T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EV TİPİ KURUTMA MAKİNELERİNDE TAMBUR İÇİ HAVA AKIŞININ OPTİMİZASYONU

Veysel Ahmet ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ

Ağustos, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EV TİPİ KURUTMA MAKİNELERİNDE TAMBUR İÇİ HAVA AKIŞININ OPTİMİZASYONU

Veysel Ahmet ÖZDEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması 11.08.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Özden AĞRA, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Aliihsan KOCA, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Ev Tipi Kurutma Makinelerinde Tambur İçi Hava Akışının Optimizasyonu" 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.

Veysel Ahmet ÖZDEMİR

İmza

Aileme

ve

arkadaşlarıma

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca bilgi, destek ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ'a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarımda her zaman yanımda olan, bugünlere gelmemde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zorlu koşulda destekleriyle güç veren aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Arçelik çalışma hayatımın başlamasına imkân sağlayan Dr. Selçuk KARAGÖZ'e ve bu tez çalışmasını yapmamda önayak olan takım liderim Sn. Onur ERCAN'a en içten teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmam kapsamında bilgi ve tecrübeleriyle birlikte desteğini esirgemeyen, fikir ve görüşleri ile katkıda bulunan Sn. Fatih ÖZDEMİR ve Sn. Erbil Erman GÖKSAN'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar boyunca gösterdikleri gayret ve özverili çalışmalarından dolayı başta Sadık SEZER, Vedat ULUSOY, Deniz Yusuf Topaç, Mahmut EMİRHAN, Hikmet ACUN olmak üzere tüm AR-GE laboratuvar ekibine teşekkür ederim.

Son olarak, bu çalışmanın tamamlanmasında büyük emek ve desteği olan bütün Arçelik Çamaşır Kurutma Makinası İşletmesi çalışanlarına, verdikleri emekler için en içten teşekkürlerimi iletmek isterim.

Veysel Ahmet ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR **v**
SİMGE LİSTESİ **vii**
KISALTMA LİSTESİ **viii**
ŞEKİL LİSTESİ **ix**
TABLO LİSTESİ **xii**
ÖZET **xiii**
ABSTRACT **xv**
1 GİRİŞ **17**
2 LİTERATÜR TARAMASI **19**
3 TEKSTİL KURUTMADA TEMEL KAVRAMLAR **31**
3.1 Nem Alma 31
3.2 Çamaşır Kurutma Makineleri 33
4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR **41**
4.1 Ölçüm Ekipmanları 41
4.2 Deneyin Yapılışı 44
4.4 Belirsizlik Analizi 56
5 DENEY SONUÇLARI **59**
5.1 Debiye Etkisinin İncelenmesi 59
5.2 Tekstil Hasarlanmasına Etkisinin İncelenmesi 61
5.3 Kondenzasyon Verimine Etkisinin İncelenmesi 63
5.4 Enerji Tüketimine ve Kurutma Süresine Etkisinin İncelenmesi 65
5.5 Özgül Nem Alma Oranı (SMER) ve Nem Alma Oranı (MER) Açısından Değerlendirme 67
6 SONUÇ **88**
KAYNAKÇA **92**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **94**
EK **95**

SİMGE LİSTESİ

$\boldsymbol{E_t}$	Ağırlıklı enerji tüketimi [kWh]
$\boldsymbol{\varphi}$	Bağıl Nem
W	Güç Birimi-Watt
$\boldsymbol{P_o}$	Kapalı modda elektronik kartların tükettiği güç miktarı [W]
$\boldsymbol{P_l}$	Kurutma işlemi bittikten sonra, elektronik parçaların tükettiği güç miktarı [W]
$\boldsymbol{\omega}$	Özgül Nem
$\boldsymbol{T_t}$	Program süresi [dk]
T	Süre(dk)
$\boldsymbol{E_{dry}}$	Tam yük pamuklu programının enerji tüketimi [kWh]
$\boldsymbol{E_{dry1/2}}$	Yarım yük pamuklu programının enerji tüketimi [kWh]
$\boldsymbol{T_{dry1/2}}$	Yarım yük program süresi [dk]

KISALTMA LİSTESİ

AE_c	Yıllık Enerji Tüketimi
EEI	Enerji Verimlilik İndeksi
MER	Nem Alma Oranı
SMER	Özgül Nem Alma Oranı
SAE_c	Standart Yıllık Enerji Tüketimi
VTS	Veri Toplama Sistemi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 47 d/dk sabit tambur devrinde kütle ve fan devrinin enerji verimliliği üzerindeki etkisi **20**

Şekil 2.2 47 d/dk sabit tambur hızı ve 6 kg kütlesi için farklı fan devirleri için tambur giriş havası sıcaklığı ve bağıl nemindeki değişim **20**

Şekil 2.3 58 d/dk sabit tambur devrinde, kütle ve tambur hızının kondenzasyon verimliliği üzerindeki etkisi **21**

Şekil 2.4 Farklı dönüş hızlarında çamaşır hareketini gösteren diyagramlar..... **22**

Şekil 2.5 Tambur içi çamaşır hareketi **23**

Şekil 2.6 Değişik kurutma koşullarında tambur içerisindeki kumaş hareketinin şeması..... **24**

Şekil 2.7 Tambur devrine bağlı olarak çamaşırın hareketi **24**

Şekil 2.8 Sabit tambur hacmi içindeki yük kapasitesinin değişiminin kütle transfer katsayısına etkisi **26**

Şekil 2.9 Sabit tambur hacmi içindeki yük kapasitesinin değişiminin ısı transfer katsayısına etkisi **27**

Şekil 2.10 Sabit tambur hacmi içindeki debi değişiminin kütle transferine etkisi **27**

Şekil 2.11 Sabit tambur hacmi içindeki debi değişiminin ısı transferine etkisi **28**

Şekil 2.12 Sabit tambur hacmi içindeki tambur devri değişiminin kütle transferine etkisi..... **28**

Şekil 2.13 Sabit tambur hacmi içindeki tambur devri değişiminin ısı transferine etkisi..... **29**

Şekil 3.1 Kurutma prosesi aşamaları **31**

Şekil 3.2 Bacalı çamaşır kurutma makinesi..... **33**

Şekil 3.3 Kondeserli (yoğuşturmalı) kurutma makinesi kurutma çevrimi **34**

Şekil 3.4 Isı pompalı bir çamaşır kurutma makinesinde kurutma çevrimi **36**

Şekil 4.1 Bağıl nem sensörü **41**

Şekil 4.2 Densi hassas terazi..... **42**

Şekil 4.3 Radwag hassas terazi..... **42**

Şekil 4.4 Basınç fark sensörü **43**

Şekil 4.5 Veri toplama sistemi..... **43**

Şekil 4.6 Kurutma makinelerinde standart enerji etiketi ve açıklamaları **47**

Şekil 4.7 Rüzgar tüneli-kurutma makinesi bağlantısı..... **47**

Şekil 4.8 Eşanjör bölgesi basınç farkı ölçümü **48**

Şekil 4.9 Basınç farkı – debi ilişkisi grafiği **49**

Şekil 4.10 Isı pompası grubu **50**

Şekil 4.11 Kurutucu dönel (rotary) kompresör..... **51**

Şekil 4.12 Tambur-motor bağlantısı ve proses fanı **52**

Şekil 4.13 Tambur devri için farklı boyut kasnaklar **53**

Şekil 4.14 Hav ile dolu ve makine üzerinde filtreler **54**

Şekil 4.15 Tambur delikleri boş ve yeni tasarım kanadın takılmış durumu **54**

Şekil 4.16 Yeni tasarım kanat **55**

Şekil 4.17 Test düzeneği **55**

Şekil 5.1 8 kg kapasitede farklı fan devri ve yeni tasarım kanat sayısında başlangıç ve bitiş debileri **60**

Şekil 5.2 Hassas terazi ile hav dolu filtre ölçümü **62**

Şekil 5.3 8 kg kapasitede farklı devir ve kanat sayılarında filtrede toplanan hav miktarı **63**

Şekil 5.4 Kapasite, kanat sayısı ve fan hızına bağlı olarak kondenzasyon veriminin değişimi **64**

Şekil 5.5 Sabit 8 kg kapasitede kanat sayısı ve fan hızına bağlı olarak kondenzasyon veriminin değişimi **65**

Şekil 5.6 Kanat sayısı ve fan hızına bağlı olarak enerji tüketiminin değişimi **66**

Şekil 5.7 Kanat sayısı ve fan hızına bağlı olarak kurutma süresinin değişimi **67**

Şekil 5.8 8 kg sabit kapasitede, kanat sayısı etkisinin mer'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması **68**

Şekil 5.9 2800 d/dk sabit fan devrinde, kanatsız ve 1 kanatlı durumlardaki zamana bağlı sıcaklık ve bağıl nemler **69**

Şekil 5.10 8 kg sabit kapasitede, kanat sayısı etkisinin smer'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması **70**

Şekil 5.11 3000 d/dk sabit fan devrinde, kanatsız ve 1 kanatlı durumlardaki zamana bağlı sıcaklık ve bağıl nemler **71**

Şekil 5.12 Kanatsız durumda, farklı kapasitelerin mer'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması **72**

Şekil 5.13 Kanatsız durumda, farklı kapasitelerin smer'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması **72**

Şekil 5.14 Kanatsız ve 3000 d/dk fan devrinde 4,6 ve 8 kg bağıl nem ve sıcaklıkları **73**

Şekil 5.15 1 kanat ile farklı kapasitelerin mer'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması **74**

Şekil 5.16 1 kanat ile farklı kapasitelerin smer'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması **75**

Şekil 5.17 1 kanat ve 3000 d/dk fan devrinde 4,6 ve 8 kg bağıl nem ve sıcaklıkları **75**

Şekil 5.18 8 kg kapasitede, farklı fan devirlerinin mer'e etkisinin farklı kanat sayılarında kıyaslanması **76**

Şekil 5.19 8 kg kapasitede, farklı fan devirlerinin smer'e etkisinin farklı kanat sayılarında kıyaslanması **77**

Şekil 5.20 8 kg sabit kapasitede, 1 kanatlı durumda farklı fan devirlerinin zamana bağlı sıcaklık ve bağıl nemleri **78**

Şekil 5.21 Kanatsız durumda, farklı fan devirlerinin mer'e etkisinin kapasiteye bağlı kıyaslanması **79**

Şekil 5.22 Kanatsız durumda, farklı fan devirlerinin smer'e etkisinin kapasiteye bağlı kıyaslanması **80**

Şekil 5.23 1 kanatlı durumda, farklı fan devirlerinin mer'e etkisinin kapasiteye bağlı kıyaslanması **81**

Şekil 5.24 1 kanatlı durumda, farklı fan devirlerinin smer'e etkisinin kapasiteye bağlı kıyaslanması **81**

Şekil 5.25 Mer için incelenen parametrelerin etkileri **83**

Şekil 5.26 Smer için incelenen parametrelerin etkileri **83**

Şekil 5.27 Mer için model özeti **84**

Şekil 5.28 Smer için model özeti **84**

Şekil 5.29 Mer için artıkların analizi-normal dağılım göstergeleri **85**

Şekil 5.30 Smer için artıkların analizi-normal dağılım göstergeleri **85**

Şekil 5.31 Mer deneysel ve hesaplanan verilerin ±%15 aralığında gösterimi **86**

Şekil 5.32 Smer deneysel ve hesaplanan verilerin ±%15 aralığında gösterimi **86**

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Yük-kapasite listesi **44**
Tablo 4.2 EEI'ya göre enerji sınıfları **45**
Tablo 4.3 Farklı devirlerde basınç farkı – debi ölçümleri **49**
Tablo 4.4 Test koşulları **56**
Tablo 4.5 Ölçüm ekipmanları ve hata oranları **56**
Tablo 4.6 Ölçüm koşullari için belirsizlikler **58**
Tablo 5.1 Tambur boşken farklı fan devri ve kanat sayısı için debi ölçümleri **59**
Tablo 5.2 8 kg kapasitede farklı fan devri ve yeni tasarım kanat sayısında başlangıç ve bitiş debileri **61**
Tablo 5.3 Deneysel ve hesaplanan mer-smer değerleri **87**

ÖZET

Ev Tipi Kurutma Makinelerinde Tambur İçi Hava Akışının Optimizasyonu

Veysel Ahmet ÖZDEMİR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ

Son dönemlerde şehirleşmenin artması, yaşam alanlarının daralması ve insanların çamaşırlarını kurutma sürelerinin azalmasının istemesi gibi faktörler nedeniyle evlerde çamaşır kurutma makinelerinin kullanımı hızla artmaktadır. Ancak, bu makinelerin yüksek enerji tüketimi, özellikle kalabalık aileler gibi büyük miktarda çamaşırı kısa sürede kurutmak isteyenler için önemli bir sorun olmaktadır. Bu nedenle, düşük maliyetli ve enerji tüketimi düşük olan ısı pompalı kurutma makineleri geliştirmek amacıyla beyaz eşya üreticileri ve araştırmacılar çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmada, çamaşır kurutma makinelerinin performansını etkileyen bir faktör olan tambur içindeki hava akışı ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Farklı kapasitelerde çamaşır, farklı hava akış debileri ve yeni bir tambur kanadı tasarımı ile farklı sayılarda kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kurutma süresi, enerji tüketimi, kondenzasyon verimi, tekstil hasarlanması ve nem alma verimi gibi performans ölçütleri açısından bu parametreler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hava akış debisinin artışının çamaşırdan çıkan hav miktarını artırdığını göstermiştir. Aksi şekilde, kanat sayısının artırılmasının çamaşırdan çıkan hav miktarını azalttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, hava akış debisinin kurutma süresini azalttığı, kanat sayısının

artırılmasının ise kurutma süresini uzattığı görülmüştür. En iyi enerji tüketimi için tüm parametrelerin göz önüne alınması gerektiği ve bu şekilde optimum noktanın belirlenmesinin önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, en az enerji tüketimi bir adet kanat ve 3100 d/dk fan devrinde olduğu görüldü. Ek olarak nem alma verimini incelemek amacıyla detaylı olarak nem alma oranı (MER) ve özgül nem alma oranı (SMER) açısından değerlendirilmiştir. Fan devri gibi etkinin düşük olduğu bazı parametrelerde, kanat eklendiği durumlarda homojen kurutma ile birlikte parametrelerin etkisinin arttığı görülmüştür. Tüm parametreler belirsizlik analizi ile birlikte incelenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca, istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak parametrelere bağlı olarak MER ve SMER için bağıntılar oluşturulmuş olup, güvenilirliği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, tambur içindeki hava akışının performans üzerindeki etkilerini anlamak açısından önemlidir. Ayrıca, daha yüksek performans ve daha az enerji tüketimi elde etmek için tambur kanatları ve hava akış debisi gibi parametrelerin dikkatli bir şekilde tasarlanması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çamaşır kurutma makinesi, MER, SMER, enerji verimliliği, tambur kanadı

ABSTRACT

Optimization of In-Tumble Air Flow in Domestic Tumble Dryers

Veysel Ahmet ÖZDEMİR

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ

In recent years, the use of laundry drying machines in households has been rapidly increasing due to factors such as urbanization, limited living spaces, and the desire of individuals to reduce laundry drying times. However, the high energy consumption of these machines poses a significant challenge, especially for large families who need to dry large quantities of laundry quickly. As a result, manufacturers and researchers are conducting studies to develop low-cost and energy-efficient heat pump drying machines. This study focuses on the detailed investigation of the airflow within the drum, which is a crucial factor affecting the performance of laundry drying machines. Experimental studies were conducted using different laundry capacities, airflow rates, and a new drum lifter design with varying numbers of lifters. Performance criteria such as drying time, energy consumption, condensation efficiency, textile damage, and moisture removal efficiency were evaluated based on these parameters. The results indicate that increasing the airflow rate enhances the amount of lint extracted from the laundry. Conversely, increasing the number of lifters reduces the amount of lint extracted. Furthermore, it was observed that increasing the airflow rate reduces the drying time, while increasing the number of lifters prolongs the drying process. It is

important to consider all parameters to achieve optimal energy consumption, and thus determining the optimum point is crucial. The experimental studies revealed that the minimum energy consumption was achieved with one fin at a fan speed of 3100 rpm. Additionally, moisture extraction rate (MER) and specific moisture extraction rate (SMER) were extensively evaluated to examine the moisture removal capability. In certain parameters where the fan speed had a minimal effect, the addition of lifters demonstrated an increased impact on achieving homogeneous drying. Furthermore, a comprehensive analysis of the parameters was conducted using uncertainty analysis. Statistical analysis methods were utilized to establish relationships between the parameters and MER/SMER, and their reliability was assessed.

The findings of this study are important for understanding the effects of airflow within the drum on the performance of laundry drying machines. It also emphasizes the need for careful design of drum lifters and airflow rates to achieve higher performance and lower energy consumption.

Keywords: Tumble dryer, MER, SMER, energy efficiency, drum lifter

1
GİRİŞ

Kurutma işlemi, bir madde içinde veya yüzeyinde bulunan sıvı maddelerin çıkarılması işlemidir ve gıda, ilaç, kereste, seramik, polimer ve tekstil gibi birçok sektörde geniş kapsamda kullanılmaktadır.[1] Bu işlem, malzemelerin çalışma ömrünü uzatmak, nakliye maliyetlerini düşürmek ve kullanım imkanlarını arttırmak gibi amaçlar için yapılmaktadır. Kurutma işlemi, ısıl ve nem (kütle) transferi gibi karmaşık termal süreçler içermektedir ve farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.[2] Kurutmanın temel anlamı, nem içeren katı, sıvı veya karışık malzemelerin suyunun alınarak uzaklaştırılmasıdır. Kurutmanın başarılı olması için, hızlı ve enerji verimli olması, aynı zamanda malzemenin yapısına mümkün olduğunca az zarar vererek gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bugün, kurutma işleminin yaygın olarak kullanıldığı birçok sektör vardır ve bu sektörlere özgü birçok kurutma yöntemi mevcuttur. Farklı sektörlerde kurutma işlemi, mekanik, ısıl gibi çeşitli yöntemler kullanılarak yaygın bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler, kurutulacak malzemenin ve ürünlerin son özelliklerine göre belirlenir. Çamaşır kurutma makineleri, çamaşırların ısıl yöntemle kurutulduğu cihazlardır. Bu yöntemde, çamaşır içerisindeki nem, ısı geçişi ile buharlaştırılır ve kütle transferi ile uzaklaştırılır. Çamaşır kurutma makineleri, bacalı, yoğuşturmalı ve ısı pompalı olarak üç değişik tipe ayrılmaktadır. Bu tipler, farklı çalışma sistemlerine bağlı olarak ayrılmaktadır.

Bacalı kurutma makinelerinde, havanın ısıtılması ve nemin alınması için ortamdaki hava ısıtıcıdan geçirilir. Ancak bu üründe yoğuşturucu yoktur, bu nedenle nemli hava ya iç ortama ya da dışarıya bacaya verilir. Bacalı kurutucular açık çevrim oldukları için enerji tasarrufu açısından en verimsiz çamaşır kurutma makineleri modelleri olarak kabul edilirler. Bacalı tip kurutma makinelerinde, nemli havanın dış ortama veya baca ile atılması gerektiği için, ısıtılmış hava atık ısı kaybına neden olur. Ancak yoğuşturmalı tip kurutma makineleri, kapalı bir proses havası çevrimi ve açık bir soğutma havası çevrimi ile donatılmıştır. Bu sayede, ısıtılmış ve nemli havanın ortama verilmesi dezavantajı ortadan kaldırılır. Bu yöntemde, havanın içindeki nem yoğuşturucuda soğuk ortamdan çekilen hava ile karşılaştırılarak alınır.

Bu çalışmada da ele alınan ısı pompalı kurutma makinelerinde, diğer türlerden farklı olarak ısıtıcı yerine buhar sıkıştırmalı çevrim kullanılır. Kurutma makinelerinde iki farklı kapalı çevrim bulunmaktadır: kapalı soğutucu akışkan çevrimi ve kapalı proses havası çevrimi. Kapalı proses havası çevrimi, ısıtılmış havanın dışarı atılmasını önleyerek verimliliği artırır. Yüksek performanslı çamaşır kurutma makineleri, buhar sıkıştırmalı çevrimin yüksek verimliliği sayesinde tasarlanabilir. Isı pompalı kurutma makineleri yüksek enerji verimlilikleri sayesinde hızla popülerlik kazanmış ve gelecekte kurutma makinesi pazarının büyük bir kısmını oluşturması beklenmektedir. Ancak bu ürünlerdeki yüksek maliyet ve yeni enerji regülasyonları sebebiyle enerji verimliliğini arttıracak çalışmalar üzerine çalışılmaktadır.

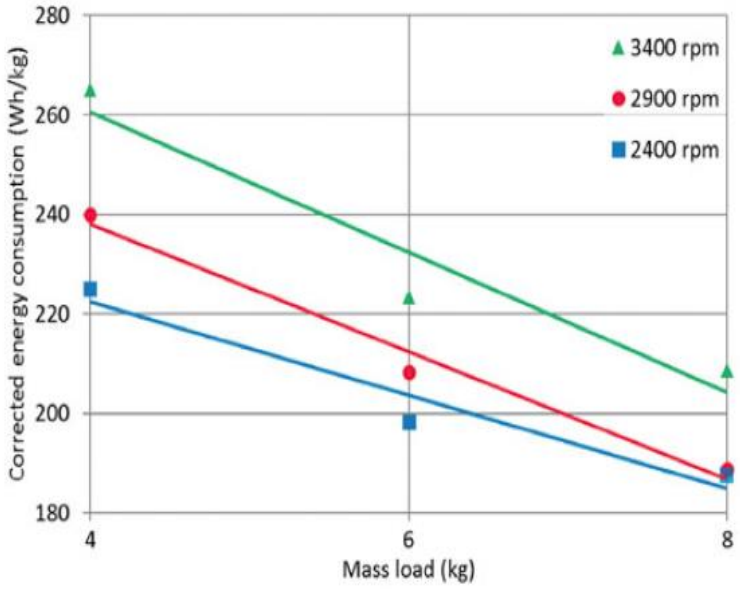
2
LİTERATÜR TARAMASI

Çamaşır kurutma makineleri, enerji tüketimi açısından evlerde kullanılan en önemli beyaz eşyalardan biridir. Bu makinelerin enerji tüketimi ve performansı hem ev sahipleri hem de enerji sektörü açısından büyük bir önem taşımaktadır. Kurutma performansını etkileyen birçok faktör vardır, örneğin tambur içindeki kapasite, çamaşır nem oranı, tambur hacmi, hava akışı, debi miktarı, sistem sıcaklıkları ve tambur kanatlarının tasarımı gibi parametreler. Bu nedenle, beyaz eşya üreticileri ve araştırmacılar, maliyet ve enerji tasarrufu sağlamak için bu faktörleri iyileştirmeye yönelik birçok araştırma yapmaktadırlar.

Ev tipi çamaşır kurutma makinelerinde enerji performansını etkileyen parametreleri incelemek amacıyla, tambur kapasitesi, tambur içi nem oranı, tambur hacmi, hava akışı, debi miktarı, sistem sıcaklıkları ve tambur kanatlarının tasarımı gibi faktörler üzerinde yoğunlaşılmıştır. Bu faktörlerin kurutma süresi, enerji tüketimi ve nem alma verimi gibi performans ölçütleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmalar, enerji tasarrufu sağlamak ve performansı artırmak için tambur kapasitesi, tambur içi nem oranı, tambur hacmi, hava akışı, debi miktarı, sistem sıcaklıkları ve tambur kanatlarının tasarımının optimize edilmesinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu faktörlerin optimize edilmesi, çamaşır kurutma makinelerinin daha yüksek enerji verimliliği ve daha iyi performans sergilemesi için kritik önem taşımaktadır.

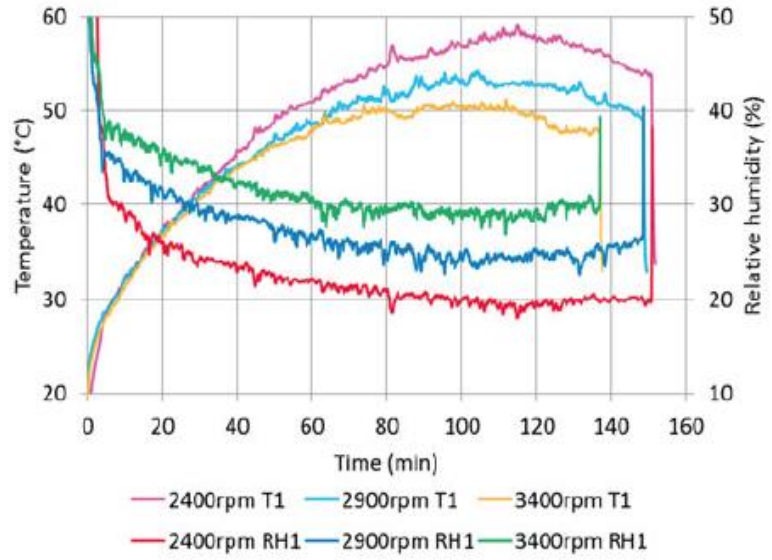
Gataric ve arkadaşlarının [3] yaptığı bu çalışmada, bir ısı pompalı çamaşır kurutma makinesindeki hava akış hızının kurutma performansı, enerji verimliliği ve nem alma kapasitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Makinenin çalışma sıcaklığı, nem oranı ve hava akış hızı için farklı kombinasyonlarda deneyler yapılmış ve kurutma süresi, enerji tüketimi, nem alma oranı gibi parametreler ölçülmüştür.

Farklı kapasite ve fan devirlerinde yapılan ölçümlerde birim kütle başına enerji tüketiminin, çamaşır kütlesi arttıkça azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca fan devrinin yükselmesinin ise birim kütle için tüketilen enerji ile doğru orantılı olduğu ve yükseldiğini gördüler. Yaptıkları farklı kütle ve debi değerleri için değişimler Şekil 2.1'de belirtilmiştir.



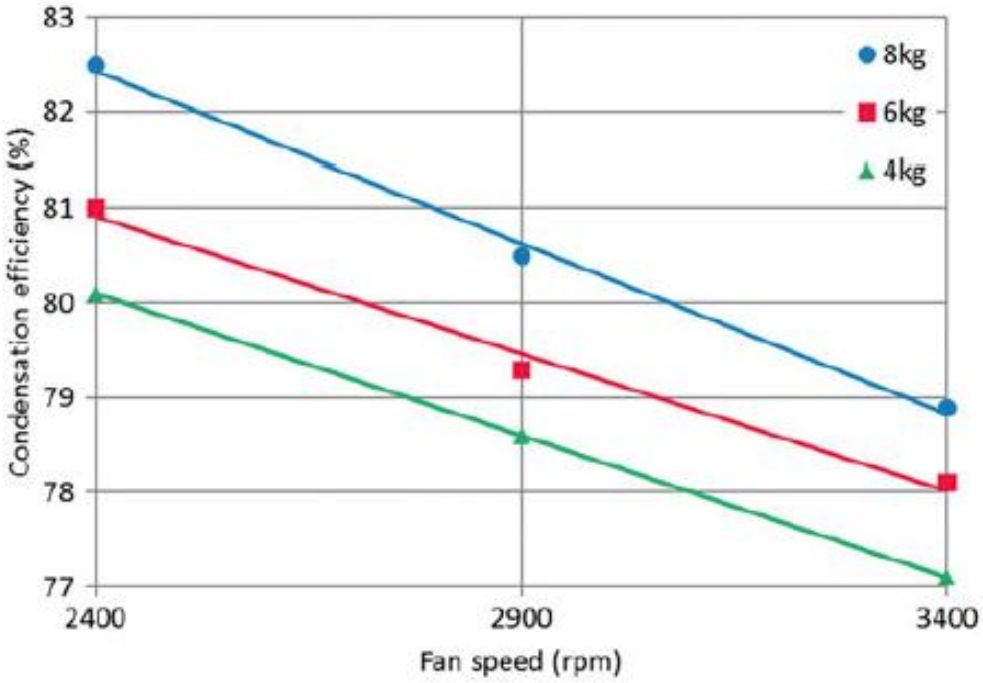
Şekil 2.1 47 d/dk sabit tambur devrinde kütle ve fan devrinin enerji verimliliği üzerindeki etkisi

Fan devrinin değiştirilmesinin tambur giriş havası koşulları üzerindeki etkisi, Şekil 2.2 de gösterildiği gibi önemlidir. Şekil 2.2, 47 d/dk tambur hızı ve 6 kg kapasitedeki yük sabit tutularak hava sıcaklığı ve bağıl nemdeki değişimi göstermektedir. Artan hava akışı, soğutucu akışkandan kurutma havasına daha yoğun bir ısı transferi nedeniyle yoğunlaştırıcıdaki soğutucu basıncını azaltır. Böylece, hava tambura girmeden önce sıcaklığı düşer ve bağıl nem artar, bu da hava nem taşıma potansiyelini azaltır.



Şekil 2.2 47 d/dk sabit tambur hızı ve 6 kg kütlesi için farklı fan devirleri için tambur giriş havası sıcaklığı ve bağıl nemindeki değişim

Kondenzasyon verimliliği, tekstillerden uzaklaştırılan nemin buharlaştırıcıda yoğuşturulduğu ve makinenin bu yoğuşan sıvıyı ne oranda toplayabildiğini gösterir. 58 d/dk'lık sabit bir tambur hızında fan hızı ve kütle etkisi incelenmiştir ve Şekil 2.3'te bu değişkenlere bağlı olarak kondenzasyon verimi değişimi gösterilmiştir. Daha yüksek fan hızlarının nemli havanın kaçmasına neden olarak kondenzasyon verimliliğinde azalmaya sebep olduğunu gözlemlediler. Kütle artışının ise hava sızıntı oranını azaltarak kondenzasyon verimliliğini artırdığı belirlenmiştir. Büyük kütle tambur içinde basınç düşürmesi ile hava akış hızını azalttığı ve hava sızıntısını azaltarak kondenzasyon verimliliğini artırdığı görülmüştür.



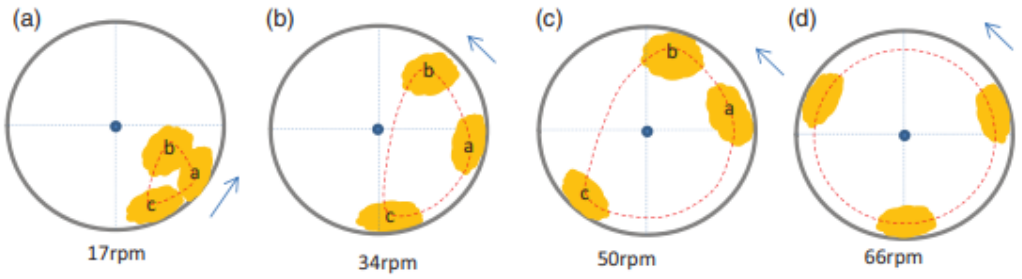
Şekil 2.3 58 d/dk sabit tambur devrinde, kütle ve tambur hızının kondenzasyon verimliliği üzerindeki etkisi

Araştırma sonuçları, hava akış hızının artmasıyla kurutma süresinin kısalacağı, ancak enerji tüketiminin artacağı, nem giderme kapasitesinin ise artan hava akış hızlarıyla arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, makinedeki fan hızının artmasıyla birlikte gürültü seviyesinin de arttığı belirtilmiştir.

Boudreaux ve arkadaşlarının[4] yaptığı çalışmada, bir teknik geliştirilmiştir ve bir ev tipi kurutma makinesinin farklı bölümlerine hava kaçaklarının deneysel olarak ölçülmesi yapılmıştır. Proses havası debisinin artmasıyla birlikte hava kaçaklarının da arttığı, sistem sıcaklıklarının düştüğü gözlemlendi. Kaçaklara sebep olan bu debi

artışının kurutma süresini arttırdığı ve daha fazla enerji tüketimine sebep olduğu gözlemlendi.

Bao,Shen ve Ding'in[5] yaptığı çalışmada, kurutma makinesi içindeki çamaşır hareketleri, tambur dönme hızına bağlı olarak değişir. Tambur dönme hızı arttıkça kumaş hareket alanı da artar. Tambur dönme hızı 66 d/dk'ya ulaştığında, kumaş örnekleri tambur duvarına yapıştığını ve tamburla birlikte döndüğünden, neredeyse hiçbir çarpışma veya sürtünme olmadığını gözlemlediler. Kumaşların çamaşır kurutma makinesi içinde kurutulması sırasında tambur dönme hızı belli sınırlar içinde azaltıldığında, çamaşırlara uygulanan toplam mekanik hareket artar. Düşük tambur dönme hızında (17 d/dk), çamaşırlar tamburun bir köşesindeki küçük bir alan içinde hareket eder ve kumaşlara uygulanan temel mekanik hareket sürtünme kuvvetleridir. Ancak, 50 d/dk'da çamaşırlara uygulanan temel mekanik hareket çarpma kuvvetleridir. 34 d/dk'da ise kumaşlara hem sürtünme hem de çarpma kuvvetleri nüfuz eder. Şekil 2.4'te tambur devrine bağlı çamaşır hareketi gösterilmiştir.



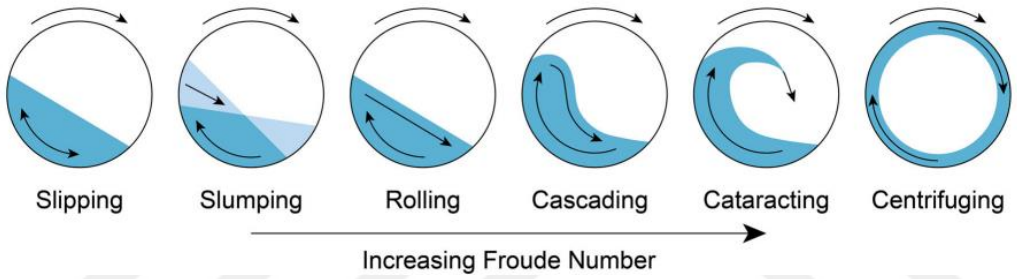
Şekil 2.4 Farklı dönüş hızlarında çamaşır hareketini gösteren diyagramlar

Yapılan bu çalışmada yüksek tambur devrine sahip testlerde, çamaşır hasarlanmasının daha az olduğu görülmüştür. Ancak homojen bir kurutma yapılamaması sebebiyle yüksek devirli testlerde kurutma süresinin arttığı gözlemlendi. Çamaşır düşme hareketinin daha az olduğu farklı tasarımlar ile enerji tüketimini azaltacak yeni yöntemler geliştirilmesi gerektiği önerilmiştir.

Yu ve arkadaşlarının[6] yaptığı çalışmada, kurutma parametrelerinin kurutma performansı üzerindeki etkisini araştırmayı ve kurutma verimliliğini optimize etmek için parametreleri ayarlamayı amaçlamaktadır. JMP yazılımı kullanılarak, SMER, nem içeriği, kurutmanın düzgünlüğü ve pürüzsüzlük görünümü gibi dört gösterge üzerinde önemli etkisi olan dönme hızı ve yük boyutu gibi kritik kurutma parametreleri belirlenmiştir. Kurutma verimliliği ve boyutları arasındaki

etkileşimleri dikkate alarak, boyutsuz analiz kullanılmış ve kurutma verimliliği ile boyutsuz değişkenler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Buckingham Pi teoremi kullanılarak, boyutsuz Pi terimleri türetilmiştir. Regresyon analizi, boyutsuz parametrelerin SMER üzerindeki etkisini test etmek için yapılmıştır ve denklem 1 elde edilmiştir. Bu denklemde x_1 kapasite ve x_2 Froude Sayısıdır. Sonuçlar, enerji verimliliğini en çok etkileyen Şekil 2.5'te belirtilen tambur hareketi ile değişen Froude sayısının arasındaki etkileşimi göstermiştir. Boyutsuz parametrelerin ayarlanmasıyla optimize edilmiş bir program elde edilmiştir ve enerji verimliliği %32,4 arttırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, kurutma performansı ile boyutsuz faktörler arasında etkili bir ilişki sunar.

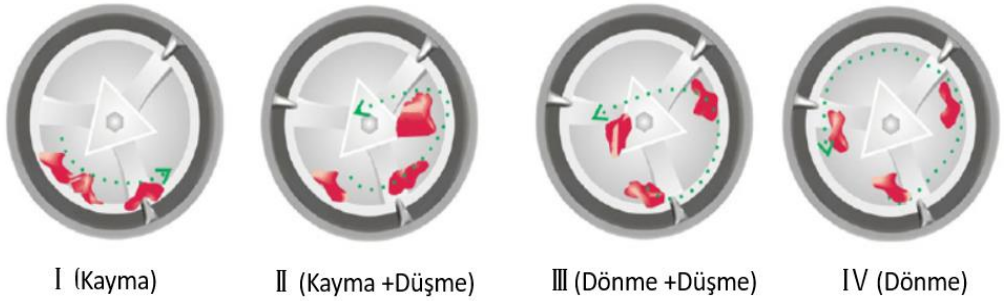
$$SMER = 2.171 + 2.558 * x_1 * x_2 - 0.132 * x_1 - 0.524 * x_2 \quad (1)$$



Şekil 2.5 Tambur içi çamaşır hareketi

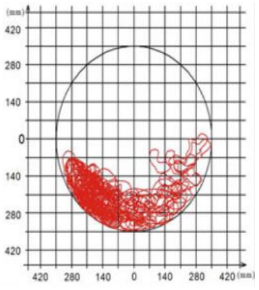
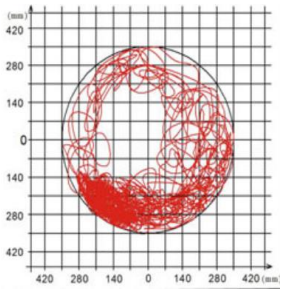
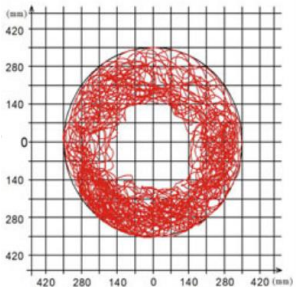
Yuhui Wei ve arkadaşları[8] yaptıkları çalışmada tekstilin tipi, boyutu, kapasitesi ve tamburun hareketi (tambur devri ve dönüş yönü, periyotları) gibi parametrelerin kurutma verimine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, kurutma döngüsü boyunca tekstil hareketini yüksek çözünürlüklü bir kamera ile kaydetmişlerdir. Büyük ve küçük boyuttaki çamaşır parçalarının tambur içerisindeki dönme ve düşme hareketlerini araştırmışlardır. Tekstillerin birbirinden kayarak ve düşerek tamburun sadece tek yönde dönmesinden daha iyi kurutma verimi gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Optimum kurutma veriminin sağlanması için tambur devrinin 45-50 d/dk aralığında olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Tambur içinde değişik miktarlarda ve içerikteki çamaşırların 4 farklı tambur hareketiyle kurutulmuş ve kurutma sonunda tekstildeki nem içeriği, enerji tüketimi verileri ve çamaşır yüzey pürüzsüzlüğü incelenmiştir.

Tekstillerin kayma, kayma ve düşme, dönme ve düşme, yalnızca dönme olmak üzere Şekil 2.6 da gösterildiği gibi 4 farklı biçimde tambur içerisinde hareketi değiştirilerek kurutma performansları incelenmiştir.



Şekil 2.6 Değişik kurutma koşullarında tambur içerisindeki kumaş hareketinin şeması

Araştırmacılar tekstil miktarının sabit kaldığı koşullarda farklı tambur devirlerinde tekstil hareketlerini analiz etmişlerdir. Bulgulara göre tambur devri arttıkça tambur çeperine yapıştığı görülmüştür. Düşük tambur devirlerinde de çamaşırların sadece kayma hareketi yaptığı görülmüştür. Şekil 2.7 de bu hareketler gösterilmiştir. Bu bağlamda; tambur hızına dayanarak tekstil sürtünme katsayısının tambur içerisinde tekstil hareketini direkt olarak etki ettiği görülmüştür.

Tambur Devri	35-40 D/DK	45-50 D/DK	55-60 D/DK
Çamaşır Hareketi			

Şekil 2.7 Tambur devrine bağlı olarak çamaşırın hareketi

Stawreberg ve Wikström[9], makine kapasiteleri ve yük miktarlarına dayanarak enerji tüketimini incelemiş ve enerji etiketlemesi konusunda sonuçlara varmışlardır. Üç değişik model için, farklı tekstil tiplerinde test edilmiş ve sonuç olarak, düşük kapasitelerde kurutma yapıldığında enerji tüketiminin yüksek olduğu

belirlenmiştir. Bu sonuçlar, enerji etiketleme sisteminin gözden geçirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bassily ve Colver[10], fan devri, tambur devri, tekstil kapasitesi ve başlangıç nem değerleri gibi parametrelerin enerji tüketimi ve kurutma süresi üzerindeki etkisini inceleyerek ticari tipi bir kurutucunun performansını geliştirmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, tambur devrinin tekstillerden kütle geçişini etkilediği belirlenmiş ve optimum tambur devrinin 45 d/dk olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yıkama işleminden önceki sıkma süresinin artırılmasının, tekstilin daha kuru olmasını ve bunun enerji sarfiyatı ile kurutma süresi açısından pozitif bir çıktısı bulunmuştur. Ancak tekstildeki nem içeriğinin, kurutma sürecinin her aşamasında etkili olmadığı gösterilmiştir. Artan kapasitenin, birim nem alma için kütle başına harcanan enerjiyi düşürdüğü gözlemlenmiştir. Kaçakların kurutma işlemini süre olarak uzattığı belirtilmiş ve fan hızlarının buna göre değerlendirilmesi ve seçilmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır.

Deans'ın yaptığı çalışmada[11] sayısal ve deneysel olarak da incelenmiştir, bu sonuçlar daha yüksek hacimsel akış hızıyla, daha az ısı girişi dolayısıyla daha az enerji tüketimi ve kısa kurutma süreleri olduğu sonucunu ortaya çıkartmıştır.

Lee ve arkadaşları yaptığı çalışmada[12] hacimsel akış hızlarına bağlı olarak 0,04, 0,5 ve 0,06 m3/s olduğunda kurutma süreleri sırasıyla 108, 96 ve 91 dakika olduğu görüldü. Hacimsel akış hızında %50'lik bir artış, kurutma süresinde %15'lik bir azalmaya neden olur. Ayrıca sonuçlar, hava akış hızı büyük olduğunda proses hava sıcaklığının daha düşük olduğunu göstermektedir.

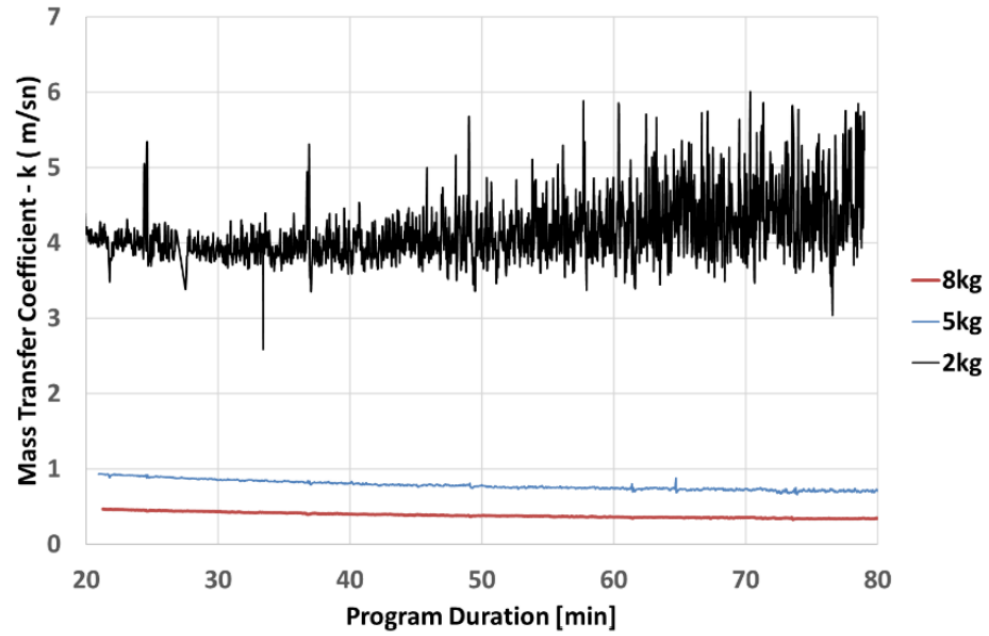
Gataric ve arkadaşları yaptıkları çalışmada[13] fan devrinin yükseltilmesi ile proses havası debisinin arttırılmasının nemli hava kaçağını arttırdığını ve bu durumun kurutma süresini düşürdüğü ve daha düşük enerji tüketimi ile kurutmayı gerçekleştirdiğini gözlemlediler.

Yadav ve arkadaşları[14] yaptıkları çalışmalarda kapasite artışının kurutma süresini uzattığı ancak birim kütle başına enerji tüketimini azalttığını gözlemlediler. Ayrıca proses havası debisinin kurutma performansı üzerinde etkili olduğunu gördüler.

Sır'ın[15] yaptığı çalışmada, değişken hızlı kompresörlü ısı pompalı kurutma sistemlerinde farklı parametrelerin tambur içindeki ısı ve kütle transfer

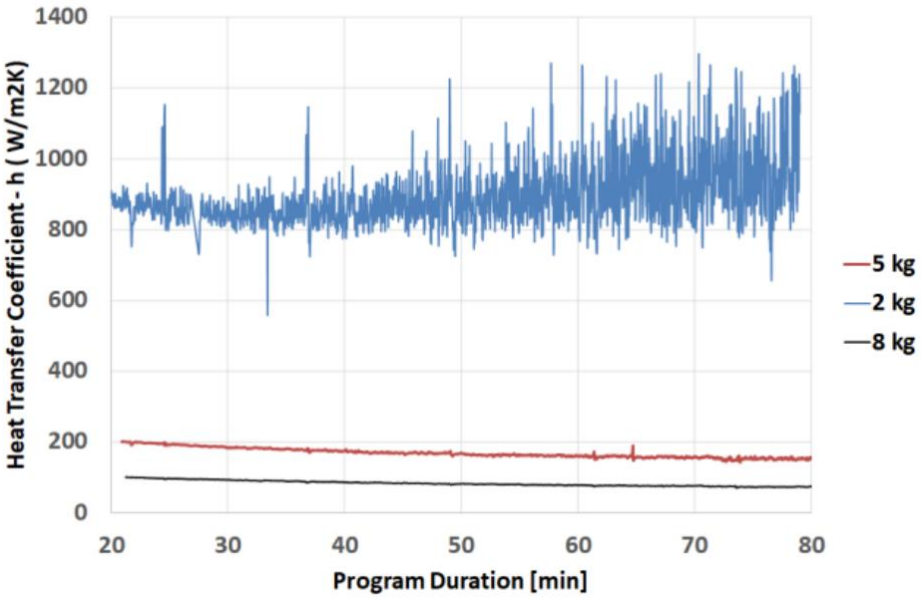
katsayılarına etkileri incelemiştir. Bu parametreler arasında kompresör devri, tambur devri, çamaşır kapasitesi ve proses havası debisi yer almaktadır.

Şekil 2.8, test edilen kapasitesinin kütle transfer katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Optimum kurutma çevrim süresi 20 ile 80 dk arasında alındığı için farklı kapasitelerdeki değişim gözlemlenebilmiştir. Yapılan testlerde sabit tambur hacmi içerisinde kapasite azaldıkça kütle transfer katsayısının arttığı görülmüştür. Kurutma işlemi sırasında her kapasite için kütle transfer katsayısı sabit kalmıştır.



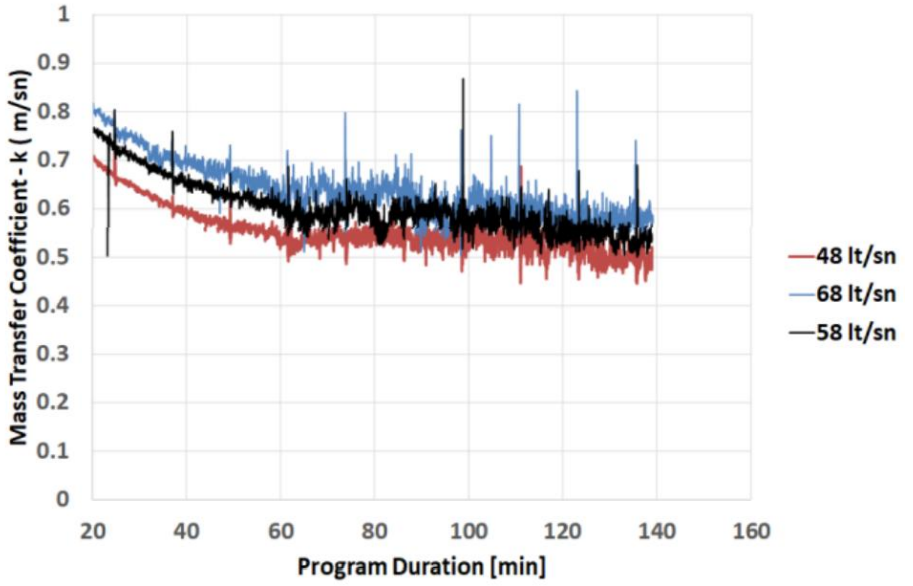
Şekil 2.8 Sabit tambur hacmi içindeki yük kapasitesinin değişiminin kütle transfer katsayısına etkisi

Şekil 2.9 ise test edilen yük kapasitesinin ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Kütle transfer katsayısına benzer şekilde, yük kapasitesinin azalmasıyla ısı transfer katsayısının arttığı görülmüştür.



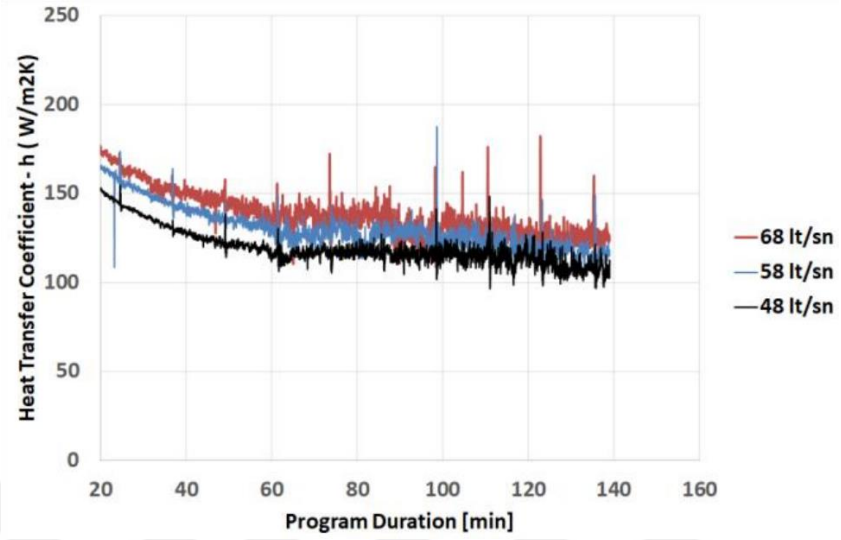
Şekil 2.9 Sabit tambur hacmi içindeki yük kapasitesinin değişiminin ısı transfer katsayısına etkisi

Şekil 2.10, yük kapasitesi, kompresör hızı ve tambur hızı sabit tutularak hava akışı değişiminin tambur içindeki kütle transfer katsayısına etkisini göstermektedir. Kurutma çevrimi sırasında debideki artışın kütle transfer katsayısında bir artışa neden olduğu ancak kurutmanın ilerleyen aşamalarında her bir debi değeri için kütle transfer katsayısının sabit kaldığı ve değerlerin birbirine yaklaştığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle nemin çamaşırlar üzerindeki kütle transfer katsayısının akış hızı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.



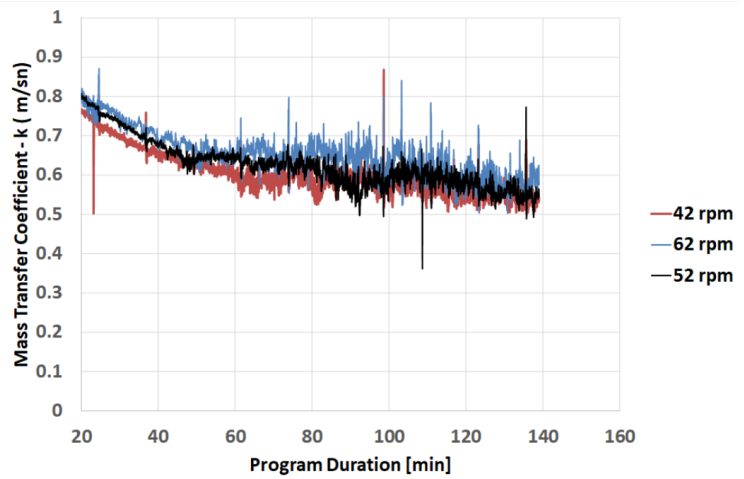
Şekil 2.10 Sabit tambur hacmi içindeki debi değişiminin kütle transferine etkisi

Şekil 2.11, hava debisinin ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Kütle transfer katsayısı değişim olgusuna benzer şekilde, hava debisindeki değişimin ısı transfer katsayısı üzerinde de etkili olduğu görülmektedir.



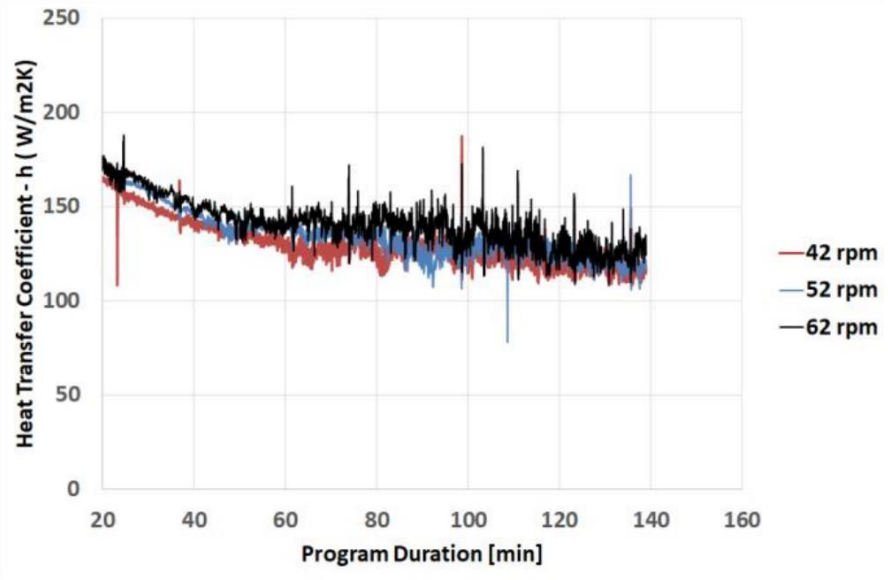
Şekil 2.11 Sabit tambur hacmi içindeki debi değişiminin ısı transferine etkisi

Şekil 2.12, sabit çamaşır kapasitesi, kompresör devri ve hava debisinde tambur hızı değişiminin kütle transfer katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Tambur devrindeki artışın kütle transfer katsayısını kısmen de olsa arttırdığı gözlemlenmiştir. Proses havası debisinin değişimine paralel olarak tambur hızındaki değişimin kütle transfer katsayısı üzerindeki etkisi kurutmanın son aşamalarına doğru azalmaktadır.



Şekil 2.12 Sabit tambur hacmi içindeki tambur devri değişiminin kütle transferine etkisi

Son olarak, Şekil 2.13, tambur hızının ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Kütle transfer katsayısı değişimine benzer şekilde, tambur hızının artması ısı transfer katsayısında kısmi bir artışa neden olmuştur.



Şekil 2.13 Sabit tambur hacmi içindeki tambur devri değişiminin ısı transferine etkisi

Sonuç olarak Sır'ın yaptığı bu çalışmada[15], değişken hızlı kompresörlü ısı pompalı kurutma sistemlerinde kompresör hızı, tambur hızı, yük kapasitesi ve hava debisinin tambur içindeki ısı ve kütle transfer katsayısına etkisi incelenmiştir. Yük kapasitesinin tambur içindeki ısı ve kütle transfer katsayısını en çok etkilediği görülmüştür. En yüksek transfer katsayısı değerleri 2 kg kapasiteli testlerde elde edilmiştir. Kurutma çevrimi sırasında debideki artış, kütle ve ısı transfer katsayısında artışa neden olmuştur. Tambur hızının artması da kütle ve ısı transfer katsayısının artmasına neden olmuştur ve hacim debisine paralel olarak değişimler gözlenmiştir. Ancak kurutmanın 60. dakikasından sonra her bir debi değeri için kütle transfer katsayısının sabit kaldığı ve değerlerin birbirine yaklaştığı görülmüştür.

Puyvelde'nin[16] döner tamburlu kurutucular için yaptığı kanat modelleme çalışmasında, farklı malzeme, açı ve yükseklik kullanımının kanat üzerindeki parçanın dönme, kanada yapışma, kanattan ayrılma gibi farklı hareketleri ön plana çıkaracak şekilde tasarımlar yapmayı sağlayacağını belirtmiştir.

Çamaşır kurutma makinesi tambur içerisinde çamaşırların hareketine bağlı olarak geniş yüzeyli çamaşırların daha küçük çamaşırları içine alarak topak oluşturması ve homojen kurutmayı engellediği bilinmektedir. Çamaşırların dönmeden düşmesini sağlayacak tasarımlar bu problemin çözümü için de kullanılabilir.

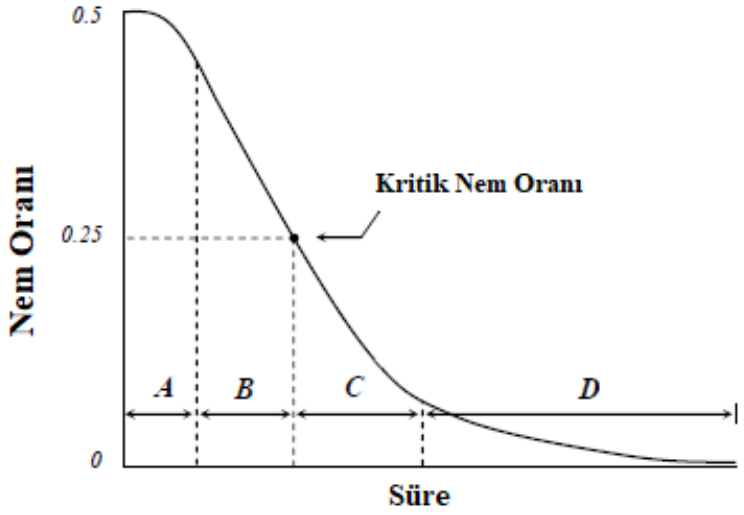
Çamaşır kurutma makinelerinde enerji ve zamandan kazanım sağlamak için yapılan çalışmaların ortak sonucu olarak, kurutulacak çamaşır kapasitesinin artışının kurutma süresinde artış sağladığı ancak birim zamanda harcanan enerjide yüksek kapasitenin daha avantajlı olduğu görüldü. Debi artışının kurutma süresi ve enerji tüketimine doğru orantılı olarak iyileştirme sağladığı gözlemlendi. Yapılan çalışmalarda, tambur devrine bağlı olarak çamaşır hareketinin de değiştiği ve bu durumun süre, enerji tüketimi gibi çıktılara da etki ettiği sonucuna varıldı. Genel olarak, çamaşır kurutma makinelerinde proses havası fanı ile tambur aynı motor kullanılarak tahrik edilmektedir. Debi artışı için arttırılan motor devri, tambur devrinde de artmaya sebep olmakta ve yüksek tambur devirlerinde çamaşır üzerinde santrifüj etkisi görülmekte ve fan devrinden gelecek iyileşme görülememektedir.

Bu çalışmada ise çamaşır kurutma makinelerinde, öncelikle fan devrinin etkisi tambur devrinde değişiklik olmadan ve ek olarak literatürde bulunmayan debinin tekstil hasarlanmasına etkisine bakıldı. Yapılan çalışmalara benzer olarak yüksek ve düşük kapasitenin kurutma performansı üzerindeki etkisi incelendi. Ayrıca literatürde tambur kanatları üzerine bir çalışma olmadığı görüldüğünden, proses havasının bir kısmının tambur kanadı ile çamaşırlara ulaştırılmasını sağlayacak bir tasarım yapılarak kanat sayısı, fan devri ve kapasitenin kurutma performansı üzerindeki etkisi incelendi.

3
TEKSTİL KURUTMADA TEMEL KAVRAMLAR

3.1 Nem Alma

Nem alma prosesi, ıslak bir malzemenin yüzeyi ve içerisinden su buharının uzaklaştırılması anlamına gelir. Buharlaşma gerçekleşebilmesi için ortamdaki su buharının doyma basıncının altında olması gerekmektedir. Kurutulacak çamaşır malzemelerinden nem alma işlemi genellikle taşınım yöntemiyle kurutma prensibiyle sağlanır. Isıtılmış ve düşük özgül neme sahip hava, çamaşır üzerine yönlendirilerek kurutma işlemi, kütle ve ısı transferi yoluyla gerçekleştirilir. Havanın sıcaklığı ve debisi, kurutma süresini doğrudan etkileyen faktörlerdir.[17] Çamaşır kurutma işlemi temel olarak dört aşamadan oluşur. Bu aşamalar ve nem oranına bağlı değişim Şekil 3.1'de belirtilmiştir. A ile belirtilen kısım ısınma periyodu, B ile belirtilen kısım sabit hızda nem alma, C ve D ise düşen hızda nem alma periyotlarını göstermektedir.



Şekil 3.1 Kurutma prosesi aşamaları

Kurutma sürecinin başlangıcında, kurutma hızı oldukça düşüktür. Çamaşır ısındıkça, buharlaşma hızı artmakta ve sabit bir hızda nem alma dönemine gelmektedir. Sabit hızda kurutma noktasında, çamaşır üzerinden buharlaşma ile uzaklaştırılan nem ile çamaşır içerisinden dışarı doğru olan kütle transferi birbirini

eşitleyecek düzeydedir. Sonuç olarak, sabit hızda kurutma gerçekleşir. Ek olarak, ısıtılmış havadan çamaşır malzemesine geçen ısı miktarı ile çamaşır üzerinden buharlaşma sırasında kaybedilen enerji eşittir, bu yüzden çamaşır sıcaklığı sabit hızda kurutma bölgesindeyken sabit kalır. Fakat malzeme kritik nem seviyesine ulaştığında, çamaşır içerisinden dışarı doğru olan kütle transferi buharlaşma hızı seviyelerine erişemez hale gelir. Kritik nem oranı seviyesinin geçilmesi ile birlikte, çamaşır malzemesinin üzerinin bir kısmı nemliliğini korurken diğer kısmı kurur. Bu durumda, kurutma hızı yavaşlar ve azalan hızda kurutma aşamasına geçilir. Azalan hızda kurutma iki aşamada incelenir. İkinci aşamada, malzeme yüzeyindeki kısmi buhar basıncı doyma basıncının altında kalır ve ısı transferi çamaşır ve hava arasındaki sıcaklık farkının kapanması sebebiyle giderek azalır. Bu durumda, kurutma hızı git gide azalır. Kurutma süreci termodinamik açısından incelendiğinde hem kütle transferinin hem de ısı transferinin beraber gerçekleştiği görülür. Çamaşır malzemesi üzerindeki nemin ısı transferiyle buharlaştırılarak uzaklaştırıldığı ve kütle transferiyle havaya geçtiği görülmektedir.

Sabit hızda nem alma sürecinde, çamaşır üzeriyle akışkan arasındaki ısı transferi taşınım yoluyla gerçekleşir. Taşınım yoluyla gerçekleştirilen ısı transferi denklem 3.1 ile açıklanabilir.

$$\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = \bar{h} \cdot A(T_a - T_s) \tag{3.1}$$

Çamaşır yüzeyindeki su buharının akışkan ortama kütle transferi, taşınım prensibiyle gerçekleşir. Bu kütle transferi denklem 3.2'deki gibi açıklanabilir.

$$\frac{\mathrm{d}N_v}{\mathrm{d}t} = \overline{h_m} \cdot A\left(C_{v,A} - c_{v,s}\right) \tag{3.2}$$

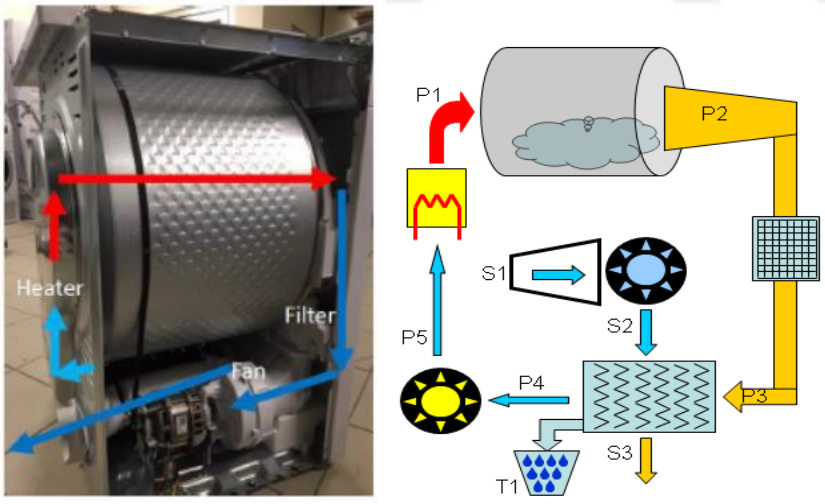
Çamaşır üzerindeki serbest nem seviyesinin kritik seviyeye gelmesi ve nem almanın yavaşlaması ile birlikte, çeşitli modellerin belirgin hale geldiği görülmektedir. Bu noktada, kurutma hızını etkileyen ana etken, çamaşır içindeki nemi dışarıya taşıma sürecidir. Çamaşır içindeki nemin yüzeye taşınması, kılcal akış, suyun serbest hareketi ve buhar transferi gibi farklı modellerle tanımlanmaktadır.

3.2 Çamaşır Kurutma Makineleri

Ev tipi çamaşır kurutma makineleri günümüzde temel olarak üç farklı tipte mevcuttur, bunlar bacalı, hava yoğuşturmalı ve ısı pompalı kurutma makineleridir. Bu makineler, çalışma şekillerine göre kapalı ve açık çevrim şeklinde sınıflandırılır. Bacalı kurutma makineleri en temel ve ilkel tiptedir ve açık kurutma çevrimiyle çalışırlar. Hava yoğuşturmalı ve ısı pompalı kurutma makineleri ise kapalı kurutma çevrimiyle çalışarak kurutma işlemini gerçekleştirirler.

3.2.1 Açık Çevrim (Bacalı) Kurutma Makineleri

Bacalı kurutma makineleri, dış ortamdan alınan havanın ısıtılması, tambur içerisindeki çamaşırlara yönlendirilmesi, nemli havanın filtrelenerek dışarıya atılması gibi temel elemanlardan oluşur. Bu tip makinelerde işleyiş, ortam havasının proses fanı tarafından çekilip ısıtıcıya yönlendirilmesiyle başlar. Hava, ısıtıcıdan geçirildikçe sıcaklığı artar ve nem alma kapasitesi yükselir. Sıcaklığı artmış olan proses havası, tambur içerisindeki nemli çamaşırların üzerine etki ederek nemin buharlaşmasını sağlar. Ardından, nemli ve sıcak hava baca aracılığıyla dışarıya atılır ve açık çevrim tamamlanır.



Şekil 3.2 Bacalı çamaşır kurutma makinesi

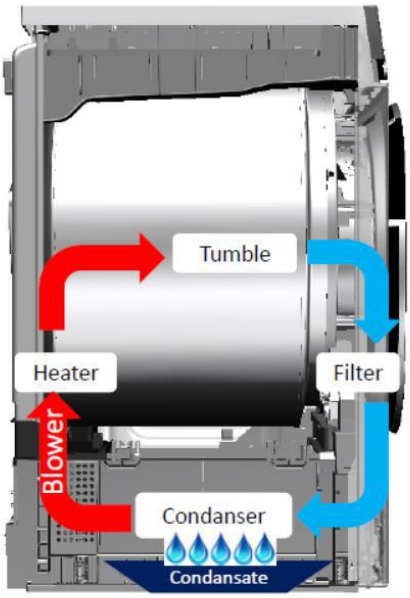
Açık çevrim kurutma makineleri, ısıtılmış havanın tekrar ortama verilmesi ve nemli havanın dışarıya atılması nedeniyle enerji verimliliği düşük ürünlerdir. Ayrıca, nemli havanın baca yoluyla dışarıya verilmesi kullanım ve yaşam alanını kısıtlar. Bu sebeplerle, piyasada kapalı çevrim kurutma makinelerine kıyasla sayıları oldukça azdır. Yakın gelecekte, artan çevre bilinci, yeni regülasyonlar ve enerji

düzenlemeleriyle birlikte ısı pompalı kapalı çevrim çamaşır kurutma makinelerinin açık çevrim bacalı makinelerin yerini alması beklenmektedir. Bacalı tipi kurutma makinesi Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

3.2.2 Kapalı Çevrim Kurutma Makineleri

3.2.2.1 Yoğuşturmalı (Kondenserli) Kurutma Makineleri

Yoğuşturmalı kurutma makineleri, çamaşırlardan nemin uzaklaştırılması için kullanılan bir beyaz eşyadır. Bu makinelerde, çamaşırlardaki nem, bir yoğuşturucu tarafından toplanır ve su olarak ayrıştırılır. Çalışma prensibi olarak, hava yoğuşturmalı kurutma makinelerinde kurutma işlemi, havanın ısınması ve nemin yoğuşturulmasıyla gerçekleşir. Tambur içerisindeki çamaşırlar üzerinden bir hava akışı oluşturulur. Bu akış, ısıtılan hava ve nemin yoğuşturulduğu bir yoğuşturucu ve fan tarafından sağlanır.[18] Bu kurutma tipine ait çevrim Şekil 3.3 ile verilmiştir.



Şekil 3.3 Kondeserli (yoğuşturmalı) kurutma makinesi kurutma çevrimi

Genellikle bu tip kurutma makinelerinde proses havasının ısıtılması için bir elektrikli ısıtıcı bulunmaktadır. Isıtılan hava, yoğuşturucunun içinde dolaşırken soğutulur ve nem yoğuşarak su formuna dönüşür. Bu su daha sonra bir hazneye toplanır veya doğrudan tahliye yöntemi ile uzaklaştırılır. Hava yoğuşturmalı kurutma makineleri, enerji verimliliği açısından bacalı kurutma makinelerine göre avantaj sağlayabilir. Çünkü nemli havanın yoğuşmasını sağlayan soğutma havası açık çevrim olarak gerçekleşse de proses havası kapalı çevrim olarak gerçekleşir ve

bu ortam sıcaklığına karşı kazanmış olduğu sıcaklığı kurutma işleminde çevrim boyunca kullanır. Bu da enerji tasarrufuna ve daha düşük işletme maliyetlerine yol açabilir.[19]

3.2.2.2 Isı Pompalı Kurutma Makineleri

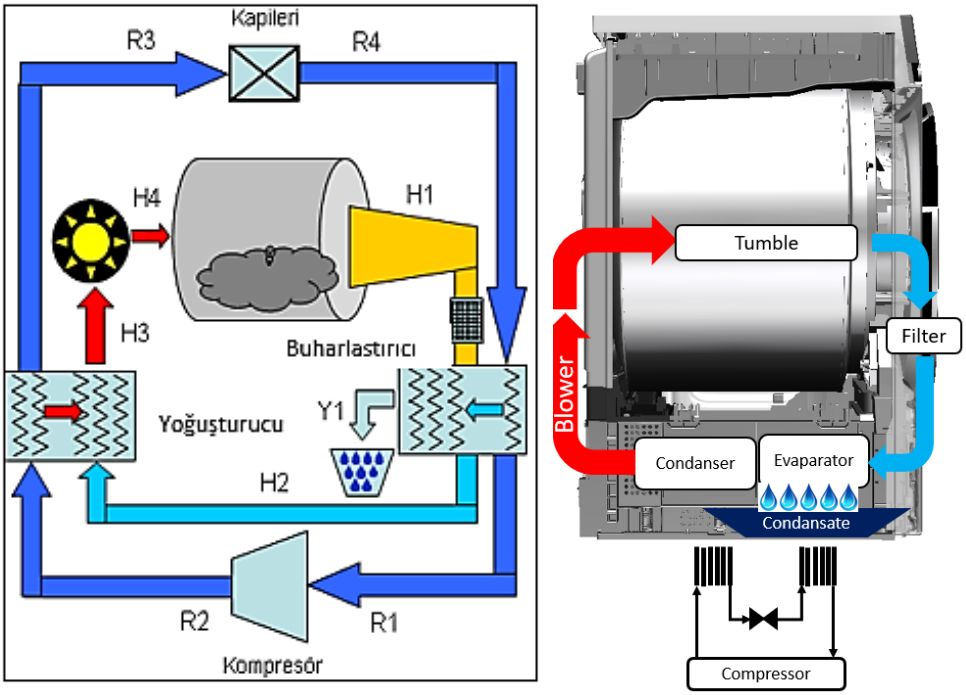
Isı pompalı kurutma makinesi, tekstil ürünlerinin kurutulmasında kullanılan bir elektrikli ev aletidir. Bu tip makineler, ısı pompası teknolojisini kullanarak kurutma işlemini gerçekleştirir ve çamaşırlardan nemin uzaklaştırılması için ısı enerjisini geri kazanan bir sistem üzerine kuruludur.[20] Isı pompalı kurutma makinelerinde, iki farklı döngü bulunmaktadır: proses havasını içeren kapalı çevrim ve soğutucu akışkanın olduğu kapalı buhar sıkıştırmalı çevrim. Bu tür kurutma makinelerinin diğer tiplerinden temel olarak farklı olan şey, proses havasının ısıtılması için elektrikli bir ısıtıcının kullanılması yerine, sıcak yoğuşturucu yüzeyine sahip olan buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin kullanılmasıdır. Isı pompalı kurutuculardа, sistem operasyon sıcaklıklarının yoğuşturmalı ve bacalı ürünlere göre daha alt seviyelerde olması nedeniyle, narin ürünlerde etkili bir kurutma işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Isı pompalı kurutma makinelerinde temel olarak aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

1) Tekstil ürünlerinin yüklendiği tambur
2) Tekstilden çıkan havları tutmak için filtre
3) Yoğuşturucu
4) Buharlaştırıcı
5) Kısılma vanası
6) Kompresör
7) Proses fanı

İki çevrimden oluşan ısı pompalı kurutma makinelerinde kompresörde yüksek basınç ve sıcaklık noktasına ulaşan soğutucu akışkan yoğuşturucuya gönderilir. Burada proses havasından daha üst seviyelerde bir sıcaklığa sahip olması sebebiyle proses havasına doğru ısı transferi gerçekleştirerek proses havasının ısınmasına, soğutucu akışkanın ise soğuyarak sıvı fazına geçmesine ve kısılma vanasına

geçmesini sağlar. Kısılma vanasına gelen soğutucu akışkan genişleyerek basıncı düşürülür. Buharlaştırıcıda doymuş sıvı-buhar karışımı olarak gelen soğutucu akışkan kendisinden daha yüksek sıcaklığa sahip olan proses havası ile ısı transferi gerçekleştirerek, kendi sıcaklığını arttırır ve buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre gelir.[21] Bu şekilde çevrim sürekli devam eder.



Şekil 3.4 Isı pompalı bir çamaşır kurutma makinesinde kurutma çevrimi

Proses havası ise yoğuşturucu üzerinde sıcaklığının arttırılması ve proses fanı sayesinde tambur deliklerinden tambur içerisine girmesi ile nemli ve soğuk olan tekstile, kuru ve sıcak olarak gelir. Tekstil ile ısı ve kütle transferi gerçekleştiren proses havası, filtreden geçer. Filtrede çamaşırdan almış olduğu havı bırakır. Buharlaştırıcıda soğur ve nemini bırakır, daha sonra tekrar yoğuşturucuya giderek çevrimini tamamlar ve bu çevrim kurutma süresince devam etmektedir.[21] Bu iki çevrim Şekil 3.4'te şematize edilmiştir.

Bu makineler, geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha yüksek enerji verimliliğine sahiptir ve çamaşırları daha iyi korur. Ayrıca, nem alma verimleri yüksek olduğu için daha kısa sürede çamaşırları kuruturlar. Isı pompalı kurutma makineleri, evlerde ve ticari işletmelerde kullanılan yaygın bir kurutma çözümüdür. Buharlaşma ve yoğuşma adımlarında sürekli olarak enerji transferi sağlandığı için

daha az enerji tüketirler. Ayrıca, düşük sıcaklıkta çalıştıkları için çamaşırların deformasyon veya aşırı kuruma riski de azalır.

3.2.2.3 Proses Havası

Normal kurutma makinelerinde hava, kurutma ortamı olarak kullanılır. Hava genellikle belirli bir miktarda su buharı içerir. Havayı kurutma ortamı olarak kullanabilmek için havanın nem kazanma yeteneği olması gerekmektedir. Nem, iki farklı şekilde ifade edilebilir: bağıl ve özgül nem. Bağıl nem, φ [%] kısmi buhar basıncının Pv [Pa], havadaki aynı sıcaklıkta doymuş buhar basıncına Psat [Pa] olan oranı olarak tanımlanır.

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{sat}} \tag{3.3}$$

Bağıl nem, havanın alabileceği su miktarını tanımlar. Havayla temas eden ıslak tekstillerin karşılaştığı havanın bağıl nem değeri ne kadar düşükse, kurutma için hareket etme gücü o kadar büyük olur. Kurutma makinesinde, tambur girişinde düşük bir bağıl nem değerine ulaşmak önemlidir. Özgül nem, ω [kg/kg], yani havadaki su miktarını ifade eder ve denklem 3.4 ile tanımlanabilir.

$$\omega = 0.622 \frac{\varphi \cdot P_{sat}}{p - \varphi P_{sat}} \tag{3.4}$$

Sıcaklığı yüksek proses havası nemli çamaşırın üzerinden nem alır ve buharlaştırıcı olarak kullanılan soğutucu akışkanın bulunduğu bölgeye gelir. Proses havası, buharlaştırıcı yönünde gerçekleşen ısı transferi sonucunda çiğ noktasına ulaşır ve nem alma işlemi gerçekleştirilir. Buharlaştırıcıda soğutma ve nem alma işlemi beraber gerçekleşir. Enerji ve kütle korunumu yasasına göre, aşağıdaki denklemler elde edilir.

Kuru havanın kütle dengesi denklem 3.5'te belirtilmiştir:

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \tag{3.5}$$

Su buharı kütle dengesi denklemi 3.6 olarak belirtilmiştir:

$$\dot{m}_{a1} \mathrm{w}_1 = \dot{m}_{a2} + \dot{m}_{su} \tag{3.6}$$

Enerjinin korunumu denklemleri denklem 3.7-3.13 arasında belirtilmiştir:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{Ç}\, \dot{h}_{Ç} - \sum \dot{m}_{g}\, \dot{h}_{g} \tag{3.7}$$

$$\dot{W} = 0 \tag{3.8}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{a}(\mathrm{h}_2 - \mathrm{h}_1) + \dot{m}_{su}\mathrm{h}_{su}\dot{W} = 0 \tag{3.9}$$

$$\dot{m}_{su} = \dot{m}_{a} * (\mathrm{w}_1 - \mathrm{w}_2) \tag{3.10}$$

$$H = \mathrm{H}_{kuru\ hava} + \mathrm{H}_{su\ buharı} = \mathrm{m}_{kh}\mathrm{h}_{kh} + \mathrm{m}_{sb}\mathrm{h}_{sb} \tag{3.11}$$

$$h = \frac{H}{m_{kh}} = h_{kh} + \frac{m_{sb}}{m_{kh}} h_{sb} = h_{kh} + w * h_{sb} \tag{3.12}$$

$$h_1 = c_p * T_1 + w_1 * h_{g1} \tag{3.13}$$

3.2.3 Kurutma Performansı

Kurutma, bir maddenin içerdiği nemin azaltılması veya tamamen uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma işlemi, endüstriyel, tarımsal, gıda işleme, kimyasal üretim ve diğer birçok sektörde yaygın olarak kullanılır. Kurutma, malzemenin dayanıklılığını artırır, depolama süresini uzatır, kaliteyi korur ve çeşitli ürünlerin üretiminde önemli bir adımdır.

Kurutma performansını etkileyen çeşitli parametreler vardır:

1) İşletme Sıcaklığı: Kurutma işlemi sırasında kullanılan sıcaklık, nem alma hızı ve enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek sıcaklıklar daha hızlı kuruma sağlayabilir, ancak bazı malzemelerde kalite kaybına neden olabilir.
2) Nem Oranı: Kurutulacak malzemenin başlangıçtaki nem içeriği, kurutma sürecini etkiler. Yüksek nem içeriği daha uzun kuruma süreleri gerektirebilir.
3) Hava Akışı: Kurutma işleminde kullanılan hava akış hızı, nem alma hızını etkiler. Yüksek hava hızı daha hızlı kuruma sağlayabilir, ancak aşırı hızlı hava akışı bazı malzemelerde zarara neden olabilir.
4) Malzeme Özellikleri: Kurutma işlemine tabi tutulan malzemenin özellikleri, kurutma performansını etkiler. Malzemenin yoğunluğu, ısıl

iletkenliği, boyutu ve şekli gibi faktörler, kuruma süresi ve etkinliği üzerinde etkili olabilir.

5) İşlem Süresi: Kurutma süresi, malzeme tipine ve kurutma yöntemine bağlı olarak değişir. Uygun bir kurutma süresi seçimi hem enerji tasarrufu sağlar hem de kaliteyi korur.
6) Nem Alma Kapasitesi: Kullanılan kurutma ekipmanının nem alma kapasitesi, kurutma performansını etkiler. Yeterli nem alma kapasitesine sahip bir sistem, verimli bir kurutma işlemi sağlar.

Bu parametreler, kurutma işlemi ve performansını etkileyen temel faktörlerden bazılarıdır. Her malzeme ve uygulama için en uygun kurutma parametreleri farklı olabilir ve dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır.

Çamaşır kurutma makinesindeki kurutma performansını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler, makinenin ısıtma sistemi, hava akışı, tambur tasarımı, sensörler ve program/ayar seçenekleri gibi faktörlerden oluşur. Bu parametrelerin doğru şekilde ayarlanması ve kullanılması, çamaşırların hızlı, etkili ve enerji verimliliği yüksek bir şekilde kurumasını sağlar.

Çamaşır kurutma makinesindeki performansı etkileyen parametreler şunlardır:

1) Isıtma Sistemi: Kurutma işlemi için kullanılan ısıtma sistemi, kurutma performansını doğrudan etkiler. Elektrikli ısıtıcılar, gazlı ısıtıcılar veya ısı pompası gibi farklı sistemler kullanılabilir. Isıtma sisteminin gücü ve verimliliği, kurutma süresini ve enerji tüketimini belirler.
2) Hava Akışı: Kurutma işleminde kullanılan hava akışı, çamaşırların hızlı ve etkili bir şekilde kurumasını sağlar. Yeterli hava akışı, çamaşırların düzgün bir şekilde dağılmasını ve nemin daha hızlı uzaklaştırılmasını sağlar.
3) Tambur Tasarımı: Çamaşır kurutma makinesinin tambur tasarımı, çamaşırların dönerken daha iyi bir hava akışı sağlamasına yardımcı olur. İyi tasarlanmış tambur, çamaşırların düzgün bir şekilde dağılmasını ve kurutma performansını artırır.
4) Sensörler: Gelişmiş çamaşır kurutma makineleri, nem sensörleri ve sıcaklık sensörleri gibi sensörlerle donatılmış olabilir. Bu sensörler, çamaşırların nem seviyesini ve sıcaklığını izleyerek kurutma süresini ve

ısıtma seviyesini buna göre ayarlar. Sensörlerin doğru çalışması, enerji verimliliğini artırır ve çamaşırların gereksiz yere fazla kurumasını önler.

5) Program ve Ayarlar: Çamaşır kurutma makinesindeki program ve ayar seçenekleri, kullanıcının kurutma işlemini kontrol etmesini sağlar. Kurutma süresi, sıcaklık ayarı, hassas kurutma veya ekstra kuru gibi seçenekler, kullanıcının tercihlerine göre ayarlanabilir.

Bu parametreler, çamaşır kurutma makinesinin performansını etkileyen temel faktörlerdir. Her bir parametre, çamaşırların daha hızlı ve etkili bir şekilde kurumasını sağlamak için doğru şekilde ayarlanmalıdır. Ayrıca, üretici talimatlarına uygun olarak kullanılmalı ve periyodik bakımlarının yapılması da önemlidir.

4
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan tez çalışması kapsamında hazırlanan test düzeneğinde kapasite, fan devri ve kanat sayısı değişkenleri incelenerek bu parametrelerin kurutma süresine, kurutma performansına, kurutma verimi gibi çıktılara olan etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Mevcut bir kurutma makinesi bahsedilen değişikliklerin yapılması ile birlikte deney için istenen koşul sağlanmıştır.

4.1 Ölçüm Ekipmanları

4.1.1 Sıcaklık Ölçümleri

Deney düzeneğinde, belirlenen çalışma noktası sıcaklıklarının ölçümü amacıyla T-tipi ısıl çiftler kullanılmıştır. Kullanılan bu ısıl çiftler, -200°C, +400°C sıcaklıkları aralığında ölçüm yapabilmektedirler. Bu ısıl çiftlerin ölçüm hassasiyetleri ±0,2°C olup, kalibrasyonları yapılmıştır.

4.1.2 Bağıl Nem Ölçümleri

Deney düzeneğinde, proses havasının nem değişimini gözlemlemek ve testler arasında kıyas yapabilmek amacıyla anlık olarak bağıl nem miktarının ölçülebilmesi amacıyla Elitech GSP-6 sıcaklık ve nem kayıt cihazı kullanılmıştır. Sıcaklık ölçüm aralığı -40 ℃ ile 90 ℃ aralığında olup, ±0,1 ℃ hassasiyete sahiptir. Bağıl nem aralığı %10 ile %99 aralığındadır ve %0,1 ölçüm hassasiyetine sahiptir.



Şekil 4.1 Bağıl Nem Sensörü

4.1.3 Çamaşırdan Uzaklaştırılan Suyun ve Filtrelerin Ölçülmesi (Terazi)

Drenaj pompasının iptal edildiği deney düzeneğinde, buharlaştırıcıda yoğuşan nem, drenaj hattı yerine su toplama kabına ulaşmak için bir hortum aracılığıyla bir delik açılan yuvadan geçmektedir. Su miktarının hassas terazi üzerinde anlık olarak ölçülmesi amacıyla su toplama kabına yönlendirilmiştir. Hassas terazi kullanılarak yoğuşan su miktarı anlık olarak ölçülmektedir. Ayrıca, bilgisayarla hassas terazi arasında veri iletişimi sağlanarak zamana bağlı veriler alınabilmektedir. Şekil 4.2'de test düzeneğinde kullanılan hassas terazi gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Densi hassas terazi

Deney düzeninde kullanılan hassas terazi, Densi HZQ modelidir ve 6 kg maksimum ölçüm kapasitesine sahiptir. Belirtilen bu hassas terazi, 0,1 gr hassasiyet özelliğine sahiptir.

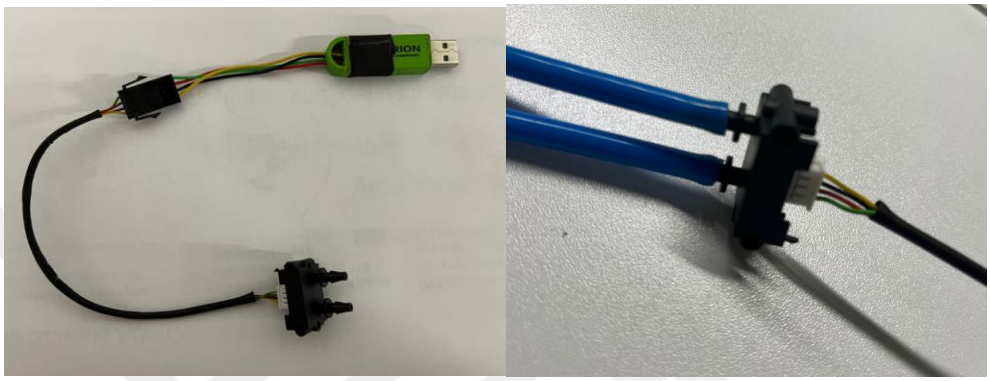
Filtrelerde oluşan hav miktarını ölçmek amacıyla 0,01 gr hassasiyete sahip Radwag marka hassas terazi kullanılmıştır. 4,5 kg kapasiteye sahiptir. Şekil 4.3'te belirtilmiştir.



Şekil 4.3 Radwag Hassas Terazi

4.1.4 Basınç Fark Sensörü

Kanat tasarımı, kapasite, fan devri gibi parametrelerin debi üzerindeki değişimini görmek amacıyla test boyunca debi ölçümü yapılmıştır. Bu amaçla, rüzgar tünelinde makinenin basınç-debi ilişkisi çıkartılmıştır. Bu bölüm 4.3'te detaylı anlatılacaktır. Bu ölçümlerin yapılabilmesi için Sensiron SDP600 basınç fark sensörü kullanılmaktadır. Bu sensörün hassasiyeti 0,2Pa±%3 olarak belirtilmiştir. Bu bağlamda görsel Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Basınç Fark Sensörü

4.1.5 Veri Toplama Sistemi

Testler esnasında ölçülmesi gereken güç, süre, toplam enerji ve deney düzeneğine yerleştirilen ısıl çiftlerden yapılan sıcaklık ölçümleri veri toplama sistemi yardımı ile yapılmaktadır.



Şekil 4.5 Veri toplama sistemi

4.2 Deneyin Yapılışı

Deneysel çalışma, çamaşır kurutma makinesi performans testi standardı olan EN-61121:2012'ye göre gerçekleştirilmiştir.

Çamaşır hazırlığı için istenilen kapasitedeki kuru yük, deterjansız olarak çamaşır makinesinde 15 dakikalık hızlı programda yıkanır. Yıkama işleminden sonra, çamaşır %60 nem seviyesine ulaşması için 12 dakikalık ve 1000 d/dk sıkma programı kullanılır. Test öncesinde, ıslatılmış yük terazide tartılarak %60 nem seviyesine geldiğinden emin olunmuştur. Nem seviyesi istenilen noktada değilse, homojen olarak su eklenerek %60 nem seviyesi sağlanmıştır. Bir diğer önemli nokta ise yıkama işlemi sırasında kullanılan suyun sıcaklık düzeyidir. Standartlar gereği, kuru yıkama suyu sıcaklığının 15±2°C olması koşulunu sağlamalıdır.

Soğutucu ünitesi aracılığıyla, yıkama işlemi için gerekli olan 15 °C sıcaklıktaki su temin edilmiştir. Yıkama işleminden önce, su tankındaki yıkama suyunun sıcaklık değeri ısıl çiftler vasıtasıyla kontrol edilmiştir.

Testlerde kullanılacak olan farklı kapasitelerdeki yük için içerik, Tablo 4.1'de belirtilen standartlara uygun olarak hazırlanır.

Tablo 4.1 Yük-kapasite listesi

Tekstil Tipi/Kapasite	**8 kg**	**6 kg**	**4 kg**	**2 kg**
Pamuklu Çarşaf	3 adet	2 adet	2 adet	0
Pamuklu Yastık Kılıfı	12 adet	8 adet	4 adet	4 adet
Pamuklu Havlu	27 adet	24 adet	14 adet	9 adet

Tüm deney süreçleri, EN-61121 çamaşır kurutma makinesi performans test standardına göre gerçekleştirilmiştir. Test ortamının sıcaklık ve nem değerleri, laboratuvar ortamında 23±2°C ve %55±5 aralığında olmalıdır. Test odası, iklimlendirme cihazlarıyla şartlandırılarak bu değerler sağlanmıştır. Laboratuvarda, sıcaklık ve nem ölçümlerinin kalibrasyonu düzenli olarak yapılan cihazlar yerleştirilmiştir. Test öncesinde, ortam koşullarının kontrolü için sıcaklık ve nem değerleri bu cihazların kontrolü ile testlere başlanmıştır. Standart laboratuvar

şartlarının sağlandığı durumda, istenilen kapasitede %60 nemli pamuklu yük çamaşır kurutma makinesine standart katlama ve yük koyma koşullarında yüklenerek test başlatılmıştır. Veri toplama sistemi, test başlangıcından itibaren veri toplamak için aktive edilmiştir.

Standart gereği, makinenin çalışması anında şebeke gerilimi 230±1 V ve şebeke frekansı 50±1 Hz şartlarını sağlaması gerekmektedir. Şebeke gerilimi ve frekanstaki dalgalanmaları önlemek için, kurutma makinesi deney sırasında bir varyak aracılığıyla beslenmiştir.

Farklı kapasitelerdeki yüklerin %0 nem koşuluna ulaşması için yazılım ile ayarlanmıştır. Kurutmanın, çamaşır üzerindeki yükün azalmasına bağlı olarak yavaşlaması sebebiyle farklı kapasiteler de olsa yüzdesel olarak aynı kurutma sonu nem koşuluna ulaşması testlerin güvenilirliği açısından oldukça önemlidir.

4.2.1 Kurutma Makinelerinde Performans Standardı

Çamaşır kurutma makineleri enerji sınıfı, enerji verim katsayısına (EEI) dikkate alınarak değerlendirilmektedir. EEI denklem 4.1'deki gibi hesaplanır ve standart için 1 ondalık basamak yuvarlama işlemi yapılır. Tablo 4.2'de enerji verim katsayısına göre enerji verim sınıflarının tablosu bulunmaktadır.

$$\text{EEI} = \frac{AE_c}{SAE_c} \text{ x } 100 \tag{4.1}$$

Tablo 4.2 EEI'ya göre enerji sınıfları

Enerji Verim Sınıfı	EEI
A+++	EEI < 24
A++	24 ≤ EEI < 32
A+	32 ≤ EEI < 42
A	42 ≤ EEI < 65
B	65 ≤ EEI < 76
C	76 ≤ EEI < 85
D	85 ≤ EEI

SAE_c kWh/yıl cinsinden aşağıdaki denklem 4.2 şeklinde hesaplanır ve iki ondalık basamak yuvarlanır:[22]

$$SAE_c = 140 * c^{0,8} \quad (4.2)$$

Burada c katsayısı, ev tipi çamaşır kurutma makinesinin nominal kapasitesini temsil eden standart pamuklu program için kullanılmaktadır.

AE_c değeri, kWh/yıl cinsinden denklem 4.3'de belirtildiği şekilde hesaplanır ve iki ondalık basamak yuvarlanır:[22]

$$AE_c = E_t x 160 + \frac{(P_o\, x\, \frac{525600-(T_t\, x\, 160)}{2} + P_l\, x\, \frac{525600-(T_t\, x\, 160)}{2})}{60\, x\, 1000} \quad (4.3)$$

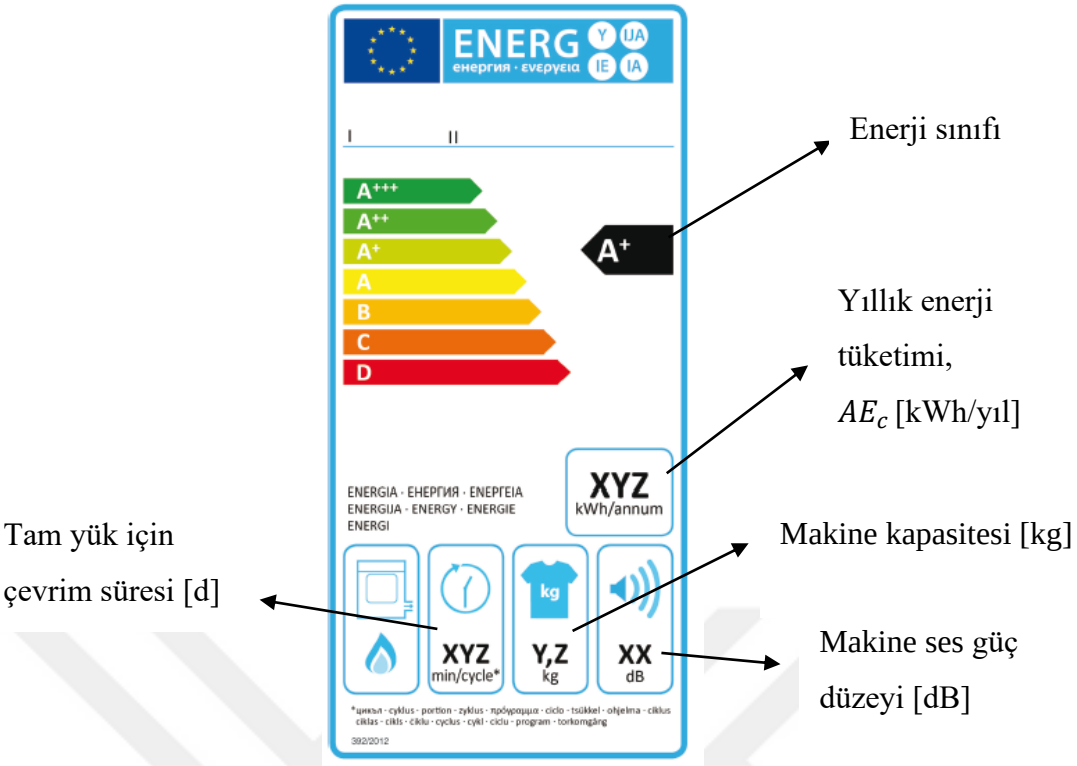
Standarda göre, bir çamaşır kurutma makinesinin yıllık enerji sarfiyatı hesaplanırken, ağırlıklı olmak üzere 3 kez tam yük ve 4 kez yarım yük ile çalıştığı ve bir yıl için 160 kez çalıştığı varsayılır. Yıllık enerji sarfiyatı hesaplanırken, ağırlıklı olarak kurutma süresi ve enerji tüketimi kullanılır. Bu, tavsiye edilen çamaşır kurutma kapasitesinin tam ve yarım kapasitedeki enerji tüketimi ve kurutma süresinin ağırlaştırılmış ortalamasıyla hesaplanır. Standart pamuklu programı için ağırlıklı program süresi dakika cinsinden hesaplanır ve en yakın dakikaya tam sayı olarak yuvarlanır. Denklem 4.4'te belirtildiği gibi hesaplanır.[22]

$$T_t = (3\, x\, T_{dry} + 4\, x\, T_{dry1/2})/7 \quad (4.4)$$

Ağırlıklı enerji tüketimi ise Denklem 4.5'te belirtildiği gibi hesaplanır, iki ondalık basamağa yuvarlanması gerekmektedir.[22]

$$E_t = (3\, x\, E_{dry} + 4\, x\, E_{dry1/2})/7 \quad (4.5)$$

Verilen bu standart verilerin kullanıldığı enerji etiketi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Kurutma makinelerinde standart enerji etiketi ve açıklamaları

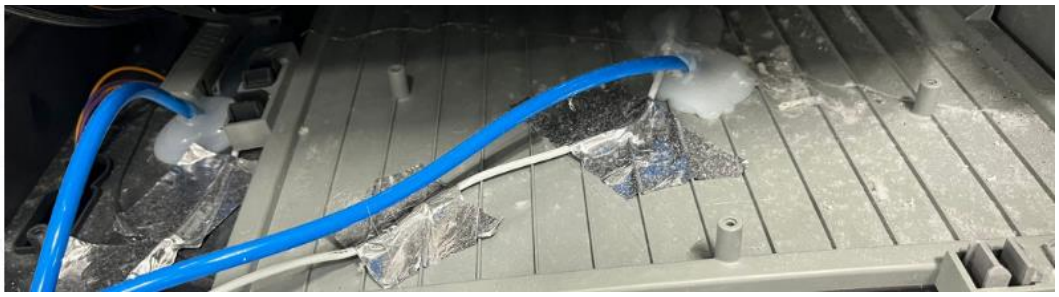
4.2.2 Debi Ölçümü

Arçelik Kurutma Makinesi İşletmesi'nde, soğutma ve proses havası debisinin farklı motor devirlerinde değişimini analiz etmek amacıyla rüzgâr tünelinde debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Rüzgar tüneli Şekil 4.7'de belirtilmiştir. Yapılan debi ölçümleri, "Arçelik-Rüzgar Tüneli Debi Ölçümü Test" koşullarına bağlı kalarak gerçekleştirilmiştir.[23] Proses havası debi ölçümleri, tambur boş iken ve içinde bulunan %60 neme sahip yük ile yapılmıştır.



Şekil 4. 7 Rüzgar Tüneli-Kurutma Makinesi Bağlantısı

Amaç, farklı motor devirlerinde yoğuşturucu giriş ve çıkışındaki basınç farkları ile tünelde ölçülen debi değeri arasında bir ilişkiyi belirlemektir. Bu ilişkinin elde edilmesinden sonra, makine kapalı devirde çalıştırılır ve yoğuşturucu giriş ve çıkışındaki basınç farkı Şekil 4.8'de gösterildiği yerlerden yeniden ölçülür. Elde edilen basınç farkı, belirlenen ilişkiye yerleştirilerek makinenin debisi hesaplanır.



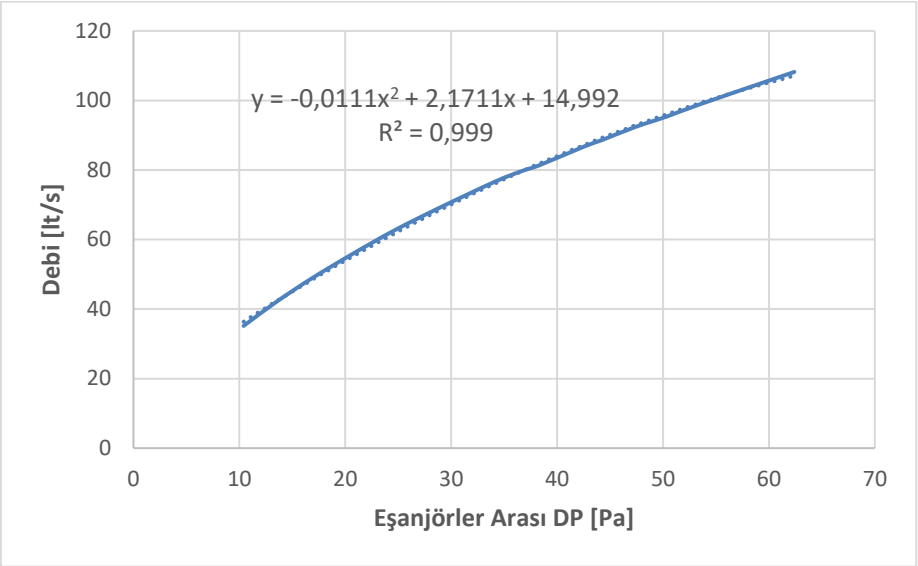
Şekil 4.8 Eşanjör bölgesi basınç farkı ölçümü

Yoğuşturucu giriş-çıkış arasındaki farkı ölçmek için, Sensirion basınç sensörü ve bir bilgisayar yazılımı kullanılmalıdır. Bu işlem için, yoğuşturucunun giriş ve çıkışına pnömatik bağlantılar yapılır ve Sensirion SPD610 Kitine bağlanan pnömatik borular kullanılır. Pnömatik boru bağlantıları yapıldıktan sonra, Sensirion fark basınç sensörünün yazılımı test bilgisayarı üzerinden açılır ve ölçümlere başlanır. Yoğuşturucu giriş-çıkışı arasındaki basınç ölçümleri, sistem stabil hale geldikten sonra yapılmalıdır. Ölçüm süresi olarak 10 saniye kullanılabilir. Bu süre boyunca Sensirion sensörü, yoğuşturucu giriş ve çıkışındaki basınç farkını doğru bir şekilde ölçer ve bu değerleri test bilgisayarına aktarır.

Yoğuşturucu giriş-çıkış basınç farkı ölçümü için hazırlıklar tamamlandıktan sonra, ısı pompalı kurutma makinesi rüzgar tüneline tambur girişinden bir kanal aracılığıyla bağlanır. Kurutucu makine tünele bağlandıktan sonra, tünel içinde bulunan lülenin giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı FCO-510 Micromanometer kullanılarak okunmalıdır. Yoğuşturucu giriş-çıkış ve lüle giriş-çıkış basınç ölçümleri bağlantılar yapıldıktan sonra belirli bir devirden başlayarak belirli artışlarla maksimum motor devrine kadar yoğuşturucu giriş-çıkış basınç farkı ve lüle giriş-çıkış basınç farkları ölçülür. Lüledeki basınç farkları sayesinde debi değerleri hesaplanır.

Bu amaçla farklı motor devirleri toplam 15 ölçüm yapılmış olup, bu ölçümler Tablo 4.3'te belirtilmiştir. Bu veriler kullanılarak çıkartılan Şekil 4.9 ile oluşturulan

denklem 4.1 sayesinde, makine tünelden ayrıldıktan sonra ölçülen basınç değerlerine karşılık gelen debi bulunabilecektir.



Şekil 4.9 Basınç farkı – debi ilişkisi grafiği

Tablo 4.3 Farklı devirlerde basınç farkı – debi ölçümleri

Fan Devri [d/dk]	Eşanjör Arası Basınç Farkı [ΔPa]	Debi [lt/s]
1400	10,4	35,16
1600	13,39	41,86
1800	16,65	48,47
2000	20,4	55,35
2200	24,65	62,65
2400	29,12	69,46
2600	34,18	76,7
2700	36,7	79,73
2800	38,35	81,39
2900	42,65	86,87
3000	44,21	88,57
3100	47,35	92,34
3200	50,4	95,42
3300	53,6	99,02
3400	62,4	108,2

Bu ölçüm sonuçları ile oluşturulan korelasyon grafiği ve test verileri makine boşken, yüklü durumda iken nemli ve kurumuş koşullarda ölçüm yapabilmemize olanak sağlamıştır. Oluşturulan korelasyon Denklem 4.6 ile belirtilmiştir.

$$\dot{m} = -0.0111 * \Delta P^2 + 2.1711 * \Delta P + 14.992 \quad (4.6)$$

4.2.3 Deney Tesisatı ve Test Koşulları

Deneylerin yapılabilmesi amacıyla ısı pompalı bir kurutma makinesi kullanılmıştır. Test bitimlerinde veriler, VTS ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

4.2.3.1 Isı Pompası Çevrimi

Şekil 4.10'da temel olarak ısı pompası grubu elemanları gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Isı Pompası Grubu

4.2.3.2 Kompresör

Isı pompası sisteminde, kompresör temel bir bileşen olarak kabul edilir. Temel görevi, dışarıdan alınan elektrik gücünü kullanarak düşük basınçlı soğutucu akışkanın basıncını yükselterek, sabit hacimdeki gazın sıcaklığını artırmaktır. Bu sayede, akışkan ısınır ve ısı pompası sistemi tarafından kullanılmak üzere yüksek sıcaklığa sahip bir ortam oluşturulur.

Çalışma noktası, sistem tarafından sağlanması gereken kapasite ve iş yüküne bağlı olarak belirlenir. Bu çalışma noktasına göre, uygun kapasiteye sahip kompresörler seçilerek sistem verimliliği ve performansı optimize edilir. Şekil 4.11'de kurutucu makinelerde kullanılan bir dönel(rotary) tip kompresör gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Kurutucu dönel (rotary) kompresör

4.2.3.3 Yoğuşturucu

Kompresör, soğutucu akışkanın basıncını ve sıcaklığını artırdıktan sonra, akışkanı yoğuşturucuya doğru yönlendirir. Isı pompalı kurutma makinelerinde, yoğuşturucu olarak adlandırılan bir bileşen, diğer tiplerde kullanılan ısıtıcının görevini üstlenir. Yoğuşturucuda, proses havası tarafından ısıtılan soğutucu akışkan gaz fazından sıvı fazına geçer. Şekil 4.10'da, bakır borulardan oluşan bir yoğuşturucunun kullanıldığı ısı pompası sistemi görseli gösterilmektedir.

4.2.3.4 Buharlaştırıcı

Kısılma vanasından çıkan düşük sıcaklık ve düşük basınçtaki çift fazlı (gaz-sıvı karışımı) soğutucu akışkan, buharlaştırıcıya yönlendirilir. Buharlaştırıcı, yüksek sıcaklık ve bağıl nemdeki proses havasıyla soğutucu akışkan arasında ısı transferi sağlar. Proses havası, buharlaştırıcıya girdiğinde soğur ve sıcaklığı çiğ noktası sıcaklığının altına düşer. Bu sırada yoğuşma meydana gelir. Proses havasından soğutucu akışkana ısı transferi gerçekleşir ve soğutucu akışkan kızgın buhar haline dönüşür. Şekil 4.10'da, bakır borulardan oluşan buharlaştırıcının kullanıldığı ısı pompası sistemi görseli bulunmaktadır.

4.2.3.5 Kılcal Boru

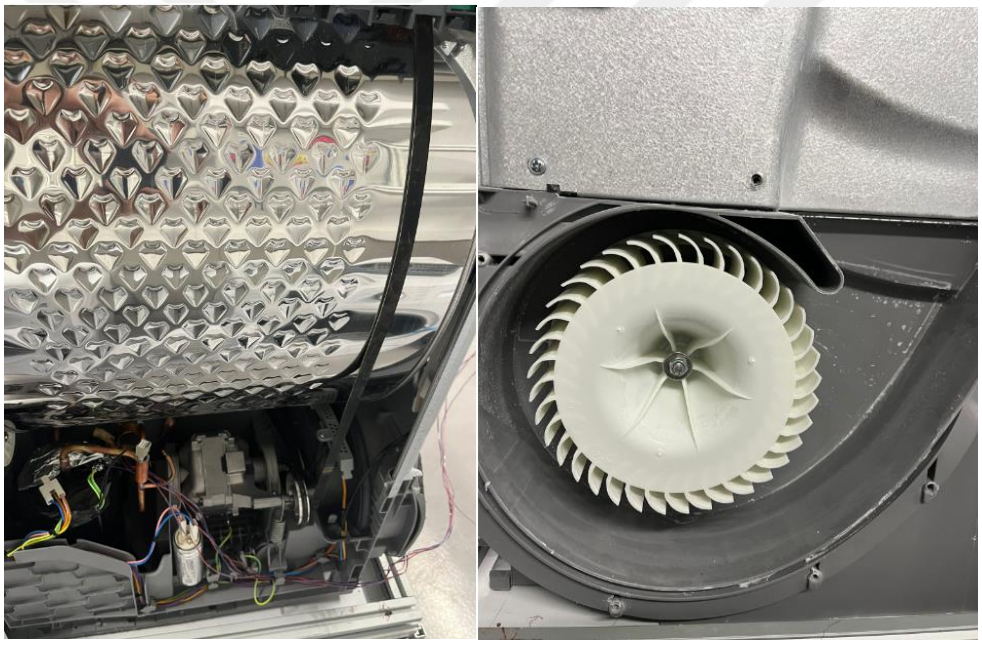
Yoğuşturucudan çıkan yüksek sıcaklık ve yüksek basınçtaki sıvı haldeki soğutucu akışkan, kısılma vanasından geçerek Joule-Thomson etkisiyle düşük sıcaklık ve düşük basınca dönüşür. Isı pompalı kurutma makinelerinde kısılma vanasının maliyetini düşürmek için kılcal borular kullanılır. Şekil 4.10'da kılcal borunun resmi ısı pompası grubunda bulunmaktadır. Kılcal boru, ince bir boru yapısıyla sıvı soğutucu akışkanın basıncını düşürerek bu dönüşümü sağlar.

4.2.3.6 Soğutucu Akışkan

Isı pompası sistemlerinde soğutucu akışkan, ısının sistem üzerinde aktarılmasında kullanılan bir gazdır. Isı pompalı çamaşır kurutma makinelerinde, soğutucu akışkan sayesinde buharlaştırıcıda soğutulan hava yoğuşturucuda ısıtılmaktadır. Çalışmada kullanılan ısı pompası grubunda verimliliğiyle de bilinen R290 gazı kullanılmıştır.

4.2.3.7 Tambur, Motor ve Proses Fanı

Kurutma makinelerinde kullanılan motor ile hem proses fanı hem de tambur tahrik edilebilmektedir. Proses fanının tahrik edilmesiyle, sistem içerisinde çevrimi gerçekleşen proses havası sirkülasyonu sağlanmaktadır. Aynı zamanda kayış-kasnak mekanizması ile birlikte motor tamburu tahrik etmektedir. Proses fanı ve motor-tambur kayış kasnak mekanizması Şekil 4.12'de belirtilmiştir.



Şekil 4.12 Tambur-motor bağlantısı ve proses fanı

Kurutuculardа hem sabit devirli hem de değişken devirli motorların kullanılmasıyla birlikte farklı fan devirlerinde proses fanını tahrik ederken, tambur devrinin de değişmesi sağlanabilmektedir. Tamburdaki dönme hareketi sayesinde tambur içerisindeki çamaşırlar homojen bir şekilde kuruyabilmekte, saat yönünde ve tersinde dönüşler ile birlikte çamaşırda oluşan topak açılabilmektedir. Enerji verimliliği açısından tambur algoritması oldukça önemlidir.

Yapılan tüm testlerde tambur algoritması sabit tutulmuştur.

Farklı fan devirlerini sağlamak amacıyla değişken devirli (BLDC) motor kullanılmıştır. Ancak geleneksel kurutma makinelerinde tambur ve fan aynı motor yardımı ile tahrik edildiğinden fan için motor devrinde yapılan değişiklik tambur devrini de etkilemektedir. Yapılan literatür taramasında tambur devrinin direkt olarak kurutma performansına etkisi olduğundan farklı kasnaklar kullanılarak tambur devrinin sabit kalarak sadece fan devrinin değiştirilmesi sağlanmıştır. Kullanılan kasnaklar Şekil 4.13'te belirtilmiştir.



Şekil 4.13 Tambur devri için farklı boyut kasnaklar

4.2.3.8 Filtre

Tambura giren nemli ve sıcak hava, çamaşırlar ile ısı ve kütle transferi sonucunda buharlaştırıcıya gitmeden önce filtreden geçmektedir. Filtrede çamaşırdan kopartılan havların (tiftiklerin) tutularak ısı pompası sistemine gitmesi engellenmektedir. Bu sayede havların öncelikle buharlaştırıcıda olmak üzere sistemdeki eşanjörlerde birikmesinin önüne geçilmiş olunur. Şekil 4.14'te makine üzerinde ve hav ile dolmuş halde filtreler gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Hav ile dolu ve makine üzerinde filtreler

Yapılan testler esnasında her çevrim başında filtre boş iken ve çevrim sonunda filtre hav ile dolmuş iken tartılmıştır ve her çevrim sonunda filtreler temizlenmiştir.

4.2.3.9 Tambur Kanatları

Tambur içerisinde bulunan iki adet kanat çamaşırların homojen kurumasını ve çamaşırların homojen bir şekilde kurumasını, topak olmamasını sağlama işlevini görmektedir.

Ek olarak test düzeneğinde kullanılan, tambur arka deliklerinden çıkan havanın tambur çeperinden çamaşırlara verilmesini sağlamak amacıyla yeni bir kanat tasarımı çalışılmıştır. Bu kanadın tambur üzerindeki konumu ve tambur delikleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da belirtilmiştir.



Şekil 4.15 Tambur delikleri boş ve yeni tasarım kanadın takılmış durumu



Şekil 4.16 Yeni tasarım kanat

4.2.3.10 Deney Düzeneği ve Test Parametreleri

Şekil 4.17'de gösterilen deney düzeneği ile birlikte test esnasında yoğuşan suyun anlık olarak ölçülmesi için buharlaştırıcı-pompa arasından terazi üzerindeki kovaya bağlantı yapılmıştır ve test boyunca ölçüm alınmıştır. Test başında ve sonunda ölçüm yapmak amacıyla yoğuşturucu giriş-çıkış basınç farklarını alınarak debi ölçümleri yapılmıştır. Ek olarak filtre bölgesinden yani tambur çıkışından sıcaklık ve bağıl nem verileri toplanmıştır. Enerji ve süre ölçümleri VTS ile bilgisayar aktarılmıştır.



Şekil 4.17 Test düzeneği

Testler 4 farklı kapasite, 4 farklı fan devri ve 4 farklı kanat koşulunda yapılmış olup, Tablo 4.4'te belirtilmiştir.

Tablo 4.4 Test Koşulları

Kapasite [kg]	Fan Devri [d/dk]	Kanat Sayısı
8	2800	0
6	3000	1
4	3100	2
2	3200	3

4.4 Belirsizlik Analizi

Deney düzeneğindeki ölçüm sisteminden elde edilen verilerle SMER, MER, enerji tüketimi, kurutma süresi ve filtrede toplanan hav miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sırasında kullanılan sıcaklık, ağırlık, basınç farkı ve nem gibi verilerin belirsizliği, elde edilen sonuçların belirsizlik hesaplamasında oldukça önemlidir.[24]

Kline ve McClintock tarafından geliştirilen yöntemde, hesaplanması gereken P büyüklüğünün belirsizliği, deneysel olarak elde edilen n adet bağımsız değişken $x_1, x_2, x_3 \ldots x_n$ için ait olan belirsizlik değerleri $w_1, w_2, w_3 \ldots w_n$ ile hesaplanmaktadır. Denklem 4.7 ile bu P değeri hesaplanabilmektedir.

$$P = P(x_1, x_2, x_3 \ldots x_n) \tag{4.7}$$

Bu yöntemde toplam hata oranı $w_p$olarak adlandırılmaktadır.[24] Denklem 4.8'e, Tablo 4.5'te belirtilen belirsizlik değerlerinin konulması ile birlikte Tablo 4.6'daki belirsizlik sonuçları oluşturulmuştur.

Tablo 4.5 Ölçüm Ekipmanları ve Hata Oranları

Ölçüm Ekipmanı	Kısaltma	Hata Oranı
Süre Ölçümleri VTS Kaynaklı	$w_{\Delta ta}$	±0,1 s
Süre Ölçümleri Okuyucudan Kaynaklı	$w_{\Delta tb}$	±0,1 s
Hassas Terazi Kaynaklı	w_{ma}	±0,1 g
Hassas Terazi VTS Kaynaklı	w_{mb}	±0,05 g
Nem Sensörü Kaynaklı	$w_{\theta a}$	±0,1 %
Nem Sensörü VTS Kaynaklı	$w_{\theta b}$	±0,1 %
Enerji VTS Kaynaklı	w_{E_a}	±1 Wh
Enerji VTS Okuyucudan Kaynaklı	w_{E_b}	±0,1 Wh

$$w_p = \pm \left[\left(\frac{\partial P}{x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{x_3} w_3 \right)^2 + \ldots\ldots + \left(\frac{\partial P}{x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.8)$$

Bağıl nem ölçümleri için nem sensöründen kaynaklanan hata $w_{\theta a}$, VTS sisteminden kaynaklanan hata $w_{\theta b}$ olmak üzere hata Denklem 4.9'daki gibi hesaplanabilir.

$$w_\theta = \pm \left[(w_{\theta a})^2 + (w_{\theta b})^2 \right]^{1/2} \quad (4.9)$$

Terazi ölçümleri için teraziden kaynaklanan hata w_{ma}, VTS sisteminden kaynaklanan hata w_{mb} olmak üzere hata Denklem 4.10'daki gibi hesaplanabilir.

$$w_m = \pm \left[(w_{ma})^2 + (w_{mb})^2 \right]^{1/2} \quad (4.10)$$

Süre ölçümleri için VTS'den kaynaklanan hata w_{ta}, okuyucudan kaynaklanan hata w_{tb} olmak üzere hata Denklem 4.11'deki gibi hesaplanabilir.

$$w_t = \pm \left[(w_{ta})^2 + (w_{tb})^2 \right]^{1/2} \quad (4.11)$$

Kurutma işleminde harcanan enerji tüketiminin ölçülmesinde ortaya çıkabilecek hatalar, için VTS'den kaynaklanan hata w_{E_a}, okuyucudan kaynaklanan hata w_{E_b} olarak alınır. Bu bağlamda Denklem 4.12'deki gibi enerji tüketiminde yapılabilecek toplam hata hesaplanabilir.

$$w_E = \pm \left[\left(w_{E_a} \right)^2 + \left(w_{E_b} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.12)$$

SMER için belirsizlik w_S Denklem 4.13 ve 4.14 ile bulunabilir.

$$w_S = \pm \left[\left(\frac{\partial S}{\partial_m} w_m \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial_E} w_E \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.13)$$

$$w_S = \pm \left[\left(\frac{1}{E} w_m \right)^2 + \left(\frac{-m}{E^2} w_E \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.14)$$

MER için belirsizlik w_M, Denklem 4.15 ve 4.16 ile bulunabilir.

$$w_M = \pm \left[\left(\frac{\partial M}{\partial_m} w_m \right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial_{\Delta t}} w_{\Delta t} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.15)$$

$$w_M = \left[\left(\frac{1}{\Delta t} w_m \right)^2 + \left(\frac{-m}{\Delta t^2} w_{\Delta t} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.16)$$

MER ve SMER için tüm koşullar için hesaplanmış olup EK kısmında belirtilmiştir, bu hesaplamalara göre ortalama alınarak Tablo 4.6 oluşturulmuştur.

Tablo 4.6 Ölçüm koşulları için belirsizlikler

Ölçüm	**Belirsizlik**
Enerji	±1,005 Wh
Süre	±0,1414 s
Hassas Terazi	±0,112 g
MER	±0,0153 [kg/h]
SMER	±0,0285 [kg/kWh]

5
DENEY SONUÇLARI

5.1 Debiye Etkisinin İncelenmesi

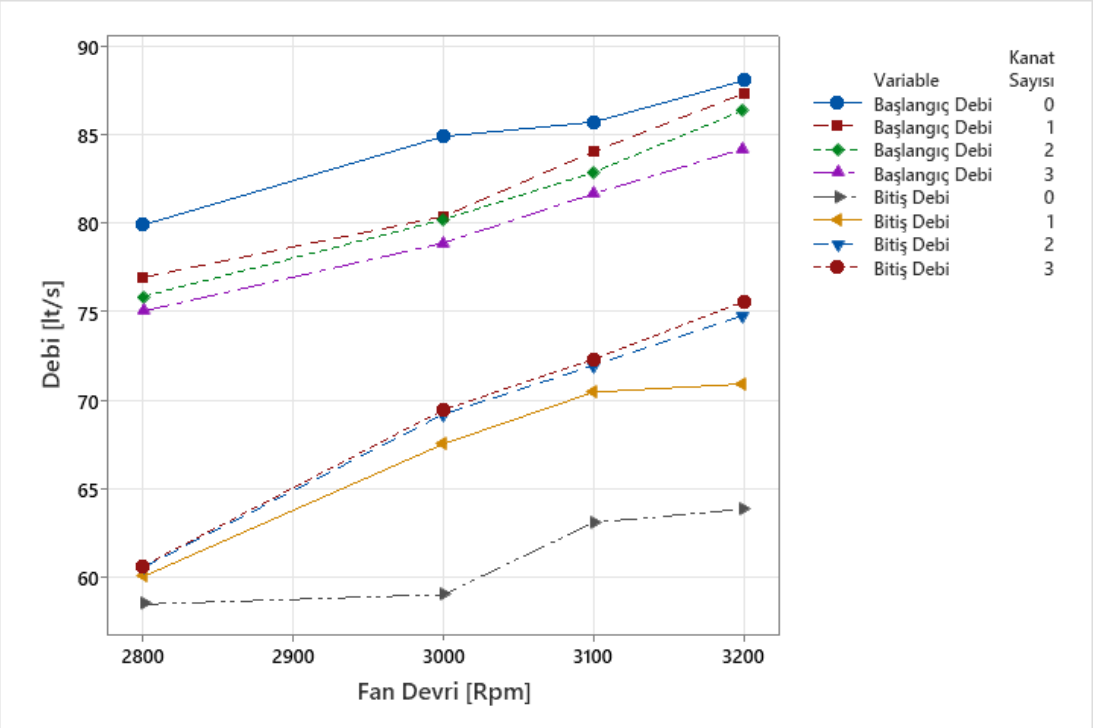
Denklem 4.6 kullanılarak 2800, 3000, 3100 ve 3200 d/dk fan devrinde 0, 1, 2 ve 3 kanatlı durumlarda tambur boş iken ölçümleri yapılmıştır. Tambur boş halde ve ısı pompası grubu çalışmaz durumda yani sadece ortam koşulundaki havanın çevrimi ile yapılan bu ölçümler sonucunda beklendiği üzere fan devrinin artmasının debiyi arttırdığı gözlemlenmiştir. Ek olarak kanat sayısının artması ile debinin azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 5.1'de belirtilmiştir.

Tablo 5.1 Tambur Boşken Farklı Fan Devri ve Kanat Sayısı İçin Debi Ölçümleri

Kanat Sayısı	Fan Devri [Rpm]	Tambur Boşken Basınç Farkı [Pa]	Tambur Boşken Debi [lt/s]
0	2800	43,4948	88,425
0	3000	48,0024	93,633
0	3100	49,584	95,354
0	3200	50,5791	96,408
1	2800	40,6107	84,855
1	3000	43,9196	88,935
1	3100	47,2118	92,752
1	3200	50,3034	96,118
2	2800	39,3704	83,264
2	3000	43,3953	88,305
2	3100	46,138	91,533
2	3200	49,8372	95,624
3	2800	39,0312	82,823
3	3000	42,6098	87,349
3	3100	45,0524	90,275
3	3200	47,7666	93,372

Ayrıca kanat ve fan devrinin debi değişimi üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla 8 kg kapasiteli test başlangıç ve bitişlerinde debi ölçümleri yapılmıştır.

Test sonunda nemli çamaşırın kuruması ile birlikte çamaşır açılarak hacmini arttırmaktadır. Bu durum sabit tambur hacminde olduğundan akışın zorlanmasına ve debinin düşüşüne yol açmaktadır. Ek olarak çamaşırlardan çıkan havların filtre bölgesinde toplanması ve eşanjör bölgesine gitmemesi istenmektedir. Çamaşırdan çıkan havların filtrede toplanması ile de debi düşüşü görülmektedir. Bu bağlamda yapılan testlere göre sonuçlar Tablo 5.2 ve Şekil 5.1'de belirtilmiştir.



Şekil 5.1 8 kg kapasitede farklı fan devri ve yeni tasarım kanat sayısında başlangıç ve bitiş debileri

Şekil 5.1 incelendiğinde, kanat kullanımının başlangıçta debi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu ancak çamaşır kurudukça durumun tam tersine döndüğü gözlemlenmektedir. Örneğin, 3000 d/dk fan hızında kanatsız durumda başlayan kurutma işlemi ~85 lt/s debiyle başlamakta ve debi düşüşüyle ~59 lt/s seviyesinde sonlanmaktadır (%43 azalma). Aynı fan hızında 1 kanat kullanılarak gerçekleştirilen kurutma işlemi ise kanatsız duruma kıyasla ~80 lt/s debiyle başlamaktadır, yani ~5 lt/s daha düşük bir debi seviyesi göstermektedir. Ancak, testin sonunda çamaşırın kuruyarak hacminin artmasıyla birlikte tambur arka deliklerinin kapanması nedeniyle debi düşüşü, kanatsız duruma göre daha fazla olmaktadır. Kurutma sonunda tamburun arka deliklerinde oluşan bu olumsuz

etkinin, kanatların tambur çeperinden havayı çamaşıra vermesiyle bir miktar engellendiği, yapılan debi ölçümleriyle ortaya konulmuştur.

Kanat sayısının artmasıyla birlikte kurutma işlemi sonundaki debi miktarının doğru orantılı olarak arttığı sonucuna varılmıştır. Ancak 2 ve 3 kanatlı durumlar testin sonunda benzer debi değerlerine sahiptir. Bu durum, kanatların normal hava akışını etkilemesiyle birlikte kanatsız duruma kıyasla getirdiği avantajı, hava akışını zorlaştırarak kaybettiği sonucuna işaret etmektedir.

Tablo 5.2 8 kg kapasitede farklı fan devri ve yeni tasarım kanat sayısında başlangıç ve bitiş debileri

Kanat Sayısı	Fan Devri [Rpm]	Başlangıç Basınç Farkı [Pa]	Başlangıç Debi [lt/s]	Bitiş Basınç Farkı [Pa]	Bitiş Debi [lt/s]
0	2800	36,86	79,94	22,67	58,51
0	3000	40,68	84,94	23,001	59,06
0	3100	41,32	85,75	25,49	63,12
0	3200	43,23	88,10	25,97	63,89
1	2800	34,71	76,98	23,61	60,06
1	3000	37,22	80,42	28,311	67,56
1	3100	40,01	84,09	30,24	70,50
1	3200	42,63	87,37	30,55	70,96
2	2800	33,94	75,89	23,93	60,59
2	3000	37,09	80,25	29,41	69,24
2	3100	39,1	82,91	31,25	72,00
2	3200	41,88	86,45	33,21	74,85
3	2800	33,36	75,07	23,98	60,67
3	3000	36,11	78,92	29,58	69,50
3	3100	38,18	81,70	31,49	72,35
3	3200	40,14	84,26	33,75	75,62

5.2 Tekstil Hasarlanmasına Etkisinin İncelenmesi

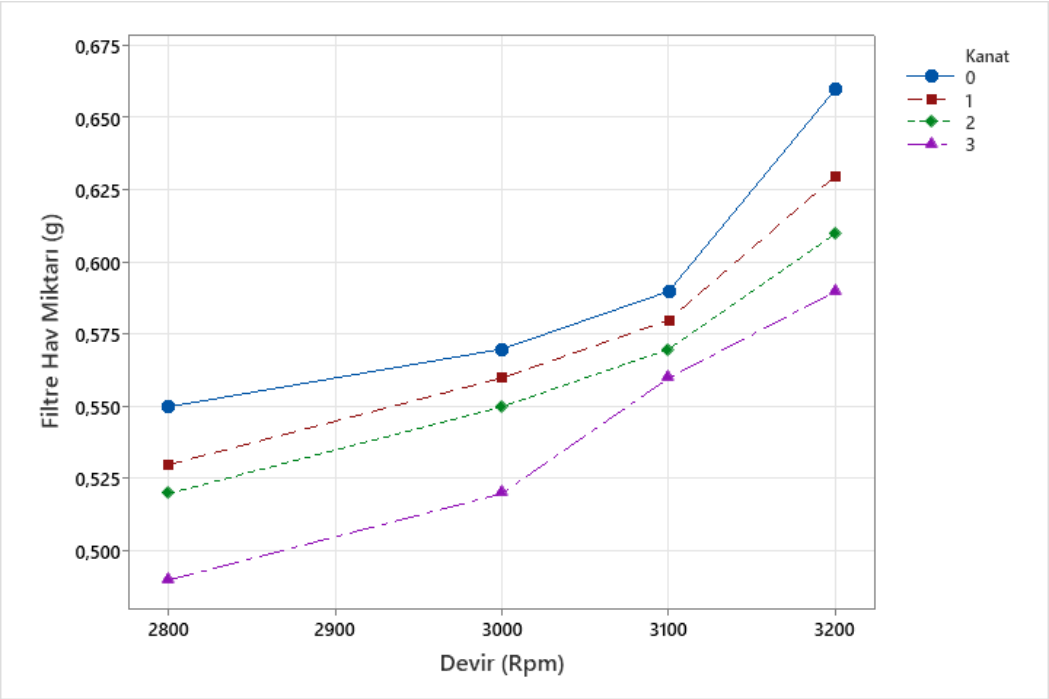
Kurutma makinelerinde, kurutma performansı kadar tekstil üzerinde meydana gelen hasarlar da müşteri açısından son derece önemli bir kriterdir. Bu hasarlar

arasında küçülme, kopma, tiftiklenme gibi etkiler bulunabilir. Fan devri ve tambur kanadı kullanımının tekstil üzerindeki hasarlara olan etkisini incelemek amacıyla, testin başında (filtre temiz ve boş iken) ve testin sonunda (filtre hav ile dolu durumda) hassas bir terazi kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Örnek bir ölçüm, dolu bir filtrenin varlığında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 5.2 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Hassas terazi ile hav dolu filtre ölçümü

8 kg sabit kapasitede farklı fan devri ve kanat sayılarıyla gerçekleştirilen ölçümler, Şekil 5.3 üzerinde görüldüğü gibi, debinin artmasıyla birlikte çamaşırdan çıkan hav miktarının yani filtrede toplanan hav miktarının da arttığını göstermektedir. Bu nedenle, debinin yükselmesiyle tekstil hasarının da arttığı sonucu çıkarılmaktadır. Ayrıca, Şekil 5.3 incelendiğinde kanat sayısının artmasıyla filtredeki hav miktarının azaldığı görülmektedir. Tambur delikleri yerine kanat veya kanatlardan gelen havanın oranının artması, tekstil hasarlanması üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Grafikte, 3000 d/dk fan devri altında kanat sayısına bağlı olarak incelendiğinde, en fazla hav çıkartan koşulun kanat kullanılmayan koşul olduğu görülmektedir. Ancak kanat sayısı arttıkça hav miktarının azaldığı gözlenmiştir.



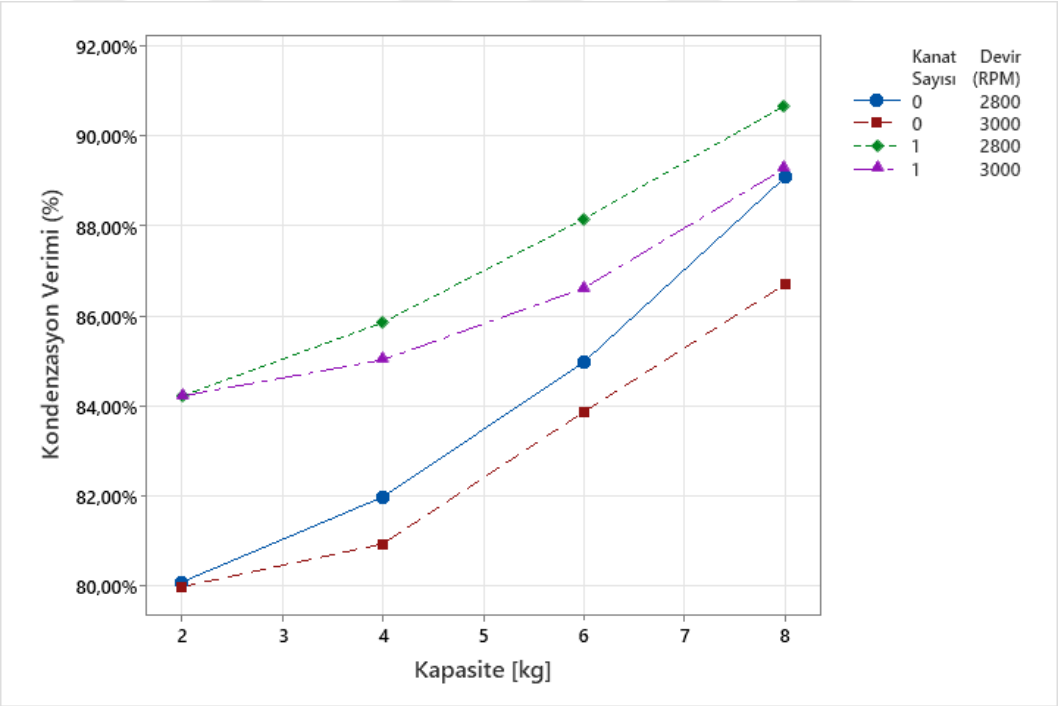
Şekil 5.3 8 kg kapasitede farklı devir ve kanat sayılarında filtrede toplanan hav miktarı

Filtredeki hav miktarının artması hava akışına dolayısıyla da debiye olumsuz bir etki yarattığından kurutma süresine, sistem sıcaklıklarına ve tüketilen enerjiye direkt olarak etkisi vardır.

5.3 Kondenzasyon Verimine Etkisinin İncelenmesi

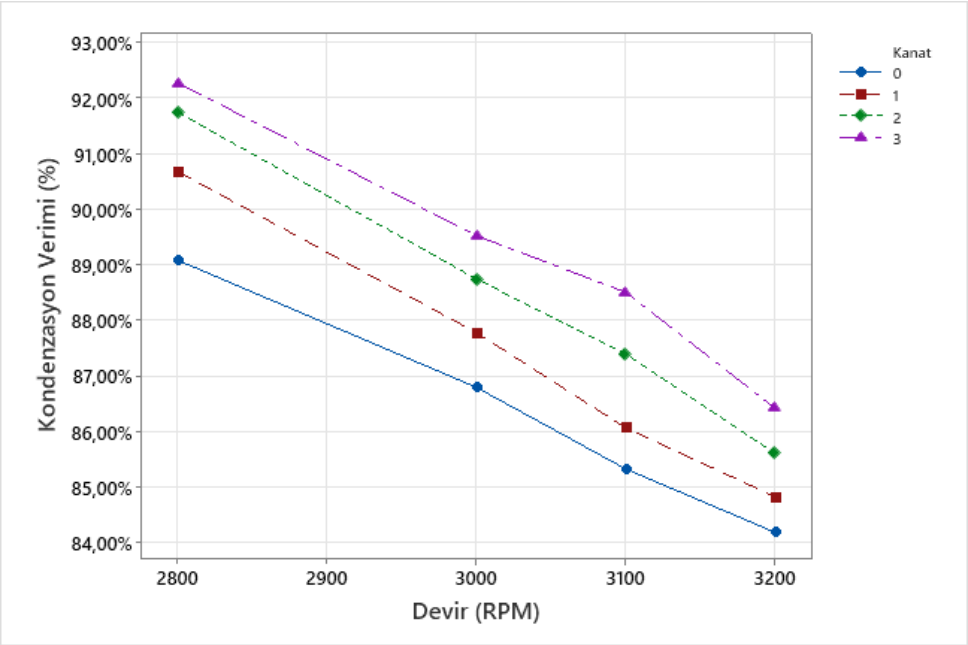
Çamaşır kurutma makinelerinde, çamaşırdan alınan nemin kontrollü bir şekilde toplanabilmesi son derece önemlidir. Bu nem miktarının, toplanan neme oranına olan yüzdesine su toplama verimi veya kondenzasyon verimi denir. Kaçan nemli hava, güvenlik açısından risk oluşturabilecek bileşenler olan elektronik kartlar, kablolar, elektrik bağlantılarına sahip kompresörler, motorlar, soğutma fanları gibi bileşenlerde sorunlara yol açabilir. Ayrıca müşteri açısından, bu kaçan nemli hava yoğuşarak pano, ön duvar, kapak gibi parçalarda su sızıntısı sorunlarına neden olabilir. Ancak bazı çalışmalar, nemli hava kaçağının enerji tüketimi üzerinde olumlu etkileri olabileceğini göstermektedir.[13] Bu nedenle çamaşır kurutma makinesi üreticileri, kondenzasyon verimini en uygun noktada tutmaya çalışmaktadır.

Fan devri, kapasite ve kanat sayısı değişkenleri ile birlikte kondenzasyon verimine etkisi incelenmiştir. Şekil 5.4 ve 5.5'te bu etkiler kıyaslamalı olarak belirtilmiştir. Kapasite artışının kondenzasyon verimini net bir şekilde artırdığı gözlemlenmiştir. Gataric ve diğerleri tarafından yapılan çalışma [13], kurutma süresi ile kaçan nemli hava arasında doğru bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, yüksek kapasiteli durumlarda kondenzasyon veriminin yüksek olmasının sebebi, süre-kurutma ilişkisinden kaynaklanmaktadır. Sistemin optimum çalışma noktasında, çalışma süresinin kapasite arttıkça yüzdesel olarak da artması nedeniyle, yüksek kapasiteli testlerde kurutma verimi süre açısından daha iyi olmaktadır ve bu durum kondenzasyon verimiyle ilişkilendirilebilir. Benzer şekilde yapılan diğer çalışmalarda [3,26,27], fan hızının yani debinin artmasıyla birlikte kondenzasyon veriminin düştüğü ve nemli havanın daha fazla kaçtığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4 Kapasite, kanat sayısı ve fan hızına bağlı olarak kondenzasyon veriminin değişimi

Şekil 5.5 incelendiğinde, fan devrinin artmasıyla kondenzasyon veriminin azaldığı gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra, kanat sayısının artmasıyla kondenzasyon veriminin arttığı görülmüştür.



Şekil 5.5 Sabit 8 kg kapasitede kanat sayısı ve fan hızına bağlı olarak kondenzasyon veriminin değişimi

5.4 Enerji Tüketimine ve Kurutma Süresine Etkisinin İncelenmesi

Çamaşır kurutma makinelerinin enerji tüketimi hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük öneme sahiptir. Kurutma makinesi, evdeki enerji tüketiminin önemli bir kaynağıdır ve enerji verimliliği bu tüketimin azaltılmasına yardımcı olabilir. Düşük enerji tüketimine sahip bir kurutma makinesi kullanmak, elektrik faturalarının düşmesine ve enerji maliyetlerinde tasarruf sağlanmasına olanak tanır. Aynı zamanda, enerji tüketimi doğrudan sera gazı emisyonlarına ve çevresel etkilere katkıda bulunur. Bu nedenle, enerji verimliliği yüksek kurutma makinelerinin tercih edilmesi, enerji tasarrufu sağlanması ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi açısından önemlidir.

Bu bağlamda yapılan çalışmada, 8 kg sabit kapasitede 2800, 3000, 3100 ve 3200 farklı fan devirleri ile kanat sayısı (0-1-2-3) değiştirilerek 16 farklı koşulda tekrarlı testler yapılmıştır. Bu sonuçlar Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

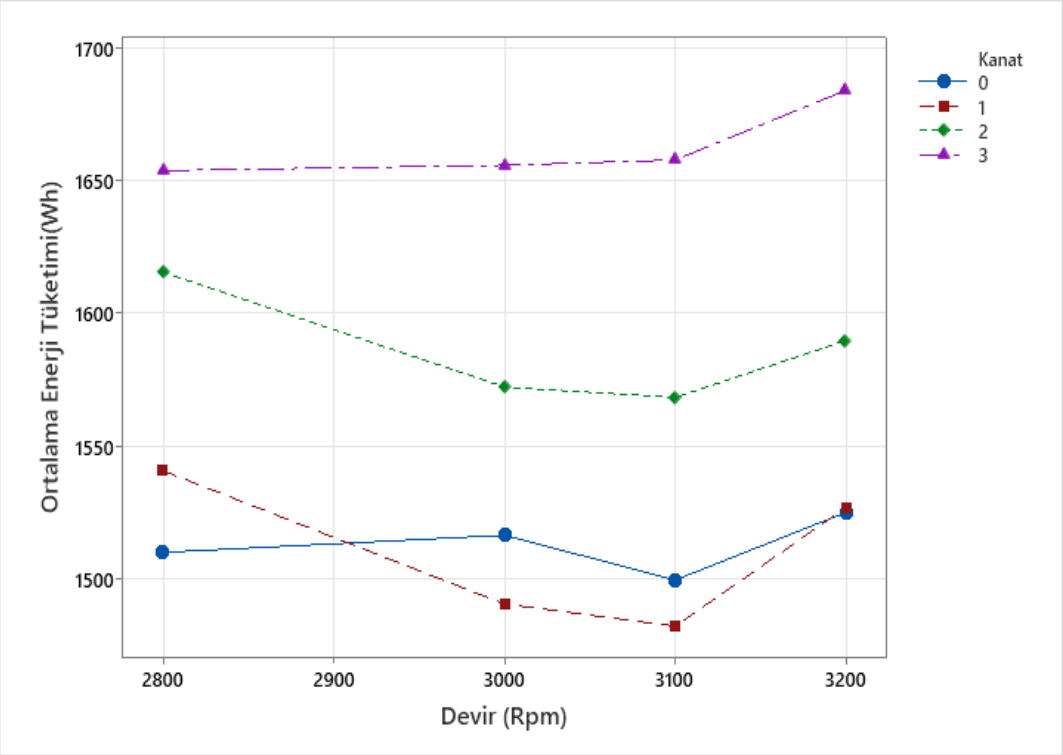
Genel olarak kanat sayısının artması enerji tüketimini olumsuz etkilediği görülse de 1 kanat kullanılan 3000 ve 3100 fan devrine sahip testlerin en düşük enerji

tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Kanatsız ve 1 kanatlı durumda yapılan testlerde tüm fan devirlerinde en düşük enerji tüketimi görülmüştür.

3 kanatlı koşulda fan devrinin artmasıyla enerji tüketiminin arttığı görülmekte iken 2 ve 1 kanatlı koşullarda 3100 d/dk'ya kadar fan devrinin artmasının enerji tüketimini düşürdüğü ancak 3200 d/dk fan devrine çıkıldığında enerji tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir.

Kanatsız koşulda ise fan devri-enerji tüketimi açısından değerlendirmek oldukça zordur.

En düşük enerji tüketimine 3100 d/dk ve 1 kanatlı durum ile ulaşılmıştır.



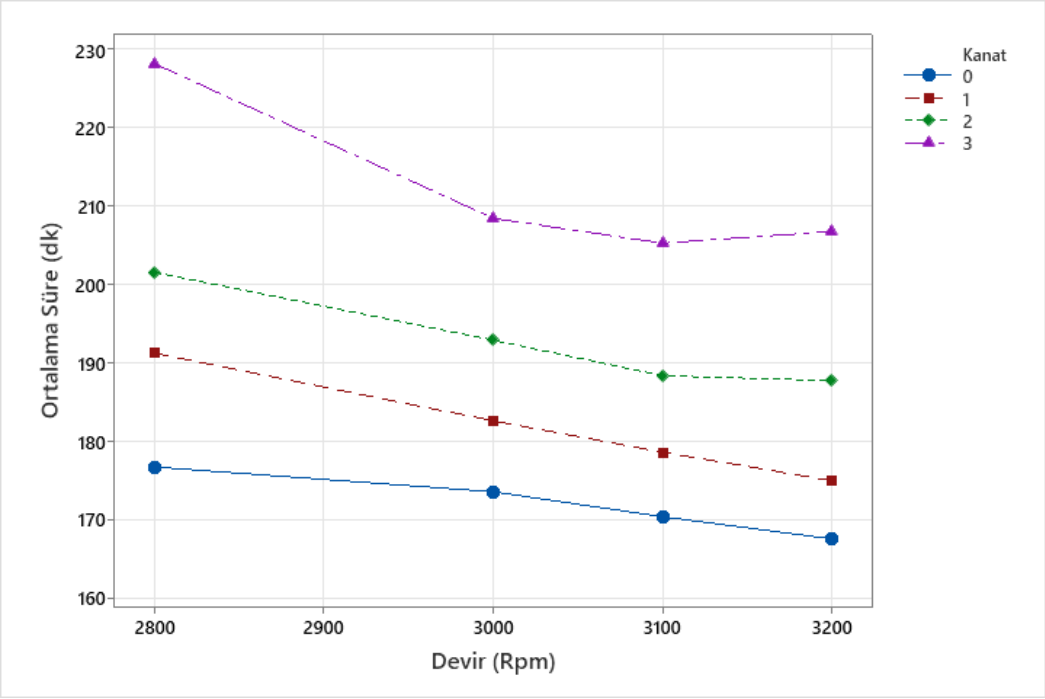
Şekil 5.6 Kanat sayısı ve fan hızına bağlı olarak enerji tüketiminin değişimi

Kurutma süresi, çamaşır kurutma makinelerinin performansını belirleyen önemli bir faktördür. Kısa kurutma süresine sahip bir makine, kullanıcıların zamandan tasarruf etmesini sağlar. Yoğun bir yaşam tarzına sahip olan bireyler için, hızlı kuruyan çamaşırlar günlük rutinlerinde daha fazla zaman ayırmalarını sağlar. Ayrıca, uzun kurutma süreleri daha fazla enerji tüketimine yol açar. Kısa kurutma süresine sahip enerji verimli bir makine, enerji tasarrufu sağlar ve enerji faturalarının düşmesine yardımcı olur. Bunun yanı sıra, enerji verimli kurutma süreleri çevresel etkileri azaltır. Kullanıcılar, daha hızlı kuruyan çamaşırlarla hem

zamandan hem de enerjiden tasarruf edebilir, bu da çevresel sürdürülebilirliği destekler.

Fan devrindeki değişimin kurutma süresindeki etkisi Şekil 5.7 ile incelenmiştir. Fan devrinin artması 3200 d/dk ve 3 kanat koşulu hariç tüm koşullarda kurutma süresini azaltmaktadır ve tüm testlerdeki farklar belirsizlik analizi dışında olup anlamlı farka sahiptir. Kanat sayısının artması da aynı şekilde çevrim başında debi düşüşüne sebep olduğundan kurutma süresini arttırdığı gözlemlenmiştir. Kurutma süresi ve enerji tüketimi direkt olarak ilişkili olduğundan enerji tüketimi ile birlikte değerlendirilmelidir. En iyi enerji tüketimine sahip olan kanatsız ve 1 kanatlı testlerin en düşük kurutma sürelerine sahip olduğu görülmektedir.

Kurutma süresi enerji tüketimine ve müşteriler açısından algısal bir kalite olduğundan, tekstil hasarlanması ile birlikte değerlendirilerek optimum nokta seçilebilir.



Şekil 5.7 Kanat sayısı ve fan hızına bağlı olarak kurutma süresinin değişimi

5.5 Özgül Nem Alma Oranı (SMER) ve Nem Alma Oranı (MER) Açısından Değerlendirme

Kurutma sistemlerinin enerji verimlerinin belirlenmesi için özgül nem alma oranı ve nem alma oranı kullanılmıştır. Spesifik nem alma oranı, kurutma işleminde

kullanılan enerjinin verimliliğini tanımlar. SMER, tüketilen enerji başına çıkarılan nem olarak tanımlanır ve fan gücü ve elektrikli cihazların verimlilikleri dahil olmak üzere kurutucunun toplam gücü ile ilgilidir.[28]

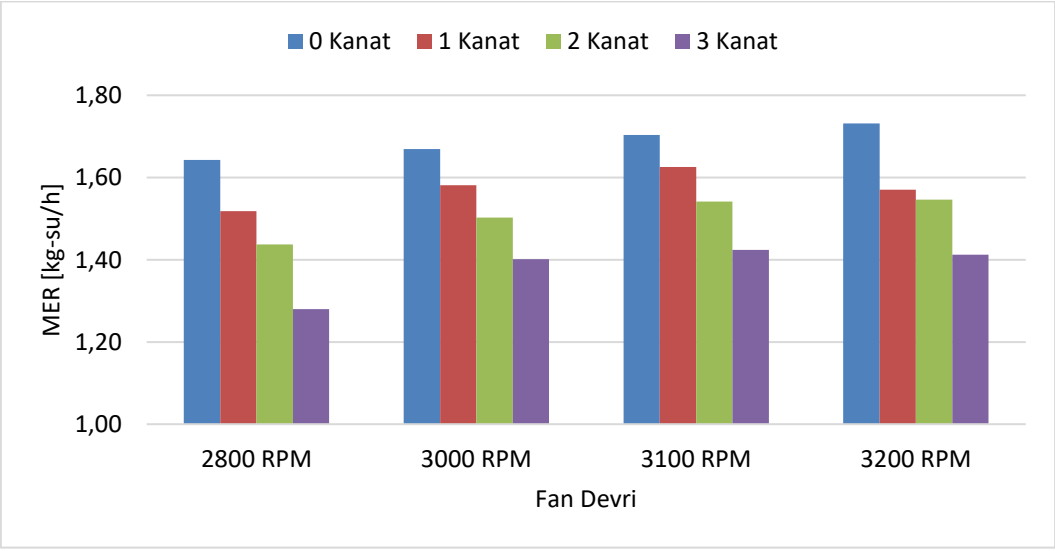
SMER Denklem 5.1'deki gibi tanımlanmıştır.

$$\text{SMER} = \frac{Kurutma\ sırasında\ uzaklaştırılan\ su\ miktarı}{Kurutma\ işleminde\ harcanan\ toplam\ enerji}\left[\frac{kg-su}{kWh}\right] \quad (5.1)$$

Nem çekme oranı (MER), zamana bağlı olarak çıkarılan nem olarak tanımlanır ve kurutucunun kapasitesini veya toplam çıkış oranını gösterir. [28] MER denklem 5.2'deki tanımlanmıştır.

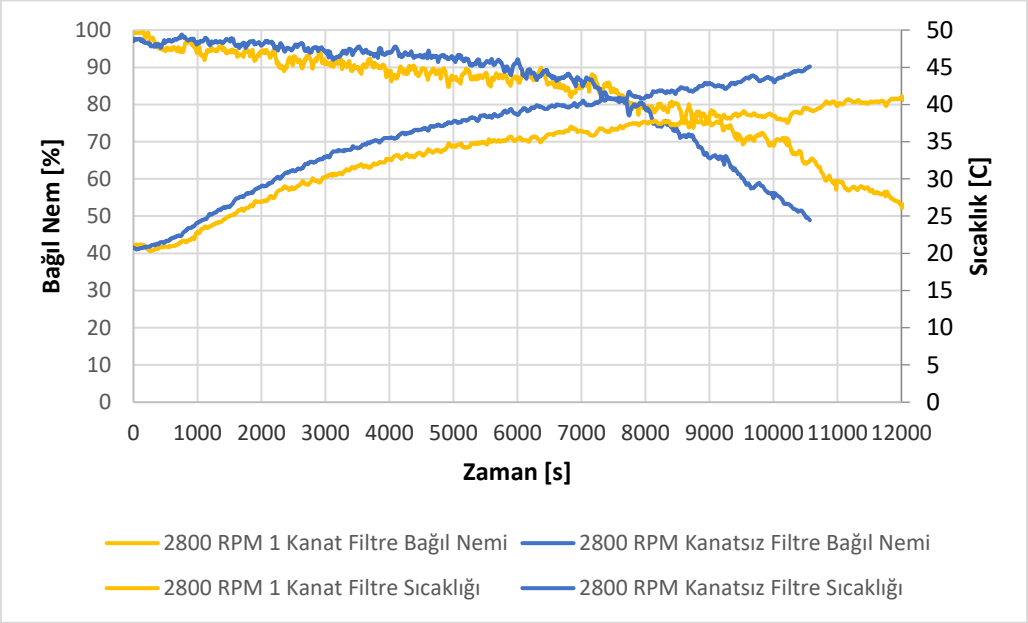
$$\text{MER} = \frac{Kurutma\ sırasında\ uzaklaştırılan\ su\ miktarı}{Kurutma\ işleminde\ harcanan\ toplam\ süre}\left[\frac{kg-su}{h}\right] \quad (5.2)$$

Şekil 5.8'de aynı fan devrinde ve sabit kapasitede (8 kg) farklı kanat sayıları için MER açısından karşılaştırma yapılmıştır. Grafiğe genel olarak bakıldığında, sabit kapasite ve fan devrinde kanat sayısının artmasının MER'i düşürdüğü görülmüştür. 8 kg kapasitede %60 nemdeki yükü %0 neme kuruttuğumuzdan yani 4800 gr suyu çamaşırdan uzaklaştırdığımızdan buradaki tek değişkenimiz süredir. Şekil 5.7'de de bahsedildiği üzere kanat sayısının artması sabit fan devrinde kurutma süresini arttırdığından, kanat sayısındaki artış MER'i düşürmektedir.



Şekil 5.8 8 kg sabit kapasitede, kanat sayısı etkisinin MER'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması

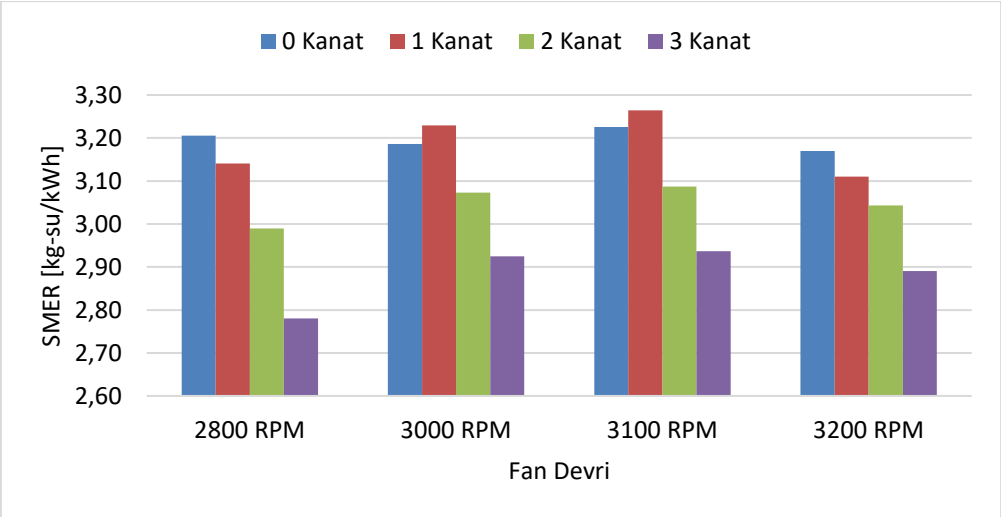
Şekil 5.9 8 kg kapasitede, kanatsız ve 1 kanat ile tam bir çevrim tambur çıkışı bölgesi zamana bağlı bağıl nem ve sıcaklık değerleri verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere tamburdan çıkan havanın sıcaklığının düşük olması ve bağıl nemin yani çamaşırdan koparttığı suyun da düşük olması ile birlikte 1 kanatlı durumlar daha uzun sürede kurutma gerçekleştirmiştir. Şekil 5.8'de MER için oluşan fark bu durum ile de açıklanabilmektedir.



Şekil 5.9 2800 d/dk sabit fan devrinde, kanatsız ve 1 kanatlı durumlardaki zamana bağlı sıcaklık ve bağıl nemler

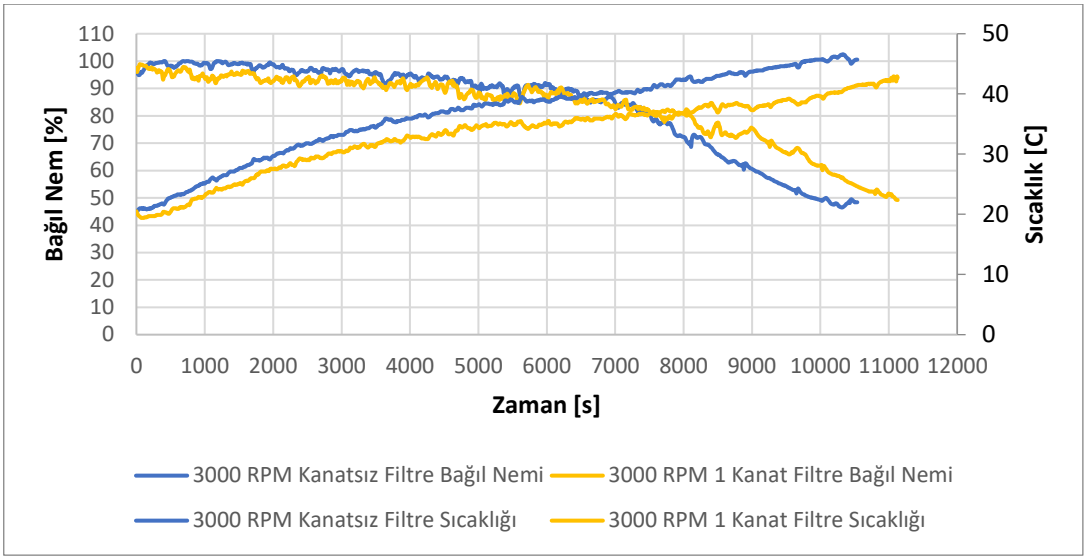
Sonuç olarak kanat sayısı ve kurutma süresi arasında direkt olarak bağlantı olduğu görüldüğünden, kanat sayısının MER üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 5.10'da aynı fan devri ve kapasitede farklı kanat sayılarında SMER açısından değişim kıyaslanmaktadır. 2800 ve 3200 fan devrinde kanat sayısının artmasıyla SMER'in düştüğü gözlemlenmekte iken 3000 ve 3100 d/dk fan devrinde 1 kanat kullanılması, diğer kanat sayılarına göre en yüksek SMER'e sahiptir.



Şekil 5.10 8 kg sabit kapasitede, kanat sayısı etkisinin SMER'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması

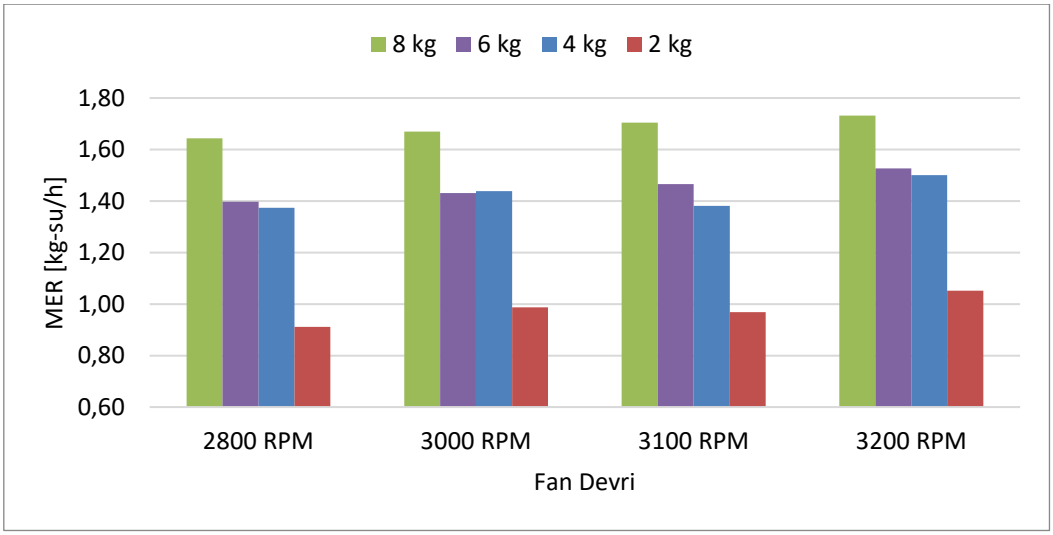
SMER'de oluşan bu duruma daha yakından bakmak amacıyla Şekil 5.11 incelendiğinde 1 kanatlı durum için tüm çevrim boyunca proses havası sıcaklığının tambur çıkışında daha düşük olduğu görülmektedir. Ek olarak 7000. sn sonrasında bağıl nemin, 1 kanatlı testte daha yüksek olduğu görülmektedir. Mutlak nem ile sıcaklık doğru orantılı olarak arttığı bilindiğinden ve 7000.sn'den sonra oluşan bu farkla birlikte kanatsız durumda ihtiyacımızın üstündeki sıcaklıklarda kurutma işlemi yapıldığı görülmektedir. Bölüm 5.1'de bahsedilen debi ölçüm sonuçlarında 1 kanatlı testlerin test sonunda daha yüksek debiye sahip olduğu bilinmektedir. Daha yüksek debi ile daha düşük filtre sıcaklığına sahip bu koşullarda, daha az güç ile sistemin çalıştığı bilinmektedir. Bu güç farkı filtre bölgesinden geçip buharlaştırıcıya gelen proses havasının sıcaklık ve debisi ile ilişkilidir. Isı pompasına gelen yüksek sıcaklıktaki proses havası, soğutucu akışkanın sıcaklığını arttıracağından dolayısıyla daha yüksek sıcaklıkta kompresöre akışkan sokma durumumuz ile sistem güçleri daha yüksek olacaktır. Kurutma süresindeki farkın, sistemin çektiği güç ile birleştiğinde 1 kanatlı durumun daha az enerji tüketimi ile kurutmayı gerçekleştirdiği sonucuna varılmaktadır.



Şekil 5.11 3000 d/dk sabit fan devrinde, kanatsız ve 1 kanatlı durumlardaki zamana bağlı sıcaklık ve bağıl nemler

Şekil 5.12'de belirtildiği üzere aynı fan devrinde, kanatsız durumda kapasitenin azalması MER'i de doğrusal olarak azaltmaktadır. Ancak 6 ve 4 kg kapasiteli testlerde, kapasite değişiminin MER üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür. Bölüm 4.2'de bahsedilen standart yük içerikleri ile bu durum açıklanabilir. Standart yüklerde kullanılan pamuklu çarşaf sayısı 8 kg yükte 3 adet iken 6 ve 4 kg yükte 2 adettir. 6 ve 4 kg'lık bu iki yükteki pamuklu çarşaf sayısının sabit olması ile birlikte bu durum ortaya çıkmıştır. Pamuklu çarşaf, pamuklu yastık kılıfı ve havluya kıyasla daha büyük yüzey alanına sahip olduğundan diğer yükleri içerisine alarak topaklanmaya ve kuruma süresinin artmasına sebep olabilmektedir. Bu topaklanma durumunda içerideki yükler düşük sıcaklık ve yüksek nemde kalırken, dışarıdaki yükler yüksek sıcaklık ve düşük neme ulaşır ve homojen bir kurutma sağlanamadığından süre ve dolayısıyla enerji sarfiyatı konusunda olumsuz bir etki yaratmaktadır.

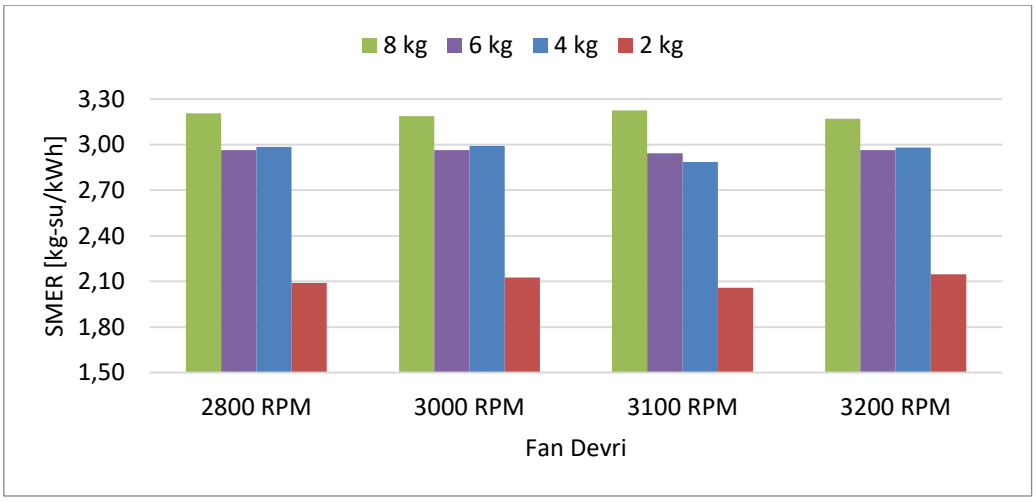
2 kg yükte ise pamuklu çarşaf bulunmamasına rağmen kapasite düşüklüğü ile birlikte sistemin optimum çalışma sıcaklıklarına erişme süresi daha uzun olduğundan ve optimum çalışma noktasında diğer koşullara kıyasla daha az çalıştığından süre anlamında diğer kapasitelere göre birim nem almayı daha uzun sürede yapmıştır.



Şekil 5.12 Kanatsız durumda, farklı kapasitelerin MER'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması

Şekil 5.13'te belirtildiği üzere aynı fan devrinde kanatsız durumda kapasitenin azalması SMER'i de azaltmakta ancak 6 ve 4 kg kapasiteli testler yakın sonuçlara sahiptir. Yine standart yük içeriği ile ilgili bu durum 6 kg yükte dezavantaj yaratmışken, 4 kg yükte avantajlı bir duruma dönüşmüştür.

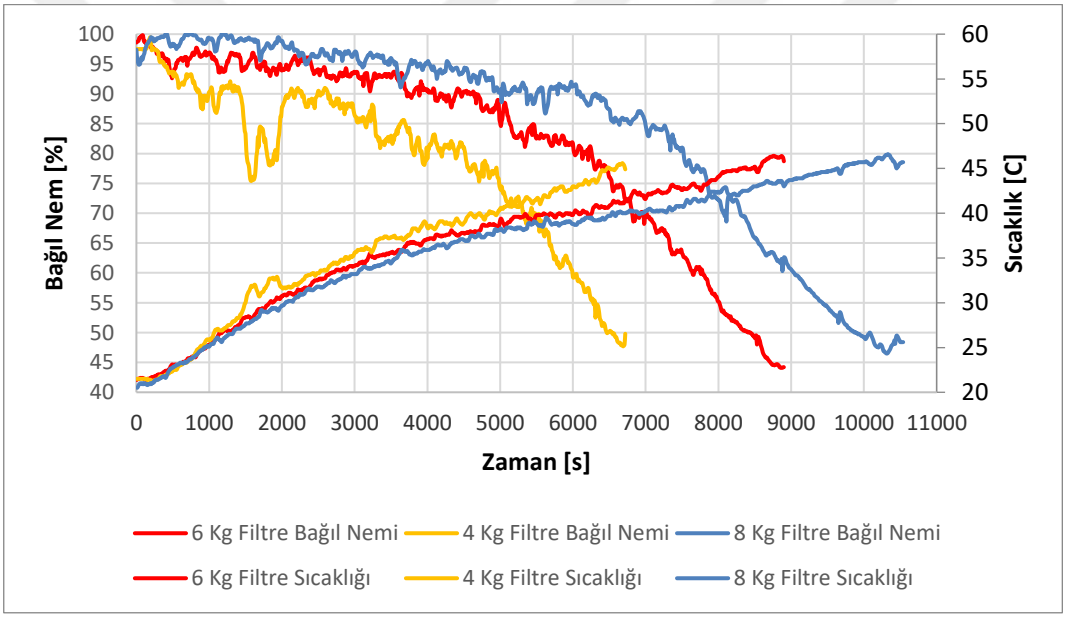
2 kg yük için bahsedildiği gibi düşük kapasitelerde sistem sıcaklıklarının optimum çalışma noktasına gelmesi ve burada çalışma süresi kıyaslandığında, yani verimli ve verimsiz bölgelerde çalıştığı süreler göz önüne alındığında birim nem almada harcanan enerji için en düşük verimde kurutmayı gerçekleştirmiştir.



Şekil 5.13 Kanatsız durumda, farklı kapasitelerin SMER'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması

Şekil 5.14'te zamana bağlı olarak tambur çıkış bölgesinden sıcaklık ve bağıl nem verileri toplanmıştır. 4 kg kapasiteli testte bahsedilen pamuklu çarşaf yükü sebebiyle oluşan topaklanma 1500. sn'de oluşmuştur. Çarşafın diğer yükleri içerisine aldığı ve diğer yüklerin kurumasına engel olurken kendisinin hızlı bir şekilde kuruyup sıcaklığının artması sebebiyle grafikte bunu bağıl nemin anlık düşüşü ve sıcaklığın anlık olarak artması şeklinde görmekteyiz. Bu durum kurutma süresine ve enerji tüketimine direkt olarak olumsuz etki etmektedir.

Ayrıca kapasitenin artmasına bağlı olarak toplam nem alma işleminin uzaması kaynaklı, sıcaklığın daha yavaş arttığı ve bağıl nemin daha hızlı düşüş gösterdiği de grafikten çıkarılabilmektedir, bu durum da yine verimli çalışma noktasında geçen zaman ile ilişki kurularak açıklanabilmektedir.



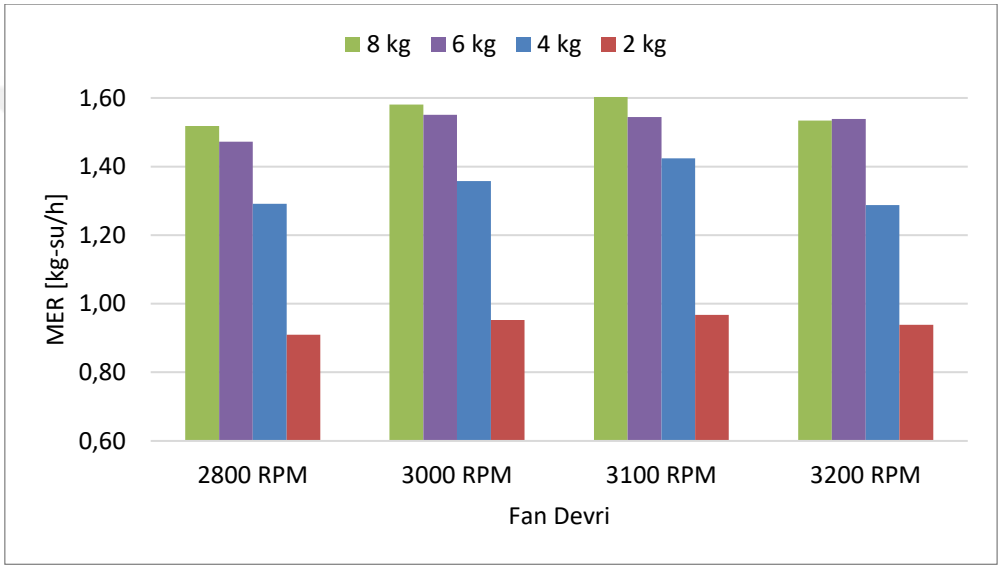
Şekil 5.14 Kanatsız ve 3000 d/dk fan devrinde 4,6 ve 8 kg bağıl nem ve sıcaklıkları

Sonuç olarak MER ve SMER için kapasitenin etkili olduğu ancak yük içeriğinde bulunan çarşaf gibi diğer yüklerin kurutmasını engelleyebilecek yüklerin bulunmasının da etkisinin olduğu görülmüştür. Kapasite ile birlikte yük içeriği de MER ve SMER açısından oldukça kritiktir.

1 kanat ile yapılan testlerde, farklı kapasitelerin değişik fan devirlerinde MER ve SMER üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.15 incelendiğinde aynı fan devrinde kapasite artışının MER'i arttırdığı görülmektedir. Kanatsız testler ile kıyaslandığında yük içeriğinin etkisinin kanat kullanılan testlerde daha az olduğu ve kapasiteye bağlı olarak değişimin olduğu görülmektedir. Aynı fan devrinde kıyaslandığında 2 kg kapasiteli yükler en düşük MER'e sahipken 8 kg kapasiteli yükler en yüksek değere sahiptir.

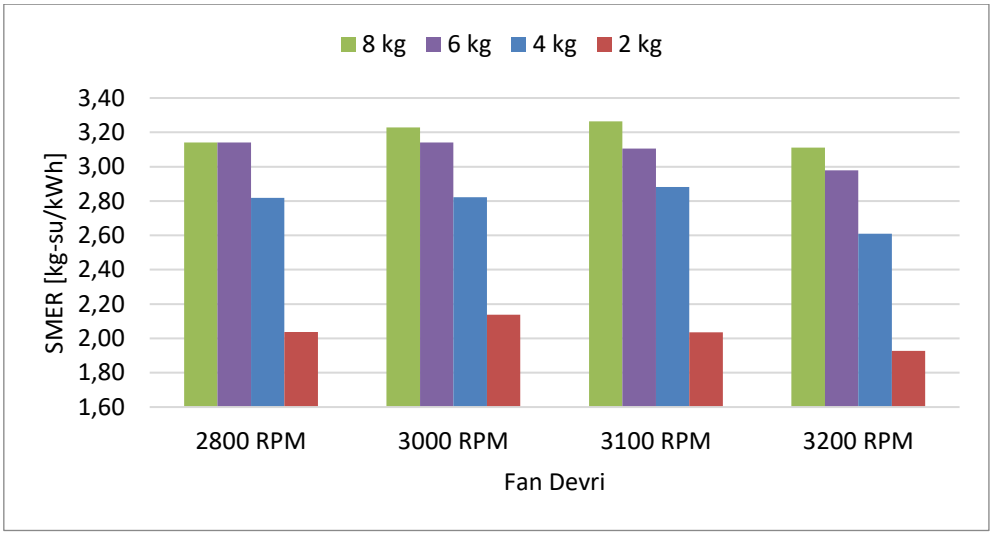
3000 ve 3200 d/dk fan devirlerinde 6 ve 4 kg kapasiteli yükler arasında fark oluşmuş ve farklı değerlere sahip olduğu görülmüştür. Kanat kullanımının istendiği gibi homojen bir kurutmayı gerçekleştirdiği ve bunun da kurutma süresi olarak sonuçlara yansıdığı buradan anlaşılmaktadır.



Şekil 5.15 1 kanat ile farklı kapasitelerin MER'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması

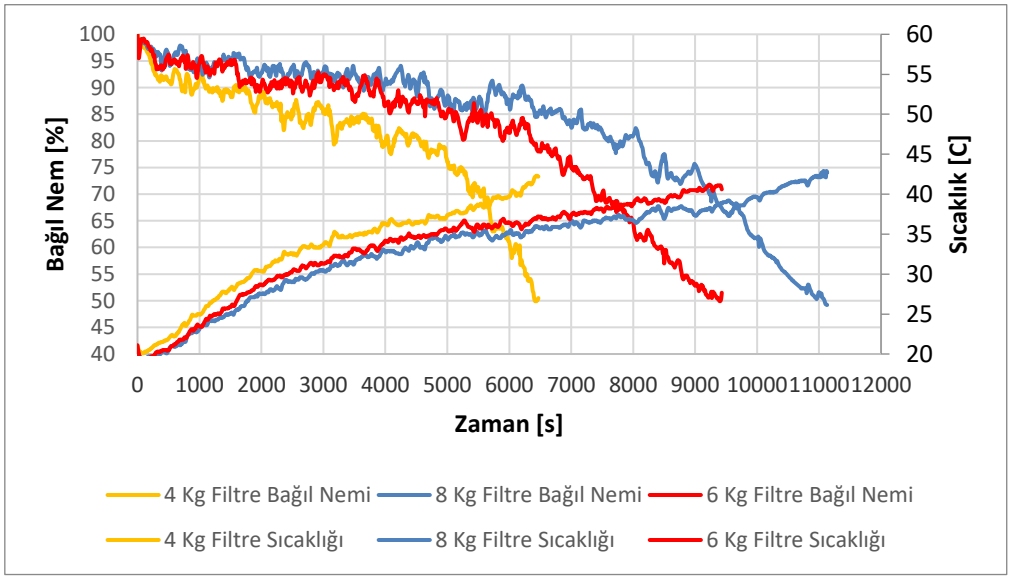
SMER için kıyaslama yapmak amacıyla Şekil 5.16 incelendiğinde, kapasitenin artmasıyla SMER'in arttığı görülmüştür. Yine kanatsız durumda yapılan testlerle kıyaslandığında daha homojen bir kurutma yapıldığı 8 ve 6 kg kapasiteli 2800 d/dk fan devrinde benzer sonuçlar elde edildiği, 6 ve 4 kg arasında fark oluştuğu gözlemlenmiştir.

1 kanatlı durumda da 2 kg kapasiteli durumların en düşük birim nem alma için enerji tüketimine sahip olduğu görülmüştür, düşük kapasitelerde yaşanan bu durumun kanat eklenmesiyle de önüne geçilememiştir.



Şekil 5.16 1 kanat ile farklı kapasitelerin SMER'e etkisinin farklı fan devirlerinde kıyaslanması

Şekil 5.17 ile 4, 6 ve 8 kg kapasitede 1 kanatlı ve 3000 d/dk fan devrinde yapılan testlerin zamana bağlı sıcaklık ve bağıl nem verileri toplanmıştır. Bu bağlamda, Şekil 5.14 ile kıyaslandığında 4 kg kapasitede olan topaklanmanın önüne geçildiği görülmüştür. Yük içeriğinin getirdiği olumsuz durumun (topaklanmanın) önüne geçildiği zamana bağlı veriler ile de gözlenmiştir. Beklenildiği üzere kapasiteye bağlı olarak sıcaklık ve nem eğrileri değişkenlik göstermiştir.



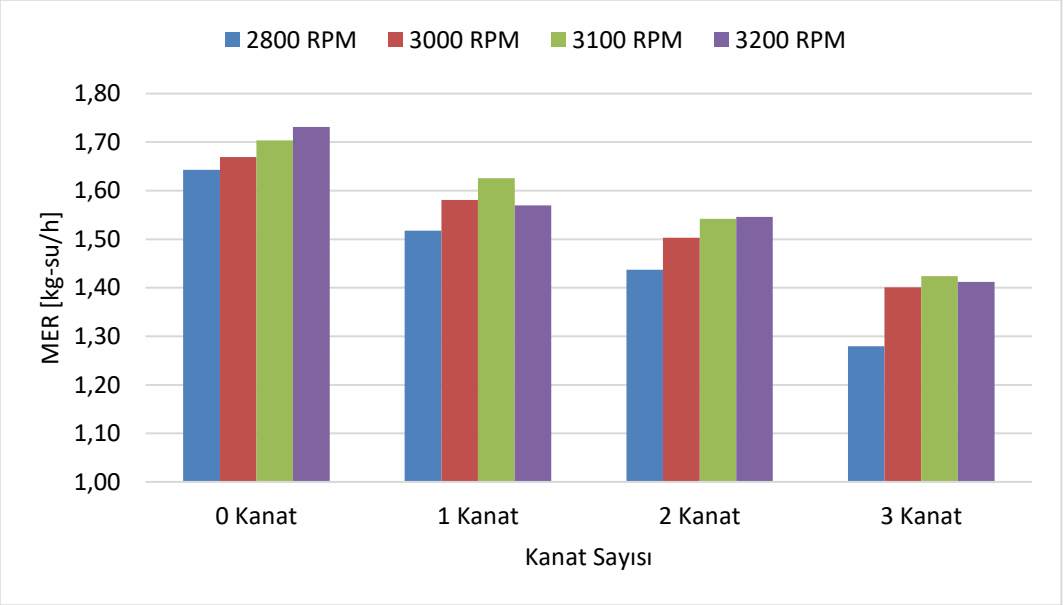
Şekil 5.17 1 Kanat ve 3000 d/dk fan devrinde 4,6 ve 8 kg bağıl nem ve sıcaklıkları

Sonuç olarak bir önceki bölümde bahsedilen kapasitenin MER ve SMER'e direkt olarak etki etmesiyle birlikte yük içeriğinin de önemli olması durumu, kanat

kullanılarak daha homojen bir kurutma yapılması sebebiyle yük içeriğinin önemini azaltmakta ve daha verimli bir kurutma işlemi gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu pozitif etki üreticilerin kapasiteye bağlı olarak çalıştıkları yazılım algoritmalarında kolaylık sağlayabilecektir.

8 kg sabit kapasitede, farklı fan devrilerinin kanat sayısının değişimi ile birlikte MER ve SMER üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Fan devri değişiminin MER üzerindeki etkisinin anlaşılması amacıyla Şekil 5.18 incelendiğinde kanatsız ve 2 kanatlı durumlarda fan devrinin artmasıyla birlikte MER'in arttığını gösterirken, 1 ve 3 kanatlı durumlarda 3100 d/dk fan devrinde en hızlı birim nemi almayı sağlayarak en yüksek MER'e sahiptirler. Fan devrinin artışının MER üzerinde pozitif etkisi olduğu ancak bazı koşullarda artışın bir kademeden sonra olumsuz etkiler ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir.

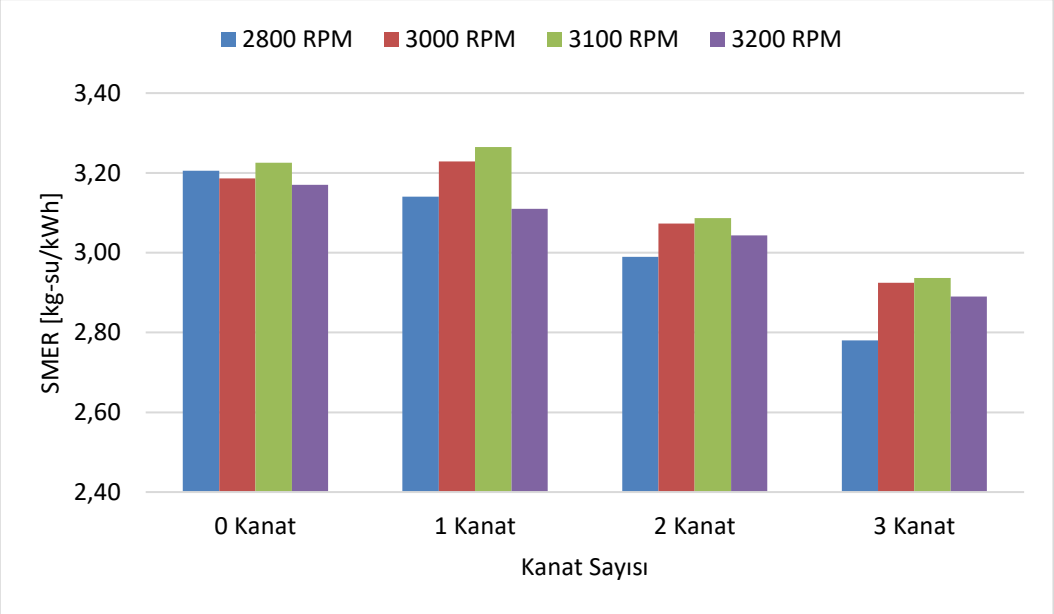


Şekil 5.18 8 kg kapasitede, farklı fan devirlerinin MER'e etkisinin farklı kanat sayılarında kıyaslanması

Fan devri değişiminin SMER üzerindeki etkisinin anlaşılması amacıyla Şekil 5.19 incelendiğinde 3000 ve 3100 d/dk fan devrinin tüm kanat sayıları için birim nem almada tüketilen enerjide en iyi sonuçları sağladığı görülmüştür.

3 kanatlı durumda 2800 d/dk fan devri, diğerlerine kıyasla oldukça düşük SMER'e sahiptir, bu durum MER'de de görüldüğü üzere kurutma süresinin uzaması ile açıklanabilmektedir. 3 kanatlı durumda tambura arka deliklerden hiçbir şekilde

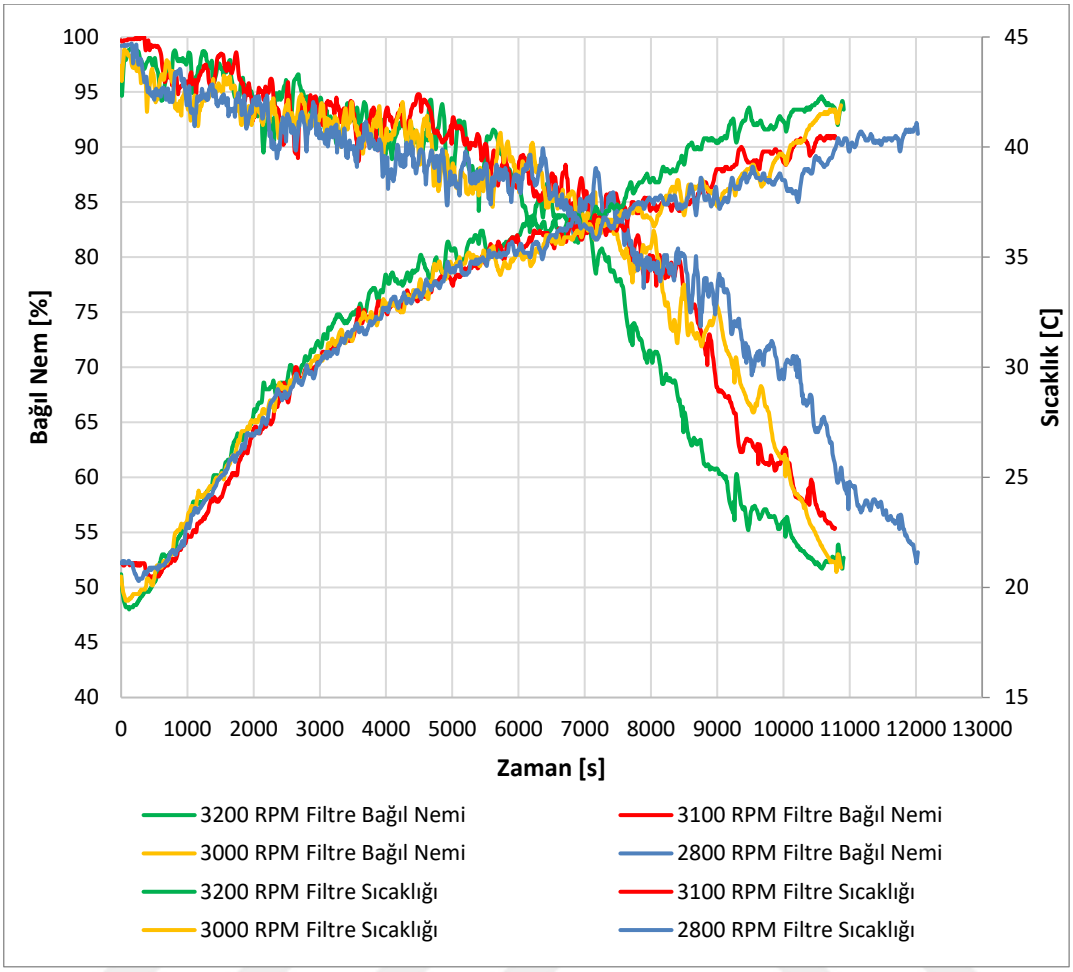
sıcak ve kuru hava girmediğinden ve tüm havanın sadece kanatlardan girmesi ile akışı daha fazla yüzey ile temas ettirerek zorladığı ve dolayısıyla debinin düşük olduğu önceki bölümlerde açıklanmıştı. Debinin 3 kanatlı durumda düşük olması ile birlikte fan devrinin de düşük olması bu olumsuz sonuçları görmemizi sağlamıştır.



Şekil 5.19 8 kg kapasitede, farklı fan devirlerinin SMER'e etkisinin farklı kanat sayılarında kıyaslanması

Oluşan bu farklılıkların incelenmesi amacıyla 8 kg sabit kapasitede, 1 kanatlı durumda farklı fan devirlerinin zamana bağlı sıcaklık ve bağıl nemleri Şekil 5.20'de toplanmıştır. 2800 d/dk fan devrinde kurutma işlemi diğer koşullara göre daha uzun sürdüğünden en düşük MER'e sahiptir ancak 3200 d/dk fan devrinden daha iyi SMER'e sahip olması fanı sürdüğümüz motorun yüksek devirlerde daha fazla güç tüketiminden kaynaklanmaktadır.

1 kanatlı testlerde 3200 d/dk fan devrinde sürenin fan devrinin artmasıyla kurutma süresinin kısalması avantajı kaybolmuş olup, 3000 ve 3100 d/dk fan devirli koşullardan daha uzun sürede kurutma işlemini gerçekleştirmiştir. Bu durum Bölüm 5.2'de debinin kondenzasyon verimini üzerinde etkisinden bahsedildiği ve debinin artmasıyla proses havası kaçaklarının arttığı durum ile birlikte kurutma süresinin uzamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.



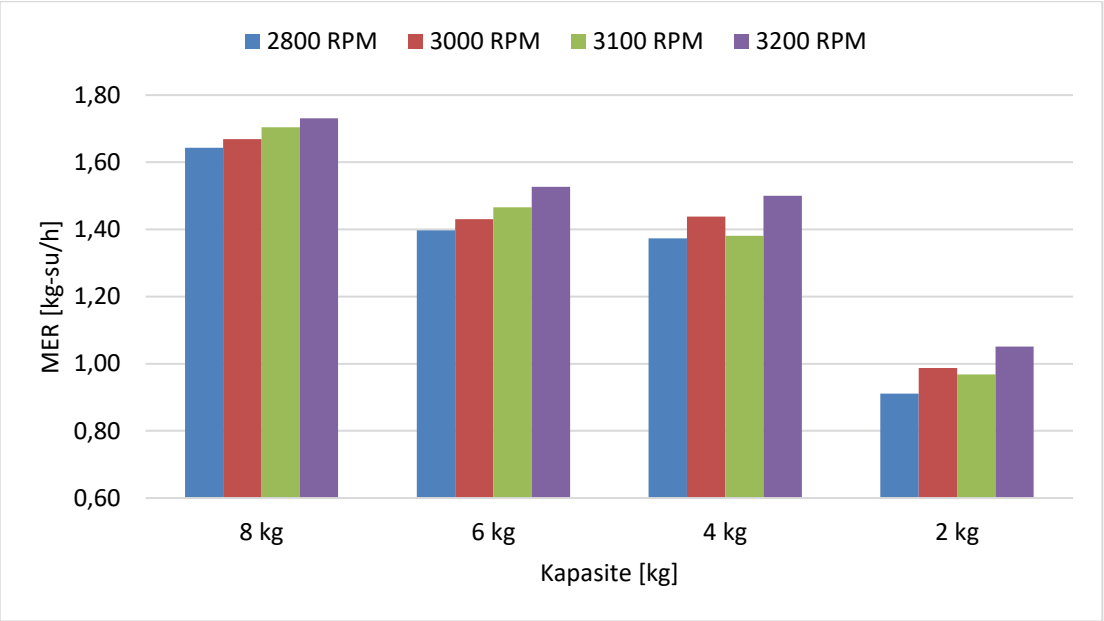
Şekil 5.20 8 kg sabit kapasitede, 1 kanatlı durumda farklı fan devirlerinin zamana bağlı sıcaklık ve bağıl nemleri

Sonuç olarak, kanatsız durumda fan devrinin artmasıyla kurutma süresinin azaldığı ve MER'in arttığı görülmüş iken kanatlı durumda belirli bir fan devrinde (3100 d/dk) sonra olumsuz etkilerin başladığı görülmüştür. SMER için ise fan devri artış veya azalışı için direkt olarak yorum yapılamamaktadır. Fan devrindeki artışın motor gücüne getirdiği artış ile kurutma süresi ve sistem sıcaklıklarının sistemin (kompresörün) çektiği güce olan etkisinin değerlendirilmesi ve bu şekilde tasarımın belirlenmesi gerekmektedir.

Kanatsız durumda, farklı fan devrilerinin kapasite değişimi ile birlikte MER ve SMER üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.21'de kanatsız durumda ve farklı kapasitelerde değişen fan devirleri ile MER üzerindeki etkiye bakılmış olup, genel olarak fan devrinin artışının birim nem almaya süre açısından pozitif etkisinin olduğu görülmektedir. 4 ve 2 kg'lık düşük

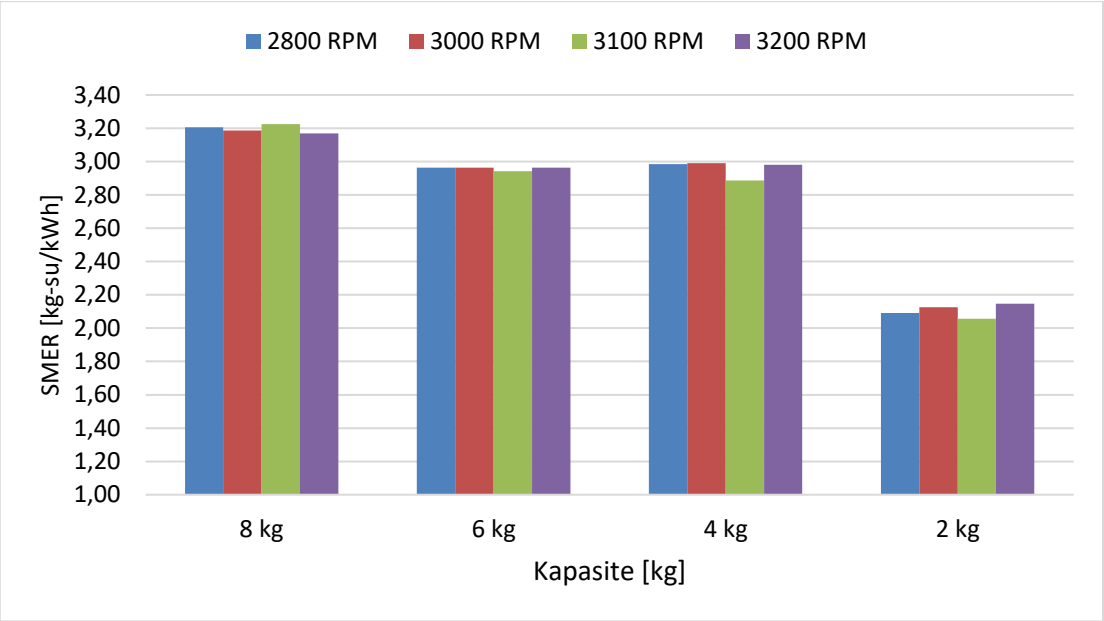
kapasitelerde 3100 d/dk fan devrinde MER artışı görülmemiş olup, düşük kapasiteler için fan devriyle birlikte gelen motor gücünü de düşünerek 3100 d/dk yerine 3000 veya 3200 d/dk fan devrinin tercih edilmelidir sonucuna varılmaktadır. Yüksek kapasitelerde ise fan devrinin artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı ve birim nem alma için harcanan sürenin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.21 Kanatsız durumda, farklı fan devirlerinin MER'e etkisinin kapasiteye bağlı kıyaslanması

Şekil 5.22'de kanatsız durumda ve farklı kapasitelerde değişen fan devrilerinin SMER üzerindeki etkisine bakılmıştır. Sonuçlar, aynı kapasitede fan devrinin değişmesinin SMER üzerinde etkisinin oldukça az olduğunu, bu durumun ise birim nem alma artsa dahi fan devrini arttırırken gelen motor gücündeki artışla birlikte birim nem alma enerjisine pozitif bir katkısının olmayacağını göstermektedir.

Düşük kapasitelerde görülen 3100 d/dk fan devrindeki MER sonuçlarına benzer şekilde, SMER tarafında da sabit kapasitede en düşük değerlere bu fan devri sahiptir.

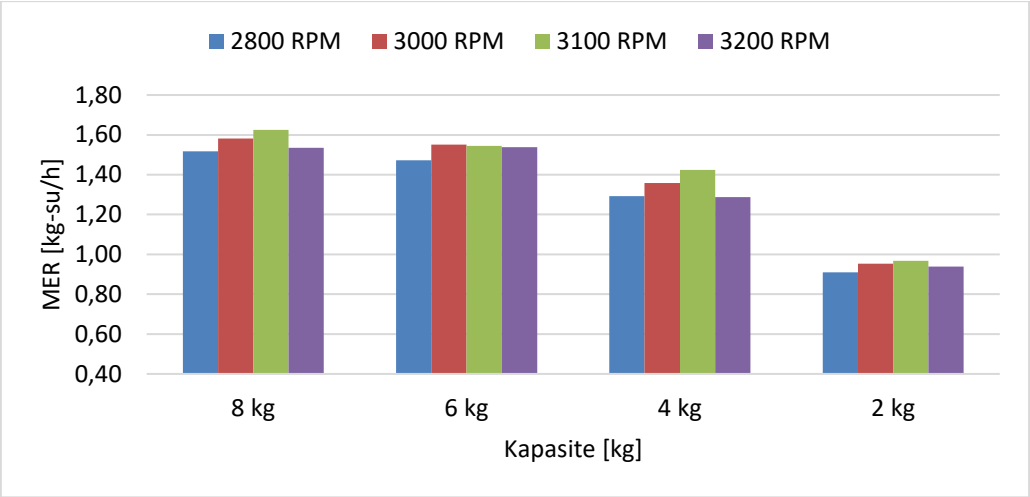


Şekil 5.22 Kanatsız durumda, farklı fan devirlerinin SMER'e etkisinin kapasiteye bağlı kıyaslanması

Sonuç olarak, kanatsız durumda yüksek kapasitelerde fan devri artışının MER'e pozitif etkisi olduğu ancak düşük kapasitelerde fan devri seçimi yapılırken belirli fan devirlerine dikkat edilmesi gerektiği; SMER tarafında ise kanatsız durumda sabit kapasitede fan devri değişiminin etkisinin oldukça düşük olduğu ve bu etkinin görmezden gelinebileceği görülmüştür.

1 kanatlı durumda, farklı fan devirlerinin kapasite değişimi ile birlikte MER ve SMER üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.23'te belirtildiği üzere 1 kanatlı durumda farklı kapasitelerde değişen fan devirleri incelenmiştir ve genel olarak 3000 ve 3100 d/dk fan devrinde en yüksek MER sonuçları elde edilmiştir. 1 kanatlı durumda 3200 d/dk'lık fan devrinde tüm koşullarda düşüş görülmüştür. Bu durumun daha önce bahsedilen fan devrinin artmasıyla birlikte kaçakların artmasıyla ilişkili olabileceği görülmüştür.

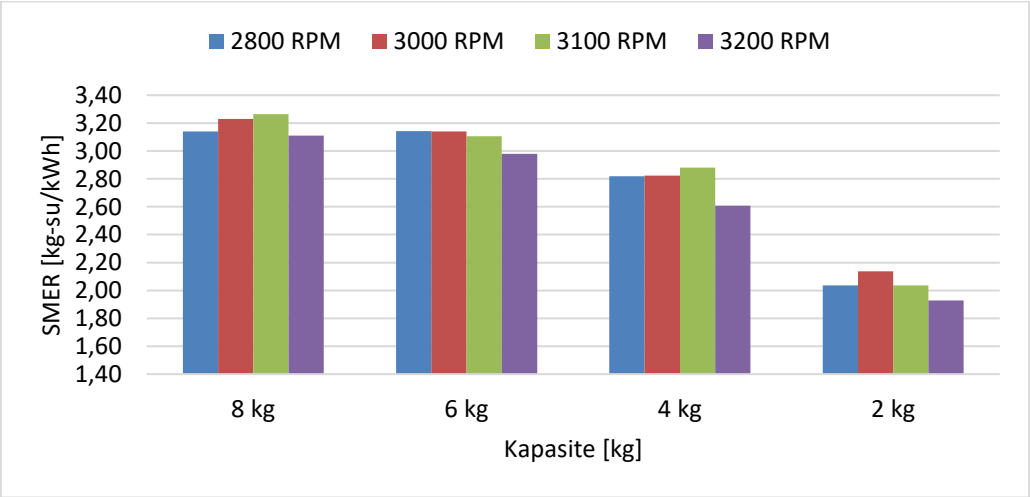


Şekil 5.23 1 kanatlı durumda, farklı fan devirlerinin MER'e etkisinin kapasiteye bağlı kıyaslanması

Şekil 5.24'te ise SMER için 1 kanatlı, farklı kapasitelerde değişen fan devirleri incelenmiştir. 8 kg kapasitede 3000 ve 3100 d/dk fan devirlerinde en yüksek SMER değerleri elde edilirken, en düşük değer 3200 d/dk fan devrinde gerçekleşmiştir. Bu durum kurutma süresinden elde edilemeyen avantaj ile birlikte motor gücünün artması sebebiyle oluşmuştur.

6 kg kapasitede 2800 ve 3000 d/dk fan devirlerinde en yüksek SMER değerleri elde edilmiştir. Yine 3200 d/dk fan devri en düşük SMER değerine sahiptir.

Düşük kapasiteli koşullardan olan 4 kg'da ise en yüksek SMER değeri 3100 d/dk fan devrinde elde edilirken, 2 kg'da 3000 d/dk fan devrinde elde edilmiştir.



Şekil 5.24 1 kanatlı durumda, farklı fan devirlerinin SMER'e etkisinin kapasiteye bağlı kıyaslanması

Sonuç olarak 1 kanatlı durumda en iyi MER ve SMER değerlerine 3000 ve 3100 d/dk fan devirlerinde sırasıyla 3,23 ve 3,26 değerlerine ulaşılmış olup, en kötü sonuçlar ise 3200 d/dk fan devrinde yapılan koşullarda gerçekleşmiştir. 1 kanatlı durumda 3200 d/dk fan devrinde debinin artmasıyla gelen avantaj, motor gücünün artması ayrıca nemli ve sıcak hava kaçaklarının artmasıyla birlikte dezavantajlı konuma gelmektedir.

Ek olarak kanatsız durumda sabit kapasitede farklı fan devirlerinin SMER üzerinde etkisinin neredeyse olmadığı gözlemlenmiş iken, 1 kanat kullanılmasıyla birlikte fan devrinin etkisi görülmektedir. Bu durum homojen kurutmanın sağlanmasıyla açıklanabilmektedir.

Bulunan tüm bu fark ve kıyaslamalar hesaplanan belirsizlik değeri dışarısında kalacak şekilde açıklanmıştır.

5.5.1 İstatistiksel Analizlerle Parametrelerin MER ve SMER Üzerindeki Etkilerin Belirlenmesi

MER ve SMER için yapılan deney tasarımında, kanat sayısı, kapasite ve fan devri gibi parametrelerin etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Parametrelerin etkilerinin ne olduğunu tespit etmek amacıyla üst düzeyde istatistiksel analizler yapılması ve etkin parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, deney tasarımının sonuçları Minitab programında çözülmüştür. Şekil 5.25 ve 5.26'da parametrelerin ve etkilerinin çözüm sonuçları gösterilmektedir. İstatistiksel çözümde, p değeri %5'ten küçük veya 0,05'ten küçükse, ilgili parametrenin MER ve SMER ile ilişkili olduğu %95 güven aralığında anlamına gelir. 0,05 değeri mühendislik çözümleri ve istatistik hesaplamalarında yaygın olarak kabul edilen bir sayısal değerdir ve 6Sigma metodolojisinde de kullanılır.

Yapılan çözüme göre, alınan bütün parametrelerin P-değeri 0,05'ten küçük olduğundan, hepsi MER yani birim nem almadaki süreyi etkilemektedir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	1,92528	0,64176	234,72	0,000
Kapasite	1	1,88003	1,88003	687,60	0,000
Kanat	1	0,26866	0,26866	98,26	0,000
Devir	1	0,03737	0,03737	13,67	0,001
Error	36	0,09843	0,00273		
Total	39	2,02371			

Şekil 5.25 MER için incelenen parametrelerin etkileri

SMER için yapılan çözüme göre iste fan devri hariç tüm parametrelerin P-değeri 0,05'ten küçük iken fan devrinin SMER için diğer parametrelere oranla daha az etkili olduğu görülmüştür.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	5,24988	1,74996	103,64	0,000
Kapasite	1	5,11701	5,11701	303,06	0,000
Kanat	1	0,43997	0,43997	26,06	0,000
Devir	1	0,00351	0,00351	0,21	0,651
Error	36	0,60785	0,01688		
Total	39	5,85773			

Şekil 5.26 SMER için incelenen parametrelerin etkileri

Bu analiz ile seçilen parametrelerin MER ve SMER'i etkileyen doğru parametreler olduğunu ve denklem 5.3 ve 5.4'te oluşturulan genel modelin MER için %95,14, SMER için ise %89,62 oranında açıkladığını Şekil 5.26 ve 5.27'de gösterilmektedir. Bu R^2 değeriyle ifade edilmektedir. Denklemlerde "K" ile kapasite kg olarak, KS ile kanat sayısı adet olarak ve FD ile fan devri d/dk olarak alınmıştır.

$$MER = 0{,}254 + 0{,}10330 * K - 0{,}09654 * KS\ 0{,}000207 * FD \quad (5.3)$$

$$SMER = 2{,}153 + 0{,}17042 * K - 0{,}1235 * KS - 0{,}000063 * FD \quad (5.3)$$

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0522895	95,14%	94,73%	94,15%

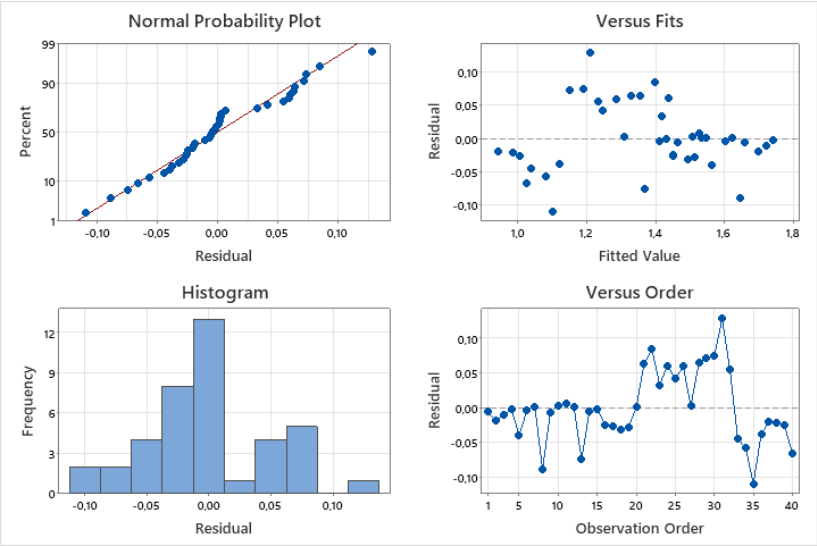
Şekil 5.27 MER için model özeti

Model Summary

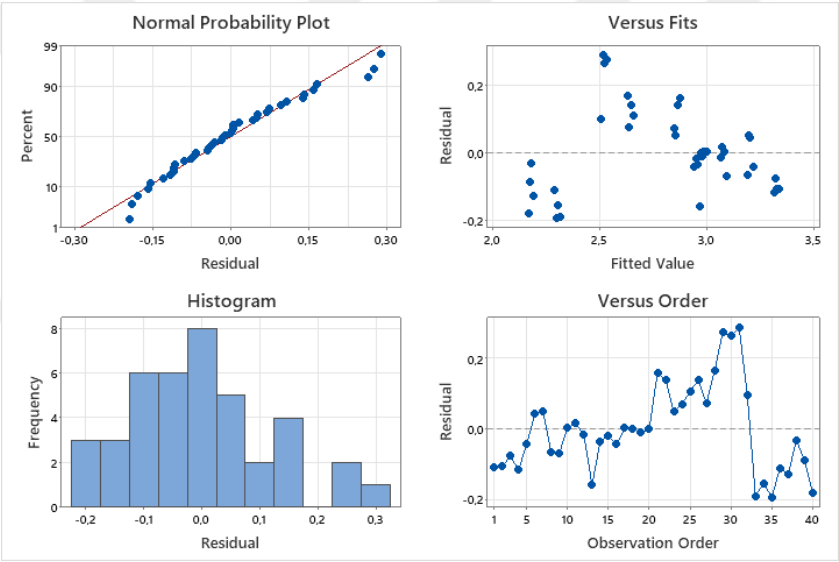
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,129941	89,62%	88,76%	87,28%

Şekil 5.28 SMER için model özeti

Gerçekleştirilen analizde dikkate alınması gereken başka bir önemli konu, çıkarılan verilerle oluşturulan modelin artıklarının normal dağılıma sahip olmasıdır. Şekil 5.29'da MER için, Şekil 5.30'da ise SMER için artıkların analizi için kullanılan 4 farklı yaklaşımın grafik gösterimleri bulunmaktadır. İlk grafikte, artıkların doğrusal olması ve p değerinin 0,05'ten büyük olması koşulu sağlanmalıdır. İkinci grafikte, artıkların modelden elde edilen verilere göre doğrusal bir değişim göstermesi ve huni etkisinin olmaması beklenir. Üçüncü grafikte ise frekans verilerinin normal dağılım eğrisine uygun bir şekilde dağılması şartı sağlanmalıdır. Yaklaşımlara göre, artıkların normal dağılım olduğu, dolayısıyla modelin güvenilirliği sonucuna varılabilir.

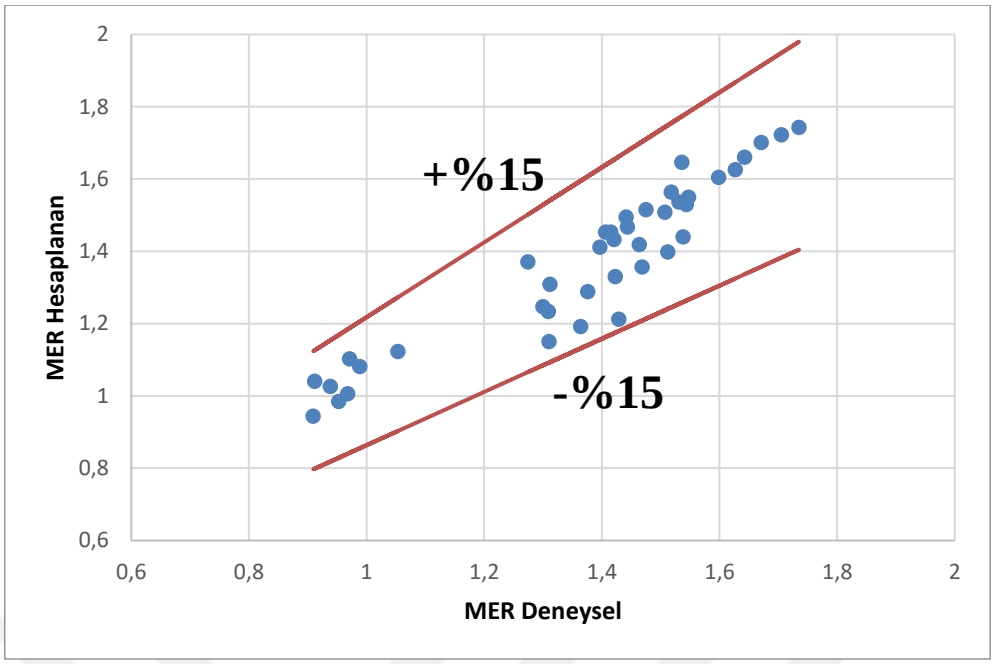


Şekil 5.29 MER İçin Artıkların Analizi-Normal Dağılım Göstergeleri

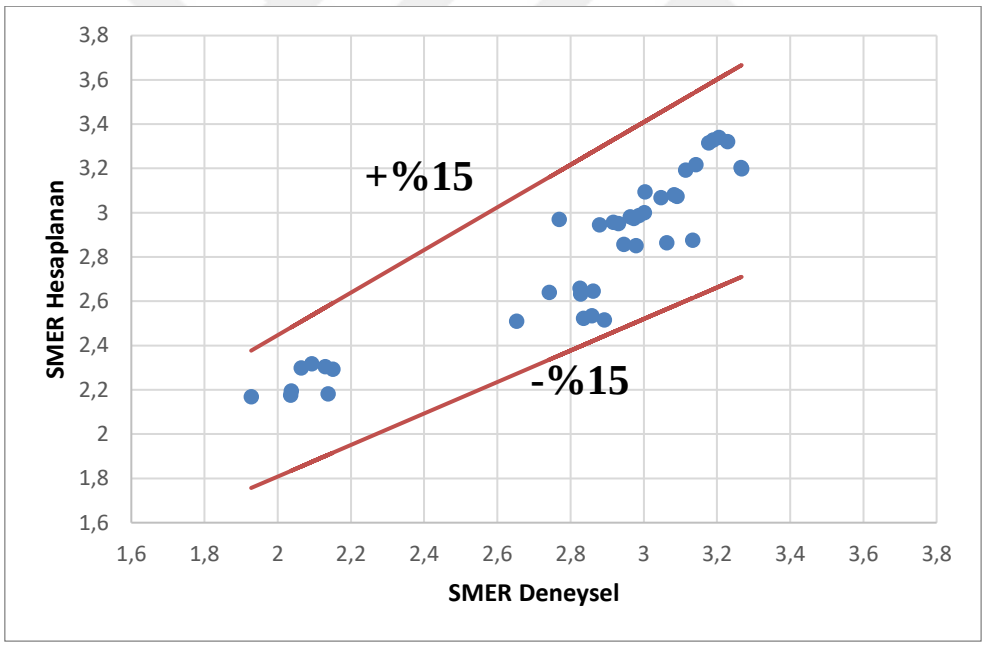


Şekil 5.30 SMER İçin Artıkların Analizi-Normal Dağılım Göstergeleri

MER ve SMER için hesaplanan ve deneysel sonuçlardan elde edilen Tablo 5.3'te verilmiştir, ±%15 aralık içerisinde Şekil 5.30 ve 5.31'de gösterilmiştir. Tüm veriler %15'lik hassasiyet içerisinde yer almaktadır ve modelin güvenirliğini göstermektedir.



Şekil 5.31 MER deneysel ve hesaplanan verilerin ±%15 aralığında gösterimi



Şekil 5.32 SMER deneysel ve hesaplanan verilerin ±%15 aralığında gösterimi

Tablo 5.3 Deneysel ve hesaplanan MER-SMER değerleri

Kapasite	Kanat	Devir	Deneysel MER	Deneysel SMER	Hesaplanan MER	Hesaplanan SMER
8	0	2800	1,64	3,21	1,66	3,34
8	0	3000	1,67	3,19	1,70	3,33
8	0	3100	1,71	3,23	1,72	3,32
8	0	3200	1,74	3,18	1,74	3,31
8	1	2800	1,52	3,14	1,56	3,22
8	1	3000	1,60	3,26	1,60	3,20
8	1	3100	1,63	3,27	1,63	3,20
8	1	3200	1,54	3,11	1,65	3,19
8	2	2800	1,44	3,00	1,47	3,09
8	2	3000	1,51	3,08	1,51	3,08
8	2	3100	1,54	3,09	1,53	3,07
8	2	3200	1,55	3,05	1,55	3,07
8	3	2800	1,27	2,77	1,37	2,97
8	3	3000	1,40	2,92	1,41	2,96
8	3	3100	1,42	2,93	1,43	2,95
8	3	3200	1,41	2,88	1,45	2,94
6	0	2800	1,42	3,00	1,45	3,00
6	0	3000	1,44	2,99	1,49	2,99
6	0	3100	1,48	2,96	1,52	2,98
6	0	3200	1,53	2,97	1,54	2,97
6	1	2800	1,47	3,13	1,36	2,88
6	1	3000	1,51	3,06	1,40	2,86
6	1	3100	1,46	2,94	1,42	2,86
6	1	3200	1,54	2,98	1,44	2,85
4	0	2800	1,30	2,83	1,25	2,66
4	0	3000	1,38	2,86	1,29	2,65
4	0	3100	1,31	2,74	1,31	2,64
4	0	3200	1,42	2,83	1,33	2,63
4	1	2800	1,31	2,86	1,15	2,53
4	1	3000	1,36	2,84	1,19	2,52
4	1	3100	1,43	2,89	1,21	2,52
4	1	3200	1,31	2,65	1,23	2,51
2	0	2800	0,91	2,09	1,04	2,32
2	0	3000	0,99	2,13	1,08	2,30
2	0	3100	0,97	2,06	1,10	2,30
2	0	3200	1,05	2,15	1,12	2,29
2	1	2800	0,91	2,04	0,94	2,19
2	1	3000	0,95	2,14	0,99	2,18
2	1	3100	0,97	2,04	1,01	2,18
2	1	3200	0,94	1,93	1,03	2,17

6
SONUÇ

Bu yüksek lisans tezi çalışması, tambur içi hava hareketinin optimizasyonuyla mevcut çamaşır kurutma makinelerine göre daha yüksek enerji verimine sahip ısı pompalı kurutma makinesinin elde edilmesini hedeflemiştir. Bu amaç doğrultusunda, literatür araştırması yapılarak yapılan çalışmalar incelenmiştir. Literatürde tambur kanadı tasarımının kurutma performansına etkisi ve tekstil hasarlanmasının hem müşteri hem de kurutma performansı açısından değerlendirilmesi ile ilgili çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bu bağlamda tambur kanadı, fan devri ve kapasite parametrelerinin değişken olarak seçilmesine karar verilmiştir. Bu parametreler deneysel ve istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular şunlardır:

- Debiye olan etkiye bakmak amacıyla tambur boş, tambur %60 nemli çamaşır ile dolu ve tambur tamamen kurumuş çamaşır ile dolu olduğu durumlarda testler yapılmıştır. Tambur boş ve çamaşır yüklü durumların hepsinde fan devrinin artmasıyla debinin arttığı görülmüştür. Kanat sayısının artışı tüm durumlarda debiyi azaltmaktadır. Ancak kanat sayısının artmasıyla birlikte çevrim sonunda debi düşüşleri daha az olmakta ve kanatsız duruma göre daha yüksek debiler elde edilmektedir.
- Çamaşırın hasarlanması ve bu durumun performansa olan etkisini incelemek amacıyla çevrim sonlarında çamaşırdan çıkan hav miktarları tartılmıştır. Fan devrinin yani debinin artması çamaşırdan çıkan hav miktarını arttırırken, kanat sayısının artması çamaşırdan çıkan hav miktarını azaltmaktadır. Kanat kullanımının tekstil hasarlanmasını önleyebileceği görülmüştür. Ayrıca filtredeki hav miktarının artışı debiyi düşürdüğünden, tekstilden çıkan hav miktarının az olması performans açısından da olumludur.
- Kondenzasyon verimini incelemek amacıyla farklı koşullarda testler yapılmıştır. Kanat sayısının artmasıyla kondenzasyon veriminin arttığı görülmüştür. Fan devrinin artmasıyla kondenzasyon verimi düşmektedir. Ayrıca yüksek kapasitelerde kondenzasyon verimi daha yüksektir, kapasite arttıkça kondenzasyon verimi artmaktadır.

- Kurutma süresi açısından incelemek amacıyla sabit kapasitede farklı fan devri ve kanat sayısında yapılan testlerde, kanat sayısının artmasının kurutma süresini arttırdığı; fan devrinin artmasının ise kurutma süresini düşürdüğü görülmüştür.
- Sabit kapasitede enerji tüketiminin kanat sayısı ve fan devri ile ilişkisi incelenmiştir. Enerji tüketimi ile kanat sayısının direkt ilişkili olduğu, 2 ve 3 kanatlı durumların daha yüksek enerji tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Fan devrinin çok düşük veya yüksek olması enerji tüketimini olumsuz etkilemektedir. En düşük enerji tüketimine sahip sonuçlar kanatsız ve 1 kanatlı durumlarda 3000 ve 3100 d/dk fan devrinde görülmüştür. En düşük enerji tüketimine ise 3100 d/dk fan devri ve 1 kanatlı koşulda ulaşılmıştır.
- Birim kilogram nem alma için harcanan süre yani MER hesaplanan belirsizlik değerleri kapsamında değerlendirildiğinde:
    - Sabit kapasite ve fan devrinde, kanat sayısının artışının MER'i azalttığı görülmüştür.
    - Sabit kanat sayısı ve fan devrinde, kapasite artışının MER'i arttırdığı görülmüştür ancak kanatsız durumda 4 ve 6 kg arasında fark çok az iken 1 kanatlı durumda fark görülebilmektedir. Bunun sebebinin topaklanma kaynaklı olduğu görülmüştür. Kanat kullanımının homojen kurutmaya pozitif etkisi vardır.
    - Kanatsız durumda ve 8 kg kapasitede, fan devrini arttırmanın MER'i arttırdığı görülmüştür. Düşük kapasitelerde ise 3000 d/dk fan devrinin, 3100'e göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 1 kanatlı durumda, farklı kapasiteler incelendiğinde 3000 ve 3100 d/dk fan devrinin en iyi MER sonuçlarını verdiği gözlemlenmiştir. Bu durumun homojen kurutma ile ilişkili olduğu görülmüştür.
- Birim kilogram nem alma için harcanan enerji yani SMER hesaplanan belirsizlik değerleri kapsamında değerlendirildiğinde:
    - Sabit kapasite ve fan devrinde, kanat sayısı artışının genel olarak SMER'i düşürdüğü görülse de 3000 ve 3100 d/dk fan devrinde en iyi sonuçlar 1 kanatlı durumda gerçekleşmiştir.

- Sabit kanat sayısı ve fan devrinde, kapasite artışının SMER'i arttırdığı ancak kanatsız durumda 4 ve 6 kg'ın aynı değerlere sahip olduğu görülmüştür. 1 kanatlı durumda homojen kurutma sağlandığından kapasite artışıyla 4 ve 6 kg da doğru orantılı olarak SMER'in de arttığı görülmüştür.
- 8 kg kapasitede tüm kanat sayılarında 3000 ve 3100 d/dk fan devirlerinde en iyi sonuçların alındığı gözlemlenmiştir. Düşük devirlerde kurutma süresi uzun olduğundan, yüksek devirlerde ise motor gücünün artışı sebebiyle bu fark oluşmaktadır.
- Aynı koşullarda tek değişkenin kanat sayısı olduğu durumlarda, kanat sayısının sistem sıcaklıklarını aşağıya çektiği dolayısıyla kompresörün harcadığı gücü düşürdüğü görülmüştür. Sıcaklıkların düşmesine bağlı olarak kurutma süresi-kanat sayısı ilişkisi kurularak incelendiğinde 1 kanatlı 3000 ve 3100 d/dk fan devirli testlerin nem almada enerji tüketimi açısından oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Kanatsız durumda farklı kapasitelerde fan devrinin değişiminin SMER üzerindeki etkisi incelenmiştir ancak aynı kapasitede fark görülmemiştir. Bu durum kanatsız durumda aynı kapasitede fan devrinin SMER açısından etkisiz olduğu sonucuna varılmıştır. 1 kanatlı durumda ise 3200 d/dk fan devri tüm koşullarda en kötü sonuçlara sahip iken, 8 ve 4 kg kapasiteli durumlarda 3100 d/dk fan devri en iyi sonuçlara sahiptir. Bu durum kanat eklenmesi durumunda fan devrinin SMER üzerinde az da olsa etki ettiğini göstermektedir.

- Deneysel olarak çıkarılan MER ve SMER değerleri için istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve MER için ~%95, SMER için ~%90 R^2 oranında bağıntılar ortaya konmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmaların ileriye taşınabilmesi için aşağıdaki önerilerin yapılması literatüre katkı sağlayacaktır:

- Topak durumunun tüm parametreler üzerinde önemi olduğu görüldüğünden tambur kanat tasarımları üzerine çalışmalar yapılarak, topak durumunun önlenmesi ve homojen kurutmanın sağlanması deneysel olarak çalışılabilir.

- Tambur delikleri ve tambur deliklerinden giren havayı tambur çeperine yönlendiren kanat delik, akış tasarımı çalışılması amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile uygun tasarım çalışmaları sayısal ve deneysel olarak yapılabilir.
- Literatürde yapılan tüm çalışmalarda fan devrinin çevrim boyunca sabit kaldığı görülmüştür. Çevrim esnasında çamaşır nem ve sıcaklığına bağlı olarak fan devrinin değişken olarak ayarlanması ile hem enerji tüketimi azaltılabilir hem de tekstil hasarlanmasının önüne geçilebilir. Bu bağlamda hangi nem değerlerinde hangi fan devrinin tekstilden daha az hav çıkarttığı gözlemlenebilir.
- Bu çalışmada tüm kapasiteler aynı tambur hacminde yapıldığından, tambur hacmi ile kapasite arasındaki ilişkinin anlaşılması ve parametrelere etkisine bakılmak amacıyla deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Tekstil hasarlanmasını daha aza indirecek yeni tambur devri, tambur saat yönü ve saat yönünün tersine dönüş algoritmaları çalışılabilir, ek olarak bu parametreler çamaşır nem durumuna göre belirlenerek değiştirilebilir ve etkisi gözlemlenebilir. Bu sayede hem tekstil hasarlanması azaltılmış olur hem de çevrimin belirli bir noktasından sonra motor gücünü arttırmadan debi düşüşü engellenerek enerji sarfiyatında iyileşme görülebilir.
- Literatürde yapılan çalışmalarda filtrede toplanan hav miktarının performansa olan etkisi ile ilgili çalışmalar bulunmamaktadır. Bu bağlamda farklı filtre kasedi tasarımları veya farklı geçirgenlikte filtre bezi tasarımları ile performansa olan etkinin incelenmesi üzerine çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

[1] El Fil, B., & Garimella, S. (2022). The state of the art in energy saving techniques for garment/textile drying. Drying Technology, 40(11), 2235-2250.

[2] Akyol, U., Erhan Akan, A., & Durak, A. (2015). Simulation and thermodynamic analysis of a hot-air textile drying process. The Journal of the Textile Institute, 106(3), 260-274.

[3] Gatarić, P., Širok, B., Hočevar, M., & Novak, L. (2019). Modeling of heat pump tumble dryer energy consumption and drying time. Drying technology, 37(11), 1396-1404.

[4] Boudreaux, P., Gluesenkamp, K. R., Patel, V. K., & Shen, B. (2021). Measurement and analysis of clothes dryer air leakage. Drying Technology, 39(14), 2105-2117.

[5] Bao, W., Shen, J., & Ding, X. (2020). The influence of mechanical action on felting shrinkage of wool fabric in the tumble dryer. Textile Research Journal, 90(21-22), 2367-2375.

[6] Yu, X., Li, Y., & Ding, X. (2020). Relationship between drying parameters and drying performance in domestic tumble dryers. Textile Research Journal, 90(23-24), 2674-2689.

[7] Jones, C. R., Corona, A., Amador, C., & Fryer, P. J. (2022). Dynamics of fabric and dryer sheet motion in domestic clothes dryers. Drying Technology, 40(10), 2087-2104.

[8] Wei, Y., Su, Z., Zhang, Y., Li, P., & Yuan, H. (2019). The effect of fabric movement on drying performance of the domestic drum dryer. The Journal of The Textile Institute, 110(7), 1059-1071.

[9] Stawreberg, L., & Wikström, F. (2011). Does the energy labelling system for domestic tumble dryers serve its purpose?. Journal of Cleaner Production, 19(12), 1300-1305.

[10] Bassily, A. M., & Colver, G. M. (2003). Performance analysis of an electric clothes dryer. Drying technology, 21(3), 499-524.

[11] Deans, J. (2001). The modelling of a domestic tumbler dryer. Applied thermal engineering, 21(9), 977-990

[12] Lee, B. H., Sian, R. A., & Wang, C. C. (2019). A rationally based model applicable for heat pump tumble dryer. Drying Technology, 37(6), 691-706.

[13] Gatarić, P., Širok, B., & Gostiša, J. (2022). Identification of air leakage in a household heat pump tumble dryer. Drying Technology, 40(16), 3622-3630.

[14] Yadav, V., & Moon, C. G. (2008). Fabric-drying process in domestic dryers. Applied energy, 85(2-3), 143-158.

[15] Sır, G., & Atayılmaz, Ş. Ö. (2022). Theoretical and Experimental Investigation of Mass and Heat Transfer in the Drum in Household Heat Pump Laundry Dryers. Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (JFFHMT), 9(1), 31-37.

[16] Van Puyvelde, D. R. (2009). Modelling the hold up of lifters in rotary dryers. Chemical Engineering Research and Design, 87(2), 226-232.

[17] Haghi, A. K. (Ed.). (2011). Heat & mass transfer in textiles. WSEAS press.

[18] Stawreberg, L., & Nilsson, L. (2010). Modelling of specific moisture extraction rate and leakage ratio in a condensing tumble dryer. Applied thermal engineering, 30(14-15), 2173-2179.

[19] Lin, Z., Wang, H., Wang, Y., Cao, Y., Lei, X., Bai, S., ... & Liu, Y. (2023). Experimental analysis on drying performance of a condensing clothes dryer with two new plate-fin heat exchangers. Case Studies in Thermal Engineering, 102769.

[20] Čurović, L., Novaković, T., Gatarić, P., Murovec, J., & Prezelj, J. (2022). Experimental characterization of a household heat pump tumble dryer noise. Applied Acoustics, 188, 108543.

[21] Stöckel, K., Nosbers, R., Barta, R. B., & Thomas, C. (2023). Measurement of vapour pressure, miscibility and thermal conductivity for binary and ternary refrigerant lubricant mixtures in the context of heat pump tumble dryers. International Journal of Refrigeration.

[22] Directive, S. (2010). 30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of household refrigerating appliancesn. Official journal of the european union. Commission communication in the framework of the implementation of Commission delegated Regulation (EU) No, 1060, 2010.

[23] DDT 16622, (2016). "Arçelik Rüzgar Tüneli Debi Ölçüm Test Talimatı", Arçelik,Tekirdağ.]

[24] Başaran, B. Düşük GWPli soğutucu akışkanların ısı pompalı kurutuculardaki deneysel analizi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

[25] Durmuş, M., Bilen, K., & İbrahim, U. Z. U. N. (2012). Isı Pompalı Tekstil Kurutma Makinelerinde Kurutma Havası Debisinin Kurutucu Performansına Etkisinin Deneysel Analizi. Mühendis ve Makina, 40-50.

[26] Bush, E., Damino, D., Josephy, B., & Granda, C. (2013). Heat Pump Tumble Driers. Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting EEDAL.

[27] Kuczyński, W., Bohdal, T., & Charun, H. (2013). Impact of periodically generated hydrodynamic disturbances on the condensation efficiency of R134a refrigerant in pipe mini-channels. Experimental Heat Transfer, 26(1), 64-84.

[28] Baysal, T., Ozbalta, N., Gokbulut, S., CAPAR, B., Tastan, O., & Gurlek, G. (2015). Investigation of effects of various drying methods on the quality characteristics of apple slices and energy efficiency. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 35(1), 135-144.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Ozdemir, V. A., Atayilmaz, S. Ö. (2023). “Ev tipi çamaşır kurutma makinelerinde tambur içi hava akışının kurutma performansına etkisinin incelenmesi”, 8th International Asian Congress On Contemporary Sciences, Aksaray

EK

Belirsizlik Analizi – MER&SMER

Fan Devri	Kanat Sayısı	Kapasite	MER Belirsizlik	SMER Belirsizlik
2800	0 Kanat	8	0,013272296	0,022344674
3000	0 Kanat	8	0,013800194	0,022119236
3100	0 Kanat	8	0,014394688	0,022619479
3200	0 Kanat	8	0,014959179	0,022067038
2800	1 Kanat	8	0,01156433	0,021489638
3000	1 Kanat	8	0,012571162	0,02310197
3100	1 Kanat	8	0,012984664	0,023191633
3200	1 Kanat	8	0,011743198	0,021128887
2800	2 Kanat	8	0,010375187	0,019553815
3000	2 Kanat	8	0,011332467	0,020623736
3100	2 Kanat	8	0,01186764	0,020784408
3200	2 Kanat	8	0,011926479	0,020229503
2800	3 Kanat	8	0,008036355	0,016889236
3000	3 Kanat	8	0,009717041	0,018746697
3100	3 Kanat	8	0,009806874	0,018876126
3200	3 Kanat	8	0,00991646	0,018155149
2800	0 Kanat	6	0,013564556	0,026249564
3000	0 Kanat	6	0,013913586	0,026167215
3100	0 Kanat	6	0,014656345	0,025761513
3200	0 Kanat	6	0,015677408	0,025963114
2800	1 Kanat	6	0,014314449	0,028595905
3000	1 Kanat	6	0,015153237	0,027446704
3100	1 Kanat	6	0,014277248	0,025365649
3200	1 Kanat	6	0,015895151	0,026085272
2800	0 Kanat	4	0,01708187	0,035639382
3000	0 Kanat	4	0,01921892	0,036283729
3100	0 Kanat	4	0,017375348	0,033593374
3200	0 Kanat	4	0,020244365	0,035481125
2800	1 Kanat	4	0,017375348	0,036283729
3000	1 Kanat	4	0,018537019	0,03579876
3100	1 Kanat	4	0,02043678	0,036862796
3200	1 Kanat	4	0,017375348	0,031335749
2800	0 Kanat	2	0,018155116	0,040204193
3000	0 Kanat	2	0,020717746	0,041544043
3100	0 Kanat	2	0,020076193	0,039052209
3200	0 Kanat	2	0,022850389	0,042669971
2800	1 Kanat	2	0,018155116	0,038434892
3000	1 Kanat	2	0,019557337	0,041966677
3100	1 Kanat	2	0,020483972	0,038342363
3200	1 Kanat	2	0,019185868	0,034793024