_{KH}/Q_{SH} = (E_{KH_çıkış} - E_{KH_giriş}) / (E_{SH_giriş} - E_{SH_çıkış}) \quad (4.4)$$

Soğutma havasına aktarılan enerji duyulur ısı transferi ile gerçekleşiyor olup soğutma havası kütledebisi, ısı kapasitesi ve ısı değiştirici giriş ve çıkış sıcaklık farkına göre Eşitlik (4.5)' deki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{SH} = E_{SH_çıkış} - E_{SH_giriş} = m_s C_s (T_{sç} - T_{sg}) \quad (4.5)$$

Soğutma havası enerji yükü hesaplanırken kütleli debi Tablo 3.4' deki debi değerleri kullanılmış olup, havanın basınç değeri 101325 [Pa] kabul edilmiş 55% bağıl nem soğutma havası sıcaklığı için ısı kapasitesi termodinamik tablolardan okunmuştur. Isı kapasitesi bulunmasında kullanılan sıcaklığının soğutma havası giriş ve çıkışındaki sıcaklığın ortalaması olduğu kabul edilmiştir.

Kurutma havası su buharı ve kuru hava karışımından oluşmaktadır. Kurutma ve soğutma hava entalpilerinin kurutma hava debisi ile kurutma havası enerjisi Denklem (4.6) gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Hesaplamalardaki kurutma hava debisi değerleri Tablo 3.4' deki debi ölçüm sonuçlarına aittir.

$$Q_{KH} = E_{KH_giriş} - E_{KH_çıkış} = m_k (h_a + w h_v) \quad (4.6)$$

Burada kuru havanın özgül entalpisi havanın basıncının 101325 [Pa] olduğu kabulüyle kuru hava ısı kapasitesi kurutma havası giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamasında bir sıcaklık olduğu kabul edilip termodinamik tablolardan okunmuştur (Eşitlik 4.7).

$$h_a = C_a (T_{kç} - T_{kg}) \quad (4.7)$$

Su buharı entalpisi 0 [°C] doyma basıncı sıcaklığında Su buharının doyma sıcaklığındaki entalpi değeri 2501,3 [kJ/kg], özgül ısı 1,8723 [kJ/kgK] kabulü ile buharlaşma entalpisi bir diğer adı ile kurutma havası gizli ısı Eşitlik (4.8)' de bulunan denklem Eşitlik (4.9)' daki gibi düzenlenmesi ile hesaplanmıştır [12].

$$h_v = q_v + C_v (T_{kç} - T_{kg}) \quad (4.8)$$

$$h_v = 2501,3 + 1,8723 (T_{kç} - T_{kg}) \quad (4.9)$$

Hesaplardaki özgül nem değerleri de deneylerdeki bağıl nem sıcaklık ölçümlerinde elde edilen verilerin Psygrom programında hesaplanması ile tespit edilmiştir.

4.1 Hava Soğutmalı Isı Değiştiricilerde Yoğuşma Verimi

Hesaplama sonuçlarının bulunduğu Tablo 4.1 incelendiğinde;

- Tambur dönme hızının bir diğer söylemle devinin yoğuşma verimi üzerinde etkili olmadığı,

- Soğutma havası ve kurutma hava debisinin arttırılmasının yoğuşma verimini arttırdığı görülmektedir.

Tablo 4. 1 Farklı tasarım değişkenleri için hesaplanan ısı değiştirici yoğuşma verimleri

Açıklama	Isıtıcı Gücü [W]	Kurutma Hava Debisi [lt/sn]	Soğutma Hava Debisi [lt/sn]	Tambur Devri [rpm]	Q_{SH} [J/sn]	Q_{KH} [J/sn]	η
Referans Tasarım	2300	44	56	53	1801,2	1340,5	0,74
1.Koşul	2300	53	44	44	1538,9	1340,3	0,87
2.Koşul	2300	53	67	44	1878,1	1708,7	0,91

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, hava yoğuşturmalı kurutma makinesinin enerji tüketimini etkileyen değişkenler deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir.

Çalışmalara ilk olarak kurutma makinelerinin enerji verimini iyileştirmek için literatürde yapılan araştırmaları incelenmesi ile başlanmış olup ilgili makaleler Bölüm 2' de paylaşılmıştır. Gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinde farklı ısıtıcı güçleri, çamaşır ağırlıkları, kurutma ve soğutma hava sıcaklıkları ve debilerinin, tambur dönme hızının enerji tüketimine etkisinin ayrı ayrı incelendiği ancak bunların birbirleri etkileşimi ve 10 kg gibi yüksek çamaşır kapasiteli makinelerinin kurutma veriminin incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle tez çalışması kapsamında ısıtıcı gücü, tambur dönme hızı ve kurutma ve soğutma hava debisinin 10 kg çamaşır kurutmadaki enerji tüketimine etkisi hazırlanan deney düzeneğinde 19 farklı koşul için iki tekrarlı deneylerle incelenmiştir.

Tez çalışmasının istatistiksel analitik kısmında, deneysel sonuçlar kullanılarak Minitab programında istatistiksel model kurulmuş ve en düşük enerji tüketimi ve kurutma süresi için olması gereken değişkenler deney sonuçları ile kıyaslanarak sunulmuştur.

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

- Deneysel çalışmaların sonuçları kullanılarak Minitab programında çözdürülen analizlerde 10 kg çamaşırda MER değeri üzerinde 34,1% tambur devri, 19,1% ısıtıcı gücü ve 33%'de ısıtıcı gücü ve tambur devrinin ikili etkileşimlerinin etkili olduğu ve düşük MER değeri için ısıtıcı gücü ve tambur devrinin azaltılması gerektiği sonucu çıkartılmıştır.
- Benzer şekilde kurutma hızı içinde analiz yapıldığında 49,5% kurutma havası debisi, 23,3% soğutma havası debisi ve 21,5% ısıtıcı gücünün etkili olduğu

görülmüş ve hızlı kurutma için ısıtıcı gücünü ve soğutma hava debisinin artırılması ancak kurutma hava debisinin azaltılması gerektiği görülmüştür.

- İstatiksel analizlerde kurutma hava ve soğutma hava debisi MER değeri üzerinde etkisiz çıkmıştır. Ancak deneysel sonuçlara göre kurutma ve soğutma hava debilerinin artırılmasının MER değerini düşürdüğü fark edilmiştir.
- Bu nedenle 10 [kg] çamaşır kurutma kapasitesine sahip hava yoğusturmalı kurutma makinelerinin enerji tüketim değerlerini iyileştirmek olduğundan en düşük MER değerini sağlayacak değişkenler olan Arçelik marka hava yoğusturmalı kurutma makinesine uygulanmış mevcut tasarım kriterlerine göre enerji tüketiminde 3 % ile 6% arasında iyileşme olabileceği tespit edilmiştir.
- Arçelik marka kurutma makinesi mevcut tasarım değişkenleri ile 3% toleransla B enerji sınıfındayken, tambur devrinin azaltılması, soğutma ve kurutma hava debi değişkenlerinin artışı 6% enerji verimi artıp tolerans kullanılmadan B enerji sınıfına sahip olabilmektedir.
- Kurutma süresi ve enerji verimini etkileyen değişkenlerin birbirleri ile zıt çalıştığı ve beklentiye göre değişkenlerin belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.
- Isı değiştirici yoğuşma verimi hesaplanmış ve kurutma havası ve soğutma hava debilerinin artırılmasının yoğuşma verimini referans tasarıma göre 17% kadar artırabileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmaların devamı niteliğinde ileride aşağıda belirtilen çalışmaları gerçekleştirilmesinin faydalı olabileceği düşünülmektedir:

- Düşük tambur hızının kurutma performansına ve enerji verimine etkisinin ısı pompalı kurutma makinelerinde incelenebilir.
- Çalışma kapsamında soğutma hava sıcaklığı kontrol edilemediğinden etkisi incelenememiştir. Şartlandırılmış bir kabinde ortam hava sıcaklığı sabit bir değerde olması sağlanarak soğutma hava sıcaklığının MER, kurutma süresi ve kurutma sonu nem değerine etkisi araştırılabilir.
- Deneysel çalışmalarda tek tip hava soğutmalı çapraz akışlı ısı değiştirici kullanılmıştır. Bu çalışmalara ek farklı fin yapısı ve boyutlardaki ısı

değiştiricilerin etkileri deneysel olarak incelenip kurulacak matematiksel model ile sonuçlar karşılaştırılabilir.



- [1] Gfk, Deeper Insights Tdryers West Europe Sunumu, www.gfk.com, 10 Aralık 2018.
- [2] <https://www.beko.co.uk/appliances/laundry/tumble-dryers>, 19 Mayıs 2019.
- [3] IEC 61121, (2005), Tumble Dryers For Household Use Methods For Measuring The Performance, CEN, Belgium.
- [4] EU Regulation, (2012). Supplementing Directive 2010/30/EU Of The European Parliament And of The Council With Regard to Energy Labelling of Household Tumble Driers CEN, Belgium.
- [5] Gfk, Deeper Insights Dryers Asia Pacific Sunumu, www.gfk.com, 10 Aralık 2019.
- [6] Huelsz, G., (2013). "Total Energy Balance Method for Venting Electric Clothes Dryer", *Drying Technology*, 31: 576–586.
- [7] Stawreberg, L. ve Nilsson N., (2013). "Potential Energy Savings Made By Using A Specific Control Strategy When Tumble Drying Small Loads", *Applied Energy*, 102: 484–491.
- [8] Stawreberg, L. ve Nilsson, N., (2010). "Modelling of Specific Moisture Extraction Rate and Leakage Ratio in a Condensing Tumble Dryer", *Applied Energy*, 102:2173-2179.
- [9] Wei, Y. ve Su, C., "The Effect of Fabric Movement on Drying Performance of The Domestic Drum Dryer", <https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1537104>, 11 Kasım 2019.
- [10] Kline, S.J., McClintock, F.A., (1953). Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, *Mechanical Engineering*, p:3,
- [11] DDT 16622, (2016). "Arçelik Rüzgar Tüneli Debi Ölçüm Test Talimatı", Arçelik, Tekirdağ.
- [12] Koçal T., (2012). Gemilerde Çok Odalı İklimlendirme Sistemlerinin Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

İletişim Bilgisi: meryematila08@gmail.com

Bildiri

1. Atila M., (2019). "Hava Yoğuşturmalı Kurutma Makinelerinde Enerji Verimini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi" , 2nd International Conference On Energy Research (ENRES-2019), Marmaris.

