

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BULAŞIK MAKİNESİNDE İNOVATİF HIZLI KURUTMA YÖNTEMİ
TASARIMI VE YÖNTEM PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rahmi Mert AKKÜLAH

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Programı

HAZİRAN 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BULAŞIK MAKİNESİNDE İNOVATİF HIZLI KURUTMA YÖNTEMİ
TASARIMI VE YÖNTEM PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Rahmi Mert AKKÜLAH
(503211110)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı-Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAKAN

HAZİRAN 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 503211110 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Rahmi Mert AKKÜLAH, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BULAŞIK MAKİNESİNDE İNOVATİF HIZLI KURUTMA YÖNTEMİ TASARIMI VE YÖNTEM PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAKAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Lütfullah KUDDUSİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Özden AĞRA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 26 Mayıs 2023
Savunma Tarihi : 16 Haziran 2023





Hayatı güzelleştirenlere,



ÖNSÖZ

Bu çalışmayı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Isı-Akışkan Programı yüksek lisans eğitimim kapsamında gerçekleştirdim. Hayatımın her alanında ele aldığım işlerde, sahip olduğum bilgi birikimini ve yenilikçi karakterimi bir araya getirerek fark yaratmayı arzuladığımı ve bu tez çalışması sonucunda da fark yaratacak bir fayda ortaya koyarak bir patent başvurusu gerçekleştirdiğimi belirtmekten kıvanç duyuyorum.

BULAŞIK MAKİNESİNDE İNOVATİF HIZLI KURUTMA YÖNTEMİ TASARIMI VE YÖNTEM PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ başlıklı tezimde bana danışmanlık eden değerli hocam Dr. Murat Çakan başta olmak üzere İstanbul Teknik Üniversitesi çatısı altında tezgahından geçmiş olduğum tüm saygı değer hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma konumu, bünyesinde bulunduğum süre boyunca edindiğim bilgi ve tecrübeler çerçevesinde ortaya çıkardığım Arçelik A.Ş.'ye sağladığı tüm imkanlar için teşekkür ederim. İş hayatımda ve yapmış olduğum bu çalışmada desteklerini esirgemeyen Dr. Songül Bayraktar'a, Dr. Abdullah Sert'e, Caner Tutka'ya, tecrübe birikimi ve yetkinlikleriyle daima yardımına koşan çalışma arkadaşlarım Zerrin Yılmaz Arslan'a, Nevin Akkaş'a, Arif Ergen'e, Özcan Hatipoğlu'na, Şenol Çavuşoğlu'na, mühendislik hayatımda multidisipliner bir tartışma ortamı kurmama olanak sağlayan, Emre Kartal'a, Esra Tüzel'e, Konstantinos Pantelitis'e, oluşturdukları motivasyon ve destek kaynağı sebebiyle Fulya Asena Uluç'a, Aykut Efe'ye ve diğer ofis arkadaşlarıma, takıldığım herhangi bir engelde beni yalnız bırakmayan tüm Arçelik Merkez Arge Ailesine çok teşekkür ederim.

Özellikle, üzerimde büyük bir emeği olan melek anneme, babama ve kardeşlerime bana yaşattıkları her bir duygu ve en ufak konuda dahi şüphe etmeden uzattıkları her bir yardım eli için sonsuz teşekkürlerimi, yüksek lisans tezi çalışmamın önsözünde bir kez daha dile getirmekten tarifsiz mutluluk duyuyorum.

Son olarak, bu çalışmanın, okurlarına faydalı olmasını ve yapılacak yeni çalışmalara ilham olmasını içtenlikle diliyorum.

Mayıs 2023

Rahmi Mert Akkühah
Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
1.2.1 Bulaşık makinesi tanıtım	2
1.2.2 Bulaşık makinesi kurutma sistemleri	4
1.2.3 Patent ve pazar araştırması	11
1.2.4 Bulaşık makinesinde buharlaşma ve yoğunlaşma	16
1.2.5 Sıcak ve nemli havanın soğutulması	18
1.2.6 Bulaşık makinesi standartları ve performans değerlendirme yöntemleri ..	21
1.3 Hipotez	23
2. TEORİK YAKLAŞIM	25
2.1 Yük-Hava Arayüzeyi	28
2.2 Soğuk Su-Hava Arayüzeyi	32
2.3 Duvar-Hava Arayüzeyi	34
2.4 Süzülme	35
2.5 Otomatik Kapı Açma	37
2.6 Dış Yüzey-Hava Arayüzeyi	38
3. HIZLI KURUTMA YÖNTEMİ	41
4. DENEYSEL TASARIM	47
4.1 Deneyin Amacı	47
4.2 Deney Tasarımı	47
4.3 Deney Düzeneklerinin Kurulması	51
4.3.1 Bulaşık makinesi ve standart yükler	52
4.3.2 Pleksi mobilya ve nem ölçüm yüzeyi	55
4.3.3 Yük inceleme ışığı	57
4.3.4 Kurutma sistemi hava kanalları	58
4.3.5 Kurutma sistemi fanı	59
4.3.6 Fan güç kaynağı ve kontrol kartı	61
4.3.7 Hava yönlendirme aparatı	61
4.3.8 Termokupl	62
4.3.9 Debimetre	63
4.3.10 Veri toplama sistemi	63

4.3.11 Anemometre	64
4.4 Ön Deneyler.....	65
4.4.1 Hazneye alınan su miktarının belirlenmesi	65
4.4.2 Kurutma sistemi basınç kaybı ve debi ölçümü.....	67
4.4.3 SGD ölçümü.....	69
4.4.4 Su sızdırmazlık testleri	69
4.5 Deney Yöntemi.....	70
4.6 Kontrol Deneyleri:.....	73
4.7 Ölçüm Belirsizliği	74
5. SONUÇLAR	75
5.1 Birinci Deney Seti	77
5.2 İkinci Deney Seti	82
5.2.1 Kurutma sıcaklığının etkisi	83
5.2.2 Kurutmada hazneye alınan su miktarının etkisi	84
5.2.3 Hava sirkülasyon debisi miktarının etkisi	87
5.2.4 Kapı açma kuralının farklı olduğu koşullar.....	90
5.2.5 Deneysel verilerin istatistiksel analizi (ANOVA&Regresyon)	94
5.3 Referans Koşul ve Öneri Koşulunun Karşılaştırılması	98
6. DEĞERLENDİRME, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR.....	105
EKLER	109
ÖZGEÇMİŞ.....	121

KISALTMALAR

ANOVA	: Varyans Analizi
ARGE	: Araştırma ve Geliştirme
CENELEC	: Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
FDM	: Ergiyik Biriktirme Modelleme
HYA	: Hava yönlendirme aparatı
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı
K	: Koşul
KÇ	: Kapalı �evrim sistemi
KP	: Kurutma performansı
KRT	: Kurutma
LP	: Leke performansı
PWM	: Sinyal Genişlik Modülasyonu
Ref	: Referans hal
SAR	: Yarı Yankısız Oda
SCD	: Sıcak durulama
SGD	: Ses gücü düzeyi
SLA	: Stereolitografi
TE	: Termoelektrik
VTs	: Veri Toplama Sistemi
3D	: �� boyutlu



SEMBOLLER

A	: Kesit yüzey alanı
C_p	: Özgül ısı
D_{ab}	: Kütle yayılım katsayısı
D_{su-hava}	: Su buharının hava içerisinde yayılım katsayısı
E_{fan}	: Fan enerji tüketimi
E_{krt}	: Kurutma adımında enerji tüketimi
E_{scd}	: Sıcak durulama adımında enerji tüketimi
E_{tot}	: Toplam enerji tüketimi
f	: Sürtünme katsayısı
h_{ısı}	: Isı taşınım katsayısı
h_{kütle}	: Kütle taşınım katsayısı
h_{fg}	: Buharlaşma gizli ısı
I₁	: Sabit katsayı
I₂	: Sabit katsayı
k	: Isı iletim katsayısı
L_c	: Karakteristik uzunluk
m	: Kütle miktarı
m_a	: a türünün kütlesi
m_{H2O}	: Su kütlesi
m_{kuru hava}	: Kuru hava kütlesi
$\dot{m}$	: Birim zamanda kütle geçişi miktarı veya kütleli debi
$\dot{m}_{yayınım}$	: Birim zamanda yayılım yoluyla kütle geçişi miktarı
$\dot{m}_{taşınım}$	: Birim zamanda taşınım yoluyla kütle geçişi miktarı
$\dot{m}_{buhar}$	: Birim zamanda buharlaşan su miktarı
m''	: Kütle akısı
m''_{az}	: a türünün z yönlü kütle akısı
m''_{bz}	: b türünün z yönlü kütle akısı
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Basınç

P_{H_2O}	: Su buharı kısmi basıncı
P_{doy, H_2O}	: Su buharı doyma basıncı
$P_{kuru\ hava}$	: Kuru hava kısmi basıncı
Pr	: Prandtl sayısı
Q	: Isıl enerji miktarı
$\dot{Q}_{iletim}$	: Birim zamanda iletimle yoluyla ısı geçişi miktarı
$\dot{Q}_{ışınım}$	: Birim zamanda ışıınım yoluyla ısı geçişi miktarı
$\dot{Q}_{su}$	: Birim zamanda suya geçen ısı miktarı
$\dot{Q}_{taşınım}$	: Birim zamanda taşınım yoluyla ısı geçişi miktarı
Re	: Reynolds sayısı
Sc	: Schmidt sayısı
Sh	: Sherwood sayısı
Su_{ay}	: Ana yıkama adımında alınan su miktarı
Su_{scd}	: Sıcak durulama adımında alınan su miktarı
$Su_{şgd}$	: Soğuk durulama adımında alınan su miktarı
Su_{krt}	: Kurutma adımında alınan su miktarı
t	: Zaman
t_{fan}	: Fan çalışma süresi
t_{krt}	: Kurutma adımı süresi
t_{scd}	: Sıcak durulama adımı süresi
t_{tot}	: Toplam program süresi
T	: Sıcaklık
T_a	: a türünün sıcaklığı
T_{as}	: Alt sepet sıcaklığı
T_{ay}	: Ana yıkama sıcaklığı
T_b	: b türünün sıcaklığı
T_{doy}	: Su buharına doymuş hava sıcaklığı
T_s	: Arayüz sıcaklığı
T_{haz}	: Hazne sıcaklığı
T_{kab}	: Pleksi mobilya üst yüzeyinde kapı üst bölgesindeki sıcaklık
T_{os}	: Orta sepet sıcaklığı
T_{scd}	: Sıcak durulama sıcaklığı
T_{tab}	: Tabak sıcaklığı
$T_{üs}$	: Üst sepet sıcaklığı
T_{∞}	: Ortam sıcaklığı

ΔT	: Sıcaklık farkı
V	: Hız
w_a	: Karışımda a türünün kütle kesri
w_b	: Karışımda b türünün kütle kesri
ω_{doy}	: Su buharına doymuş hava özgül nemi
α	: Isıl yayılım katsayısı
ρ	: Yoğunluk
ρ_a	: a türünün yoğunluğu
ρ_b	: b türünün yoğunluğu
$\rho_{a,s}$	: a türünün arayüzdeki yoğunluğu
$\rho_{a,\infty}$	: b türünün ortamdaki yoğunluğu
$\Delta\rho$	: Yoğunluk farkı
μ	: Dinamik viskozite
ν	: Kinematik viskozite
σ	: Yüzey gerilimi
$\tau_{\text{yük-su}}$	: Suyun yük yüzeyi üzerindeki kayma gerilmesi
$\tau_{\text{su-hava}}$	: Havanın ıslak yüzey üzerindeki kayma gerilmesi
ϕ	: Bağıl nem
ω	: Özgül nem



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : EN50242 Avrupa standartına göre bulaşık makinesi kurutma performansı değerlendirme kriterleri [36].....	23
Çizelge 4.1 : Referans koşula ait parametreler.	48
Çizelge 4.2 : Birinci deney setindeki koşullara özgü parametreler.	49
Çizelge 4.3 : İkinci deney setindeki koşullara özgü parametreler.	50
Çizelge 4.4 : Fan nominal çalışma koşuluna ait teknik özellikler.	59
Çizelge 4.5 : Deney düzeneğinde kullanılan termokupllar.....	62
Çizelge 4.6 : Hazneye alınan suyun oluşturduğu yüzey alanının ölçümü.	66
Çizelge 4.7 : Fan hızına bağlı sistem hava debisi ve SGD ölçümü sonuçları.	69
Çizelge 5.1 : Birinci deney setindeki koşullarda yapılan testlerin sonuçları.	77
Çizelge 5.2 : İkinci deney setindeki koşullarda yapılan testlerin sonuçları.....	85
Çizelge 5.3 : Referans koşul ile hızlı kurutma yöntemi için önerilen koşulun karşılaştırması.	98
Çizelge B.1: Deneysel çalışmaya ait ölçüm sonuçları.....	115



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Bulaşık makinesi genel yıkama çevrimi grafiği.	3
Şekil 1.2 : Bulaşık makinesi kurutma adımıda alt ve üst sepet bölgelerindeki bağıl nem ölçümleri [7].....	5
Şekil 1.3 : Harici su tankı ile soğuk yoğuşma yüzeyi oluşturan fanlı kapalı çevrim kurutma sistemi [1].	6
Şekil 1.4 : Bulaşık makinesinde, sıcak ve nemli havadan suyun yoğuşturulması için levha kanatlı ısı değıştiricisi kullanımının şematik gösterimi [8].....	7
Şekil 1.5 : Son durulama sıcaklığı, sirkülasyon debisi ve fan çalışma süresine göre kurutma performansının dağılımı [9].....	8
Şekil 1.6 : Açık adsorpsiyonlu kurutma sisteminin şematik gösterimi [13].....	10
Şekil 1.7 : Uygulanan sisteme göre kurutma adımıda yükler üzerinde kalan su miktarının zamana bağıl değışimi [10].	11
Şekil 1.8 : Bulaşık yıkama makinesi için kurutma cihazı patent görseli [16].	11
Şekil 1.9 : Bulaşık yıkama makinesi hava kanalı sistemi patent görseli [17].....	12
Şekil 1.10 : Nemli hava ile suyu doğrudan kanal içerisinde temas ettiren kanal tasarımı [19].....	13
Şekil 1.11 : Havadan havaya ısı değıştiricisine sahip hava kanalı tasarımı [20].....	13
Şekil 1.12 : Grundig GNUP4620XC bulaşık makinesi kurutma sistemi hava kanalı ve fanı.	15
Şekil 1.13 : ASKO DBI664PHXXLS.U bulaşık makinesi kurutma sistemi hava kanalı ve fanı [22].....	15
Şekil 1.14 : Miele G7925 SCi bulaşık makinesi kurutma sistemi fanı ve hava akış yolunun gösterimi.	16
Şekil 1.15 : Psikrometrik diyagram [30].....	20
Şekil 1.16 : Bağıl nemi yüksek havanın soğuk su yüzeyi üzerine çarpıtılarak soğutulmasının psikrometrik diyagram üzerinde şematik gösterimi. ...	21
Şekil 2.1 : Yük-hava arayüzeyinde gerçekleşen fiziksel olayların şematik gösterimi.	30
Şekil 2.2 : Soğuk su-hava arayüzeyinde gerçekleşen fiziksel olayların şematik gösterimi.	33
Şekil 2.3 : Duvar-hava arayüzeyinde gerçekleşen fiziksel olayların şematik gösterimi.	35
Şekil 2.4 : Kapı açma uygulamasıyla gerçekleşen açık çevrim hava sirkülasyonunun şematik gösterimi.	38
Şekil 3.1 : Çalışmada kullanılan bulaşık makinesinin katalog görünümü [14].	43
Şekil 3.2 : Kapalı çevrim hava sirkülasyonu sistemi tasarımı.	44
Şekil 3.3 : Hava yönlendirme aparatı tasarımı.....	45
Şekil 4.1 : Deney düzeneğinin şematik gösterimi.	51
Şekil 4.2 : Deney düzeneğinin laboratuvar ortamında görünüşü.....	52
Şekil 4.3 : Çalışmada kullanılan bulaşık makinesi referans halinin detay görüntüleri.	53

Şekil 4.4 : Bulaşık makinesi yıkama grubu patlatma resmi.....	53
Şekil 4.5 : Bulaşık makinesi kabin grubu patlatma resmi.....	54
Şekil 4.6 : Çalışmada kullanılan bulaşık makinesine ait deklarasyon etiketi.	54
Şekil 4.7 : Bulaşık makinesi modeline özgü yük dizilimi.	55
Şekil 4.8 : Bulaşık makinesi performans testlerinde kullanılan Avrupa standartı yükleri.	55
Şekil 4.9 : Saydam pleksi mobilya.....	56
Şekil 4.10 : Nem miktarı ölçüm yüzeyi.	57
Şekil 4.11 : Nem ölçümünde kullanılan hassas terazi ve havlu kağıt.....	57
Şekil 4.12 : Yük inceleme ışığı.....	58
Şekil 4.13 : Kapalı çevrim hava kanalı prototipi.	59
Şekil 4.14 : SUNON PF9733BX-B05-SB9 model hava sirkülasyon fanı.	60
Şekil 4.15 : Fana ait basınç&debi eğrisi.	60
Şekil 4.16 : Fan tutucu.	60
Şekil 4.17 : Agilent marka güç kaynağı.....	61
Şekil 4.18 : Fan hızı kontrol kiti.	61
Şekil 4.19 : Hava yönlendirme aparatı.....	62
Şekil 4.20 : Tabak üzerinde ve haznede termokupl yerleşimi.	63
Şekil 4.21 : Debimetre katalog gösterimi.	63
Şekil 4.22 : Veri toplama ünitesi.	64
Şekil 4.23 : KEYSIGHT marka 34970A modeli veri alıcısı.	64
Şekil 4.24 : ION marka 6200 modeli enerji analizörü.	65
Şekil 4.25 : Testo-440 ‘hot wire anemometresi’.....	65
Şekil 4.26 : Kabin zemininde oluşan su yüzeyi.	66
Şekil 4.27 : Ölçü kabı.	67
Şekil 4.28 : Basınç fark rüzgar tüneli şematik gösterimi.	67
Şekil 4.29 : Emme ve basma hattı hava kanallarına ait basınç kaybı eğrisi grafiği... ..	68
Şekil 4.30 : Hava kanalı basınç kaybı ölçüm düzeneği.	68
Şekil 4.31 : Bulaşık makinesi SGD ölçüm düzeneği.	70
Şekil 4.32 : Bulaşık makinesi kapı açma uygulamasının gösterimi.	71
Şekil 4.33 : Leke performansı testi yük dizilimi.....	73
Şekil 4.34 : Leke performansı puanlama kataloğu.	73
Şekil 4.35 : Operatör teknisyen için ölçüm yeterliliği testleri sonuçları.	74
Şekil 5.1 : K3/1,3 testlerine ait sıcaklık grafiği.	75
Şekil 5.2 : Referans koşulda program akışı grafiği.....	76
Şekil 5.3 : Pleksi mobilya üzerinde yoğuşan suyun görüntüsü.....	78
Şekil 5.4 : Birinci deney seti koşullarındaki testlere ait sıcaklık dağılımı grafikleri.	80
Şekil 5.5 : Birinci deney seti koşullarındaki testlere ait hazne sıcaklığı grafiği.	81
Şekil 5.6 : Birinci deney seti koşullarındaki testlere ait orta sepet sıcaklığı grafiği.. ..	81
Şekil 5.7 : Birinci deney seti koşullarındaki testlere ait tabak sıcaklığı grafiği.....	82
Şekil 5.8 : K6/3, K7/1, K8/2 ve K9/1 testlerine ait hazne sıcaklığı grafiği.	84
Şekil 5.9 : K6/3, K7/1, K8/2 ve K9/1 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.	86
Şekil 5.10 : K6/3, K7/1, K8/2 ve K9/1 testlerine ait tabak sıcaklığı grafiği.....	86
Şekil 5.11 : K8/2, K10/2 ve K11/1 testlerine ait hazne sıcaklığı grafiği.	87
Şekil 5.12 : K8/2, K10/2 ve K11/1 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.	88
Şekil 5.13 : K8/2, K12/4, K13/3, K14/2 ve K15/2 testlerine ait hazne sıcaklığı grafiği.	88
Şekil 5.14 : K8/2, K12/4, K13/3, K14/2 ve K15/2 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.	89

Şekil 5.15 : K8/2, K12/4, K13/3, K14/2 ve K15/2 testlerine ait tabak sıcaklığı grafiği.	89
Şekil 5.16 : K11/1 ve K19/1 testlerine ait hazne ve orta sepet sıcaklığı grafiği.	90
Şekil 5.17 : K8/2, K16/1 ve K17/3 testlerine ait hazne sıcaklığı grafiği.	91
Şekil 5.18 : K8/2, K16/1 ve K17/3 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.	92
Şekil 5.19 : K8/2, K16/1 ve K17/3 testlerine ait kabin üzeri sıcaklık grafiği.	92
Şekil 5.20 : K20/3, K21/1, K22/1 ve K23/3 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.	93
Şekil 5.21 : Minitab yazılımında gerçekleştirilen analize ait sonuçlar.	95
Şekil 5.22 : Minitab yazılımında gerçekleştirilen analize ait artıkların normal dağılım testi.	96
Şekil 5.23 : Parametrelerin kurutma performansına etkisini gösteren pasta grafiği.	97
Şekil 5.24 : Modele ait optimizasyon eğrileri: (a) T _{scd} : 60°C, Debi: 8 l/s ve KP: 82. (b) T _{scd} : 65°C, Debi: 8 l/s ve KP: 86,5.	97
Şekil 5.25 : Referans koşul ve Koşul24'ün karşılaştırma grafiği.	98
Şekil A.1 : Testo-440 kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası.	110
Şekil A.2 : VTS kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası 1.	111
Şekil A.3 : VTS kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası 2.	112
Şekil A.4 : VTS kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası 3.	113
Şekil A.5 : Debimetre kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası.	114



BULAŞIK MAKİNESİNDE İNOVATİF HIZLI KURUTMA YÖNTEMİ TASARIMI VE YÖNTEM PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Hemen hemen tüm evlerde bulunan ev aletlerinden birisi, bulaşıkları daha hijyenik ve daha verimli şekilde temizleyen bulaşık makineleridir. Bulaşık makinelerinde temizlik çevrimi genel olarak sırasıyla ön veya soğuk yıkama, ana yıkama, soğuk durulama, sıcak durulama (SCD) ve kurutma (KRT) adımlarından oluşmaktadır. Kullanıcının bulaşık makinesinden beklentisi ise olabildiğince kısa sürede, kirden tamamen arındırılmış ve üzerinde su kalıntısı bulunmayan yükler elde etmektir. Daha verimli ve performansı yüksek bulaşık makinelerine ilginin artması nedeniyle bulaşık makinesi sistemlerini geliştirmek amacıyla birçok çalışma yürütülmektedir. Bu çalışmalardan bir bölümünün odak noktası ise kurutma sistemlerinin geliştirilerek kurutma performansının iyileştirilmesidir. Günümüz teknolojisinde bulaşık makineleri özelinde tasarlanmış birçok kurutma sistemi mevcuttur. Bu sistemler açık veya kapalı, dinamik (fanlı) veya statik (fansız) olabilmektedir ve özelleşmiş teknolojiler içerebilmektedir.

Bulaşık makinesi KRT adımıyla temelde buharlaşma ve yoğunlaşma fiziksel olayları gerçekleşmektedir. Bu olaylar kütle, ısı ve momentum aktarımının karmaşık bir fonksiyonu olduğu için bu aktarımların farklı kombinasyonları da farklı kurutma performansı sağlamaktadır. Islak yüzeyler üzerindeki su kalıntılarının buharlaşma hızını etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar arasında suyun sıcaklığı, hava basıncı, hava nem oranı, su-hava temas yüzeyi alanı ve havanın hareketi bulunur. Kütle geçişi hızının artırılması için en temelde derişim farkının artırılması gereklidir. Bunun için yüzeyler etrafındaki doymuş nem oranına sahip hava hacmiyle, nem oranı daha düşük hava hacminin devamlı olarak yer değiştirmesi gerekmektedir. Ayrıca, kinetik enerjisi artan hava hacminin nem taşıma kapasitesi ve buna bağlı olarak arayüzeyde derişim farkı arttığı için yüksek sıcaklıklarda buharlaşma hızının arttığı bilinmektedir. KRT adımıyla bulaşık makinesi içerisindeki hava hacminin nem oranının düşük tutulması için kapalı veya açık sistem uygulamaları bulunmaktadır. Açık sistem uygulamaları, derişimin farkının daha basit ve etkili şekilde sağlanmasına izin verse de bulaşık makinesi içerisindeki sıcak ve nemli havanın direkt olarak dış ortama tahliye edilmesi insan ve mobilya sağlığı açısından tehlike doğurabilmektedir. Kapalı sistem uygulamalarında ise, kurutmada verimlilik ancak daha kompleks ve maliyeti yüksek tasarımların oluşturulmasıyla sağlanmaktadır.

Bu bağlamda, ev tipi bulaşık makinelerinin kurutma sistemlerine odaklanan bir tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması, ev tipi bulaşık makinelerinde kurutma hızını arttırarak kısa zaman zarfında yüksek kurutma performansı sağlayacak yenilikçi bir kurutma yöntemi tasarlamak amacıyla ele alınmıştır. Deneysel çalışmalar, tasarlanan kurutma yöntemin faydasının sınındığı ve yöntemine ait girdi parametrelerinin etkisinin incelendiği iki farklı deney seti altında kapsamlı ve standartlara uygun olarak

yürütülmüştür. Çalışmalar sonucunda, yeni kurutma sistemi özelinde oluşturulmuş, referans koşula görece olarak daha iyi bir genel performans sunan koşul önermesi yapılmıştır. Bulaşık makinelerinde yüksek yıkama ve kurutma performansına, görece olarak yüksek enerji tüketimiyle daha kısa süre zarfında ulaşan hızlı program bulunmaktadır. Hızlı kurutmanın mercek altına alındığı bu çalışmadaki aksiyonlar hızlı program üzerine kurgulanmıştır.

Çalışma süresince literatürde var olan bulaşık makinesi kurutma sistemleri özelindeki çalışmalar araştırılmıştır. Ayrıca, pazar ve patent araştırması yürütülerek tasarlanan kurutma sistemleri detaylıca incelenmiştir. Geniş kapsamda gerçekleştirilen araştırma süreci sonucunda, yenilikçi özellik taşıyan ve kurutma prosesinde gerçekleşen fiziksel olaylara ait teorik yaklaşımlara dayanan bir kurutma yöntemi önerilmiş ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında önerilen kurutma yöntemi, yüksek kapasiteye sahip fanlı kapalı çevrim hava sirkülasyonuna, bulaşık makinesi kabini içerisindeki sepet üzerine entegre edilen bir hava yönlendirme aparatına ve otomatik kapı açma fonksiyonuna sahiptir. Ayrıca, bu yöntem özelinde kurutma prosesi, soğuk yüzey oluşturmak amacıyla kabin içerisine şebeke suyunun alındığı bir su alma adımı da içermektedir. Tasarlanan yöntemin yenilikçi bir özellik taşıması sebebiyle haklarını korumak amacıyla 2023/005137 TR numaralı patent başvurusu gerçekleştirilmiştir.

Bulaşık makinesi KRT adımı buharlaşma hızına etki eden en baskın parametrelerden birisi sıcaklıktır. KRT adımı kabin içerisindeki nemli ve sıcak havanın yüzeyler etrafından uzaklaştırılarak yerine taze havanın beslendiği en etkili ve pratik uygulama ise otomatik kapı açma özelliğidir. Bu nedenlere bağlı olarak, KRT adımı öncesi SCD adımı yüzeylerin sıcaklıklarını olabildiğince arttırmak ve KRT adımı derişim farkını sağlamak için otomatik kapı açma uygulaması gerçekleştirmek, bulaşık makinesinde buharlaşma hızını üst seviyelere taşımak için yeterli olacaktır. Fakat yüksek sıcaklığa ve nem oranına sahip iç havanın direkt olarak dış ortama tahliye edilmesi kullanıcı sağlığı ve mobilya ömrü açısından olumsuz sonuçlara yol açabildiği için otomatik kapı açma uygulaması bazı kurallarla sınırlandırılmaktadır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan yöntemde, yüksek sıcaklıklara sahip KRT adımı başında otomatik kapı açma uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için kısa sürede kabin iç havasının uygun şartlara getirileceği bir sistem önerilmektedir. Yönteme göre, KRT adımı başladığında hazneye yeteri miktarda musluk suyu (15°C) alınarak kabin zemininde bir soğuk yüzey oluşturulmaktadır. Ardından, yüksek kapasiteli fan ve hava kanallarından oluşan kapalı çevrim hava sirkülasyonu sistemi çalıştırılmaktadır. Sıcak ve nemli havadan soğuk yüzeye doğru olan ısı ve kütle geçişi miktarının arttırılması için bir hava yönlendirme aparatı kullanılarak sirkülasyon hattındaki hava direkt olarak soğuk su yüzeyine çarptırılmaktadır. Kapalı çevrimde havanın tariflenen yöntemle sirkülasyonu sonucunda kısa sürede kabin iç havası uygun kabin iç havası sıcaklık ve nem miktarı değerlerine erişmektedir. Kabin iç havasının şartlandırılması sonucu otomatik kapı açma fonksiyonu devreye girerek kapalı çevrim sirkülasyonu durmakta, haznedeki su tahliye edilmekte ve böylece açık sistem koşulları oluşmaktadır. Yöntemin gerçekleşmesiyle, yüksek yük sıcaklıklarında bulaşık makinesi kapısı açılarak yüksek debide açık çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştirilmekte ve kurutma hızının önemli miktarda artması sağlanmaktadır.

Yönteme özgü hava sirkülasyonu sisteminin üretilmesi sonrası deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere bulaşık makinesi prototipi oluşturulmuştur. Ek olarak, bulaşık makinesi çevresindeki mobilya yüzeylerini temsil edecek ve dış yüzeyler üzerinde olası yoğunlaşmaların gözlemlenmesine olanak sağlayacak bir saydam pleksi mobilya

tasarımı yapılmıştır. Standartlara uygun testler ve ölçümler gerçekleştirilmesi kaygısıyla tasarlanan deney düzeneği Arçelik A.Ş. Merkez Arge Performans Laboratuvarı'nda kurulmuştur. Test edilen her bir koşul için tam çevrim temizleme programı çalıştırılmış ve çevrim boyunca 8 farklı bölgeye yerleştirilmiş termokupllardan alınan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümlerine ek olarak güç, enerji ve su tüketim değerleri VTS (Veri Toplama Sistemi) tarafından toplanmıştır. Her bir test sonrasında kurutma performansının değerlendirmesi, EN50242 standartına uygun ölçüm yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kurutma performansına ek olarak, pleksi mobilya yüzeyleri kontrol edilerek varsa yoğuşan su miktarı ölçümü yapılmıştır. Referans koşul olarak, kullanılan bulaşık makinesinin orijinal hızlı programı test edilmiştir. Birinci deney seti altında bu çalışmada önerilen hızlı kurutma yönteminin faydasını kanıtlamak için tasarlanan 6 koşul test edilmiştir. İkinci deney seti altında ise toplam 19 koşulda, kurutma sistemi performansına etkiyecek girdi parametrelerinin etkisini incelemek için testler yapılmıştır. İkinci deney seti altında 70, 65, 60 ve 55 °C olmak üzere farklı SCD sıcaklıklarının, 4, 3,5 ve 3 l olmak üzere farklı 'kurutmada hazneye alınan su' miktarının ve 6, 7, 8, 10, 15 olmak üzere beş farklı hava sirkülasyonu debisi miktarının etkisi test edilmiştir. Ayrıca, yukarıdaki koşullarda kapı açma sıcaklığı kuralı olarak, kabin iç havasının 42°C sıcaklığa düşmesi gerektiği kuralına uyulsa da deney setinin devamındaki koşullarda farklı kapı açma kurallarının etkisi de test edilmiştir. Her koşulda en az 3 tekrarlı olacak şekilde testler yürütülmüştür.

Referans program sıcaklıklarında, referans program toplam enerji tüketimini ve toplam süresini koruyacak şekilde yeni kurutma yönteminin uygulanmasıyla gerçekleştirilen birinci deney setinin son koşulunda yapılan testlere göre, referans programa görece olarak kurutma performansında %20 oranında bir artış sağlanarak kurutma performansı 92 puan seviyelerine yükseltilmiştir. Yönteme etkiyen parametreleri incelemek amacıyla, tasarlanan KRT adımı koşullarında, deneyler gerçekleştirilerek toplamda 64 kadar test sonucu detaylı incelenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca bu veri seti ANOVA ve Regresyon istatistiksel analizlerine tabi tutulmuştur. Kurutma süresini kayda değer miktarda kısaltırken, enerji tüketiminin olabildiğince düşük ve kurutma performansının olabildiğince yüksek olmasını sağlayacak bir koşul önerilmiştir. Önerilen koşul ile referans koşula görece olarak su tüketiminde 4 litrelik bir artışa karşın toplam enerji tüketiminden %23 ve toplam süreden %30 oranında kazanç sağlanırken kurutma performansında %9 oranında bir yükselme elde edilmiştir. Toplam program süresi 67 dk'dan 47 dk seviyesine indirilmiştir.

Ek olarak, çalışma kapsamında önerilen kurutma yöntemi hızlı program özelinde toplam su tüketimini arttırsa da KRT adımı sisteme alınan bu suyun tahliye edilmeyip, bir sonraki temizleme çevriminde kullanılmak üzere depolanabilmesi değerlendirilmektedir.



DESIGN OF A NOVEL QUICK DRYING METHOD IN DISHWASHER AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF METHOD'S PARAMETERS

SUMMARY

In the era of advanced technology, household appliances are tools that facilitate human life and meet needs more conveniently and efficiently. One of the appliances found in almost every home is the dishwasher, which cleans dishes in a more hygienic and efficient manner. Dishwashers hold a significant place in people's lives, and the cleaning cycle generally consists of pre-wash or cold wash, main wash, cold rinse, hot rinse, and drying steps. In choosing a dishwasher, users consider not only energy and water consumption but also washing and drying performance. Users expect their dishwasher to deliver dishes that are completely free from dirt and water residue as quickly as possible. Due to the increasing interest in more efficient and high-performance dishwashers, many studies are carried out in order to develop dishwasher systems. One aspect of these studies focuses on enhancing drying systems to improve drying performance. In today's technology, there are various drying systems designed specifically for dishwashers. These systems can be open or closed, dynamic (with fans) or static (w/o fan) and may incorporate specialized technologies.

In the drying step of a dishwasher, the fundamental physical phenomena involved are evaporation and condensation. These phenomena are a complex function of mass, heat, and momentum transfer, and different combinations of these transfers result in different drying performance. There are several factors that affect the evaporation rate of water residues on wet surfaces. These factors include the temperature, air pressure, air humidity, surface area of water-air contact, and air movement. Increasing the concentration difference is essential to enhance the mass transfer rate. This requires continuous displacement of the volume of air with saturated humidity around the surfaces by air with lower humidity. Additionally, it is known that the evaporation rate increases at higher temperatures due to the increased moisture holding capacity of saturated air with increased kinetic energy and the resulting higher concentration difference at the interface.

In the drying step, there are both open and closed system applications to maintain a low humidity level in the air volume inside the dishwasher. Open system applications allow for a simpler and more effective establishment of concentration difference. However, directly venting the hot and humid air from the dishwasher to the external environment can pose risks to furniture life and human health. On the other hand, closed system applications achieve efficiency in drying through more complex and costly designs.

In this context, a thesis study focusing on the drying systems of household dishwashers has been conducted. The aim of the thesis was to design an innovative drying method that would increase the drying speed and achieve high drying performance in a short period of time for household dishwashers. Different conditions were designed to test the benefits of the newly designed drying method and examine the parameters that

would affect the system's performance. Experimental studies were conducted under two different sets of experiments in accordance with standard in order to test the benefits of the novel drying method and analyze the impact of input parameters related to the method. As a result of the studies, a proposal was made for a condition that offers better overall performance compared to the reference condition, specifically for the new drying system. In dishwashers, there is a quick program that achieves high washing and drying performance in a relatively shorter period through high energy consumption. The actions in this study, focusing on quick drying, were designed based on the quick program.

Throughout the study, literature research was conducted on the existing dishwasher drying systems. Additionally, market and patent research were conducted, and the designed drying systems were thoroughly examined. As a result of the extensive research process, a drying method was proposed and designed, which carries innovative features and is based on theoretical approaches to the physical phenomena occurring in the drying process. Within the scope of this study, the proposed drying method includes a high-capacity fan-assisted closed-loop air circulation system, an air directing device integrated onto the dishwasher basket, and the door opening function. Furthermore, in this method, the drying process includes a water intake step where the tap water is taken into the cabinet to create a cold surface. Due to the innovative features of the designed method, a patent application with the number 2023/005137 TR has been filed to protect its rights.

One of the dominant parameters that affect the evaporation rate in the dishwasher drying step is temperature. The most effective and practical application to remove the humid and hot air from the cabinet and replace it with fresh air is the automatic door opening feature. Therefore, increasing the surface temperatures as much as possible in the hot rinsing step and opening the door to create a concentration difference in the drying step will be sufficient to increase the evaporation rate in the dishwasher. However, direct discharge of the internal air with high temperature and humidity to the outside can have negative consequences for user and furniture health, so the automatic door opening function is limited by certain rules. In the proposed drying method, a system is suggested to bring the internal air of the cabinet to suitable conditions in a short period of time, allowing the automatic door opening to be performed at the beginning of the drying step even with high temperatures. According to the method, at the beginning of the drying step, a sufficient amount of tap water (15°C) is taken into the sump, creating a cold surface on the floor of the dishwasher cabinet. Then, a closed-loop air circulation system consisting of a high-capacity fan and air ducts is activated. An air directing device is used to direct the air in the circulation line towards the cold-water surface for increasing the amount of heat and mass transfer from the hot and humid air to the cold surface. As a result of the circulation of air in the closed-loop system according to the described method, the internal air of the cabinet reaches the desired temperature and humidity values in a short period of time. Once the internal air of the cabinet is conditioned, the automatic door opening function is activated, the water in the sump is drained, and open system conditions are established. While conditioning the internal air of the cabinet in the closed-loop system, although the dishwasher loads cool down to some extent, they still have high temperatures when the door is opened. With the implementation of the method, the dishwasher door is opened at high load temperatures, allowing a significant amount of open-loop air circulation, and greatly increasing the drying speed. The device that directs the air from the suction line of the circulation system

towards the cold-water surface before mixing with the air inside the cabinet is integrated into the dishwasher basket to ensure structural compatibility. The air ducts and fan associated with the air circulation system are designed to be installed on the selected prototype, which is the Grundig brand GNUP4620XC model dishwasher, for the experimental study.

A dishwasher prototype with the air circulation system specific to the method was prepared for use in experimental studies. A plexiglass furniture design was made to represent the furniture surfaces surrounding the dishwasher and to allow observation of possible condensation on the external surfaces. The dimensions of this plexiglass furniture were selected to be compatible with the wooden furniture dimensions specified in the EN50242 standard. The experimental setup, designed with the concern of conducting tests and measurements in accordance with standards, was established at Arçelik A.Ş. Central R&D Performance Laboratory. For each tested condition, a full cycle cleaning program was run, and temperature measurements from eight different areas using thermocouples, as well as power, energy, and water consumption data, were collected by DAQ (Data Acquisition System). After each test, the drying performance was evaluated using measurement methods compliant with the EN50242 standard. In addition to drying performance, measurements of any condensed water on the plexiglass furniture surfaces were conducted. The original quick program of the dishwasher used as a reference condition was tested. Within the first set of experiments, six conditions which are designed to demonstrate the benefits of the proposed fast drying method were tested. In the second set of experiments, tests were conducted to examine the effects of input parameters on the performance of the drying system with a total of 19 conditions. The second set of experiments contain testing different hot rinse temperatures of 70, 65, 60, and 55 °C, different amounts of water taken to the drying sump of 4, 3,5 and 3 liters, and five different air circulation flow rates of 6, 7, 8, 10, and 15 l/s. Additionally, the effect of different door opening rules was tested in the subsequent conditions, despite adhering to the rule that the cabin interior air temperature should drop to 42 °C. Tests were conducted with a minimum of three repetitions for each condition.

The last condition of the first set of experiments was created to maintain the temperatures, total energy consumption and total duration of the reference program. According to the tests carried out by applying the new drying method under this condition, the drying performance was increased to 92/100 points by providing a 20% increase in the drying performance relative to the reference program. Experiments were carried out under the conditions designed to examine the parameters affecting the method, and a total of 64 test results were examined and evaluated in detail. In addition, the data set was subjected to ANOVA and Regression statistical analyzes. A condition was proposed to shorten the drying time while keeping the energy consumption as low as possible and the drying performance as high as possible. With the proposed condition, despite an increase of 4 l in water consumption relative to the reference condition, 23% of the total energy consumption and 30% of the total time were saved, while an increase of 9% in the drying performance was obtained. The total program duration was reduced from 67 minutes to 47 minutes. The hot rinse temperature can be lowered as the method significantly increases the drying rate. In this way, energy consumption is reduced. The significant reduction in duration of program is achieved by both reducing the hot rinse temperature, which shortens the heater time, and reducing the drying step duration compared to the reference. Additionally, the occurrence of condensation on the surfaces outside the dishwasher

was controlled during the implementation of the method, and no condensation was observed in any area that could potentially damage the furniture during the measurements.

Within the scope of the study, although the proposed drying method increases the total water consumption, it is known that the water taken into the system during the drying step can be stored without being drained and used in the next cleaning cycle. Today's high-efficiency dishwashers have water storage tanks with a capacity of approximately 3 l. Water tanks are designed to save energy by using conditioned water at room temperature. In this method recommended for the fast program, these water tanks can be used to store the clean water taken in the drying step and not exposed to any contaminants.



1. GİRİŞ

Günümüzde hemen hemen her evde bulaşık makinesi kullanılmaktadır. Bu cihazlar, insan günlük yaşamında önemli bir yer tutmaktadır. Bulaşık makineleri, temizlik çevrimi olarak genellikle sırasıyla ön veya soğuk yıkama, ana yıkama, soğuk durulama, sıcak durulama (SCD) ve kurutma (KRT) aşamalarından oluşmaktadır. Kullanıcılar açısından bulaşık makinesi seçiminde enerji ve su tüketimi kadar, yıkama ve kurutma performansı (KP) da büyük bir önem arz etmektedir.

Son zamanlarda, daha verimli ve kısa program sürelerinde yüksek performans sunan bulaşık makinelerine olan talep artmıştır ve bu nedenle bulaşık makinesi sistemlerinin geliştirilmesi konusunda birçok çalışmanın yürütülmesine yol açmıştır. Gelişen teknoloji ve yenilikçi yaklaşımlarla birlikte, bulaşık makinelerinin verimliliği ve performansı sürekli olarak iyileştirilmektedir. Bu iyileştirmeler bulaşık makinelerinin kullanımı ve kullanıcı memnuniyeti açısından önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu çalışmalardan bir bölümünün odak noktası ise gelişmiş ve yüksek performansa sahip kurutma sistemlerinin oluşturulmasıdır [1-4]. Günümüz teknolojisinde ev tipi bulaşık makineleri özelinde tasarlanmış çeşitli kurutma sistemleri bulunmaktadır [1].

Bu bağlamda, ev tipi bulaşık makinelerinin kurutma sistemlerine odaklanan bir tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Amaç, bulaşık makinelerinde kısa zaman diliminde yüksek KP sağlayacak yenilikçi bir kurutma yöntemi oluşturmaktır. Bulaşık makinelerinde yüksek yıkama ve KP'na ulaşmak için, göreceli olarak yüksek enerji tüketimi gerektiren hızlı programlar bulunmaktadır. Bu çalışmada, özellikle hızlı programda hızlı kurutma sağlanması konusunun üzerinde yoğunlaşmıştır ve aksiyonlar bu doğrultuda planlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Tez çalışması, ev tipi bulaşık makinelerinde kurutma hızını arttırarak kısa zaman zarfında yüksek KP sağlayacak yenilikçi bir kurutma yöntemi tasarlamak amacıyla ele alınmıştır. Tasarlanan yeni kurutma yönteminin faydasının sınanacağı ve sistemin

performansına etkiyecek olan parametrelerin inceleneceği koşullarda standarta uygun deneysel çalışmaların yürütülmesi hedeflenmiştir. Çalışmalar sonucunda, yeni kurutma sistemi için oluşturulmuş, referans koşula görece olarak daha iyi bir genel performans sunan koşul önermesi ortaya koymak gayesi güdülmüştür.

1.2 Literatür Araştırması

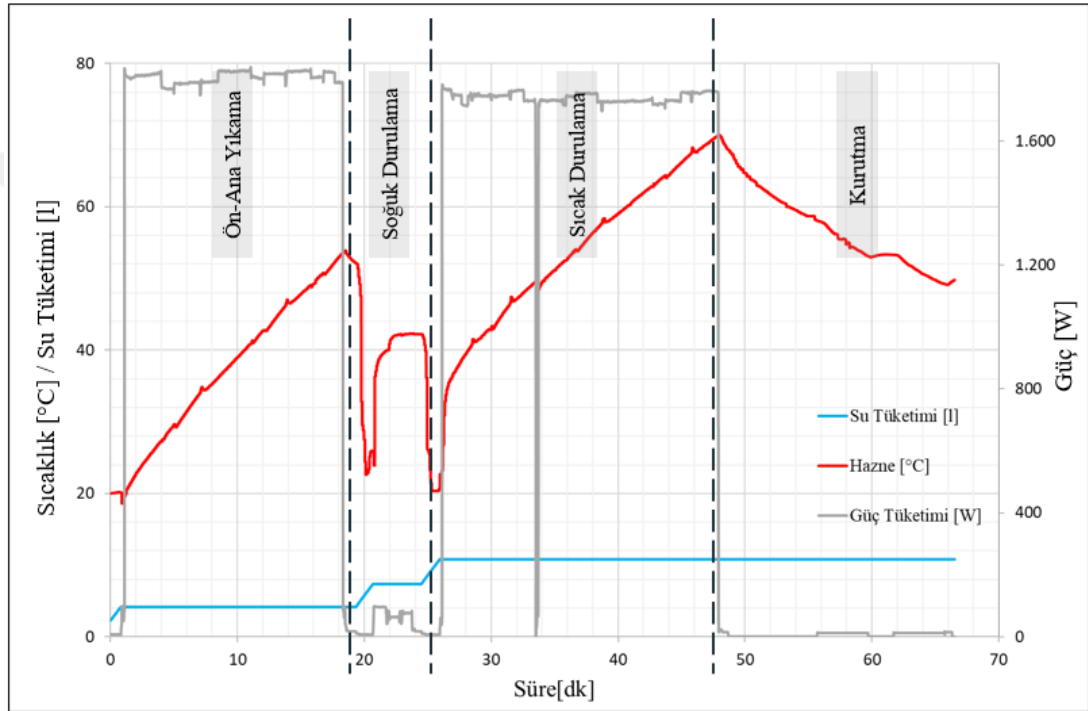
Bu çalışma kapsamında ev tipi bulaşık makinesini genel anlamda tanımak, bulaşık makinelerinde var olan kurutma sistemlerini tanımak, bu sistemlerin avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla detaylı bir literatür araştırması gerçekleştirilmiştir. Bulaşık makinesi kurutma yöntemi özelinde oluşturulan hipotezi destekleyecek fiziksel fenomenler hakkında gerçekleştirilmiş çalışmalar araştırılmıştır. Planlanan deneysel çalışma öncesinde, bulaşık makinesi test standartları ve performans değerlendirme yöntemlerini içeren EN 50242 detaylı olarak incelenmiştir ve Bölüm 1.2.6’da anlatılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu edinilen kazanımlar bölümün devamında alt başlıklar halinde aktarılmıştır.

1.2.1 Bulaşık makinesi tanıtım

Bulaşık makinelerinde temizlik çevrimi genel olarak sırasıyla ön veya soğuk yıkama, ana yıkama, soğuk durulama, SCD ve kurutma proseslerinden oluşmaktadır. Temizlenecek yüklerin yani kirli tencere, tabak, bardak, çatal, bıçak, kaşık gibi bulaşıkların yerleştirildiği sepetlerin ve sepet aparatlarının, spreyleme sistemlerinin, filtrelerin bulunduğu ve yıkamanın gerçekleştiği bölüme yıkama grubu, bu işlemin gerçekleştiği hacme yıkama kabini denmektedir.

Bir bulaşık makinesi genel yıkama algoritması şöyledir. Her yıkama ve durulama adımlarında, algoritmaya göre değişen miktarda 2-6 l su hazneye alınmaktadır. Yıkama programı algoritmasına göre su alınan adım sayısı 2-4 arası değişmektedir. Yıkama suyu, değişken süreler boyunca değişen pompa devirlerinde yüklerin üzerine dönen veya sabit spreyleyiciler vasıtasıyla püskürtülmektedir. Her su çevrimi adımı sonrasında tahliye pompası çalıştırılarak kirli su tahliye edilmektedir. Ana yıkamada yıkama etkinliğinin ve son durulama adımında kurutma etkinliğinin artırılması için ısıtıcı çalıştırılarak şebekeden alınan su ve kabin içerisindeki yüzeyler 40-70°C arasında değişen belirli sıcaklık değerlerine kadar ısıtılmaktadır. Ayrıca, ana yıkamada deterjan kullanılarak yıkama performansı, SCD adımında parlatıcı kullanılarak KP

kimyasal etki ile iyileştirilmektedir. Parlatici, su damlalarının yüzeylere tutunarak asılı kalmasını zorlaştırmakta ve KRT adımı sonunda özellikle cam yüklerin nispeten daha parlak görünmesini sağlamaktadır. İkinci Son durulama adımı bittikten ve su tahliye edildikten sonra KRT adımı başlamaktadır. Kurutma sisteminin sahip olduğu fonksiyonlar devreye girerek program algoritmasına göre KRT adımı, belirlenen süre sonrasında bitmektedir. Sonuçta bir bulaşık makinesi program döngüsü tamamlanmış olmaktadır. Genel yıkama çevrimine ait örnek sıcaklık, enerji tüketimi ve su tüketimi eğrileri Şekil 1.1 'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 1.1 : Bulaşık makinesi genel yıkama çevrimi grafiği.

Günümüz bulaşık makinelerinin su ve enerji verimliliği, yük miktarı veya kir seviyesini algılayan gelişmiş kontrol üniteleri, iyileştirilmiş kir filtreleri, yüksek verimli motorlar, gelişmiş kabin yalıtımları veya kurutma döngüsünü iyileştiren gelişmiş sistemlerin kullanılmasıyla arttırılmaktadır [2,5].

Bulaşık makinesi tasarımındaki bu gelişmelere rağmen, halen su ısıtmasından kaynaklanan enerji tüketimi genel enerji tüketimi yüzdesinin büyük bir dilimini oluşturmaktadır [6]. Literatürdeki veriye göre, bir bulaşık makinesi döngüsü sırasında elektriğin yaklaşık %80 ila %90'ı, yıkama ve durulama adımlarındaki suyun ısıtılması sırasında tüketilir [3].

Bulaşık makinesinin ana adımlarından biri olan KRT adımı, yıkama adımı boyuncatemizlenen yüklerin üzerinde kalan su damlaları ve birikintilerinin buharlaşma yoluyla uzaklaştırılması gerekmektedir. Yüklerin kurutulması için buharlaşma hızını arttıran en baskın parametre sıcaklıktır [1]. Kurutma prosesi öncesinde son durulama adımı, yükler üzerine püskürtülen su ısıtıcı vasıtasıyla ısıtılarak yüklerin sıcaklığı artırılır. Kabin içerisinde bulunan yüklerin ve diğer yüzeylerin yüksek miktarda ısı enerji depolaması sebebiyle bulaşık makinesinde kurutma, enerji tüketiminin yüksek olduğu bir adımdır.

Verimlilik etkisiz kurutma nedeniyle de engellenir [2]. Bulaşık makinelerinde kurutma sisteminin ve bağlantılı olarak kurutma prosesinin geliştirilmesi, enerji tüketiminin azaltılarak verimliliğin artırılması açısından en önemli odak noktalarından birisidir [5]. Kurutma prosesindeki geliştirmeler enerji verimliliğinin yanında kullanıcı memnuniyeti açısından da önem taşımaktadır. Kullanıcının bulaşık makinesinden beklentisi, olabildiğince kısa sürede, kirden tamamen arındırılmış ve üzerinde su kalıntısı bulunmayan yükler elde etmektir. Kurutma prosesindeki iyileştirmelere bağlı olarak kurutmanın hızlı gerçekleşmesi toplam program süresini kayda değer miktarda azaltmaktadır.

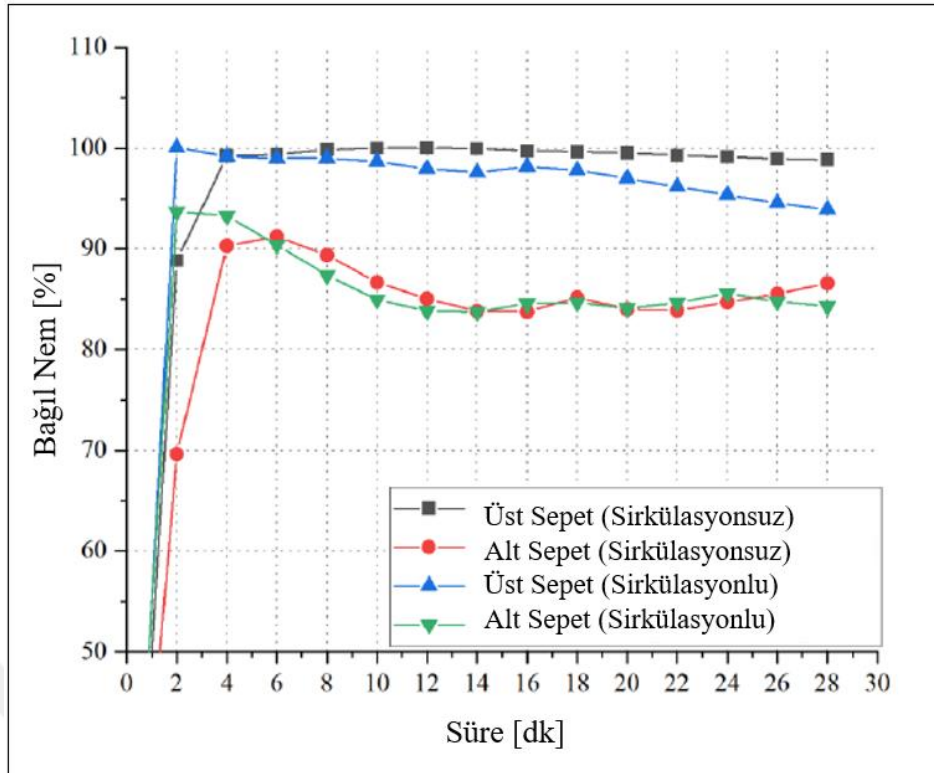
Özetle, bulaşık makinesi kurutma sistemi iyileştirme çalışmalarında amaç, en düşük enerji tüketimine ve en kısa kurutma süresine düşük maliyetlerle ulaşmaktır.

1.2.2 Bulaşık makinesi kurutma sistemleri

Dinamik sistemlerde, tasarıma eklenen bir fan vasıtasıyla zorlanmış taşınım yoluyla hava sirküle edilirken fanın bulunmadığı statik kurutma sistemlerinde havanın momentumu doğal taşınıma bağlı hareketten kaynaklanır.

Statik kurutma sistemine sahip bulaşık makinelerinde KRT adımı başında üst ve alt sepet bölgelerinde termal katmanlaşma mevcuttur. Ayrıca üst sepetteki buharlaşma hızı, katmanlaşma nedeniyle alt sepete göre daha yavaştır [7]. Şekil 1.2'deki grafik, bulaşık makinesi KRT adımıdaki sıcak ve nemli havanın katmanlaşmasını göstermektedir. Sirkülasyonun var olduğu durumlarda katmanlardaki bağıl nemin sirkülasyon olmadığı duruma göre zamanla azaldığı görülmektedir.

Statik kapalı sistemlerde, dış ortama ısı geçişi sebebiyle kabin yüzeyleri yüklere kıyasla daha hızlı soğumaktadır. Sıcak yükler üzerindeki suyun buharlaşması sonucunda yüksek nem oranına sahip hava, soğuk kabin yüzeyine temas ettiğinde



Şekil 1.2 : Bulaşık makinesi kurutma adımında alt ve üst sepet bölgelerindeki bağıl nem ölçümleri [7].

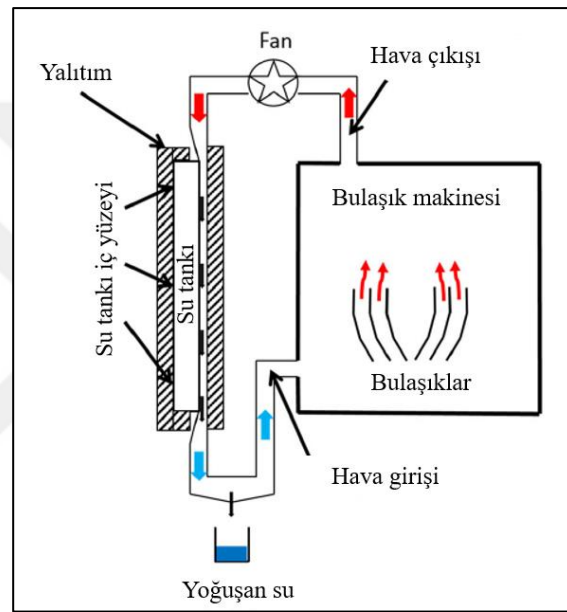
yoğuşma meydana gelmektedir. Su buharının bu yüzeylerde havadan alınmasıyla yükler üzerinden buharlaşma devam etmektedir. Bu yöntem, görece olarak kurutma hızının düşük olduğu bir yöntemdir.

Dinamik sistemlerde kabin içerisinde hava sirkülasyonunun sağlanması sonucunda termal katmanlaşma oranı minimuma indirilmektedir ve alt sepet üzerinde önemli bir etkisi olmasa da üst sepetteki yüklerin kuruma performansı %60 oranında iyileştirilmektedir [7].

Kurutma prosesini iyileştirmek için kabin içindeki havanın bir hava kanalından geçirilerek dışarıya atıldığı, havanın bir yoğuşturucu ünitesi içerisinde geçirilerek özgül nemin düşürüldüğü, sadece otomatik kapıyı açarak kabin içindeki nemli havanın direkt dışarıya salındığı veya havayı ısıtıp nem oranını azaltarak kabine geri üfleyen gelişmiş kurutma sistemleri de mevcuttur.

Aşağıda bulaşık makinesi kurutma sistemleri ve prosesi üzerine yapılan literatürdeki çalışmalar özetlenmiştir. Metin akışı, sırasıyla kapalı çevrim hava sirkülasyonu, ısı pompası uygulaması, absorbent malzeme kullanımı ve açık çevrim hava sirkülasyonu içeren bulaşık makinesi sistemlerini aktaracak şekilde kurgulanmıştır.

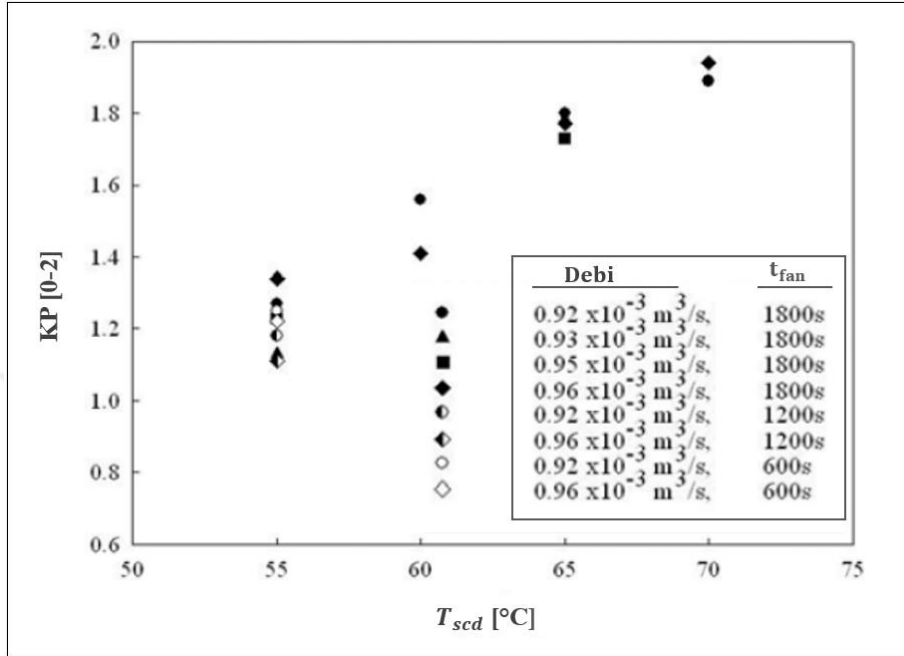
Bengtsson ve Berghel'in yaptığı çalışma [1], bulaşık makinesinde fanlı kapalı hava çevrim bir kurutma sisteminin konsept tasarımını ve deneysel incelemesini içermektedir. Kapalı çevrim hava sirkülasyon sistemi Şekil 1.3'te şematize edildiği gibi bulaşık makinesi kazanı ve kazan dışındaki su tankının soğuk yüzeyini birbirine bağlamaktadır. Soğuk yüzeyden geçirilen sıcak hava yoğunlaşma yaratarak taşıdığı nemin bir miktarını yüzeyde bırakmaktadır. Bu konsept tasarım ile açık çevrim kurutma sistemine kıyasla kurutma için önemli bir etken olan SCD sıcaklığı 48°C den 46°C'ye düşürülebilmektedir. Aynı KP sağlanırken, belirtilen sıcaklık düşümü sonucunda 0.039 kWh/çevrim enerji tüketiminde azalma sağlanmıştır [1].



Şekil 1.3 : Harici su tankı ile soğuk yoğunlaşma yüzeyi oluşturan fanlı kapalı çevrim kurutma sistemi [1].

Kim ve diğ.'nin yaptığı çalışmada [8], bulaşık makinesi için oluşturulan, nemli ve sıcak havanın yoğunlaştırılarak yüklerin üzerindeki suyun buharlaşması yani kurutmanın gerçekleştirilmesi için havadan havaya levha kanatlı ısı değiştiricisine sahip bir kapalı çevrim kurutma sistemi tasarımından bahsedilmektedir. Isı değiştiricisinden çıkan nemi alınmış hava dışarıya atılmamakta tekrar bulaşık makinesi kabinine dönmektedir. Deneysel ve sayısal modeli kurularak performans değerlendirilmesi yapılan ısı değiştiricisinin, Şekil 1.4'te şematik gösterimi verildiği gibi entegre edilmesiyle bulaşık makinesinde KP'nın iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, Kim ve diğ., bulaşık makinesinde havanın nemini almak için birkaç farklı uygulama olduğunu ancak havadan havaya ısı değiştiricisinin daha hijyenik bir yöntem olduğunu söylemektedir [8].

performans ölçümleri sonucunda, kurutma enerjisi de göz önüne alındığında ısı geri kazanımlı ve TE ısı pompalı prototip, referans prototipe kıyasla %2,5 daha az enerji tüketmiştir. Referans hale göre %40 oranında iyileştirilmiş KP sonuçlarına ulaşılmıştır.



Şekil 1.5 : Son durulama sıcaklığı, sirkülasyon debisi ve fan çalışma süresine göre kurutma performansının dağılımı [9].

Bengtsson ve diğ. [3] göre, buhar çevrimli ısı pompası sistemine sahip bir bulaşık makinesi, geleneksel bir bulaşık makinesine kıyasla, yıkama ve durulama adımlarında aynı yıkama çalışma süresi ve maksimum sıcaklıklar ile %24 daha az elektrik enerjisi kullanmaktadır. Venkatesh'nın yaptığı çalışmada [11] ise çok fonksiyonlu olarak tasarlanan bir ısı pompası sistemi bulaşık makinesine entegre edilerek yıkama suyunun ısıtılması ve kurutma havasının ısıtılması bu sistem ile gerçekleştirildiğinde birincil enerji ihtiyacında %80'e varan bir azalma olabileceği belirtilmektedir. Isı pompalı bulaşık makinelerinde enerji tüketimindeki iyileştirmelerin geldiği noktayı (2016) örnekleyecek bir çalışma olarak Bengtsson ve Berghel [12], 0,48 kWh/çevrim enerji tüketimine kadar düşen, gri sudan ısı geri kazanımı için bir ısı pompası ile donatılmış bir V-ZUG Adora SL WP bulaşık makinesinden bahsetmektedir.

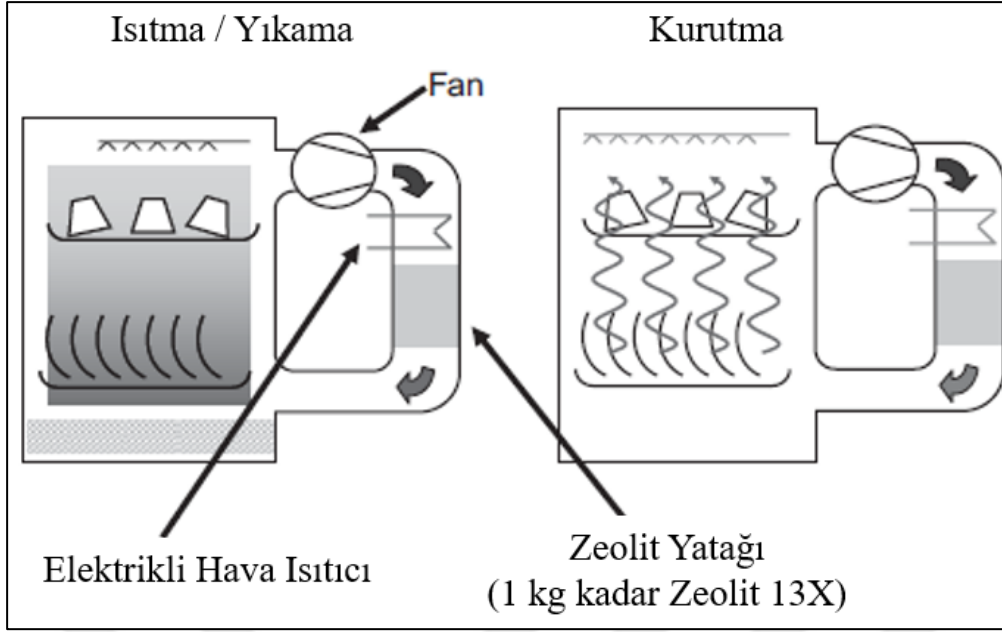
Gelişen teknolojiyle beraber adsorbent malzemeler bulaşık makinesi sistemlerinde de kullanılmaya başlamıştır. Genel olarak bulaşık makinelerinde adsorpsiyonlu kurutma sistemi, KRT adımıyla kabindeki nemli havanın özel adsorpsiyon ünitesine gönderilerek neminin alınması ve tekrar kapalı çevrimde nem toplamak üzere kabine

üflenerek sirküle edilmesi prensibiyle çalışmaktadır. KRT aşamasında, nemi yıkama kutusundan, su buharının hızla adsorbe edildiği adsorpsiyon ünitesine taşımak için bir fan çalıştırılmaktadır. Dakikalar içinde hava, nemini bırakarak adsorpsiyon entalpisi nedeniyle yüksek sıcaklığa ulaşmaktadır. Daha sonra bu sıcak ve kuru hava, yüklerin daha verimli bir şekilde kurutulması için bulaşık makinesi kabinine geri gönderilir. Kurutma prosesi dışında, adsorpsiyon ünitesi tarafından emilen nem yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen rejenerasyon işlemi ile yoğunlaştırularak sistemden uzaklaştırılmaktadır. Bu sistemlerin verimli kurutması sebebiyle, kurutma prosesi öncesinde yüklerin SCD adımıyla yüksek sıcaklıklara ısıtılmasına gerek yoktur. Bu sistemler, diğer kurutma sistemleri kıyasla yüksek KP'nı düşük enerji tüketimi sonucunda sağlamaktadır, fakat maliyet getirileri oldukça yüksektir.

Santori ve diğ.nin yaptığı çalışma [4], 13X zeolit, mikro gözenekli silika jel ve SAPO-34 zeolit gibi farklı kurutucu maddeler kullanan bir adsorpsiyonlu bulaşık makinesinin deneysel testlerini bildirmektedir. Seçilen adsorbent malzemelerin termodinamik karşılaştırması, özgül ısı, adsorpsiyon denge eğrileri ve sorpsiyon entalpisi gibi ana termofiziksel parametrelerin deneysel ölçümü temelinde gerçekleştirilmiştir. Optimum sistem konfigürasyonunda adsorbent malzeme olarak bir silika jel olan Siogel kullanılarak oluşturulan son prototip üzerinde yapılan testlerde, standart bir çevrimde çalışan ve A enerji etiketine sahip standart bir bulaşık makinesine kıyasla enerji tüketiminde %41 azalma (0,636 kWh), KP'nda %18 iyileşme (25 g su emilimi) elde edilmiştir.

Hauer ve Fischer'in yaptığı çalışmada [13], açık adsorpsiyon sistemine sahip bir bulaşık makinesi prototipinden bahsedilmektedir. Farklı olarak Şekil 1.6'daki şemada görüldüğü gibi, adsorpsiyon sisteminin rejenerasyonunda açığa çıkan nem ve havanın sahip olduğu ısı enerji yıkama adımıyla fan çalıştırılarak suyu ısıtmak için kullanılmaktadır. Suyu ısıtmak için ayrıca bir elektrikli ısıtıcı kullanılmamaktadır. Adsorpsiyon sistemi, termal tahrikli ısı pompası ve aynı zamanda ısı enerji deposu olarak kullanılarak yaklaşık %24 enerji tüketiminin azaldığı belirtilmektedir.

Bulaşık makinesi kurutma sistemleri arasında açık çevrim hava sirkülasyonuna sahip tasarımlar da mevcuttur. Açık çevrim hava sirkülasyonu basit bir fan-kanal sistemi vasıtasıyla gerçekleştirildiği gibi sıcak havanın kabin içerisinden emildikten sonra bir miktar taze havayla karıştırılarak dışarıya atıldığı kurutma sistemleri vardır [14,15].



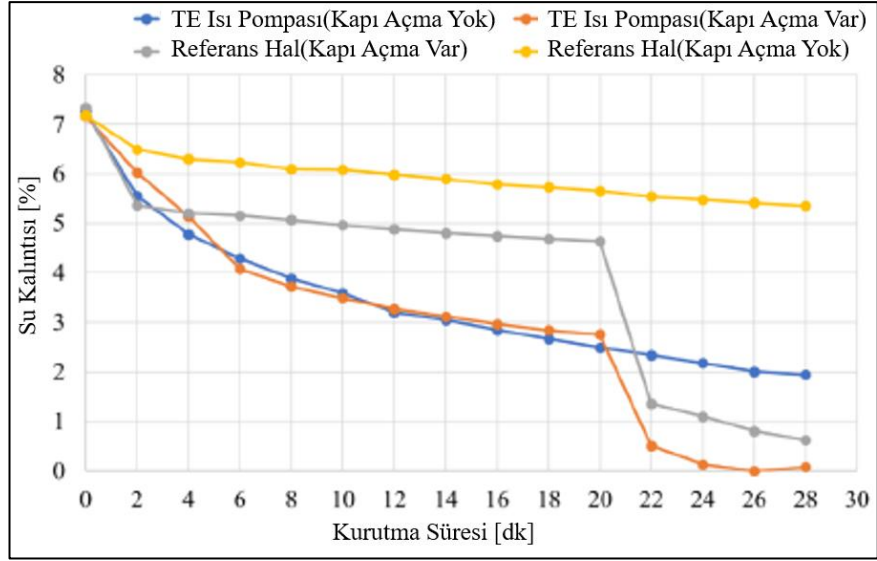
Şekil 1.6 : Açık adsorpsiyonlu kurutma sisteminin şematik gösterimi [13].

Ayrıca fansız, otomatik kapı açma fonksiyonlu açık çevrim hava sirkülasyonuna sahip kurutma sistemleri de bulaşık makinelerine uygulanmaktadır.

Kapalı çevrim kurutma sistemlerinde kapı KRT adımı boyunca kapalıdır. Bazı sistemlerde KRT adımının başında ya da belirli bir anında kapı açılarak nemli havanın dış ortama kaçmasına izin verilmektedir. Nemli havanın hızlıca tahliye olup hacmin bağıl nemi düşük hava ile dolması sebebiyle yüklerin kuruması hızlanmaktadır. Bulaşık makinelerinde kurutma kütle, ısı ve momentum aktarımının karmaşık bir fonksiyonu olduğundan açık ve kapalı çevrim sistemlerin çeşitli kombinasyonu kurutmada verimliliği arttırmaktadır [7].

Kumar ve diğ.'nin yaptığı çalışmada [7], otomatik kapı açma özelliği ile hem üst hem de alt sepetteki yükler üzerinde kalan su içeriğinde önemli ölçüde (%200 iyileştirme) azalma görüldüğü belirtilmektedir. Ayrıca, sirkülasyon fanının ve otomatik kapı açma özelliğinin birlikte kullanılmasıyla alt sepetin KRT adımı sonunda tamamen kuruduğu ifade edilmektedir.

Kumar ve diğ. çalışmasından [10] alıntılanan Şekil 1.7'deki grafikte verilen testlerde 20. dakikada bulaşık makinesinin kapısı açılmaktadır. Kapı açma fonksiyonunun KP'na etkisi grafikten açıkça görülmektedir. Çalışmaya göre TE ısı pompası sistemine ek olarak kapı açma fonksiyonunun 20. dakikada devreye girmesi sonucu KP'nda referansa göre %60 oranında iyileşme görüldüğü söylenmektedir.

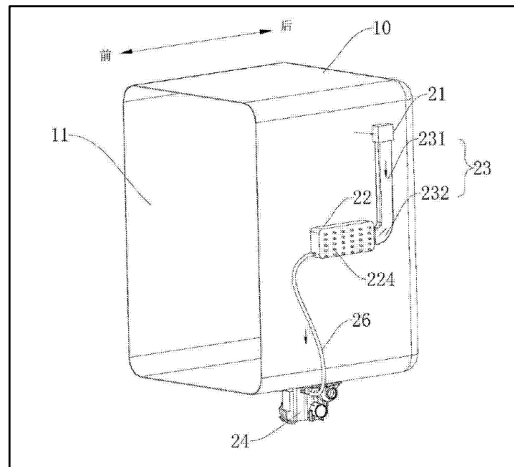


Şekil 1.7 : Uygulanan sisteme göre kurutma adımında yükler üzerinde kalan su miktarının zamana bağlı değişimi [10].

1.2.3 Patent ve pazar araştırması

Ev tipi bulaşık makinesi kurutma sistemleri özelinde alınan patentler ve pazardaki bazı ürünler incelenmiştir. Patent araştırmasında, bu çalışmada önerilen sisteme benzer sistemleri derleyecek şekilde bir filtre uygulanmıştır (ta all "Fast drying" OR ta all "Fast Cooling" OR ta all "Water intake" OR ta all "Cold surface") AND (cpc any "A47L15" OR cpc any "A47L15/0044" OR cpc any "A47L15/488" OR cpc any "A47L15/486" OR cpc any "A47L15/48" OR cpc any "A47L15/0034" OR cpc any "A47L15/0013"). Araştırma sonucu elde edilen çıktılar aşağıda verilmektedir.

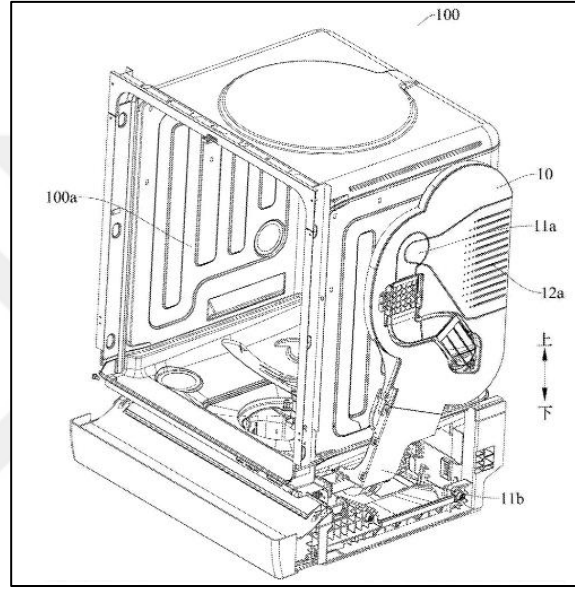
2017 yılında CN106859566A başvuru numarası ile MIDEA firması tarafından korunmaya alınmış buluşa ait tasarım Şekil 1.8’de verilmiştir.



Şekil 1.8 : Bulaşık yıkama makinesi için kurutma cihazı patent görseli [16].

Patente bulaşık makinesine entegre edilen bir yoğuşturma cihazından bahsedilmektedir. Patente göre, kabin yüzeyindeki bir açıklıktan fan-kanal sistemi aracılığıyla emilen nemli ve sıcak hava yarı iletken teknolojisi ile soğutulmuş olan yoğuşturma cihazından geçirilmektedir. Soğutulmuş nemi alınan hava tekrar kabine geri beslenmektedir. Yoğuşan su ise tahliye hortumu aracılığıyla hazneye dönmektedir. Bu tasarım ile KP'nın iyileştirildiği iddia edilmektedir [16].

2018 yılında CN108577768A başvuru numarası ile MIDEA firması tarafından korunmaya alınmış buluşa ait tasarım Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9 : Bulaşık yıkama makinesi hava kanalı sistemi patent görseli [17].

Patentte bulaşık makinesine entegre edilen bir açık çevrim hava kanalı tasarımından bahsedilmektedir. Patente göre, iç yapısı akışı boğmak üzere yoğun feder yapılarıyla donatılmış olan hava kanalı içerisinden nemli hava geçerken yoğuşma gerçekleşmekte ve havanın nem oranı azalmaktadır. Kabin içerisinden emilerek kanaldan geçirilen hava dış ortama atılmaktadır. Bu kanal tasarımı ile KRT adımı kabin dışına atılan havanın nem oranının azaltılarak dış yüzeylerde yoğuşmasının ve mobilyalara zarar vermesinin önüne geçildiği iddia edilmektedir [17].

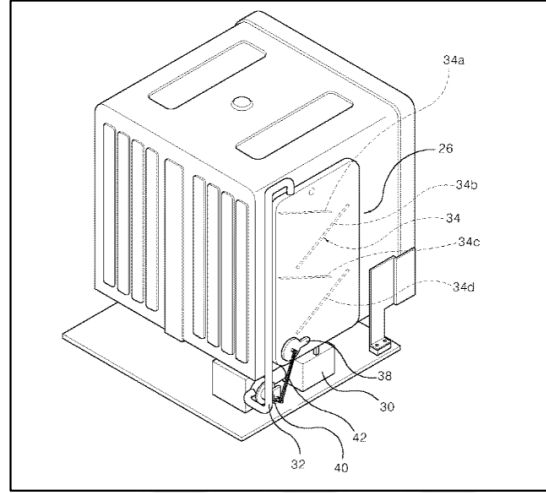
1976 yılında DE2440422A1 başvuru numarası ile korunmaya alınmış buluşta, KRT adımı kabin dışına atılan havanın nem oranının azaltılarak dış yüzeylerde yoğuşmasının ve mobilyalara zarar vermesinin önüne geçildiği iddia edilmektedir [17].

1976 yılında DE2440422A1 başvuru numarası ile korunmaya alınmış buluşta, KRT adımı kabin dışına atılan havanın nem oranının azaltılarak dış yüzeylerde yoğuşmasının ve mobilyalara zarar vermesinin önüne geçildiği iddia edilmektedir [17].

1976 yılında DE2440422A1 başvuru numarası ile korunmaya alınmış buluşta, KRT adımı kabin dışına atılan havanın nem oranının azaltılarak dış yüzeylerde yoğuşmasının ve mobilyalara zarar vermesinin önüne geçildiği iddia edilmektedir [17].

1976 yılında DE2440422A1 başvuru numarası ile korunmaya alınmış buluşta, KRT adımı kabin dışına atılan havanın nem oranının azaltılarak dış yüzeylerde yoğuşmasının ve mobilyalara zarar vermesinin önüne geçildiği iddia edilmektedir [17].

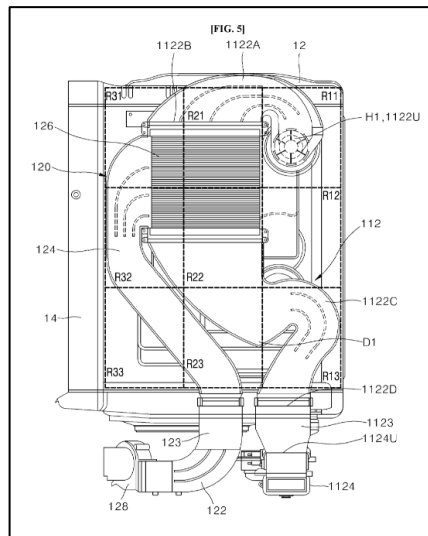
2005 yılında KR100477007B1 başvuru numarası ile LG firması tarafından korunmaya alınmış buluşa ait tasarım Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10 : Nemli hava ile suyu doğrudan kanal içerisinde temas ettiren kanal tasarımı [19].

Patentte bulaşık makinesine entegre edilen Şekil 1.10'daki gelişmiş hava kanalı tasarımından bahsedilmektedir. Kabin içerisindeki hava kapalı çevrimde bu kanal içerisinden geçirilerek sirküle edilmektedir. Kanalın üst bölgesinden bir soğuk su beslemesi vardır. Sıcak ve nemli hava kanal içerisinden geçirilirken soğuk su ile çarpıştırılmaktadır ve böylece havanın nem oranının azaltıldığı iddia edilmektedir. Tasarım ile KP'nın iyileştirildiği ifade edilmektedir [19].

2022 yılında EP3987998A1 başvuru numarası ile LG firması tarafından korunmaya alınmış buluşa ait tasarım Şekil 1.11'de verilmiştir.



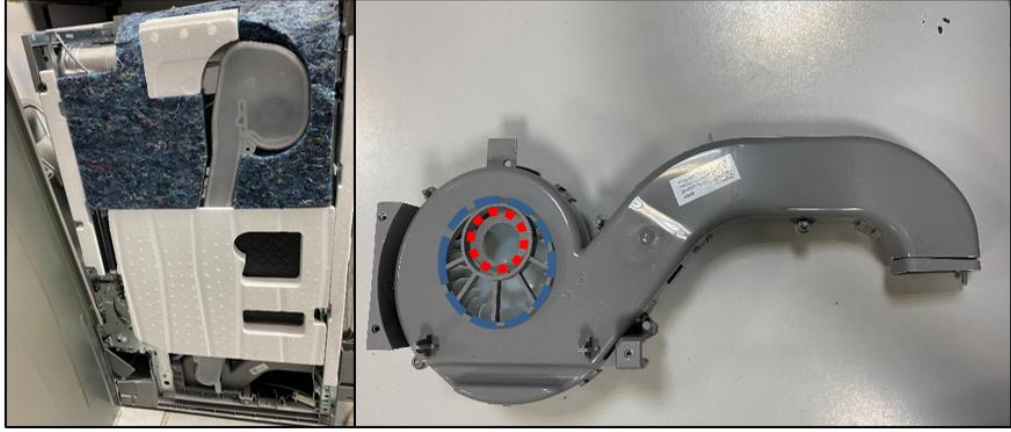
Şekil 1.11 : Havadan havaya ısı değişiricisine sahip hava kanalı tasarımı [20].

Patentte ev tipi bulaşık makinesi kabinine entegre edilmiş hava-hava ısı değıştircisine sahip kanal tasarımından bahsedilmektedir. Tasarımda iki farklı hava akış yolu vardır. Birinci yol havanın kabinden emilerek ısı değıştircisinden geçirildikten sonra tekrar kabin içersine gönderildiği yoldur. İkinci yol ise ısı değıştircisinde soğutucu akışkan olarak görev alan ve ortamdan emilip tekrar ortama geri beslenen havanın aktığı yoldur. İki farklı akış ısı değıştircisinde ısı transferi ve yoğunlaşmayı sağlamaktadır. Patentte, kapalı çevrim sirkülasyonla havanın neminin alınmasıyla KP'nın artırıldığı ifade edilmektedir [20].

2011 yılında DE102009049066A1 başvuru numarası ile korunmaya alınmış buluşta, bulaşık makinesinde Peltier elementi ve faz değıştiren madde kullanarak düşük enerji tüketimine sahip KP yüksek bir kurutma sistemi tasarlandığı iddia edilmektedir. Faz değıştiren maddenin dolu olduğu konteynırda ısı depolanmaktadır. Kurutma prosesinde kapalı çevrimde sirküle edilen nemli ve sıcak hava Peltier elementinin soğuk yüzeyinden geçirilerek yoğunlaşma olayı gerçekleştirilmektedir. Isı depolanmış olan faz değıştiren madde yüzeyinden hava geçirildiğinde ise hava ısınmaktadır. Bu sistem ile yıkama sonrasında bulaşık makinesi kabinindeki nemin alınarak yüklerin kurutulduğu ifade edilmektedir [21].

Şekil 1.12'de Grundig marka GNUP4620XC [14] numaralı bulaşık makinesi üzerindeki kurutma sistemi gösterilmektedir. Açık çevrim hava sirkülasyonuna sahip sistem kabin dış yan yüzeyine entegre edilmiş bir hava kanalı ve bir fan oluşmaktadır. Şekilde fan emiş ağızı üzerindeki kırmızı çember ile gösterilen açıklıktan hava kanalı aracılığıyla kabin içersindeki sıcak ve nemli hava emilmektedir. Fan emiş ağızı üzerindeki mavi çember ile gösterilen açıklıktan ise kabin dışındaki taze hava emilmektedir. Fan içersinde kabinden emilen nemli hava, dış ortamdan emilen taze hava ile karışarak seyrelemektedir. Seyreletme sayesinde fanın dış ortama atılan hava yüzeylerde yoğunlaşmaya neden olmamaktadır. Bu kurutma sisteminde fan bir süre çalıştıktan sonra kabin içi havasının nem oranı ve sıcaklığı azalmaktadır ve sonrasında otomatik kapı açma fonksiyonu devreye girmekte ve fan gücü kesilmektedir.

Şekil 1.13'te ASKO marka DBI664PHXXLS.U [15] numaralı bulaşık makinesi üzerindeki kurutma sistemi gösterilmektedir. Açık çevrim hava sirkülasyonuna sahip sistem, bulaşık makinesi kapağı içersine entegre edilmiş bir hava kanalı ve bir fan oluşmaktadır. Fanın, dış ortama ve kabin içersine açılan iki emiş ağızı bulunmaktadır.



Şekil 1.12 : Grundig GNUP4620XC bulaşık makinesi kurutma sistemi hava kanalı ve fanı.

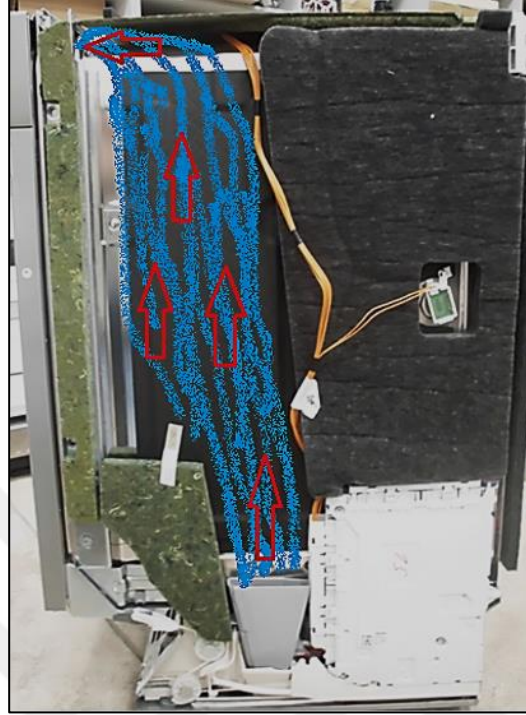
Kabin içerisinden emilen sıcak ve nemli hava ile dış ortamdan emilen taze hava kanal içerisinde karışmaktadır. Karışımın oluşmasıyla kanal içerisinde bir miktar nem yoğunlaşmaktadır. Bağlı nemi düşmüş hava, kanal aracılığıyla kapak alt bölgesinden dış ortama yüzeylerde yoğunlaşma oluşmayacak şekilde atılmaktadır. Bu kurutmak sisteminde fan bir süre çalışıp kabin içi hava koşulları istenen düzeye indiğinde fan gücü kesilmekte ve otomatik kapı açma fonksiyonu devreye girmektedir [22].



Şekil 1.13 : ASKO DBI664PHXXLS.U bulaşık makinesi kurutma sistemi hava kanalı ve fanı [22].

Şekil 1.14'te Miele marka G7925 SCi [23] numaralı bulaşık makinesi üzerindeki kurutma sistemi gösterilmektedir. Kurutma sisteminde bir adet fan bulunmaktadır fakat fanın kabin içi ile bir bağlantısı bulunmamaktadır. KRT adımı fan çalışarak kabin yüzeyini dışarıdan akış etkisiyle soğutmaktadır. Kabin içerisinde bu yüzeyle temas eden sıcak ve nemli hava soğuyarak bir miktar su yoğunlaşmaktadır. Kabin dış yüzeyi üzerine üflenen hava şekilde görüldüğü üzere diğer komponentlerin oluşturduğu kılavuz yolu takip ederek kabin üst bölgesinde kapak üzerinden dış ortama karışmaktadır. Yüzeyin bir süre soğutulması sonucu iç ortam havasının istenilen

şartlara gelmesi sonrasında otomatik kapı açma fonksiyonu devreye girerek kabin iç ortam havası dış ortam havasına karışmaktadır.



Şekil 1.14 : Miele G7925 SCi bulaşık makinesi kurutma sistemi fanı ve hava akış yolunun gösterimi.

1.2.4 Bulaşık makinesinde buharlaşma ve yoğuşma

Bulaşık makinesinin içinde, yüklerin yüzeyi gibi bazı ıslak yüzeylerin sıcaklığı yerel havanın çiy noktasının üzerindedir ve buharlaşmaya maruz kalmaktadır. Diğer yüzeylerin sıcaklığı yerel havanın çiy noktasının altındadır ve yoğuşmaya maruz kalmaktadır. Buharlaşma ve yoğuşma, bulaşık makinesindeki yüklerin kurutulmasında üzerine çalışılan önemli fiziksel olaylardır. Bir yüzeyden suyun buharlaşması olayı birçok faktör tarafından etkilenebilir. Bunlar arasında suyun sıcaklığı, hava basıncı, hava nem oranı, su-hava temas yüzeyi alanı ve havanın hareketi bulunur. Bulaşık makinesi KRT adımın başında yüklerin yüzeylerinde yüksek sıcaklığa ve yüksek kinetik enerjiye sahip su damlaları bulunmaktadır. Tanecikler arası çekim kuvvetlerini yenerek buharlaşabilen su kütleleri kabin içerisindeki havanın bağıl nemini arttırmaktadır.

Sıcak ve nemli havanın durgun olduğu bir kapalı hacimde güçlü bir sıcaklık ve nem oranı katmanlaşması ortaya çıkmaktadır; hacim keskin bir şekilde sıcak ve nemli bir üst bölgeye ve nispeten soğuk ve kuru bir alt bölgeye ayrılmaktadır [24]. Buharlaşma

sırasındaki sıvı damlanın davranışı, önemli derecede bulunduğu ortamın şartlarına göre değişmektedir [25].

Ljung ve Lundström'ün yaptığı çalışmada [26], bulaşık makinesi iç şartlarını sağlayacak şekilde nemli bir ortamda damlacık buharlaşması sayısal olarak modellenerek incelenmiştir. Yapılan analiz çalışması sonucunda, buharlaşmayı etkileyen en önemli faktörün damlacığın bulunduğu ortamdaki havanın bağıl nemi olduğu ve diğer önemli faktörün sıcaklık farkı olduğu görülmüştür. Ayrıca, yüksek bağıl neme sahip ortamlarda sıcaklık farkının buharlaşma üzerinde daha etkin olduğu belirtilmektedir.

Hava sirkülasyonunun sağlanmadığı bulaşık makinesi kabinlerinde KRT adımının başından itibaren, ısı geçişine bağlı olarak en hızlı soğuyan yüzeyler kabin yüzeyleridir. Kıyasla daha düşük sıcaklığa sahip kabin yüzeylerine temas eden sıcak ve nemli havanın sıcaklığı çiy noktasının altına düşmektedir ve yüzey üzerinde yoğunlaşma gerçekleşerek havanın özgül nemi azalmaktadır.

Soğuk yüzeylerin oluşturulması veya hava sirkülasyonun gerçekleştirilmesi yöntemleriyle havanın nem derişimi azaltılarak yükler üzerindeki buharlaşmanın hızlı bir şekilde devam etmesi sağlanmaktadır. Devamlı ısı transferi sebebiyle zamanla yükler ve üzerinde asılı kalan su damlalarının sıcaklığı da azalmaktadır. Sıcaklık farkının azaldığı durumlarda yerel havanın nem derişimi buharlaşma hızı açısından kritik önem taşımaktadır. Buharlaşma hızının arttırılması için kapalı çevrim hava sirkülasyonunda yoğunlaşma gerçekleştirilerek havanın nemi alınmalı veya açık çevrim hava sirkülasyonu ile buharlaşma sebebiyle özgül nemi artan hava dış ortama atılarak kabin içerisine bağıl nemi düşük taze hava beslenmelidir.

Bulaşık makinesindeki yükler arasındaki mutlak kütle transferi direncindeki değişiklik, yük yüzey alanı, yük yerleşimi ve malzeme içeriğindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır [7]. Yüklerin konumlandırılması üzerlerinde su birikintisi oluşmasına veya süzülmenin daha az gerçekleşmesine sebep olabilmektedir. Yüzey alanı nispeten daha büyük olan yüklerin su tutma kapasitesi daha fazla olabilmekte ve daha hızlı ısı kaybederek soğumaktadırlar. Farklı malzeme içeriğine sahip yükler ise sahip oldukları farklı termofiziksel özellikler sebebiyle KRT adımı boyunca farklı fiziksel süreçler geçirerek KP açısından farklılaşırlar. Örneğin plastik yükler üzerinden

buharlaşma hızı seramik y¼klere kıyasla çok daha d¼ř¼kt¼r ve genellikle bulaşık makinesi KRT adımı sonrasında plastik y¼kler ıslak kalmaktadır.

Log'un yapmış olduğu çalışmada [27], y¼klerin termal iletkenliğin buharlaşma hızında etkili olduğu ve bir seri test sonucunda iletkenlik katsayısı 1 W/mK 'e yakın y¼klerin daha iyi ve hızlı kuruduğunun ¼l¼mlendiėinden bahsedilmektedir. İletkenlik katsayısının buharlaşma hızındaki etkisi, y¼k¼n ısınma ve soğuma hızı ile doğrudan alakalıdır.

Ayrıca, bulaşık makinesi içerisindeki y¼klerin sıcaklığının y¼ksek olması suyun y¼zeyler ¼zerinden buharlaşma hızını arttırdığı gibi y¼zey gerilimini de azaltmaktadır [8]. D¼ř¼k y¼zey gerilimine sahip su damlacıkları s¼z¼lebildiėi y¼zeylerden d¼k¼lerek buharlaşmayı beklemeden y¼kler ¼zerinden uzaklaşmaktadırlar. Bu sebeple ¼zellikle KRT adımıının başında sıcaklığın y¼ksek olması kritik ¼neme sahiptir.

1.2.5 Sıcak ve nemli havanın soğutulması

Bulaşık makinesi kurutma prosesi başlangıcında kabin içerisinde sıcak ve neredeyse doymun nem oranına sahip hava bulunmaktadır. Kurutmanın gerçekleştirilmesi için havadaki nem oranının azaltılması gerekmektedir. Kapalı sistem içerisinde, termoelektrik mod¼l uygulamasıyla [10], hava kanalının soğuk su tankının y¼zeyine entegrasyonuyla [8] veya sirk¼lasyon hattına havadan havaya ısı değiştiricisi entegre edilmesiyle [11] soğuk y¼zey oluşturulan ve b¼ylece havanın soğutulmasıyla sahip olduğu nemin bir miktarının yoğuşturularak uzaklaştırılmasını sağlayan sistemler mevcuttur. Hava sirk¼lasyon hattına ısı pompası [11] veya adsorpsiyon ¼nitesi [4,13] eklenmesiyle havanın, neminin alınmasının yanında kabin içerisine tekrar ısıtılmış şekilde ¼flendiėi gelişmiş kurutma sistemi tasarımları da karşımıza çıkmaktadır.

Ayrıca, nemli ve sıcak havanın direkt olarak tahliye edildiği ve kabin içerisine dış ortamdan taze havanın alındığı sistemler bulaşık makinesi ¼r¼nlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sistemler tasarlanırken, dış ortamdaki soğuk y¼zeyler ¼zerinde yoğuşma oluşması ve dışarıya atılan sıcak havanın direkt olarak kullanıcı ile temas etmesi durumları, ¼zerine mercek tutulan konulardır. Kabin içindeki havanın kanal içerisinde bir miktar taze havayla karıştırılarak nem oranı ve sıcaklığı d¼ř¼r¼lerek dışarıya atıldığı bazı sistemler mevcuttur [14,15]. Ayrıca, KRT prosesinde otomatik olarak kapının açıldığı sistemler de bulaşık makinelerine uygulanmaktadır [14,23]. Otomatik kapı amalı sistemlerde kapı açılmadan ¼nce kabin içerisindeki havanın

sıcaklığının ve nem oranının uygun şartlara gelmiş olması gerekmektedir. Aksi takdirde yüksek sıcaklığa ve nem oranına sahip havanın açılan kapı aralığından dışarıya çıkması kullanıcıya ve çevresindeki mobilyalara zarar verecek bir etki yaratabilmektedir.

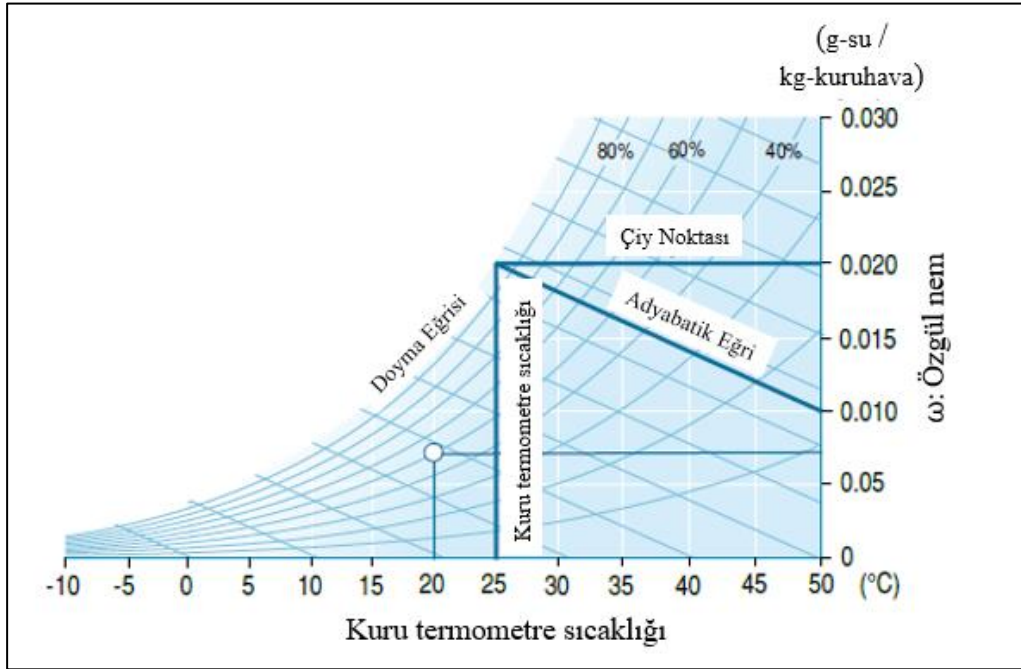
Bu çalışmanın konularından birisi kapı açma fonksiyonu aktif olmadan önce kabin içerisindeki yüksek sıcaklıkta ve yüksek nem oranındaki havayı istenilen şartlara getirmektir. Çalışmada önerilen yöntem kapsamında havanın şartlandırılması, hazneye (kabin zeminine) belirli miktarda alınacak olan soğuk şebeke suyunun oluşturacağı soğuk yüzey ile direkt olarak sıcak havanın temas ettirilmesi ile sağlanmaktadır.

Çalışmada önerilen yöntem doğrultusunda KRT adımı kapı açılınca dek kabin içerisindeki havaya, yük-hava arayüzeyinde ısı enerjisi depolamış yüklerden ısı geçişi olurken kabin içerisindeki havadan soğuk su-hava arayüzeyinde haznedeki soğuk su yüzeyine ve kabin duvarlarından dış ortama ısı geçişi olmaktadır. Aynı süreçte tabaklardan buharlaşan su, kabin içindeki havanın özgül neminin artırırken sıcak ve nemli hava, soğuk su yüzeyine çarptığında bir miktar su yoğunlaşarak özgül nemi azalmaktadır. Kabin iç havası istenilen şarta gelinceye dek kapalı çevrimde havanın sirkülasyonu devam etmektedir. Genel hatlarıyla bahsedilen kurutma yöntemi, Bölüm3'te detaylı şekilde aktarılmaktadır.

Sıcak havanın, soğuk su yüzeyi ile teması sonucunda momentum, ısı ve kütle transferi gerçekleşmektedir [28,29]. Gizli ve görünür ısı transferi sonucunda hava soğurken su yüzeyi ısınma eğilimi göstermektedir [29]. Temas yüzeyinde hava aniden soğuyarak doyma noktasına ulaşacaktır. Havanın sıcaklığı çiy noktasını altına düştükten yani bağıl nemi %100'e ulaştıktan sonra ise hava soğurken havadan suya kütle transferi gerçekleşecek ve havanın özgül nemi azalacaktır. Şekil 1.15'te verilen psikrometrik diyagram incelendiğinde havanın sıcaklığı düştükçe bağıl neminin artacağı ve nem doyma noktasına ulaştığında sıcaklıkla beraber özgül neminin de düşeceği açıkça görülmektedir. Ayrıca, havanın sıcaklığı arttıkça nem taşıma kapasitesinin de arttığı yine psikrometrik diyagramdaki bağıl nem eğrilerinden görülebilmektedir.

Havanın şartlandırılarak soğutulmasına yönelik iklimlendirme yöntemlerinden birisi de buharlaşmalı soğutmadır [31]. Daha düşük maliyetli, daha az enerji tüketimine sahip ve daha çevreci bir yöntem olması sebebiyle buharlaşmalı soğutma sistemleri uygulanabileceği alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir [30-32].

Sıcak havanın direkt olarak soğuk su yüzeyine temas ettirilerek soğutulduğu yönteme doğrudan buharlaşmalı soğutma denilmektedir [31]. Şekil 1.16’da psikrometrik



Şekil 1.15 : Psikrometrik diyagram [30].

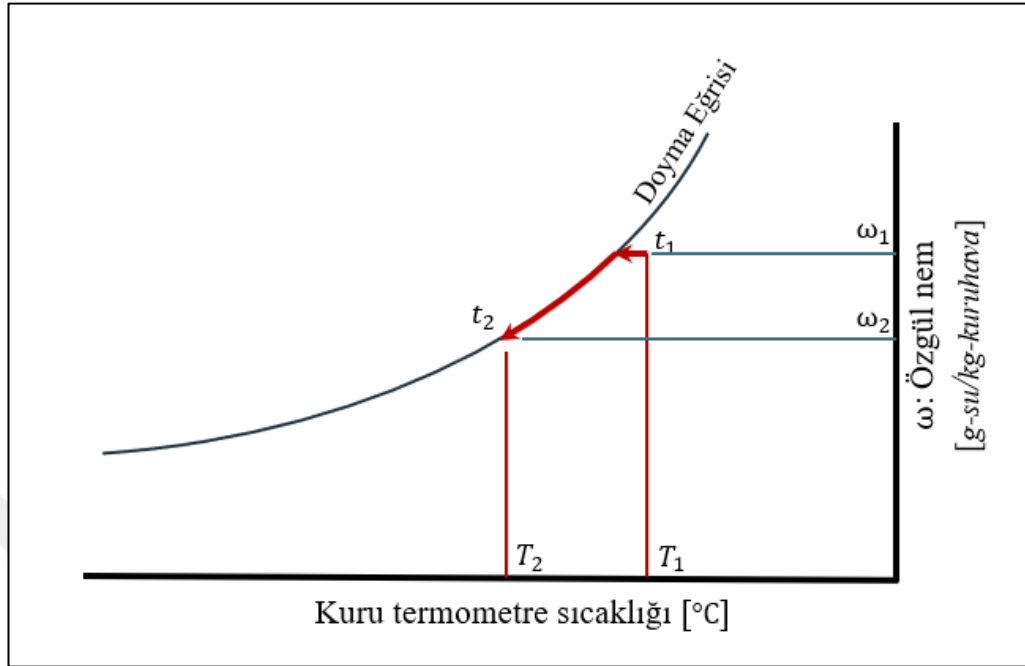
diyagram üzerindeki kırmızı ok işaretleri bu çalışmada bahsedilen yöntemdeki kabin içindeki havanın soğuk yüzeyde soğumasını şematize etmektedir. Bu çalışmada bahsi geçen KRT adımının başlangıcında bulaşık makinesi kabin iç havasının şartlandırılması yöntemi, su yüzeyinden sıcak havanın geçirilerek soğutulması yönünden doğrudan buharlaşmalı soğutma yöntemine benzerlik göstermektedir. Ancak bulaşık makinesi KRT adımı hava'nın bağıl nemi çok yüksek olduğu için nem oranı aniden %100 seviyelerine ulaşacak ve arayüzeyde buharlaşma yerine yoğunlaşma gerçekleşecektir. Hava, su-hava arayüzeyinde akışına devam ederken sıcaklık farkından dolayı havadan suya ısı transferi ve sıcaklığın çiy noktasını altına inmesinden dolayı kütle transferi devam edecektir.

Bu bölümde anlatılan fiziksel olayların dayandırıldığı teorik yaklaşım Bölüm 2’de detaylıca aktarılmaktadır.

Bu çalışmada bahsi geçen yöntemde hava, Bölüm 3’te tasarımı verilen kapalı çevrim hava kanalı vasıtasıyla sirküle edilmektedir. Kabin üst bölgesinden emilen sıcak hava direkt olarak soğuk su yüzeyine yakın bir açıklıktan püskürtülmektedir.

Cha ve diğ.’nin yapmış olduğu çalışmada [33], buhar jetinin su yüzeyine çarptırıldığında oluşan yoğunlaşmanın analizi gerçekleştirilmiştir. Reynolds sayısının

(Re) artmasıyla ve jet çıkış açıklığı ile su yüzeyi arasındaki mesafenin azalmasıyla yoğuşma oranının arttığı sonucu çalışmanın çıktısıdır.



Şekil 1.16 : Bağıl nemi yüksek havanın soğuk su yüzeyi üzerine çarptırılarak soğutulmasının psikrometrik diyagram üzerinde şematik gösterimi.

1.2.6 Bulaşık makinesi standartları ve performans değerlendirme yöntemleri

Beyaz eşya sektörüne yönelik çalışmaların büyük bir kısmı düşük enerji ve su tüketimi ile yüksek performansa sahip makineler üretmeyi hedeflemektedir. Bulaşık makineleri özelinde ise düşük tüketimlere ek olarak yüksek yıkama ve KP'na sahip ürünler üretmeye odaklanılmaktadır. Tüm bu çalışmaların bir getirisi olarak; yıkama ve KP ile enerji tüketiminin standart bir yöntem ile değerlendirilmesi için bazı kurallar üreticiler tarafından kabul edilmiştir.

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), tüm ulusal elektroteknik komiteleri içeren dünya çapında bir standardizasyon kuruluşudur. IEC'nin amacı, elektrik ve elektronik alanlarında standardizasyonla ilgili tüm konularda uluslararası iş birliğini teşvik etmektir. Bu amaçla ve diğer faaliyetlere ek olarak IEC, uluslararası standartlar, teknik şartnameler, teknik raporlar, halka açık şartnameler ve kılavuzlar yayınlamaktadır. Ele alınan konuyla ilgilenen herhangi bir IEC Ulusal Komitesi bu belgelerin hazırlık çalışmasına katılabilmektedir. IEC ile bağlantılı uluslararası, hükümet ve hükümet dışı kuruluşlar da bu hazırlığa katılmaktadır. IEC ve Uluslararası

Standardizasyon Teşkilatı (ISO) aralarındaki anlaşma ile belirlenen şartlara uygun olarak yakinen iş birliği yapmaktadır.

Avrupa pazarı için üretilen bulaşık makineleri, Avrupa Standardında belirtilmiş olan gereklilikleri karşılamak üzere tasarlanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen ve en yeni versiyonu EN 50242 “Evsel Kullanım için Elektrikli Bulaşık Makinaları – Performans Ölçüm Metotları” (Electric dishwashers for household use - Methods for measuring the performance) olan Avrupa Standartı neredeyse bütün beyaz eşya üretici firmaları tarafından kullanılmaktadır [34].

Avrupa Standardı, SC 59A tarafından hazırlanan IEC 60436:2004 [35] metnini, elektrikli bulaşık makinelerini, IEC TC 59'u, elektrikli ev aletlerinin performansını ve Avrupa'daki uygulama için gerekli tüm yaygın değişiklikleri içermektedir. Bu yaygın değişiklikler, elektrikli ev aletleri ile ilgili tüketici bilgileri CENELEC TC 59X Teknik Komitesi tarafından hazırlanmıştır.

Amaç, evde kullanılan elektrikli bulaşık makinelerinin temel performans özelliklerini belirtmek ve tanımlamak ve bu özellikleri ölçmek için standart yöntemleri açıklamaktır.

EN 50242 standardı, üyeleri Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Yugoslav Makedonya Cumhuriyeti, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye ve Birleşik Krallık ülkelerinin ulusal elektroteknik komiteleri olan Comité Européen de Normalization Electrotechnique - Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) tarafından onaylanmıştır.

Performans özelliklerinin ölçülmesine yönelik standart yöntemler ilgili maddelerle belirlenir. Temizleme performansı, KP, enerji ve su tüketimi, zaman ve hava kaynaklı akustik gürültü ölçüm yöntemleri Madde 6 ila 9'da tanımlanmıştır [34].

EN50242'ye [34] göre bulaşık makinesi yıkama programı bittikten ve güç beslemesi kesildikten sonra performans değerlendirilmesi yapılmadan önce hiçbir müdahalede bulunmayacak şekilde 30 dakika boyunca beklenmektedir. Bu periyot sonunda bulaşık makinesi kapısı tamamen açılarak değerlendirmeye başlanmaktadır. KP değerlendirilmesi yapılırken her bir yükün standart ışık şiddeti altında görsel olarak

ıslaklık kontrolü gerçekleştirilmektedir. Bulaşıkların görsel kontrolü, isteğe bağlı bir sırayla parça parça yapılmaktadır. Önce alt sepet, ardından üst sepet ve çatal-bıçak sepeti incelenmektedir. Bir parçanın incelenmesi için toplam süre 8 saniye olmalı ve bunun 3 saniyesi görsel inceleme olmalıdır. Çizelge 1.1'e göre her parçaya üzerindeki su kalıntısını veya kuruluk derecesini temsilen 2, 1 veya 0 olmak puan verilmektedir. Tamamen kuru bir yük, 2 puan almaktadır. Tüm parçalar incelendikten sonra puanlar toplanmaktadır. 170 parça içeren 16 kişilik kapasiteye sahip bir bulaşık makinesi için maksimum toplam kurutma puanı 340' tır. Son adımda, EN 50242'ye [34] göre, puanların toplamı, aynı zamanda çalışan, kalibre edilmiş bir referans bulaşık makinesinden alınan puanların toplamıyla karşılaştırılmaktadır. Standartta detayı verilen hesaplamalar sonucunda KP indeksi elde edilmektedir. Bu indekse göre referans bulaşık makinesinden elde edilen sonuca bağlı olarak KP'nın sınıfı belirlenmektedir. Bu çalışmada KP indeks yerine %puan olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 1.1 : EN50242 Avrupa standartına göre bulaşık makinesi kurutma performansı değerlendirme kriterleri [36].

Tek bir parçanın görsel olarak incelenmesi	Puan
Su kalıntısı yok	2
Toplam ıslaklık alanı 50 mm^2 'den büyük olmamak şartıyla bir veya iki su damlası	1
İkiden fazla su damlası veya toplam ıslaklık alanı 50 mm^2 'nin üzerinde	0

Enerji etiketleme testleri için EN 50242 standardına [34] göre ekonomik yıkama programı kullanılmaktadır. Ekonomik temizleme programı, normal kirli sofa takımlarını temizlemek için tasarlanmıştır ve enerji tüketimi ve su kullanımı açısından en verimli programdır. Ekonomik temizleme programında, temizleme ve kurutma genellikle daha düşük sıcaklık (yaklaşık $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ve daha uzun çalışma süresi ile tamamlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Bulaşık makinesinde KRT adımı buharlaşma hızının çok yüksek seviyelere çıkarılması için ıslak yüzeylerin yüksek sıcaklıklara ısıtılması ve kabin içerisindeki yüksek nem oranına sahip hava hacminin hızlı bir şekilde daha düşük nem oranına sahip hava ile yer değiştirmesi gerekmektedir. Yüksek kurutma sıcaklıklarında, kabin içerisinde yüksek debilerde nem oranı düşük hava beslemek için en basit yöntem açık

çevrim hava sirkülasyonu ile kabin içerisindeki havanın dışarı atılmasıdır. Ancak, yüksek sıcaklık ve nem oranına sahip hava yüksek debilerde dış ortama atıldığında, görece olarak daha soğuk olan mobilya yüzeylerinde yoğunlaşma meydana gelmektedir ve mobilyaya zarar vermektedir. Ayrıca, kabin içerisinden dış ortama atılan havanın direkt olarak kullanıcı ile teması olması durumunda yüksek sıcaklıklar, sağlık tehdidi oluşturmaktadır. Bu nedenler çerçevesinde, bulaşık makinesinde kurutma hızının artırılmasına yönelik çalışmalar sınırlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, yüksek kurutma sıcaklıklarında kabin içindeki hava hacminin, kapalı çevrim hava sirkülasyonu ile çok hızlı şekilde şartlandırıldığı bir yöntem önerilmektedir. Yönteme göre kabin iç havasının sıcaklığının ve nem oranının yeteri kadar düşürülmesi sonrasında bulaşık makinesi kapısı açılarak dış ortamdan taze havanın yüksek debilerde kabin içerisine girmesi sağlanmaktadır. Şartlandırılmış olmasından dolayı dış ortama atılan kabin havası, herhangi bir problem teşkil etmemektedir. Isı sığalarının yüksek olması sebebiyle kabin içerisindeki ıslak katı yüzeyler, KRT adımı başında sahip oldukları yüksek sıcaklıkları korumaya devam etmektedir. Böylece yöntemin uygulanmasıyla buharlaşma hızı önemli mertebede artmaktadır. Önerilen yöntemin bulaşık makinesinde gerçekleştirilmesiyle çok kısa sürelerde yüksek KP sonucu elde edileceği öngörülmektedir.

2. TEORİK YAKLAŞIM

Bulaşık makinesi KRT adımıöndan önce yani SCD fazında su, pompa aracılığıyla sirkülasyonuna devam ederken belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Isıtma sırasında farklı püskürtücülerden geçen su, kabin içerisindeki tüm yüzeyler ile temas ederek katı yüzeylerin ve kabin içerisindeki havanın ısınmasına neden olmaktadır. SCD adımı sonunda su tahliye edildiği anda, bulaşık makinesi içerisindeki katı yüzeylerin, bulaşık yüklerinin ve kabin havasının sıcaklığı yaklaşık olarak eşit olmaktadır. SCD adımıönda su ile ısıtılan yüzeyler KRT adımıönnun başında neredeyse tamamen ıslaktır. KRT adımıönnun başlangıcında bir süre, yüzeylerden süzölerek bir miktar su uzaklaşmakta ve haznede toplanmaktadır. Yüzeylerin üzerindeki suyun hacimsel olarak büyük bir miktarı süzölme yoluyla uzaklaşsa da bir miktar su dikey yüzeylerde asılı veya yatay yüzeylerde birikmiş halde kalmaktadır. KRT adımıönda yükler üzerinden suyun süzölmesine Bölüm 2.4' te tekrar değinilmektedir. Yüzeyler üzerinde kalan su miktarı, yüzeyin geometrisine ve fiziksel özelliklerine göre değışmektedir.

Yüzeyler üzerinden süzölme yoluyla suyun uzaklaşması bir süre sonra neredeyse tamamen dursa da buharlaşma ile yüzeyler üzerindeki su, iç ortamdaki havaya geçerek yüzeyler üzerinden uzaklaşmaya devam etmektedir. Kurutma sistemi özelliklerine bağılı olarak süreç boyunca buharlaşma hızı ve süreç sonunda bulaşık yüklerinin kuruluk oranı değışmektedir.

Genellemek gerekirse, faz değışimi içeren (buharlaşma, yoğuşma, vb.) herhangi bir kütle transferi problemi aynı zamanda ısı transferini de içermektedir ve bu tür problemlerin çözümünün, eş zamanlı ısı ve kütle transferi dikkate alınarak analiz edilmesi gerekmektedir [28]. Bulaşık makinesinde yüklerin kuruması olayının analiz edilebilmesi için tüm sistemin dış ortamla etkileşimi dahil bir bütün olarak ele alınması ve gerçekleşen ısı ve kütle geçişinin faz değışimi içermesi sebebiyle eş zamanlı zamanla değışen(transient) fiziksel olay olarak değeriendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamındaki teorik yaklaşımda, KRT adımı içerisinde gerçekleşen fonksiyonların (soğuk su yüzeyi oluşturma, kapalı çevrim hava sirkülasyonu, kapı

açma vb.) etkileri ve gerçekleşen fiziksel olaylar, arayüzeylere mercek tutularak incelenmektedir.

Kabin iç metal yüzeylerinden dış ortama ısı geçişi, iç yüzeyler ile bu yüzeyler etrafındaki iç ortam havası arasında gerçekleşen ısı ve kütle transferi, duvar-hava arayüzeyinde ele alınmaktadır. Bulaşık yükleri, yükler üzerinde asılı kalan su ve iç ortam havası arasındaki ısı ve kütle geçişi yük-hava arayüzeyinde ele alınmaktadır. Bu çalışmaya özel bir fonksiyon olan KRT başında hazneye şebeke suyu alınarak soğuk su yüzeyi oluşturulması ve kapalı çevrim sirkülasyon ile havanın bu yüzey üzerine çarptırılması soğuk su-hava arayüzeyinde incelenmektedir. Gerçekleşen fonksiyonlara bağlı olarak zeminde oluşan su yüzeyi ile iç ortam havası ve kabin iç yüzeyi arasındaki ısı ve kütle geçişi mekanizması soğuk su-hava arayüzeyi incelenirken ele alınmaktadır. Yükler üzerinden su süzülmesi, kapı açma fonksiyonu sonucu oluşan açık sistem hava sirkülasyonu ve tahliye olan nemli havanın kabin dışındaki yüzeyler ile etkileşimi de ayrı alt başlıklarda incelenmektedir.

En sade ifadeyle, kontrol hacminde ısı geçişi sıcaklık farkından (denklem 2.1) doğarken kütle geçişi, derişim farkı (denklem 2.2) sonucu tetiklenmektedir. Bu denklemlerdeki alt simgeler, a ve b, iki farklı türü temsil etmektedir. Maddelerin sahip olduğu ısı enerjiler, termofiziksel özellikleri ve fiziksel durumları yüzeylerinde gerçekleşen ısı ve kütle geçişini etkilemektedir. Isı ve kütle geçişi arasında benzer bir analogi bulunmaktadır.

$$\Delta T = T_a - T_b \quad (2.1)$$

$$\Delta \rho = \rho_a - \rho_b \quad (2.2)$$

Durgun bir ortamda bir parçacıktan diğerine olan ısı geçişine ısı iletimi denmektedir. Belirli bir yöndeki (x) sıcaklık farkına bağlı ısı iletimi Fourier'in yasasına göre denklem 2.3'teki gibi belirtilmektedir. Isıl iletkenlik kat sayısı, k ile ve ısı geçişinin gerçekleştiği yüzey alanı, A ile ifade edilmektedir. Durgun bir ortama parçacık geçişine kütle yayınımlı denmektedir ve benzer şekilde belirli bir yöndeki derişim farkına bağlı olarak Fick'in yasasına göre denklem 2.4'teki belirtilmektedir. D_{ab} , a türünün b türü içerisinde kütle yayınımlı veya difüzyon katsayısıdır. Isı iletim katsayısı ve difüzyon kat sayısı madde özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Isı iletim katsayısı, termofiziksel özellik tablolarından kolayca bulunabilirken, su buharının

hava içerisindeki yayılım kat sayısı denklem 2.5'teki ampirik bir bağıntıyla belirlenebilmektedir [28].

$$\dot{Q}_{iletim} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

$$\dot{m}_{yayinim} = -D_{ab}A \frac{d\rho_a}{dx} \quad (2.4)$$

$$-D_{su-hava} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} \quad (m^2/s), \quad 280K < T < 450K \quad (2.5)$$

Hareketli ortamlarda kütle ve ısı geçişi taşınım yoluyla gerçekleşmektedir. Taşınım geçiş mekanizması ısı iletimi veya moleküler yayılımı ve yığın akışkan hareketini içermektedir [28]. Akışkanın hareketi sonucu, arayüzeydeki sıcak akışkan ile soğuk akışkanın yer değiştirmesi ve arayüzeyde sıcaklık farkının artması sebebiyle ısı geçişi miktarı artmaktadır. Benzer şekilde akışkanın hareketli olması sonucu, arayüzeydeki derişimi daha yüksek akışkan ile derişimi düşük akışkanın yer değiştirmesi ve arayüzeyde derişim farkının artması sebebiyle kütle geçişi miktarı artmaktadır. Newton'ın soğuma yasasına göre dış akışta ısı taşınımı denklem 2.6'daki gibi ifade edilmektedir. Benzer analogiyle dış akışta kütle taşınımı denklem 2.7'deki gibi belirtilmektedir. $h_{ısı}$ ve $h_{kütle}$, ısı ve kütle taşınım katsayılarıdır. s ve ∞ indisleri ise sırasıyla arayüzeye ve ortama aitliği ifade etmektedir. Bu bağıntılardaki taşınım katsayısı geçişin olduğu arayüzey için ortalama değerdir. Taşınım kat sayıları gelişmiş ampirik bağıntılar aracılığıyla ve boyutsuz sayıların hesaplanması ile bulunabilmektedir.

$$\dot{Q}_{taşınım} = h_{ısı}A(T_s - T_{\infty}) \quad (2.6)$$

$$\dot{m}_{taşınım} = h_{kütle}A(\rho_s - \rho_{\infty}) \quad (2.7)$$

Isı taşınımı analizlerinde ısı geçişi kat sayısını ifade etmek için denklem 2.8'deki boyutsuz Nusselt sayısı kullanılmaktadır. Burada L_c karakteristik uzunluğu ve k akışkanın ısıl iletkenliğini ifade etmektedir. Kütle geçişi analizlerinde ise kütle geçişi kat sayısını ifade etmek için denklem 2.9'daki boyutsuz Sherwood sayısı kullanılmaktadır. Nusselt ve Sherwood sayısı, sırasıyla yüzeyden ısı ve kütle geçişinin verimliliğini ifade etmektedir [28].

$$Nu = \frac{h_{ısı} L_c}{k} \quad (2.8)$$

$$Sh = \frac{h_{k\ddot{u}tle} L_c}{D_{ab}} \quad (2.9)$$

Belirli bir geometri için, zorlanmış taşınımına ait ortalama Nusselt sayısı, Reynolds ve Prandtl sayısına bağılı olarak değişirken Sherwood sayısı, Reynolds ve Schmidt sayısına bağılı olarak değişmektedir. Denklem 2.10'da verilen Reynolds sayısı, bir akışkanın sınır tabaka içerisinde atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranıdır. Denklem 2.11'de verilen Prandtl sayısı, bir akışkanın sınır tabaka içerisinde momentum difüzyonunun termal difüzyonuna oranıyken, denklem 2.12'deki Schmidt sayısı ise bir akışkanın sınır tabaka içerisinde momentum yayılımının kütle yayılımına oranıdır. Burada μ dinamik viskozite, ν kinematik viskozite, α ısı yayılım katsayısı, c_p özgül ısı ve V hızdır. Nusselt ve Sherwood sayıları yukarıda belirtilen boyutsuz sayılara göre, farklı geometriler üzerinde farklı akış rejimleri için birbirinden farklı, gelişmiş ve kabul görmüş olan ampirik bağıntılar ile hesaplanabilmektedir. Bahsedilen boyutsuz sayılar, su buharlaşmasının deneysel ve teorik araştırmalarında büyük bir öneme sahiptir.

$$Re = \frac{\text{atalet kuvvetleri}}{\text{viskoz kuvvetler}} = \frac{\rho V L_c}{\mu} = \frac{V L_c}{\nu} \quad (2.10)$$

$$Pr = \frac{\text{momentum yayılımı}}{\text{ısı yayılım}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{k} \quad (2.11)$$

$$Sc = \frac{\text{momentum yayılımı}}{\text{kütle yayılımı}} = \frac{\nu}{D_{ab}} \quad (2.12)$$

Bu çalışmada, bulaşık makinesi kurutma prosesinin incelemesi yapıldığı için nem oranı yüksek sıcak hava koşulları dikkate alınmaktadır. Bu çalışmaya özgü hızlı kurutma yöntemi için yapılan teorik yaklaşımlar ve mercek tutulan arayüzeylerde gerçekleşen fiziksel olaylar alt başlıklarda aktarılmaktadır.

2.1 Yük-Hava Arayüzeyi

KRT adımı başlangıcında bulaşık makinesi yükleri belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmış ve ısı enerji depolamış haldedir. Yükler tarafından depolanan enerji miktarının,

denklem 2.13 incelendiğinde tekil yükün kütlesine (m) ve termofiziksel özelliklerine (c_p) göre değiştiği görülmektedir. SCD adımı sonrasında yüklerin yüzeyi üzerinde kalan su, damlacık ve çoğunlukla ince sıvı film tabakası halinde bulunmaktadır [24,37,38]. Yüklerin ıslak yüzeyleri, başlangıçta hemen hemen aynı sıcaklıkta olan ve KRT başlangıcında yüksek bağıl nem oranına sahip olan hava ile temas halindedir. Nemli hava, su buharı-hava karışımı olarak nitelendirildiğinde karışıma ait yoğunluk ve kütle kesri (w) sırasıyla denklem 2.14 ve denklem 2.15 ‘teki temel bağıntılar ile ifade edilmektedir.

$$Q = mc_p \Delta T \quad (2.13)$$

$$\rho = \rho_a + \rho_b \quad (2.14)$$

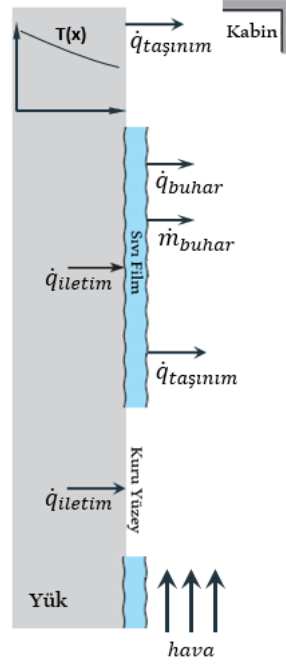
$$1 = w_a + w_b \quad (2.15)$$

KRT prosesi boyunca yük-hava arayüzeyinde derişim farkına bağılı olarak ıslak yükten havaya doğru su buharı kütle geçişi diğeri bir deyişle buharlaşma gerçekleşmektedir. Süreç boyunca, termal denge sağlanana kadar yüklerin yüzeyinden nemli havaya ısı taşınımı gerçekleşirken yüklerin çekirdeklerinden (hacim merkezi) yüzeylere doğru bir ısı iletimi gerçekleşmektedir. Ayrıca yükler üzerindeki sıvı filmde buharlaşan su kütlesinin havaya geçişi sebebiyle gizli ısı geçişi meydana gelmektedir. Yük-hava arayüzeyinde gerçekleşen bu fiziksel olaylar Şekil 2.1’de şematize edilmektedir. Bu arayüzeydeki ısı ve kütle geçişi dengesi ise en genel anlamda denklem 2.16 ve 2.17 ile ifade edilebilmektedir. Bağıntılardaki a indisi, su buharını temsil etmektedir.

$$-kA \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = h_{isl} A (T_s - T_\infty) + h_{küt} A (\rho_{a,s} - \rho_{a,\infty}) h_{fg} + \dot{Q}_{ışınım} \quad (2.16)$$

$$\dot{m}_{buhar} = m'' A = -\rho D_{ab} A \frac{\partial w_a}{\partial y} \Big|_{y=0} = h_{küt} A (\rho_{a,s} - \rho_{a,\infty}) \quad (2.17)$$

Yükler üzerinden suyun buharlaşma hızını arttırmak için arayüzeyde derişim farkını ve kütle taşınım katsayısını arttırmak gerekmektedir. Derişim farkı, arayüzeydeki bağıl nemi yüksek hava hacminin uzaklaştırılarak yerini nem oranı daha düşük hava hacminin almasıyla oluşturulabilmektedir.



Şekil 2.1 : Yük-hava arayüzeyinde gerçekleşen fiziksel olayların şematik gösterimi.

Yük yüzeyi üzerine nem oranı düşük hava beslenebilmesi için bulaşık makinesi sisteminde kapalı çevrim hava sirkülasyonunda nem alma uygulaması ya da açık hava sirkülasyonu ile dış ortamdan taze hava emilimi oluşturmak gerekmektedir. Bağlı nem havada bulunan su buharına ait kısmi basıncın, aynı sıcaklıktaki suyun denge buhar basıncına oranıdır ve denklem 2.18'deki gibi ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle bağlı nem, havanın belirli bir sıcaklıktaki nem taşıma kapasitesine oranla ne kadar nem taşıdığının göstergesidir. Nemli havanın kütle derişimi ise denklem 2.19'deki gibi özgül nem ile ifade edilmektedir. Belirli bir sıcaklıkta su buharı denge basıncı (havanın doyma basıncı) denklem 2.20 ile hesaplanabilmektedir. Sıcaklığı yükselen havanın doyma basıncının ve su buharı taşıma kapasitesinin arttığı bu bağıntılardan anlaşılmaktadır.

Bulaşık makinesinde yüklerin sahip olduğu ısı enerjisinin arayüzeyde temas ettiği havaya geçmesi, havanın sıcaklığını ve nem taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Arayüzeyde yükten havaya olan ısı geçişini arttırmak için sıcaklık farkını ve ısı taşınım katsayısını arttırmak gerekmektedir. Bu sebeple yüklerin daha sıcak olduğu anlarda yüzey üzerinden buharlaşma hızı daha yüksek olmaktadır.

$$\varphi = \frac{P_{H2O}}{P_{doym,H2O}} \quad (2.18)$$

$$\omega = \frac{m_{H2O}}{m_{kuru\ hava}} = 0.622 \frac{P_{H2O}}{P_{kuru\ hava}} = 0.622 \frac{\phi P_{doy,H2O}}{P - \phi P_{doy,H2O}} \quad (2.19)$$

$$P_{doy}(T) = 611.85 \exp\left(\frac{17.502 (T - 273.15)}{240.9 + (T - 273.15)}\right) \quad [Pa] \quad (2.20)$$

Isı geçişi katsayısını arttıracak etkinin incelenmesi için boyutsuz Nusselt sayısına odaklanmak gerekmektedir. Nusselt sayısı, dış akış durumları için denklem 2.21’te belirtildiği gibi Reynolds ve Prandtl sayılarının akış tipi ve geometriye bağlı bir fonksiyonu olarak doğruluk oranı yüksek ampirik bağıntılarla ifade edilmektedir. Bulaşık makinesindeki tekil bir yük, düz levha olarak tanımlandığında zorlanmış dış akışa ait Nusselt sayısı denklem 2.22 ve denklem 2.23 ile basit anlamda ifade edilebilmektedir. Temel bir yaklaşımla akışa ait termofiziksel özelliklerin neredeyse sabit olduğu ve geometrinin değişmediği kabulüyle Nusselt sayısını değiştirecek baskın parametrenin hız bileşenine bağlı olarak Reynolds sayısı olduğu anlaşılmaktadır. Bir diğer ifadeyle bulaşık makinesi yükleri üzerinden havaya olan ısı taşınımını arttırmak için yük yüzeyleri üzerindeki hava akış hızını arttırmak gerekmektedir.

$$Nusselt\ sayısı = Nu = f(Re, Pr) \quad (2.21)$$

Laminar akış:

$$Nu = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{1/3} \quad ; Re_L < 5 \cdot 10^5, Pr > 0.6 \quad (2.22)$$

Türbölanslı akış:

$$Nu = 0.037 Re_L^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}} \quad ; 0.6 \leq Pr \leq 60, 5 \cdot 10^5 \leq Re_L \leq 10^7 \quad (2.23)$$

Kütle geçişi kat sayısını arttıracak etkinin incelenmesi için Sherwood sayısına odaklanmak gerekmektedir. Isı taşınımına benzer bir analojiye sahip olduğu için Nusselt sayısına benzer şekilde, dış akış durumları için denklem 2.24’te belirtildiği gibi Reynolds ve Schmidt sayılarının akış tipi ve geometriye bağlı bir fonksiyonu olarak doğruluk oranı yüksek ampirik bağıntılarla ifade edilmektedir. Temel anlamda, düz levha üzerinde zorlanmış taşınımla kütle geçişine ait Sherwood sayısı denklem 2.25 ve denklem 2.26 ile ifade edilebilmektedir. Verilen bağıntılardan anlaşıldığı üzere yapılan kabuller çerçevesinde ısı taşınım kat sayısına benzer şekilde kütle taşınım kat sayısının artması için yüzey üzerindeki akış hızının artması gerekmektedir.

$$\text{Sherwood sayısı} = Sh = f(Re, Sc) \quad (2.24)$$

Laminar akış:

$$Sh = 0.664 Re_L^{0.5} Sc^{1/3} ; \quad Re_L < 5 \cdot 10^5 , Sc > 0.6 \quad (2.25)$$

Türbülanslı akış:

$$Sh = 0.037 Re_L^{0.8} Sc^{1/3} ; \quad 5 \cdot 10^5 \leq Re_L \leq 10^7 , Sc > 0.6 \quad (2.26)$$

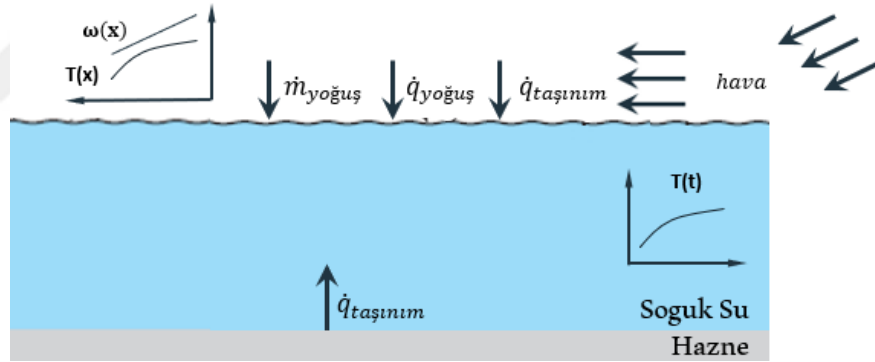
Özetle, yük-hava arayüzeyinde buharlaşma hızının arttırılması için hava akış hızının yüksek tutularak taşınım kat sayısının arttırılması ve arayüzeyde havanın bağıl nem oranının düşük olması sağlanarak yüksek derişim farkının korunması gerekmektedir.

2.2 Soğuk Su-Hava Arayüzeyi

Bulaşık makinesi kurutma sistemlerinin kapalı sistem olması durumunda iç ortamda bir nem alma işlemi uygulanmaktadır. Absorbent malzeme içeren kapalı kurutma sistemleri dışında iç ortam havasındaki nem oranı, bir soğuk yüzey üzerinde yoğunlaşma gerçekleştirilerek düşürülmektedir. Bu çalışma kapsamında bahsedilen kurutma yönteminde bulaşık makinesi KRT adımı başlangıcında kabin içinde soğuk yüzey oluşturmak amacıyla hazneye belirli bir miktarda şebeke suyu alınmaktadır. Su hazneye dolup kabin zemininde yüzeye yayılarak iç havayla direkt temas eden bir soğuk yüzey haline gelmektedir. Soğuk suyun, sıcak kabin metal yüzeyi ile temas etmesi sonucunda hazne yüzeyinden suya ısı geçişi gerçekleşerek kabin yüzeyleri de bir miktar soğumaktadır. Kabin yüzeylerinin soğumasına Bölüm 2.3'te tekrar değinilmektedir. Kabin yüzeylerinden ve kabin iç havasından aktarılan ısı enerjisi zamanla haznedeki su hacminin sıcaklığını arttırmaktadır. Bu sebeple nem oranı ve sıcaklığı yüksek kabin havasının soğutulması ve neminin alınması için uygulanan bu yöntemde zaman parametresi (t) ciddi önem taşımaktadır. Su hacminin miktarı da denklem 2.13'e göre sıcaklığının zamana bağlı olarak yükselmesinde dikkate alınıp incelenmesi gereken bir parametredir. Termal dengenin sağlanması eğilimiyle su sıcaklığı arttıkça soğuk yüzey uygulamasının iç hava üzerindeki soğutma etkinliği zamanla azalmaktadır.

Soğuk su yüzeyi (15°C) ile kabin içindeki sıcaklığı yüksek havanın (70°C ≥) teması ile havadan su yüzeyine ısı geçişi gerçekleşmektedir. Isı taşınımının yüksek olması için Bölüm 2.1'de detaylı ifade edildiği gibi arayüzeyde sıcaklık farkının ve ısı taşınım

kat sayısının yüksek olması gerekmektedir. Bu yöntemde incelenen arayüzeyde KRT başlangıcında sıcaklık farkı çok yüksek olmasına karşın zamanla azalmaktadır. Kapalı sistemde soğuk yüzeyin zeminde olması ve nispeten daha sıcak havanın kabin üst bölgelerinde asılı kalması sebebiyle zorlanmış bir etki yaratılmadığı takdirde kabin içindeki hava neredeyse durgun halde hareketsiz kalmaktadır. Bu çalışmadaki yöntemin isteri olarak kapalı sistemde havanın sıcaklığının ve nem içeriğinin azaltılarak istenilen şartlara kısa sürede getirilmesi için bu arayüzeyde ısı taşınım katsayısının artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada ısı taşınım katsayısı artırılması için kabin içerisindeki havanın sirkülasyonu; nispeten daha sıcak olan üst bölgeden havanın emilerek soğuk su yüzeyi üzerine üflenmesiyle sağlanmaktadır. Sıcak ve nemli hava, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi açılı bir hava jeti olarak su yüzeyine çarpmakta ve hemen hemen yüzeye paralel şekilde hareketine devam etmektedir. Böylece, soğuk su-hava arayüzeyinde hız bileşenlerinin artmasıyla ısı taşınım katsayısı artarken sıcaklık farkı da sirkülasyon nedeniyle daima maksimum seviyede olmaktadır.



Şekil 2.2 : Soğuk su-hava arayüzeyinde gerçekleşen fiziksel olayların şematik gösterimi.

Arayüzeyde ısı geçişine ek olarak önemli miktarda su buharı kütle geçişi gerçekleşmektedir. Bu nedenle arayüzeyde ısı ve kütle geçişini eşlenik olarak değerlendirmek önemlidir. Bu çalışmadaki yöntemde, sıcak ve nem oranı yüksek havanın içerisindeki su buharı uygulamada sık rastlanmadığı şekliyle soğuk su yüzeyinde yoğunlaştırılmaktadır. Bölüm 2.1’de anlatılan sıcaklığın havanın nem taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi göz önüne alındığında yüksek sıcaklıkta bağıl nemi yüksek (neredeyse neme doymuş) havanın sıcaklığı kayda değer miktarda ve ani olarak düştüğünde hava su buharına %100 doymun hale gelmekte ve taşıyabileceği su buharı kütlesi miktarı da önemli oranda azalmaktadır. Böylece, soğuyan hava taşıyabileceği

maksimum miktarın üzerindeki su buharı kütlesini soğuk su yüzeyine bırakmaktadır. Hava-su buharı karışımı doymunluğa ulaştıktan sonra sıcaklık azalırken havanın özgül nemi, denklem 2.27’de olduğu gibi doyma sıcaklığına bağı bir lineer değışim göstermektedir [39]. Kütle aktarımı nedeniyle, arayüzeyde taşınım la duyulur ısı geğışine ek olarak havadan suya gizli ısı geğış i gerçekleşmekte ve bu etki kabin iç havası sıcaklığının azalma hızını arttırmaktadır.

$$\omega_{doy} = I_1 T_{doy} + I_2 \quad (2.27)$$

Bu arayüzdeki bahsedilen fiziksel olaylar Şekil 2.2’de şematize edilmektedir. Su buharı kütle geğış i korunumuna ait bağıntı denklem 2.28’da verilmektedir. Su-hava arayüzeyinde havadan suya, duyulur ve gizli olmak üzere toplam ısı geğış i temel olarak denklem 2.29 ile ifade edilebilmektedir [39].

$$\dot{m}_{yoğuş} = m'' A = h_{k\ddot{u}tle} A \rho (\omega_{a,\infty} - \omega_{a,s}) \quad (\omega \approx w) \quad (2.28)$$

$$\dot{Q}_{su} = h_{ısı} A (T_{\infty} - T_s) + \dot{m}_{yoğuş} h_{fg} \quad (2.29)$$

2.3 Duvar-Hava Arayüzeyi

Duvar-hava arayüzeyinde gerçekleş en fiziksel olaylar Şekil 2.3’te şematize edilmektedir. Yü k-hava arayüzeyindeki akış koşullarına benzemesi sebebiyle bu arayüzeyde ısı ve kütle geğış inin incelenmesinde temel olarak Bölüm 2.1’deki bağıntılar kullanılabilmektedir. Yü k-hava arayüzeyinden farklı olarak katı yüzey, havanın sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığ a sahiptir ve bu arayüzeyde genelde yoğuş ma gerçekleşmektedir.

Bulaşık makinesi kabin iç duvarları paslanmaz elik saçtan oluşmaktadır. Kapalı sistemden dış ortama bu yüzeyler üzerinden ısı geğış i gerçekleşmektedir. İzolasyon gereksinimi, yapısal uygunluk ve estetik görünü m gibi nedenlerle kabin iç duvarı dışına farklı yapılar uygulanabilmektedir. Isıl izolasyon uygulaması ile bu yüzeylerden dış ortama olan ısı geğış i miktarı azaltılabilse de tamamen durdurulamamaktadır. Kabin iç duvarlarından dış ortama olan ısı geğış i sebebiyle, SCD adımı sonunda maksimum sıcaklık değerlerine ulaştıktan sonra bu yüzeyler zamanla soğ umaktadır. Bazı bulaşık makinesi kurutma sistemlerinde kabin iç duvarlarında yalıtımsız bölgeler yaratılarak bu yüzeylerin daha hızlı soğuması ve yüzeyler üzerinde nem yoğuş ma

süzülerek kabin haznesine akmaktadır. Bulaşık makinelerinde SCD adımıyla parlatici kullanımı sonucunda kimyasal etkiyle yüzey gerilimi düşürülerek süzülme oranı arttırılmaktadır. Süzülme yer çekimi kuvvetinin kayma gerilmesini yendiği durumda sağlanmaktadır. Yükler üzerindeki su kütlesi süzülme sonucu azaldıkça birim yük yüzeyi üzerindeki su kütlesi azalmakta ve kayma gerilmesine karşı oluşan toplam yer çekimi kuvveti de azalmaktadır. Yükler üzerinde suyun kayma gerilmesi, sıcaklığın ve yüzey geriliminin denklem 2.30'teki gibi bir fonksiyonudur [40]. Suyun yüzey gerilimi ise denklem 2.31'teki gibi ifade edilebilmektedir ve burada $\beta = 235.8e - 3 Nm^{-1}$, $T_c = 647.15 K$, $b = -0.625$, $\gamma = 1.256$ 'dır [41]. Bağıntılar incelendiğinde sıcaklık arttıkça suyun yüzey geriliminin ve yüzey üzerindeki kayma gerilmesinin azaldığı görülmektedir. Islak yüzeyler üzerinden akan hava sirkülasyonunun da oluşturduğu titreşim ve sürtünme kuvveti nedeniyle küçük bir etkiyle de olsa yüzey üzerindeki su damlacığının denklem 2.32'teki kayma gerilmesini yenmesine katkıda bulunduğu söylenebilmektedir [28]. Diğer bir deyişle yüksek sıcaklıkta ve yüzeyler üzerinde hava akışının varlığında yükler üzerinden süzülen su miktarı bir miktar daha fazla olmaktadır. Süzülmenin daha çok gerçekleşmesi ise KP'nın iyileşmesine yönelik bir etkidir.

$$\tau_{yük-su} = \frac{\partial \sigma}{\partial T} \nabla T_s \quad (2.30)$$

$$\sigma = \beta \left(\frac{T_c - T}{T_c} \right)^7 \left(1 + b \left(\frac{T_c - T}{T_c} \right) \right) \quad (2.31)$$

$$\tau_{su-hava} = \mu \frac{\partial V}{\partial y} \Big|_{y=0} = \frac{f}{2} \rho V^2 \quad (2.32)$$

Bu çalışmada uygulanan yöntemde, KRT adımının başlangıcında kapı açma uygulamasından önce bir süre kabin içi hava şartlarının istenilen seviyeye indirilmesi için kapalı sistem hava sirkülasyonu gerçekleştirilmektedir. KRT adımı başında direkt kapıyı açmak yerine bir süre kapalı çevrimde hava sirkülasyonu gerçekleştirmek yük yüzeylerinin ve yüzeyler üzerindeki su kütlelerinin nispeten daha yavaş soğumasını sağlayacaktır. Daha yavaş soğuyan ve üzerinde hava akışı olan ıslak yüzeyler üzerinden görece olarak daha fazla su kütlesi süzülmesi gerçekleşecektir. Hızlı kurutma hedefi çerçevesinde değerlendirildiğinde, ilk bakışta, kapı açmaya uygun kabin iç havası şartlarının sağlanması için gereken kapalı çevrim hava sirkülasyonu

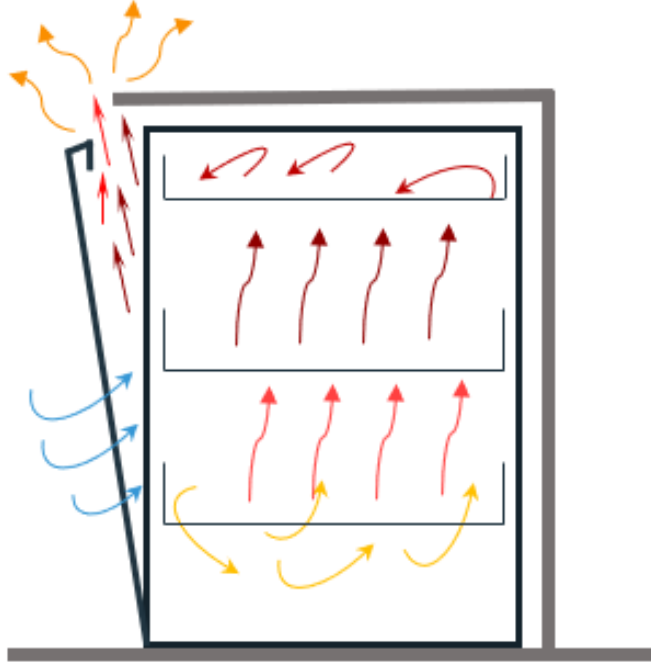
süresinin toplam süreyi bir miktar arttıracak tahmin edilebilmektedir. Fakat süzölmeye ve bağlantılı olarak KP'na etkisi ile beraber değerdendirilip aynı seviyede KP hedeflendiğinde, kapı açma uygulaması öncesinde bir miktar kapalı çevrim hava sirkölasyonun gerçekteştirilmesi gerekli toplam KRT süresini azaltacak bir etki yaratmaktadır.

2.5 Otomatik Kapı Açma

Bulaşık makinesi kurutma sistemlerinde otomatik kapı açma fonksiyonu buharlaşmayı önemli miktarda hızlandıran kurutmada baskın bir uygulamadır [10]. KRT adımıında kapı açıldığında kabin içerisindeki sıcak ve nemli hava yoğunluk farkı sebebiyle yükselerek doğal taşınım ile kapı açıklığının üst bölgesinden dış ortama doğru hareket etmektedir. Kapının alt yan bölgesindeki açıklıklarından ise dış ortamdan kabin içerisine sıcaklığı ve nem oranı düşük hava girişı olmaktadır. Kapı açma uygulaması sonucunda kabine hava giriş-çıkışı Şekil 2.4'te şematize edilmektedir.

Kapı açma uygulamasında doğal taşınım ile açık sistem hava sirkölasyonun gerçekteşmesi, sıcaklık ve nem oranı farkına bağı yoğunluk farkından kaynaklanmaktadır. Havanın sıcaklığı arttıkça yapısındaki atomların hareketi arttığı için hacmi genişlemekte ve bu sebeple yoğunluğu azalmaktadır. Havanın nem oranı arttıkça içeriğindeki su buharı miktarı arttığı için yoğunluğu azalmaktadır. Çünkü su buharı, oksijen ve azot moleküllerine kıyasla daha düşük molekül ağırlığına sahip bir gazdır. Yüksek sıcaklık ve yüksek bağıl nem oranına sahip havanın yoğunluğu oda şartlarındaki havanın yoğunluğundan daha düşük olduğu için yükselme eğilimi göstermektedir.

Kapı açma anında kabin içerisindeki hava ve yüzeylerin sahip olduğu sıcaklık dış ortama göre çok yüksektir. Bu sebeple kapı açıldığı anda hava sirkölasyonu miktarı ve yükler etrafındaki hava akış hızı maksimum seviyede olmaktadır. Yüklerin, açık çevrim hava sirkölasyonuna bağı olarak ısı kaybetmesi sebebiyle zamanla kabin içerisindeki yüzey sıcaklıkları da azalmaktadır. Zamanla yük yüzeylerinin sıcaklığının azalmasıyla yükler üzerinden havaya geçen ısı miktarı ve dolayısıyla kabin içerisindeki hava yoğunluğu farkı azalmaktadır. Bu sebeple akışa ait sirkölasyon hızı kapı açıldığı andan itibaren zamanla azalmaktadır.



Şekil 2.4 : Kapı açma uygulamasıyla gerçekleşen açık çevrim hava sirkülasyonunun şematik gösterimi.

Daha önce Bölüm 2.1’de bahsedildiği üzere yük-hava arayüzeyinde su buharı derişimi farkı ve hava akış hızı ne kadar yüksekse ıslak yükler üzerinden havaya kütle geçişi miktarı diğer bir ifadeyle yüklerin kuruma hızı o kadar yüksektir. Kapı açıldığı anda dış ortamdan kabine giren havanın nem oranı ve sıcaklığı düşüktür. Yükler üzerinden akan havanın sıcaklığı arttıkça nem taşıma kapasitesi de artmaktadır. Bu nedenlere bağlı olarak bulaşık makinesi KRT adımıında kapı açıldığında yükler üzerinden buharlaşma hızı maksimum seviyede olmaktadır. Zamanla hava sirkülasyonu ve buharlaşma hızı azalsa da nemli havanın direkt dış ortama kaçışına izin verilmesi sebebiyle aynı süre zarfında kapı açma uygulamasının varlığında daha yüksek KP elde edilmektedir.

2.6 Dış Yüzey–Hava Arayüzeyi

Bulaşık makineleri kurutma sistemlerinde otomatik kapı açma fonksiyonu KP’nı baskın olarak pozitif yönde etkilese de bu uygulama bazı kısıtlamaları gerektirmektedir. KRT adımıında kabin içerisinde yüksek sıcaklıkta nemli hava bulunmaktadır. KRT adımı başlangıcında direkt olarak yüksek sıcaklıktaki kabin içi havasının dış ortama salınması insan sağlığı ve mobilya ömrü açısından büyük bir problem teşkil etmektedir.

Bulaşık makineleri, genelde insan aktivitesinin yüksek olduğu mutfak ortamında bulunmaktadır. Bulaşık makinesi çalışırken ortamdaki insanlar zaman zaman makine ile yakın temasa geçmektedirler. Bu sebeple otomatik kapı açma sırasında bir insanın veya evcil hayvanın direkt olarak kapı açıklığından kaçan kabin içi havası ile temasta olabileceği göz ardı edilmemelidir. Kapı açma fonksiyonuna sahip kurutma sistemi tasarımı kapının açıldığı anda kabin içerisinden dışarıya kaçacak nemli hava sıcaklığının öncelikle insan sağlığına zarar vermeyecek seviyede olması gerekmektedir. Amerikan Pediatri Akademisi, ciltleri yetişkinlerinkine kıyasla daha hassas olan çocuklar için sıcak musluk suyu sıcaklığının maksimum 49°C'ye ayarlanması gerektiğini ve bu değerden daha sıcak değerlerde derinin kısa süreli maruziyette dahi zarar görebileceğini ifade etmektedir [42]. Sağlığa zararının yanı sıra, kullanıcı konforunun da göz önünde bulundurulması gerektiği aşikardır.

Ek olarak, kapı açma anında kapı üst bölgesinden yükselerek dış ortama kaçan nemli hava, mutfak tezgahı gibi nispeten daha soğuk mobilya yüzeylerinde bir miktar yoğunlaşmaya neden olmaktadır. Özellikle ahşap malzemeye sahip mobilyalar üzerinde nemli havanın yoğunlaşması zamanla mobilyaya zarar vermektedir. Yüzeylerde yoğunlaşma olup olmaması yüzeylerin sıcaklığı kadar, kabin içerisinden dış ortama çıkan havanın sıcaklık ve bağıl nemine de bağlıdır. Yüksek sıcaklık ve bağıl nem sahip hava dış yüzey üzerinden geçerken soğumaktadır. Soğuyan havanın su buharı taşıma kapasitesi düşmekte bağıl nem oranı artmaktadır. Mobilya yüzeyi ve kabin içinden salınan havanın sıcaklık farkı yüksek olduğu için bu arayüzeyde bağıl nem %100'e ulaşarak yoğunlaşma gerçekleşmektedir. Kapı açma uygulamasında dış yüzeyler üzerinde yoğunlaşmanın önlenmesi veya minimum seviyeye indirilmesi için kapı açmadan önce kabin içi havasının sıcaklığının ve su buharı içeriğinin azaltılması gerekmektedir.

Bulaşık makinelerinde, KRT sıcaklığının yüksek olması ve kapı açma uygulaması kurutma hızını önemli ölçüde artırıcı etkiye sahip olsalar da yukarıda ifade edilen nedenlerden dolayı otomatik kapı açma fonksiyonuna sahip kurutma sistemlerinde kapı açma anında kabin içi havasının sıcaklık ve nem oranının belirli bir eşik seviyesinin altında olması gerektiği aşikardır. Bu çalışmada bahsedilen hızlı kurutma yönteminde KRT adımı kabin içi havası kapalı çevrim hava sirkülasyonu ile soğutulduktan sonra otomatik kapı açma fonksiyonu devreye girmektedir.



3. HIZLI KURUTMA YÖNTEMİ

Bulaşık makinelerinde, Bölüm 1.2’de detaylıca aktarıldığı üzere çeşitli kurutma sistemleri mevcuttur. Kurutma sistemleri, düşük maliyetli, düşük enerji tüketen, kısa sürede yüksek KP sunan sistemler oluşturmak hedefiyle tasarlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bulaşık makinelerinde çok kısa sürelerde yüksek KP sunan bir kurutma yöntemi oluşturularak deneysel incelemesi gerçekleştirilmektedir.

Basit bir ifadeyle bulaşık makinelerinde kurutma, suyun buharlaştırma yöntemiyle yükler üzerinden hava aracılığıyla uzaklaştırılmasıdır. Buharlaştıran nem ise bulaşık makinesi içerisinde çeşitli yöntemlerle havadan alınmakta ya da direkt olarak hava ile birlikte dış ortama atılmaktadır.

Kurutmada en baskın parametrelerden birisi sıcaklıktır. Yüksek sıcaklıkta buharlaşma hızı daha yüksektir. Öte yandan, komponent dayanımı, enerji tüketimi ve dış ortama etkileri sebebiyle kurutma sıcaklıkları sınırlandırılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda buharlaşma hızının yüksek olması sebebiyle kabin içerisindeki hava kısa sürede su buharına doyduğu için havadan nem alma uygulaması da çok hızlı gerçekleştirilmelidir. Kabindeki nemli havanın tahliye edilerek yerine düşük nem oranına sahip havanın beslendiği en hızlı ve pratik uygulama, otomatik kapı açma fonksiyonudur. Kabin iç havasının sıcaklığı ve nem oranı, havanın direkt olarak kapı açıklığından tahliye olması sebebiyle kapı açma fonksiyonunu kısıtlamaktadır. İnsan sağlığına ve konforuna olumsuz etki etmemesi ve nispeten daha soğuk mobilya yüzeyleri üzerinde yoğunlaşma yaratarak mobilya ömrünü azaltmaması için KRT prosesinde kapı açma uygulamasından önce kabin içerisinden dışarıya tahliye olacak havanın belirli şartlara indirgenmiş olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, bulaşık makinesi KRT prosesinde yüksek sıcaklıklarda otomatik kapı açma uygulamasının gerçekleştirilerek çok hızlı kurutma sağlanacağı motivasyonu ile ortaya çıkan bir hızlı kurutma yöntemi önerilmektedir. Yönteme göre KRT adımı öncesinde SCD adımıyla sirkülasyon suyu aracılığıyla kabin içerisindeki yüzeyler yüksek sıcaklıklara ısıtılmaktadır. Durulama suyunun tahliyesi sonrasında KRT adımı başlamaktadır ve kabin içerisinde yüksek sıcaklıkta ve kısmen su buharına doymuş

hava bulunmaktadır. Kurutma hızını arttırmak için bulaşık makinesi kapısının açılması uygulamasından önce kabin içindeki havanın uygun şartlara getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kabin içerisinde bir soğuk yüzey yaratılmaktadır. Bu yüzey, yeteri miktarda soğuk şebeke suyunun hazneye alınmasıyla oluşturulmaktadır. Kabin içerisinde, alınan su miktarına bağlı olarak yüzey alanı değişen soğuk su ve hava temas etmektedir. Kabin iç havasının istenilen şartlara kısa sürede ulaşması için durgun bir temas yeterli görülmeyip kabin içerisinde kapalı çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştirilmektedir. Kıyasla nem oranı ve sıcaklığı daha yüksek havanın bulunduğu üst bölgeden hava emişi yapılmaktadır. Sirkülasyon sistemindeki hava kanalları ve fan içerisinden geçen hava direkt olarak kabin zeminindeki soğuk su yüzeyine yönlendirilmektedir. Sirkülasyon debisine bağlı olarak belirli bir hızda su yüzeyine çarpan hava suya paralel yönde bir miktarda daha hareket etmektedir. Havanın suya çarpması ve su üzerindeki hareketi sebebiyle Bölüm 2.2 detayı anlatıldığı gibi hava, ısı kaybetmekte ve havanın su buharı içeriği azalmaktadır. Soğuk yüzey üzerindeki hareketi sonrasında yükselen hava, yükler üzerinden geçerken ısınmakta ve su buharı içeriği bir miktar artmaktadır. Fakat, havadan soğuk su yüzeyine doğru olan ısı ve kütle geçişi miktarı daha fazla olduğu için kapalı çevrim sirkülasyonu boyunca kabin içerisindeki hava hacminin sıcaklığı düşme eğilimi göstermektedir. Sirkülasyonun başlangıcından itibaren su miktarına ve sirkülasyon debisine bağlı olarak kısa sürede kabin içerisindeki hava hacminin sıcaklığı ve nem oranı istenilen şartlara düşmektedir. Kabin iç havası istenilen şartlara indiği anda kapı açılmakta, kapalı çevrim sirkülasyonunu sağlayan fan durmakta ve kabin içi ve dış ortam havasının yoğunluk farkı sebebiyle açık çevrim hava sirkülasyonu başlamaktadır. Kapı açıldıktan sonra, kabin iç havasını şartlandırmak için hazneye alınan su hacmi tahliye edilmektedir. Tahliye sonunda KRT adımı ve program sona ermektedir.

Yukarıda temel işleyişi aktarılan kurutma yöntemini gerçekleştirmek, yöntemin faydasını sınamak ve etkiyen parametreleri analiz etmek için deneysel tasarım oluşturulmuştur. Bahsi geçen kurutma yöntemine ait deney sistemin tasarımı yapıldıktan sonra deneysel yöntemler belirlenerek deney düzeneği hazırlanmıştır. KRT süresine ve performansına etkiyecek parametreler belirlenerek bu parametrelerin etkisinin araştırılacağı deneyler kurgulanmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılmak istenen hedef, kısa süre zarfında yüksek KP'nın elde edileceği ve kabin dışındaki yüzeylerin sıcaklık ve nemden en az şekilde

etkileneceği koşul için optimizasyonu gerekli parametrelerin tespitini yapmaktır.

Yukarıda bahsi geçen hızlı kurutma yöntemine ait kurutma sisteminin tasarlanması için Şekil 3.1'deki Grundig marka GNUP4620XC modeli bulaşık makinesi [14] kullanılmıştır.

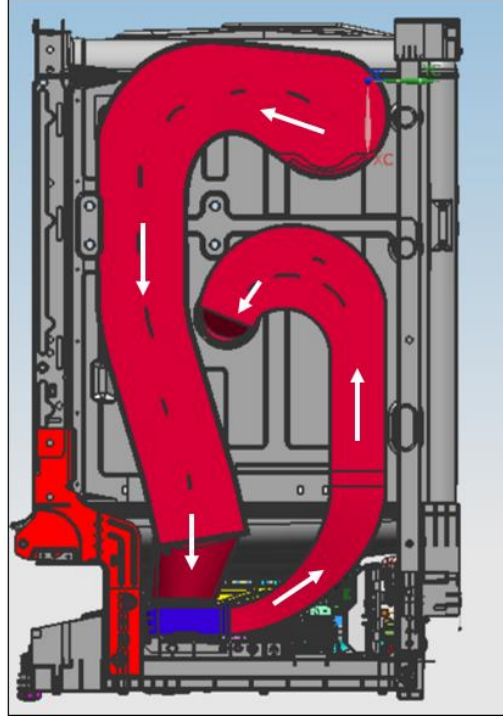


Şekil 3.1 : Çalışmada kullanılan bulaşık makinesinin katalog görünümü [14].

Hızlı kurutma yönteminde bahsedilen hava sirkülasyonunu gerçekleştirebilmek için kurutma sistemine ait kanal ve fan yerleşimi tasarımı başlangıçta NX 3D modelleme program üzerinden gerçekleştirilmiştir. Gerekli kapasitelere sahip fan boyutları araştırılmış, fanın ancak bulaşık makinesinin alt şasi bölgesine yerleştirilebileceğine karar verilmiştir. Şasiye monte etmek ve fanı sabitlemek amacıyla bir fan tutucu tasarımı yapılmıştır. Yapının içerisine fan oturtulduktan sonra kapağı monte edilmekte ve şasiye entegre edilebilir hale gelmektedir.

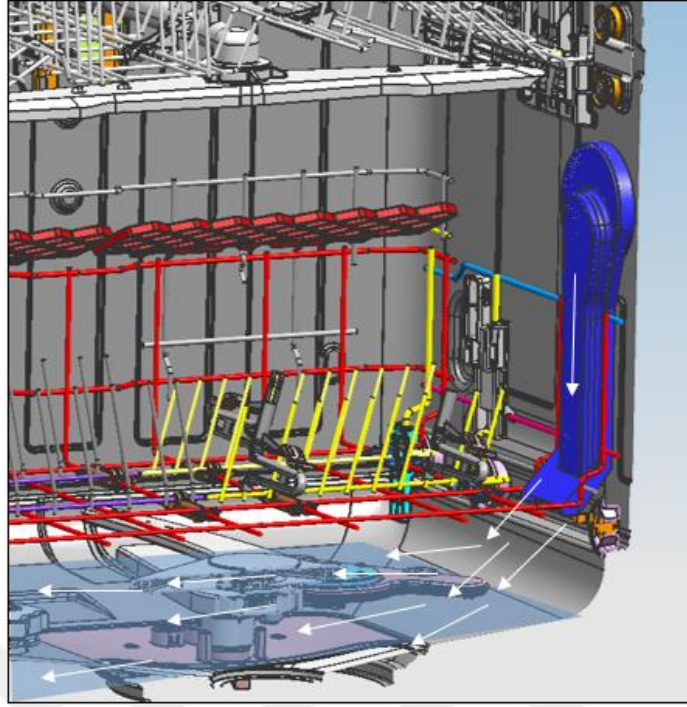
Fanın iç ortamdan havayı emerek tekrar kabin içine basması için gerekli olan hava kanalı tasarımları gerçekleştirilmiştir. Kabin yan yüzeyinde hava giriş çıkış açıklıkları olarak, tasarımda model alınan bulaşık makinesinin yan saç yüzeyinde hali hazırda bulunan hava deliği bölgeleri kullanılmıştır. Bu hava açıklıkları dairesel kesite sahiptir. Yöntemde belirtildiği üzere bulaşık makinesinin üst bölgesindeki hava açıklığından emiş yapılmaktadır. Kapalı sirkülasyonda havanın tekrar kabine içerisine girdiği açıklık ise yan saç yüzeyinin ortasında bulunmaktadır. Belirtilen açıklıklarla ve fanla bağlantısı gerçekleştirilebilecek şekilde hava kanalı modelleri oluşturulmuştur. Hava kanalı tasarımları oluşturulurken yapısal uygunluğa ve olabildiğince basınç kaybı düşük olacak şekilde hava akış yollarını rahatlatmaya özen gösterilmiştir. Yıkama

adımı sırasında açıklıklardan kanal içerisine su kaçmayacak şekilde hava açıklığı bölgeleri eğimli yapıda tasarlanmıştır. Ayrıca kanal içerisinde suyun yoğunlaşması ve süzülmesine karşı kanalın fan bağlantısı öncesinde su tahliye yapısı oluşturulmuştur. Şekil 3.2’de bulaşık makinesi kabin yan yüzeyi üzerinde modellenen kırmızı renkli hava kanalı ve mavi renkli fan tutucu tasarımı görülmektedir. Hava akış yönü görselde ok işaretleri yönünde şematize edildiği gibidir.



Şekil 3.2 : Kapalı çevrim hava sirkülasyonu sistemi tasarımı.

Yukarıda tariflenen hızlı kurutma yöntemine göre kabin içerisindeki havanın kapalı çevrim sirkülasyonunda hava tekrar kabin içerisine döndüğünde direkt olarak kabin zeminindeki soğuk su yüzeyine çarptırılmaktadır. Şekil 3.2’de, tasarlanan modelde görüldüğü üzere kapalı çevrim sirkülasyonunda havanın tekrar kabin içerisine basıldığı açıklık kabin yan yüzeyinin orta bölgesindedir. Kabin içerisinde içeriye basılan havanın direkt olarak su yüzeyine çarptırılması için bir hava yönlendirme aparatı tasarımı oluşturulmuştur. Bu aparat sayesinde kanaldan basılan hava, kabin iç havasına karışmadan önce aşağı yönde hareketlendirilmekte ve su yüzeyine açılı bir şekilde çarptırılmaktadır. Hava yönlendirme aparatı, herhangi bir yapısal engel oluşturmayacak, bulaşık makinesi standart yük dizilimine mâni olmayacak ve bulaşık makinesi sepetine entegre edilebilecek şekilde boyutlandırılmıştır. Şekil 3.3’te kabin içerisinde alt sepet üzerine yerleştirilen hava yönlendirme aparatının modeli ve içerisinde geçen hava akışının oklar ile şematize edilmiş hali verilmektedir.



Şekil 3.3 : Hava yönlendirme aparatı tasarımı.

Kurutma sıcaklığı, KRT adımıında hazneye alınan su miktarı gibi diğer parametreler, program algoritmasının değiştirilerek yazılımın bulaşık makinesi ana kartına yüklenmesiyle program çalışırken otomatik olarak ayarlanmaktadır. Bölüm 4.2’de belirtilen farklı koşulların deneyleri için gerekli program algoritmaları, test edilecek koşulların tasarımı sonrasında hazırlanmıştır.



4. DENEYSEL TASARIM

4.1 Deneyin Amacı

Deneysel çalışmanın amacı Bölüm 2’de aktarılan teorik yaklaşım üzerine kurgulanan ve Bölüm 3’te tariflenen bulaşık makinesinde hızlı kurutma yöntemini gerçekleştirmek, yöntemin faydasını kanıtlamak ve yöntemle ait hızlı KP’na etkiyen parametreleri analiz etmektir.

Yöntemle ait sistemin modellenmesi yapıldıktan sonra gerekli komponentlerin bazıları tasarıma özel ürettirilmiş bazılarıysa hazır olarak temin edilmiştir. Oluşturulan deney tasarımı için gerekli ölçüm yöntemleri belirlenmiştir. Tekrarlı ve güvenilir sonuçlar elde etmek kaygısı güdülerek deney düzeneği oluşturulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalara ait detaylar aşağıdaki bölümlerde aktarılmaktadır.

4.2 Deney Tasarımı

Deneysel çalışmalar için prototiplenecek olan bulaşık makinesinin orijinal hali referans hal olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada önerilen hızlı kurutma yöntemi bulaşık makinesinde en kısa kurutma süresine sahip hızlı (günlük) program için kurgulanmaktadır. Bu sebeple referans bulaşık makinesinin referans koşulu ise hızlı programdır. Referans koşula (Koşul0) ait program parametreleri aşağıdaki Çizelge 4.1’de verilmiştir. T_{ay} ve T_{scd} , sırasıyla ana yıkama ve SCD sıcaklıklarıdır. Ana yıkama, soğuk durulama, SCD ve KRT adımlarında alınan su miktarları, Su_{ay} , Su_{sgd} , Su_{scd} ve Su_{krt} ile ifade edilmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntemle özgü olan KRT adımında su alma, referans koşulda gerçekleşmemektedir. Fan çalışma süresi, t_{fan} ile gösterilmektedir. 18 dk’lık KRT adımı boyunca toplamda 8 dk fan çalışmaktadır. KRT adımı başlangıcından itibaren 7 dk bekleme, 4 dk fan çalışması, 2 dk bekleme ve 4 dk daha fan çalışması sonrasında program sonlanmaktadır. KRT adımında kapı açma uygulamasının olmadığı ‘Kapı’ sütunundaki K harfi ile ifade edilmektedir ve kapı kapalı manasına gelmektedir. Ayrıca test edilen koşulda kullanılan kurutma sistemini belirten ‘Sistem’ sütunundaki Ref, referans sistem anlamına gelmektedir.

Deneysel çalışmada planlanan ilk testler referans koşula ait testlerdir. KP testlerine ek olarak referans koşul için yıkama ve leke (spot) performansı testleri kurgulanmıştır ve bu testler Bölüm 4.6’da açıklanmaktadır.

Çizelge 4.1 : Referans koşula ait parametreler.

Koşul	T_{ay} [°C]	T_{scd} [°C]	Su_{ay} [l]	$Su_{şgd}$ [l]	Su_{scd} [l]	Su_{krt} [l]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Kapı	Sistem
0	54	70	4,3	3,4	3,6	0	1	8/18	K	Ref

Bu çalışmanın kapsamında önerilen, bulaşık makinesinde hızlı kurutma yöntemi yeni ve uygulamada farkları olan bir yöntemdir. Kurutma sisteminin ve algoritma akışının değiştirilmesiyle oluşturulan yeni prototipin hatasız çalıştığını sınamak ve yapılacak testlerin tekrar edilebilirliğini kontrol etmek için öncül testler planlanmıştır. Öncül testlerle olası deneysel hataların önceden fark edilip düzeltilmesi deneysel çalışmanın sağlıklı ilerlemesi açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada önerilen hızlı kurutma yönteminin faydasını kanıtlamak için tasarlanan deneyler 1. deney seti olarak gruplandırılmıştır. Referans kurutma sistemi 1 l/s hava debisiyle açık çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştirirken, yöntemine ait prototipteki sistem yüksek hava debisi değerlerinde (~8 l/s) kapalı çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştirmektedir. Başlangıç koşulu olan Koşul1’de program algoritması referansın aynısı olacak şekilde kapalı çevrim hava sirkülasyonunun etkisini görmek hedeflenmiştir. Referans program kurutma algoritmasında KRT adımı başındaki sıcaklık 70°C’dir ve birinci deney seti altındaki tüm koşullarda KRT sıcaklığı aynıdır. Referans koşul açık çevrim hava sirkülasyonuna sahip bir sistemde oluşturulduğu için dış yüzeylerde nemli havanın yoğunlaşma miktarını azaltmak amacıyla KRT adımı beklemeye periyotları oluşturulmuştur. Kapalı çevrim hava sirkülasyonunda, hava direkt olarak dış ortama atılmadığı için beklemeye periyotlarına ihtiyaç yoktur. Koşul2’de KRT süresi boyunca kapalı çevrim hava sirkülasyonuna sahip kurutma sistemindeki fan çalıştırılarak 18 dk’lık fan çalışma süresinin etkisini görmek hedeflenmiştir. Koşul3’te kabin haznesine soğuk su almanın etkisini görmek hedeflenmiştir. KRT sıcaklığı ve toplam KRT süresi aynı olacak şekilde hazneye ön deneyler sonucunda belirlenen hacimde 4 l su alınmakta ve KRT adımı sonunda tahliye edilmektedir. Koşul3’te KRT boyunca fan çalışmamakta ve kapı açılmamaktadır. Koşul4’te ise Koşul3’e ek olarak 18 dk’lık KRT süresi boyunca kapalı çevrim hava sirkülasyonu oluşturacak şekilde fan çalışmaktadır. Şekil 3.3’teki hava yönlendirme aparatı önceki

koşullarda takılı değilken Koşul5'te sepete takılmaktadır. Koşul3, 4 ve 5 ile KP'nın yanı sıra kabin iç havası soğuma rejimindeki değişimin de gözlenmesi hedeflenmiştir. Birinci deney setinin son koşulu olan Koşul6'da ise Koşul5'ten farklı olarak KRT başlangıcından itibaren kabin iç havası sıcaklığı $42 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 'ye düştüğü anda sırasıyla kapı açılmakta, fan durdurulmakta ve haznedeki su tahliye edilmektedir. Tahliye sonrasında KRT adımı sonlandırılmaktadır. Arçelik A.Ş. ARGE bünyesinde yapılan önceki çalışmalar neticesinde belirlenen ve otomatik kapı açma fonksiyonuna sahip ürünlerinde uyguladığı güvenli kapı açma sıcaklığı 42°C 'dir. Bu sebeple Koşul6'da kapı açmak için gerekli sıcaklık olarak bu değer belirlenmiştir. Koşul6 ile önerilen kurutma yöntemi eksiksiz olarak uygulanmakta ve yöntemin faydası tam anlamıyla sınanmaktadır. Birinci deney setindeki koşullar ve koşula özgü parametreler Çizelge 4.2'de verilmektedir. Tüm koşullarda SCD adımıdaki ısıtıcının devreye girişi anına kadarki algoritma akışı ve program parametreleri aynıdır.

Çizelge 4.2 : Birinci deney setindeki koşullara özgü parametreler.

Koşul	T_{scd} [$^{\circ}\text{C}$]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	Kapı	Sistem
0	70	1	8/18	0	K	Ref
1	70	8	8/18	0	K	KÇ
2	70	8	18	0	K	KÇ
3	70	0	0	4	K	KÇ
4	70	8	18	4	K	KÇ
5	70	8	18	4	K	KÇ + HYA
6	70	8	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA

T_{os} , kapı açma anındaki orta sepet seviyesinden alınan kabin iç havası sıcaklığını ifade etmektedir. Kapalı çevrim hava sirkülasyonu sistemi KÇ kısaltması ile ifade edilirken hava yönlendirme aparatı HYA kısaltması ile ifade edilmektedir.

Yönteme ait hızlı KP'na etkiyen parametreleri analiz etmek için tasarlanan deneyler ise ikinci deneyi seti olarak gruplandırılmıştır. Bu deney setinde Koşul19'a kadarki tüm koşullarda KRT süresini, kabin iç havası sıcaklığının KRT adımı başındaki maksimum değerden kapı açmak için belirlenen gerekli değeri düşmesi için geçen süre belirleyecektir. KP üzerinde önemli bir etkisi olduğu bilinen KRT sıcaklığının etkisi, Koşul6-9'da incelenmektedir. Sırasıyla 71, 65, 60 ve 55°C sıcaklık değerleri denenmektedir. KRT adımı hazneye alınan su hacminin etkisi, Koşul8, 10 ve 11'de incelenmektedir. Koşullara ait testlerde hazneye sırasıyla 4, 3,5 ve 3 l su alınmaktadır.

Sirkülasyon hava debisi miktarı ve bağlantılı olarak havanın soğuk su yüzeyine çarpma hızının etkisi Koşul8, 12-15'te incelenmektedir. Fanın hızı değiştirilerek sirkülasyon havası debisi sırasıyla 8, 10, 7, 6 ve 15 l/s 'ye ayarlanmaktadır. Kapı açma sıcaklığı değişiminin etkisi Koşul8,16 ve 17'de incelenmektedir. Koşul16'da kapı açmak için KRT adımı kabin içi havası sıcaklığının düşmesi gereken sıcaklık 54°C 'dir. Koşul17'de ise SCD adımı ısıtma esnasında kabin iç havası 45°C'ye ulaştığında direkt olarak kapı açılmaktadır. Bu koşulda fan çalışmamaktadır ve kapı açma uygulaması ardından su tahliyesiyle birlikte KRT adımı sonlandırılmaktadır. Koşul11,18 ve 19'da hazneye belirlenen minimum miktarda 3 l su alınması durumunda farklı hava debilerinin (8, 10 ve 15 l) etkisi incelenmektedir. Koşul20-23'te ise 5 ve 10dk olmak üzere iki farklı sabit fan çalışma süresi boyunca, 8 ve 15 l/s olmak üzere iki farklı hava debisi sirkülasyonu oluşturma etkisi incelenmektedir. Bu koşullarda kapı açma anı, belirli kabin iç havası sıcaklığı yerine sabit süre ile belirlenmektedir. İkinci deney setindeki koşullar Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3 : İkinci deney setindeki koşullara özgü parametreler.

Koşul	T_{scd} [°C]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	Kapı	Sistem
6	70	8	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
7	65	8	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
8	60	8	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
9	55	8	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
10	60	8	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	3,5	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
11	60	8	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	3	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
12	60	10	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
13	60	7	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
14	60	6	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
15	60	15	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	4	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
16	60	8	$T_{os}: 54^{\circ}\text{C}$	3,5	$T_{os}: 54^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
17	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	0	0	0	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
18	60	10	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	3	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
19	60	15	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	3	$T_{os}: 42^{\circ}\text{C}$	KÇ + HYA
20	60	8	10	4	$t_{fan}: 10\text{dk}$	KÇ + HYA
21	60	15	10	4	$t_{fan}: 10\text{dk}$	KÇ + HYA
22	60	8	5	4	$t_{fan}: 5\text{dk}$	KÇ + HYA
23	60	15	5	4	$t_{fan}: 5\text{dk}$	KÇ + HYA
24	58	8	5	4	$t_{fan}: 5\text{dk}$	KÇ + HYA

SCD sıcaklığı, kapı açıldığı andaki kabin içi havası sıcaklığı, kapı açıldığı andaki yük sıcaklığı, hazneye alınan su miktarı, hava sirkülasyonu debisi ve süresi

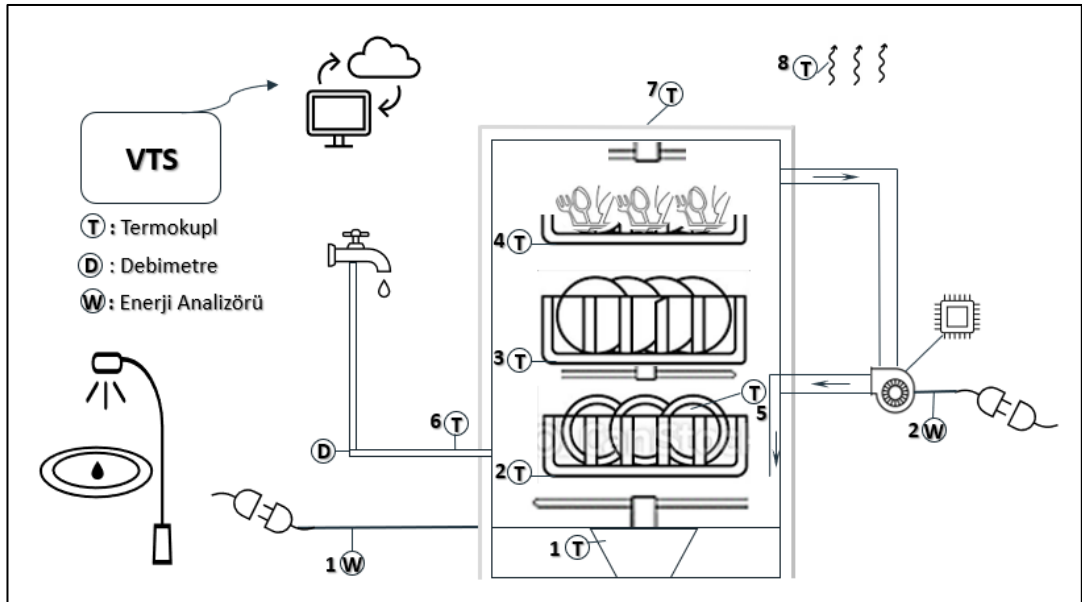
parametrelerinin değişiminin KP'nı ve kurutma süresini hangi ölçüde etkilediği, ikinci deney setinin çıktısı olmaktadır.

4.3 Deney Düzeneiğinin Kurulması

Bu çalışma kapsamında önerilen, bulaşık makinesinde hızlı kurutma yönteminin test edileceği deney düzeneği temel olarak şu elemanlardan oluşmaktadır:

- Bulaşık makinesi ve standart yükler
- Pleksi mobilya ve nem ölçüm yüzeyi
- Yük inceleme ışığı
- Kurutma sistemi hava kanalları
- Kurutma sistemi fanı
- Hava yönlendirme aparatı
- Fan güç kaynağı ve kontrol kartı
- Termokupllar
- Debimetre
- Veri toplama sistemi

Deney düzeneği, Arçelik A.Ş. Temizleme ve Tekstil Teknolojileri Ailesi Performans Laboratuvarında kurulmuştur. Düzeneğin şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1 : Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Düzeneğin laboratuvar ortamında kurulmuş halinin nihai görüntüsü de Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.2 : Deney düzeneğinin laboratuvar ortamında görünüşü.

Deney düzeneğini oluşturan elemanlara ait detaylar alt başlıklarda açıklanmaktadır.

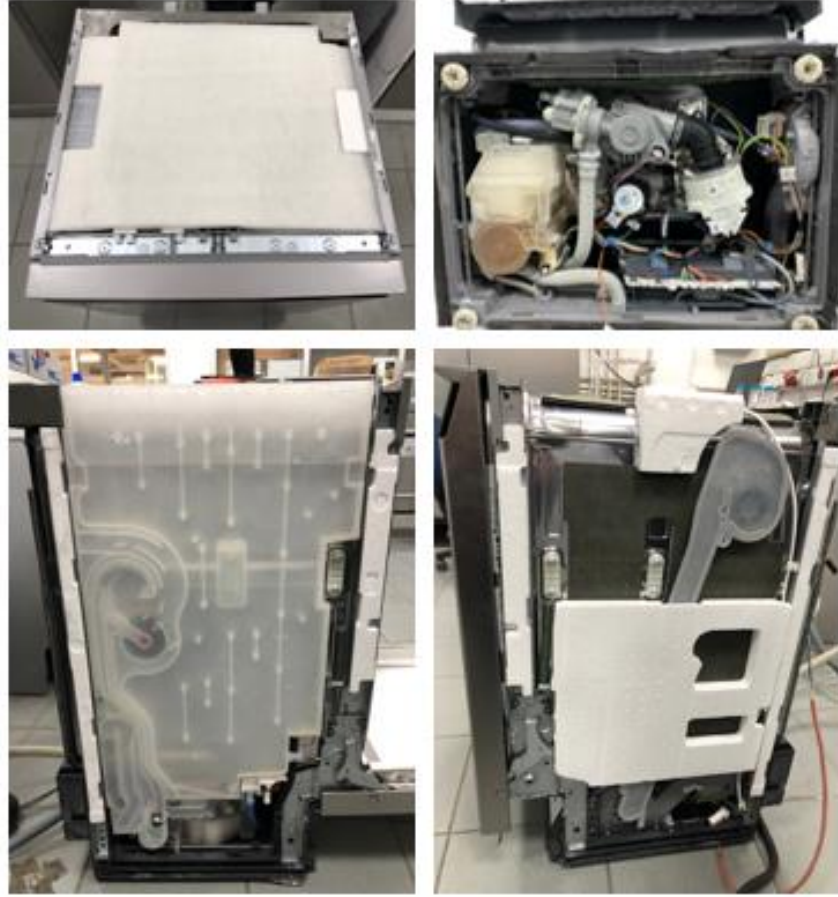
4.3.1 Bulaşık makinesi ve standart yükler

Deney düzeneğini oluşturan en temel unsur bulaşık makinesidir. Bu çalışmada kullanılan Şekil 3.1'deki bulaşık makinesi Grundig marka GNUP4620XC modelidir. Şekil 4.3'te mevcut açık çevrim kurutma sistemi ve diğer aksamalar görülmektedir. Dış boyutları yaklaşık olarak 60x57x82 cm olan bulaşık makinesinin kabin içi boyutları ise yaklaşık olarak 55x50x61 cm'dir.

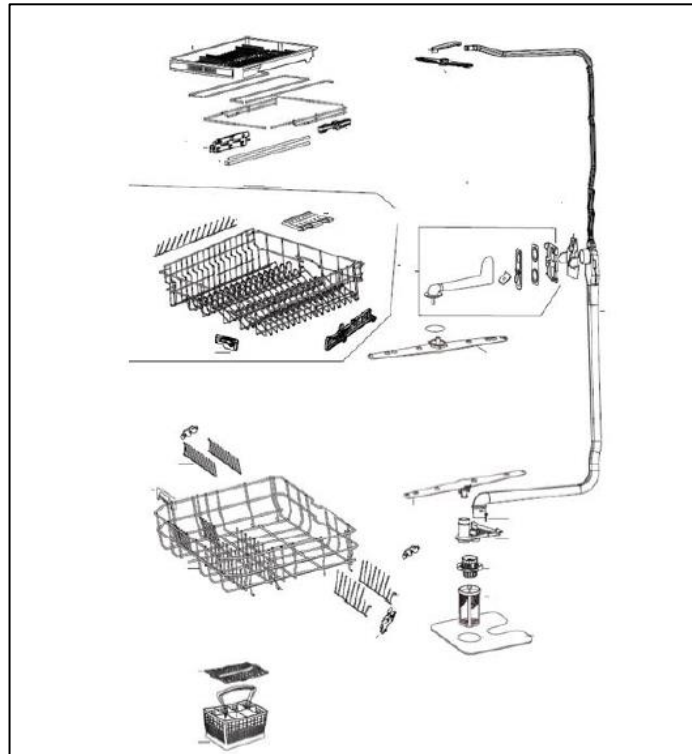
Bulaşık makinesinin temel kısımlarından biri yıkama grubudur ve yıkama işlemini sağlayan komponentleri barındırır. Yıkacak yüklerin (bulaşıkların) yerleştirildiği alt ve üst sepet, çatal-kaşık sepeti, su püskürten pervaneler ve kir filtreleri bu gruba dahildir. Yıkama grubu genel hatlarıyla Şekil 4.4'te verildiği gibidir.

Bulaşık makinasının temel kısımlarından bir diğeri yıkama işleminin gerçekleştiği kabin grubudur. Kabin ve kabine doğrudan entegre edilen komponentlerden oluşan bu grup Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Kabin, kabin etrafındaki ses yalıtımı, keçe, su haznesi, sirkülasyon ve tahliye pompaları, su yumuşatma ünitesi, yüksek basıncı kıran su cebi, dış ve üst kapaklar bu grupta yer almaktadır. Bulaşık makinesi kurutma sistemi de kabin üzerine monte edilmektedir.

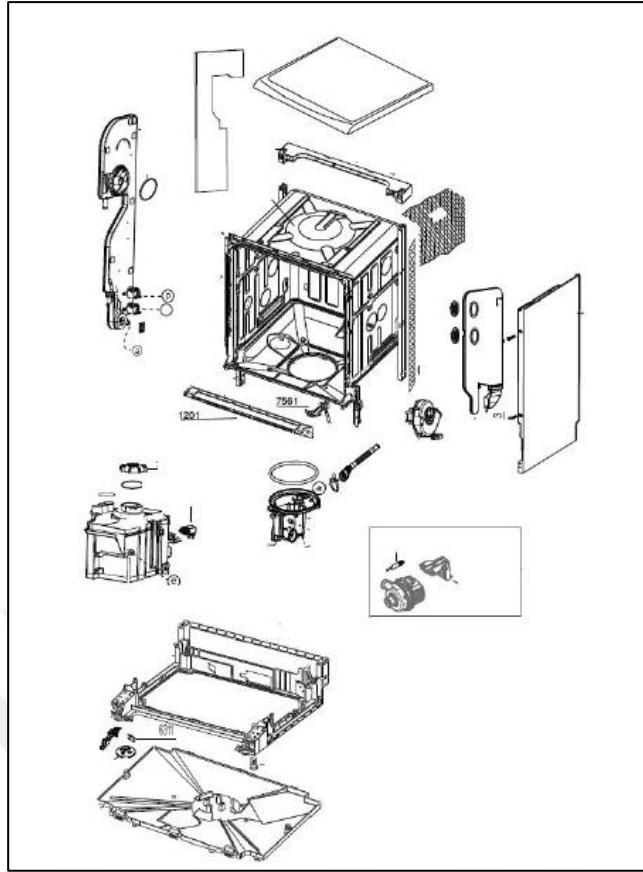
Makineye ait ürün deklarasyon etiketi ise Şekil 4.6'da verilmektedir. Deklarasyon etiketi ekonomik program özelinde oluşturulmaktadır.



Şekil 4.3 : Çalışmada kullanılan bulaşık makinesi referans halinin detay görüntüleri.

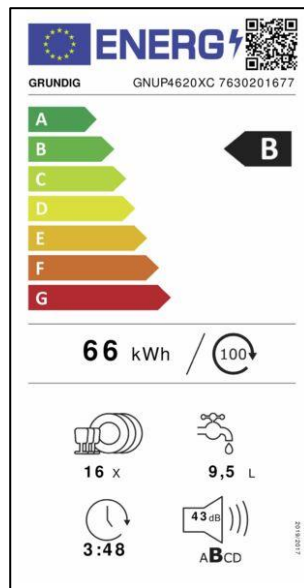


Şekil 4.4 : Bulaşık makinesi yıkama grubu patlatma resmi.



Şekil 4.5 : Bulaşık makinesi kabin grubu patlatma resmi.

Bu çalışma kapsamındaki deneyler ise hızlı program kullanılarak yürütülmektedir. Fanın çalışması ve kapı açma uygulaması hariç tüm fonksiyonlar bulaşık makinesi ana kartına bağlanılarak yazılımının değiştirilmesiyle oluşturulan algoritmayla otomatik olarak ayarlanmaktadır.



Şekil 4.6 : Çalışmada kullanılan bulaşık makinesine ait deklarasyon etiketi.

Deney düzeneğinde EN 50242 Avrupa standartında belirtilen standart yükler kullanılmaktadır [34]. 16 kişilik bulaşık makinesi kapasitesine uygun olarak modele ait Şekil 4.7'deki dizilimdeki gibi 170 parça yük bulaşık makinesi içerisine yerleştirilmektedir. Testlerin gerçekleştirildiği Şekil 4.8'deki yük takımı; tabak çeşitleri, çay fincanı ve bardağı, beher, kasık-çatal ve servis takımından oluşmaktadır. Testler öncesinde yükler temiz, kuru ve ortam koşullarına göre şartlanmış hale getirilmektedir.



Şekil 4.7 : Bulaşık makinesi modeline özgü yük dizilimi.

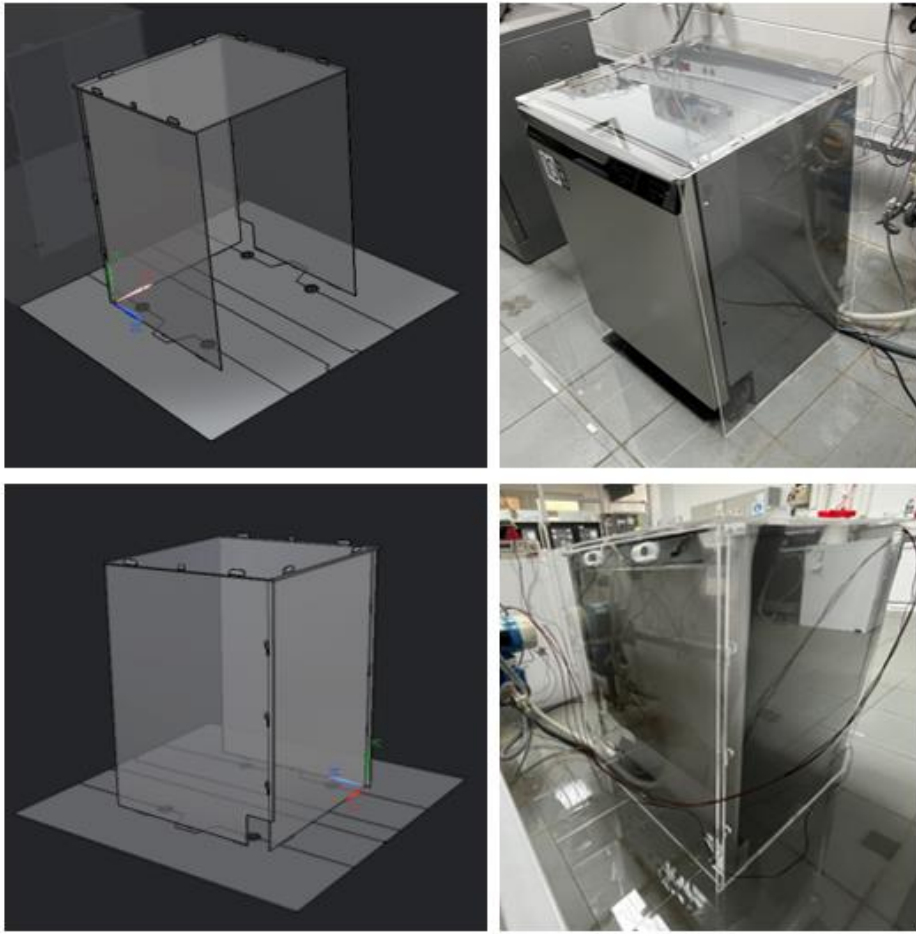


Şekil 4.8 : Bulaşık makinesi performans testlerinde kullanılan Avrupa standartı yükleri.

4.3.2 Pleksi mobilya ve nem ölçüm yüzeyi

Deney düzeneğinde yapılan testlerde program koşullarının ve KP'nın ölçülmesinin yanı sıra makine dışındaki mobilya üzerinde oluşacak yoğuşma miktarı da

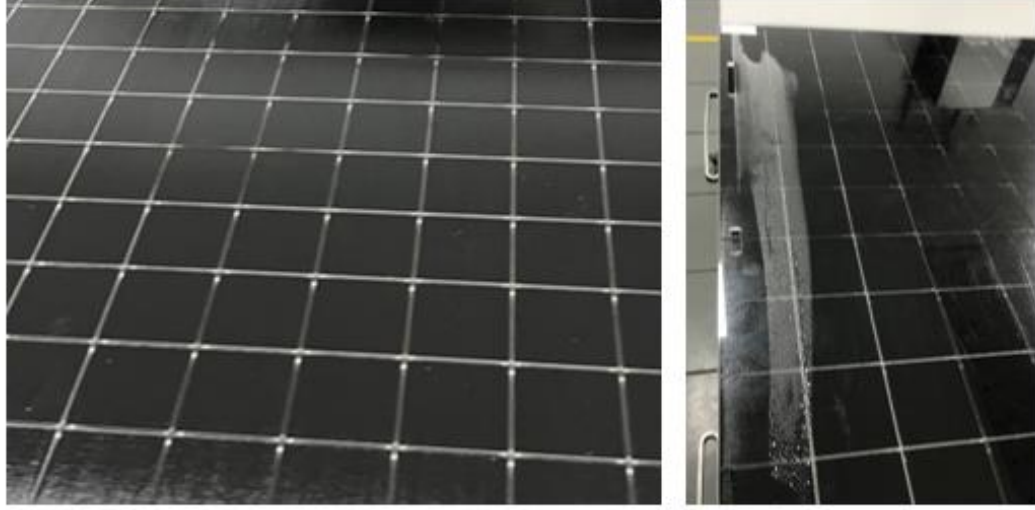
ölçülmektedir. Bulaşık makinesi dışındaki mobilyayı temsilen bu çalışma için özel olarak tasarlanmış olan Şekil 4.9'da verilen kabuk yapı oluşturulmuştur. Bu kabuk yapıya pleksi mobilya denmektedir. Yüksek sıcaklığa sahip ve nem oranı yüksek havanın dışarıya kaçması veya tahliyesi sonucu yoğuşmanın meydana geldiği bölgelerin ve yoğuşma miktarının saptanması amacıyla saydam yüzeyler oluşturulmuştur. Esnekliği ve hafifliği sebebiyle 5 mm kalınlığında pleksi cam levhalar kullanılmıştır. Pleksi mobilyanın boyutları 55x50x61 cm'dir. Bu boyut EN 50242 standartına uygun olarak oluşturulmuştur [34]. Yapının tüm yüzeyleri kolayca demonte edilebilecek şekilde tasarlanmış ve ürettirilmiştir.



Şekil 4.9 : Saydam pleksi mobilya.

Ölçüm esnasında yüzeyler sökülmekte ve Şekil 4.10'da verilen siyah ölçüm yüzeyi üzerine yerleştirilmektedir. Siyah ve kareli arka fon üzerinde saydam yüzeylerde oluşan nem bölgeleri daha net görünmektedir. Ölçüm yüzeyi üzerindeki karelerin bir kenarı 5 cm boyutundadır. Pleksi mobilya yüzeyleri üzerinde yoğuşma varsa kaç karelik bir bölgeye yayıldığı sayılmaktadır. Yoğuşmanın gerçekleştiği alan tespiti sonrasında ek olarak darası alınmış bir havlu kağıt ile yoğuşan su tek seferde

silinmektedir ve ıslak havlu kağıt ağırlığı ölçümü için Şekil 4.11'deki hassas terazi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile yoğunlaşan su miktarının ağırlığı ölçülmektedir. Pleksi mobilya ile yoğunlaşan nem gözlemlenerek kurutma sisteminin mobilyaya olumsuz etkisi tahmin edilmektedir.



Şekil 4.10 : Nem miktarı ölçüm yüzeyi.



Şekil 4.11 : Nem ölçümünde kullanılan hassas terazi ve havlu kağıt.

4.3.3 Yük inceleme ışığı

Kurutma, yıkama ve leke performansı ölçümü sırasında yük yüzeylerinin daha net incelenmesi için EN 60436 standardına uygun ışık kaynağı kullanılmaktadır. Standarta

göre yüklerin incelendiği bölgede ışık şiddeti 1000-1500 lux değerinde ve 3500-4500 K renk sıcaklığında olmalıdır [35]. Şekil 4.2’de gösterilen deneysel düzenekte kullanılan yük inceleme ışığı gerekli özelliklere sahiptir.

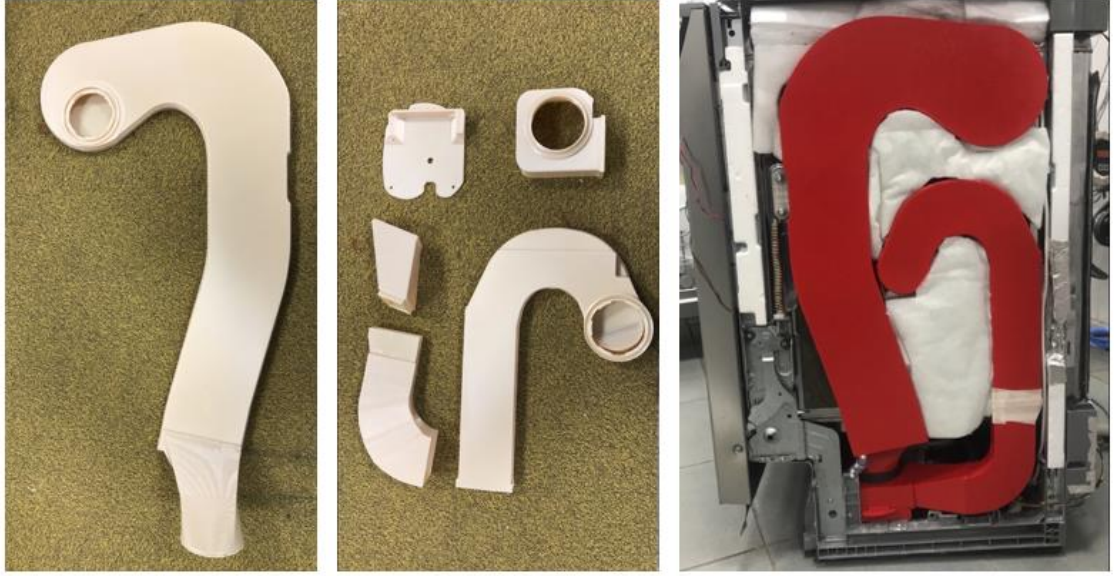


Şekil 4.12 : Yük inceleme ışığı.

4.3.4 Kurutma sistemi hava kanalları

Bu çalışmada bahsedilen kurutma yönteminde kabin içerisinde kapalı çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştirilmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan bulaşık makinesine entegre edilecek konfigürasyonda Şekil 4.13’teki hava kanalları tasarlanmıştır. Tasarım Siemens NX 3D katı modelleme programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kanalların tasarımında, düşük basınç kaybı sağlaması için akış yolunun olabildiğince engelsiz ve akış kesitinin yeterince geniş olmasına önem gösterilmiştir. Yapısal destek olacak ve akış kopmalarını azaltacak şekilde kanal içerisinde belirli bölgelere feder yapıları eklenmiştir. Kabin yüzeyi bağlantı açıklığı bölgelerinde kanal içerisine olası su kaçışlarının engellenmesi için kanal yapısı eğimli formda oluşturulmuştur. Ayrıca, kanal içerisinde nemli havanın yoğunlaşması sonucu fanın içerisine su kaçma ihtimaline karşı süzülen suyun tahliye olacağı bir yapı oluşturulmuştur.

Kanal parçaları, yüksek sıcaklığa dayanımlı, hava ve su sızdırmaz olacak şekilde FDM malzemesinden 3D yazıcılar aracılığıyla Arçelik A.Ş. Garage laboratuvarında üretilerek gerekli yüzey ve sızdırmazlık işlemlerinden geçirilmiştir.



Şekil 4.13 : Kapalı çevrim hava kanalı prototipi.

4.3.5 Kurutma sistemi fanı

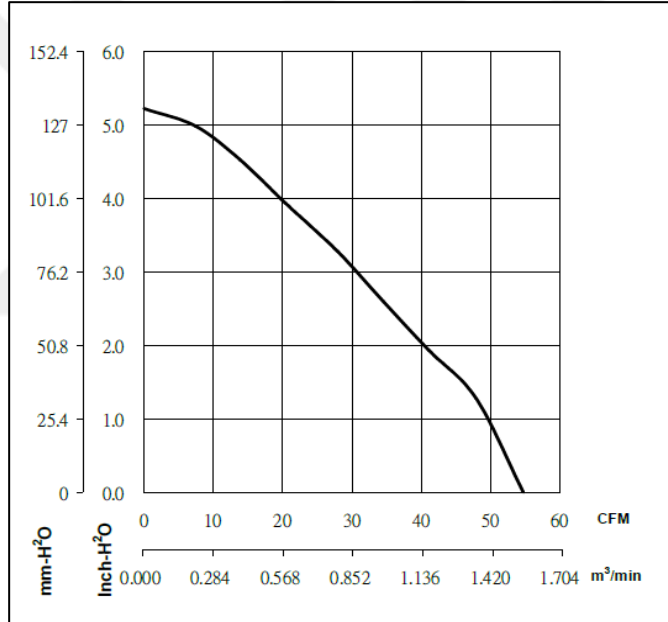
Hızlı kurutma yönteminde hava kanalları aracılığıyla kapalı çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştirmek için Şekil 4.14’teki 12V DC beslemeli SUNON marka PF9733BX-B05-SB9 model fan kullanılmaktadır. Fana ait teknik özellikler Çizelge 4.4’te verilmektedir. Fanın katalog basınç-debi eğrisi Şekil 4.15’teki gibidir. PWM hız kontrolüne sahip fan ile yüksek hava debisi koşullarının da test edilebilmesi için yüksek kapasiteli bir model tercih edilmiştir. Su kaçağı ihtimaline karşı IP55 koruma seviyesi güvenlik açısından uygun görülmüştür. Fanın kurutma kanalına entegrasyonu için fanın boyutlarına göre Şekil 4.16’daki fan tutucu tasarımı oluşturulmuştur.

Çizelge 4.4 : Fan nominal çalışma koşuluna ait teknik özellikler.

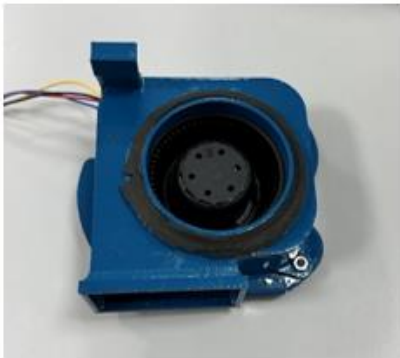
Nicelik	Nominal Değer
Gerilim	12 VDC
Akım	3500 mA
Güç Tüketimi	42 W
Hava Debisi	25,8 l/s
Statik Basınç	129,5 kPa
Ses Seviyesi	63,2 dB(A)
Devir	6800 RPM±10%



Şekil 4.14 : SUNON PF9733BX-B05-SB9 model hava sirkülasyon fanı.



Şekil 4.15 : Fana ait basınç&debi eğrisi.



Şekil 4.16 : Fan tutucu.

4.3.6 Fan güç kaynağı ve kontrol kartı

Deney düzeneğinde, kurutma sistemindeki 12V DC fanı beslemek için Şekil 4.17'deki Agilent marka güç kaynağı kullanılmaktadır.



Şekil 4.17 : Agilent marka güç kaynağı.

Güç kaynağı ile yalnızca stabil 12V DC gerilim beslenmektedir. Fan hız ayarı kontrol kiti ile yapılmaktadır. PWM sinyali kontrolü yazılımı oluşturularak kontrol kiti içerisine yüklenmiştir. Şekil 4.18'deki kontrol kitinde PWM sinyali aracılığıyla fan hızı (duty) kontrol edilerek fan istenilen sistem debisini besleyecek ayara getirilebilmektedir.



Şekil 4.18 : Fan hızı kontrol kiti.

4.3.7 Hava yönlendirme aparatı

Bu çalışmada önerilen hızlı kurutma metodunda kapalı çevrim hava sirkülasyonu yapan havanın kabin içerisinde haznedeki soğuk su yüzeyine çarptırılması için Şekil 4.19'daki hava yönlendirme aparatı kullanılmaktadır. Hava yönlendirme aparatı görsellerde görüldüğü gibi herhangi bir yapısal engel oluşturmayacak, standart yük dizilimini etkilemeyecek ve sepete entegre olacak şekilde tasarlanmıştır. Yüksek sıcaklık dayanımına sahip SLA malzemesinden Arçelik A.Ş. Garage laboratuvarında 3D yazıcı ile üretilerek gerekli yüzey işlemlerinden geçirilmiştir.



Şekil 4.19 : Hava yönlendirme aparatı.

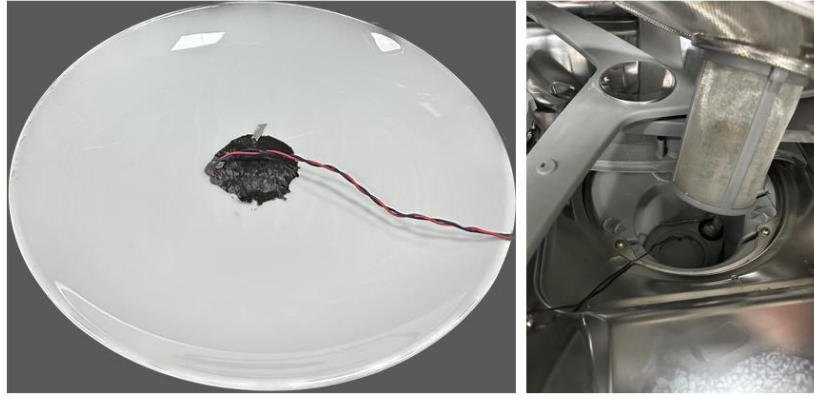
4.3.8 Termokupl

Termokupllar, sıcaklığa bağlı olarak elektriksel devrede bir gerilim sinyali oluşturan ve iki farklı metalin çoğu zaman kaynakla birleştirilmesiyle oluşturulan yapılardır. Farklı metal çiftlerinin aynı sıcaklık değerlerinde meydana getirdiği gerilim sinyali şiddeti farklıdır. Farklı tiplerde termokupllar vardır. (K, E, J, N, B, R, S, T tipleri). Termokupllar, farklı sıcaklık aralıklarındaki ölçüm hassasiyetleri açısından birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Deney düzeneğinde test süresi boyunca sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için bakır-konstantan metal çiftinden oluşan ve -100-165°C sıcaklık aralığında 0,3°C hassasiyet ile ölçüm yapabilen T tipi termokupllar kullanılmıştır. Termokuplların deney düzeneğindeki ölçüm yeri Çizelge 4.5'te belirtilmektedir.

Çizelge 4.5 : Deney düzeneğinde kullanılan termokupllar.

No.	İsim	Konum	Ölçülen Sıcaklık
1	Hazne	Filtre içerisinde	Su
2	Alt Sepet	Sepet üzerinde sağ ortada	Kabin iç havası
3	Orta Sepet	Sepet üzerinde sağ ortada	Kabin iç havası
4	Üst Sepet	Sepet üzerinde sağ ortada	Kabin iç havası
5	Tabak	Tabak yüzeyinde	Tabak
6	Su Giriş	Su giriş hattı içinde	Şebeke suyu
7	Kabin Üzeri	Kapı üstü, pleksi mobilya, ortada	Kapı açıldığında hava
8	Ortam	VTS ünitesinin yakınında	Ortam havası

Şekil 4.20'de tabak üzerine ve hazne içerisine yerleştirilen termokupllar gösterilmektedir.



Şekil 4.20 : Tabak üzerinde ve haznede termokupl yerleşimi.

4.3.9 Debimetre

Deney düzeneğinde su tüketimi takibi Şekil 4.21'deki debimetre ile yapılmaktadır. Kullanılan debimetre, Endress+Hauser marka Proline Promag 50 model elektromanyetik debimetredir. Elektromanyetik akış ölçümü yapan cihaz, 20-60°C ortam şartlarında çalışmaktadır. Ölçüm hassasiyeti, okunan hız değerinin %0,5'i kadardır.

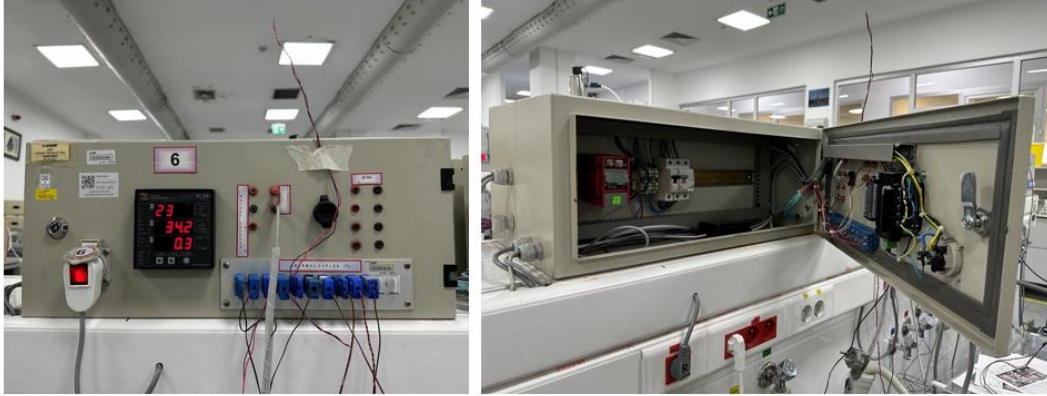


Şekil 4.21 : Debimetre katalog gösterimi.

4.3.10 Veri toplama sistemi

Deneysel düzende kullanılan veri toplama ünitesi Şekil 4.22'deki gösterilmektedir. Veri toplama sistemi, sıcaklık ölçümleri için veri alıcısı, enerji tüketim değerleri için enerji analizörü, deney ortamına yerleştirilmiş termokuplların fişlerinin yerleşeceği termokupl prizleri ve debimetre sinyal girişi komponentlerini içermektedir. Toplanan

veriler bağlantı kablosuyla bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Veriler Aquilla yazılımı üzerinden deney bilgisayarında anlık olarak görüntülenebilmektedir.



Şekil 4.22 : Veri toplama ünitesi.

20 ölçüm kanallı 3 adet Agilent marka çoklu giriş kartı bulunan, KEYSIGHT marka 34970A modeli veri alıcısı Şekil 4.23'te verilmektedir. Veri alıcı ünite ile sıcaklık, akım, direnç ve frekans ölçümleri yapmak mümkündür. Sıcaklık ölçümleri termokupl, termistör veya RTD ile yapılabilir.



Şekil 4.23 : KEYSIGHT marka 34970A modeli veri alıcısı.

Deneyler anında gerilim, enerji ve güç tüketimi ölçümleri için kullanılan ION marka 6200 modeli enerji analizörü Şekil 4.24'te gösterilmektedir. Enerji analizörü 100-240 V AC, 110-300 V DC gerilim altında (-20)-70°C sıcaklık ve %5-%95 nem oranına sahip ortam koşullarında çalışabilmektedir. Cihaz, %0,5 hassasiyet ile güç tüketimi ve gerilim; %0,3 hassasiyetle ise akım değeri ölçebilmektedir.

4.3.11 Anemometre

Hava yönlendirme aparatı çıkışındaki farklı fan hızlarındaki hava hızını tespit etmek amacıyla Şekil 4.25'teki Testo-440 'hot wire anemometresi' kullanılmıştır. Hız ölçüm aralığı 0-50 m/s hız ölçüm doğruluğu 0,03 m/s+4% 'dir.



Şekil 4.24 : ION marka 6200 modeli enerji analizörü.



Şekil 4.25 : Testo-440 'hot wire anemometresi'.

Yukarıda belirtilen ölçüm cihazlarına ait kalibrasyon sertifikaları EkA'da verilmektedir. Ölçüm belirsizlikleri kalibrasyon sertifikaları içerisinde verilmektedir.

4.4 Ön Deneyler

Deney düzeneği kurulma aşamasında ve kurulduktan sonra bazı öncül deneyler gerçekleştirilmiştir. KRT adımı hazneye alınacak su miktarlarının belirlenmesi, tasarlanan yeni kurutma sistemi için akış testleri, SGD (ses gücü düzeyi) testi ve su sızdırmazlık kontrolü testleri Bölüm 4.2'de tariflenen deney setlerine başlamadan önce tamamlanmıştır. Yapılan öncül deneyler aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmaktadır.

4.4.1 Hazneye alınan su miktarının belirlenmesi

Kabin hazne grubu, kabin zemin sacının alt seviyesinde kalan bir su toplama hacmine sahiptir. Tamamen boş hazneye alınan şebeke suyunun, bu hacmi doldurarak Şekil 4.26'daki gibi kabin zemin sacı üzerinde bir yüzey oluşturabileceği seviyeye gelmesi

gerekmektedir. Hazneye alınan su belirli bir yükseklik seviyesine eriştikten sonra bir miktar eğime sahip olan kabin zemin sacı üzerinde yayılmaya başlamaktadır. Su yüzeyi kabin yan duvarlarına temas edene kadar hazneye alınan su miktarı arttıkça kabin sacı üzerindeki su yüzeyinin alanı da artmaktadır.

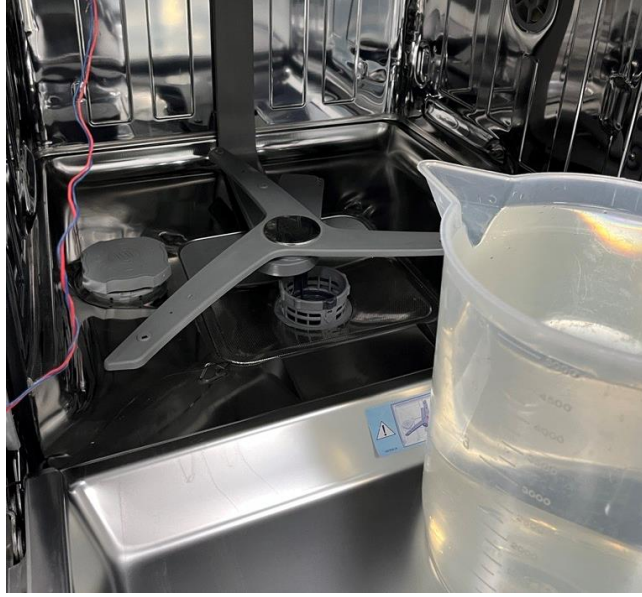


Şekil 4.26 : Kabin zemininde oluşan su yüzeyi.

Su miktarının belirlenmesi deneyi Şekil 4.27’deki 5 l hacme sahip ölçülü kap ile gerçekleştirilmiştir. Haznesi boş olan bulaşık makinesi içerisine kabin zemin sacı seviyesine ulaşana kadar eklenmiş ve bu seviye için gerekli su hacmi kaydedilmiştir. Sonrasında sırasıyla 3, 3,5 ve 4 l su hacmine tamamlayacak şekilde hazneye su eklenerek kabin zemin sacı üzerinde yayılan su yüzeyi yaklaşık alanı metre vasıtasıyla ölçülerek hesaplanmıştır. Çizelge 4.6’da haznedeki su hacmine bağlı olarak kabin zeminindeki yaklaşık su yüzeyi alanları verilmektedir.

Çizelge 4.6 : Hazneye alınan suyun oluşturduğu yüzey alanının ölçümü.

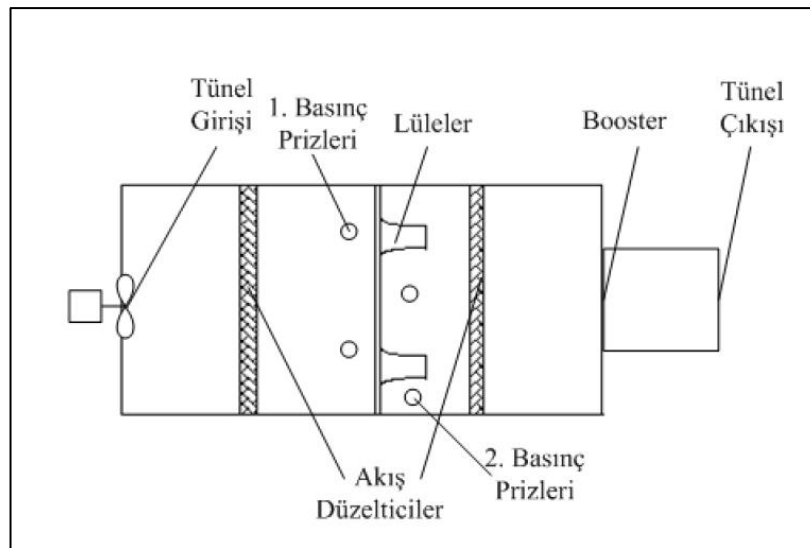
Su Hacmi [ml]	Yüzey Boyutları [cm x cm]	Yüzey Alanı [m ²]
1,80	-	-
2,50	36 x 38	0,1368
3,00	40 x 42	0,168
3,50	45 x 45	0,2025
4,00	48 x 46	0,2208



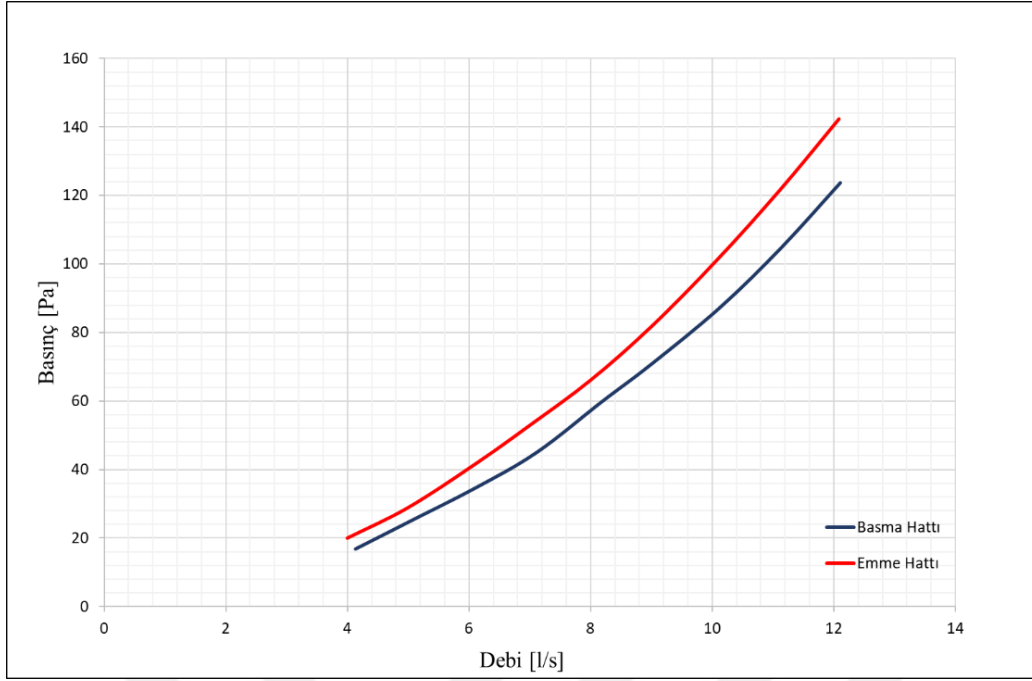
Şekil 4.27 : Ölçü kabı.

4.4.2 Kurutma sistemi basınç kaybı ve debi ölçümü

Tasarlanmış olan kurutma sistemindeki hava kanalları makineye entegre edilmeden önce akış testlerine tabi tutulmuştur. Akış testlerinde, Arçelik A.Ş. Akışkanlar Dinamiği Ailesi Laboratuvarında bulunan Şekil 4.28’de şematik gösterimi verilen orta ölçekli basınç fark rüzgar tüneli kullanılmıştır. Hava kanallarının içerisinde farklı hava debileri geçirilerek basınç kaybı eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 4.29’daki grafik iki ayrı hava kanalının basınç kaybı eğrilerini vermektedir. Kabin içerisinde fana emiş yapan kısımdaki kanala emme hattı, fandan kabin içerisine havanın geri dönüşünü sağlayan kısımdaki kanala basma hattı denmektedir.



Şekil 4.28 : Basınç fark rüzgar tüneli şematik gösterimi.



Şekil 4.29 : Emme ve basma hattı hava kanallarına ait basınç kaybı eğrisi grafiği.

Hava kanalları, fan ve hava yönlendirme aparatı Şekil 4.30’da görüldüğü gibi bir düzenekte birleştirilerek kurutma sisteminin nihai hava debisi ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.30 : Hava kanalı basınç kaybı ölçüm düzeneği.

Debi ölçümü testlerinde fanın hız kontrolü için hazırlanan kontrol kiti de kullanılmıştır. Kontrol kiti üzerinden farklı hız kademeleri (duty) ayarlanarak sistemdeki hava debisi karşılığı saptanmıştır. Kontrol kiti üzerinde fan hızı % değeri ile ifade edilmektedir. Alınan ölçüm sonuçları Çizelge 4.7’de verilmektedir.

Çizelge 4.7 : Fan hızına bağlı sistem hava debisi ve SGD ölçümü sonuçları.

Fan Hızı [duty %]	Devir [dev/dk]	Debi [l/s]	Akım [A]	SGD [dB(A)]
30	2220	3,8	0,11	30
35	2595	4,6	0,15	33,5
40	3015	5,5	0,2	36
43	3255	6,1	0,25	37,8
45	3420	6,5	0,28	38,5
46	3525	6,7	0,3	38,8
47	3570	6,8	0,32	39,2
50	3825	7,5	0,39	40,8
52	3990	7,9	0,43	42
55	4185	8,5	0,51	43
60	4515	9,5	0,69	45
65	4860	10,6	0,91	47
70	5160	11,6	1,18	48,4
75	5445	12	1,5	50
80	5640	13,7	1,91	51,6
85	5865	14,5	2,25	52
90	6030	15,3	2,62	52,5

4.4.3 SGD ölçümü

Kurutma sisteminin bulaşık makinesine monte edilmesi sonrasında, sistemdeki fan ve kanallar içerisindeki hava akışının farklı hızlarda oluşturduğu gürültü seviyesini ölçümleri, Arçelik A.Ş. Titreşim ve Akustik Ailesi laboratuvarındaki yarı yankısız odada (SAR) gerçekleştirilmiştir. Ses odasında gerçek kullanım koşulları yaratmak amacıyla bulaşık makinesi üzerine standarta uygun Şekil 4.31'deki ahşap kabuk mobilya yerleştirilmiştir. Bulaşık Makinesi SGD deklarasyon ölçümleri, IEC 60704 standartına göre yapılmaktadır [43]. Bu testlerde deklarasyon ölçüm standartından farklı olarak sadece belirli fan hızlarında 5 dk'lık zaman ortalamasında ölçümler alınmıştır. Farklı fan hızlarında kurutma sisteminin yarattığı gürültü seviyesi ölçüm sonuçları Çizelge 4.7'de verilmektedir.

4.4.4 Su sızdırmazlık testleri

Çalışma kapsamındaki ana deneyleri gerçekleştirmeden önce bulaşık makinesine yeni kurutma kanallarının entegre edilmesi sebebiyle olası su kaçaklarının kontrolü için testler gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında hava kanalları görünecek şekilde makinenin yan kapağı açık tutularak su sızıntılarının olası olduğu bölgeler gözlenmiştir. Tam yüklü ve yüksüz olmak üzere iki farklı koşulda yapılan tam çevrim yıkama testleri sonucunda deney düzeneğinde herhangi bir su kaçağına rastlanmamıştır.



Şekil 4.31 : Bulaşık makinesi SGD ölçüm düzeneği.

4.5 Deney Yöntemi

Bölüm 4.2’de tariflenen deneylerin gerçekleştirilmesinde, Arçelik A.Ş. Temizlik ve Tekstil Teknolojileri Ailesi Performans Laboratuvarı’nda hazırlanan, Bölüm 4.4’te detayıyla açıklanan Şekil 4.2’deki deney düzeneği kullanılmaktadır.

Deney başlangıcı öncesinde deney düzeneği; kabin içerisindeki yükler, pleksi mobilya, ortam şartları ve VTS’de okunan değerler kontrol edilmektedir. Deney başlangıcında yükler standart belirlenen dizilimde eksiz şekilde yerleştirilmiş ve kuru olmalıdır. Deney makinesi etrafına yerleştirilen pleksi mobilya da temiz ve kuru olmalıdır. Her deney öncesinde VTS bilgisayarında ölçüm kontrol kaydı başlatılarak termokuplların doğru çalışıp çalışmadığı ve ortam şartlarının uygunluğu kontrol edilmektedir.

Standart deterjanın bulaşık makinesine konulması sonrasında VTS kaydı başlatılarak bulaşık makinesinde deney koşulunun yüklü olduğu program çalıştırılmaktadır. SCD adımına kadar deney düzeneğine herhangi bir müdahalede bulunulmamaktadır. SCD adımında ısıtıcı çalışırken çok kısa süre içerisinde kabin kapısı açılarak içeriye 4,5 ml parlaticı enjekte edilmektedir. SCD adımında sıcaklık istenilen değere yükseldiğinde sirkülasyon durmakta ve durulama suyu tahliye olmaktadır. Tahliye bittiği andan itibaren KRT adımı başlamakta ve KRT prosesindeki fonksiyonlar uygulanmaktadır.

Mevcut kurutma sistemi konfigürasyonunda KRT prosesindeki tüm fonksiyonlar otomatik olarak gerçekleşmektedir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan kurutma sisteminde fan dış bir kaynak aracılığıyla kontrol edilmektedir ve kapı açma uygulaması test yürütücüsü tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple KRT prosesi başlangıcından itibaren program sonuna dek test yürütücüsü deney düzeneği ve deney bilgisayarın başında prosesi takip etmektedir. KRT adımında soğuk yüzey oluşturmak amacıyla hazneye otomatik su alınan koşullarda deney yürütücüsü hazne sıcaklığı grafiğini izlemektedir. Hazne sıcaklığı eğrisi düşüşe geçtiği anda hazneye soğuk suyun girdiği anlaşılmaktadır ve bu anda test yürütücüsü fanı, deneyi yapılan koşula uygun şekilde çalıştırmaktadır. Hazneye su alma uygulaması olmayan koşullarda ise yürütücü, algoritma sürelerini baz alarak bekleme ve fan çalıştırma fonksiyonlarını gerçekleştirmektedir. Koşulun isterlerine bağlı olarak kurutma prosesinin devamında test yürütücüsü Şekil 4.32’de gösterildiği gibi 10 cm aralık konumuna getirerek kapıyı açmaktadır. Bu çalışma kapsamındaki kapının açıldığı koşulların tümünde hemen sonrasında fan durdurulmakta ve haznedeki suyun tahliye edilmesiyle birlikte program sonlandırılmaktadır. Program sonlandırıldıktan yaklaşık 1 dakika sonra deney bilgisayarındaki VTS kaydı durdurulmaktadır.



Şekil 4.32 : Bulaşık makinesi kapı açma uygulamasının gösterimi.

EN 50242 bulaşık makinesi performans ölçüm yöntemleri standartına göre kurutuma veya yıkama performansı ölçümünden önce 30 dk’lık bekleme süresi bulunmaktadır ve süreç boyunca test makinesine herhangi bir müdahalede bulunulmamalıdır [34]. 30 dk’lık bekleme süresinde yüklerin kuruması bir miktar daha devam etmektedir. Özellikle kapı açma uygulaması olan koşullarda bekleme süresi boyunca ortalama

buharlaşma hızı daha yüksektir. Kuruma devam etse de ölçüm öncesi bekleme süresi standart gereğince program süresine dahil edilmemektedir. Bu çalışmadaki tüm deneylerde KP lm öncesinde 30 dk beklenmiştir.

KP lm, değerlendirme yetkinliğine sahip operatör teknisyen tarafından yapılmaktadır. Yük inceleme ışığı çalıştırılarak bulaşık makinesi kapağı açılmaktadır. Sırayla alt sepet, üst sepet ve atal-kaşık sepeti olmak üzere sepetler içerisindeki tüm yükler Bölüm 1.2.6’da anlatılan standart yöntem doğrultusunda ışık altında incelenerek puanlandırılmaktadır. lm sonuçları sonuç değerlendirme formuna işlenerek genel performans sonucu elde edilmektedir. lm sonrasında ıslak kalan yükler kurulanmaktadır. Bulaşık makinesi kapısı bir sonraki deneye kadar yüklerin ve kabinin şartlanması için açık bırakılmaktadır. Bu çalışmadaki tüm deneyler için performans ölçümünden bir sonraki teste kadar için minimum 2 saat beklenmesine karar verilmiştir.

Aşağıda standartta uygun testler için gerekli genel şartlar anlatılmaktadır.

Bulaşık makinesi performans değerlendirme testleri için belirlenen standart koşullar vardır. Standarta göre performans testlerine başlamadan önce bulaşık makinesi ve içerisindeki yükler şartlandırılmalıdır. Program süresi boyunca VTS aracılığıyla program takibi yapılmalıdır. Test ortamının şartlandırılarak hava sıcaklığının $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve hava bağıl neminin $55 \pm 5\%$ değerlerinde tutulması gerekmektedir. şebeke suyunu temsilen bulaşık makinesine girecek suyun sıcaklığının $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$ değerinde tutulması ve su hattının 240 ± 50 kPa değerine basınçlandırılmış olması gerekmektedir. Ayrıca, EN 60734 “Elektrikli ev aletleri -Performans- Testler için su sertliği” (Household electrical appliances –Performance – Hard water for testing) standardına göre su sertliğinin $2,5 \pm 0,5$ mmol/l değerinde olması gerekmektedir. Test başlangıcında 16 kişilik yük kapasitesi için maksimum 24 gr standart ‘deterjan D’ kullanılmalıdır. SCD adımında standart ‘formül 3’ parlatıcı durulama suyu içerisine enjekte edilmelidir. KP testleri temiz yüklerle yapılabilse de yıkama performansı testleri için standarttaki kirli yk hazırlama prosedürleri uygulanmalıdır. Bulaşık makinesinin çalıştırıldığı elektrik hattının frekansı $50 \text{ Hz} \pm 1\%$ ve gerilimi $230 \text{ V} \pm 1\%$ değerlerinde olmalıdır. Bulaşık makinesi performans testleri detayları EN 50242 standartında yer almaktadır [34].

4.6 Kontrol Deneyleri:

Bulaşık makinelerinde kurutma sıcaklıklarının ve KRT prosesinin yıkama performansı üzerine genelde bir etkisinin bulunmadığı bilinmektedir. Ancak, SCD sıcaklığındaki veya KRT prosesindeki herhangi bir değişiklik yüklerin kuruma sonrasındaki yüzey parlaklıklarını etkilemektedir. KRT adımının, yüklerin parlaklığına etkisinin incelenmesi yöntemine durulama ya da leke (spot) performansı ölçümü denmektedir. Leke performansı (LP) ölçümleri, Avrupa standardında yer almasa da Arçelik A.Ş. bünyesinde bulaşık makinesi çalışmaları kapsamında belirli standartlara oturtulmuştur. Leke performansı testleri, saydam su ve çay bardaklarının üst sepete Şekil 4.33'te verilen dizilimde yüklenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.34'te verilen değerlendirme skalasına göre, standartlara uygun yük değerlendirme ışığı altında tüm yükler 0-5 arasında değerlerle puanlandırılmaktadır. 24 yükten oluşan test sonucunda toplamda maksimum 120 puan verilecek şekilde değerlendirme yapılmaktadır.



Şekil 4.33 : Leke performansı testi yük dizilimi.



Şekil 4.34 : Leke performansı puanlama kataloğu.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen hızlı kurutma yönteminin, LP'na etkisinin ölçülebilmesi için kontrol deneyleri planlanmıştır. Prototip hazırlanmadan önceki referans ürün ve referans hızlı program ile deney düzeneğinde referans KP deneyine

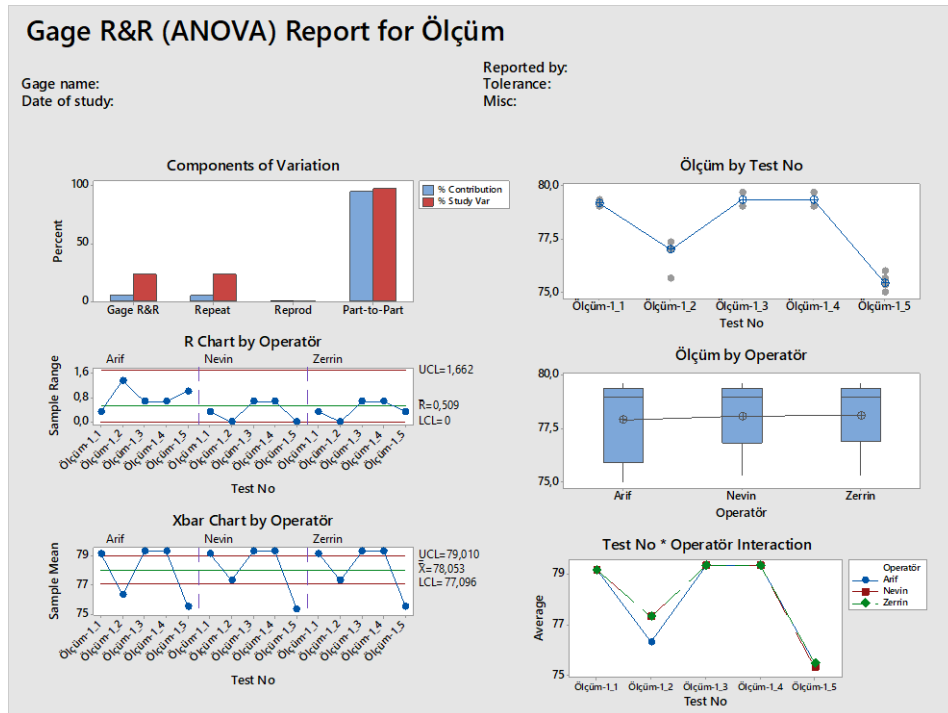
ek olarak LP testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda yeni kurutma sistemi için önerilen koşulun da LP test edilmiştir.

4.7 Ölçüm Belirsizliği

Ölçüm belirsizliği, bir deneysel çalışmanın olası hatasını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında ölçüm belirsizliği oluşturacak unsurlar ölçüm sistemi ve bulaşık makinesi performans ölçüm yetkinliğine sahip operatör teknisyendir.

Ölçüm sistemine içerisindeki elemanlara ait olası hata oranları Bölüm 4.4'te aktarılmaktadır. Deney düzeneğine ait ölçüm sistemi, Arçelik A.Ş. laboratuvar alt yapısı kullanılarak oluşturulduğu için düzenli olarak kalibrasyonu gerçekleştirilen cihazlardan oluşmaktadır. Bu sebeple deney ölçüm sisteminin hata oranı kabul edilebilir seviyededir.

Operatör teknisyen için ölçüm yeterliliği testleri, yetkinliğe sahip 3 farklı operatörün karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir ve test sonuçları Şekil 4.35'te verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde teknisyenler arasında ayrışabilir bir fark görülmemektedir. Gruplar arasında istatistiksel olarak fark olmaması sebebiyle ANOVA analizinde H0 hipotezi kabul edilmektedir. Sonuç, operatör teknisyen Arif'in bulaşık makinesi performans ölçüm yetkinliğine sahip olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

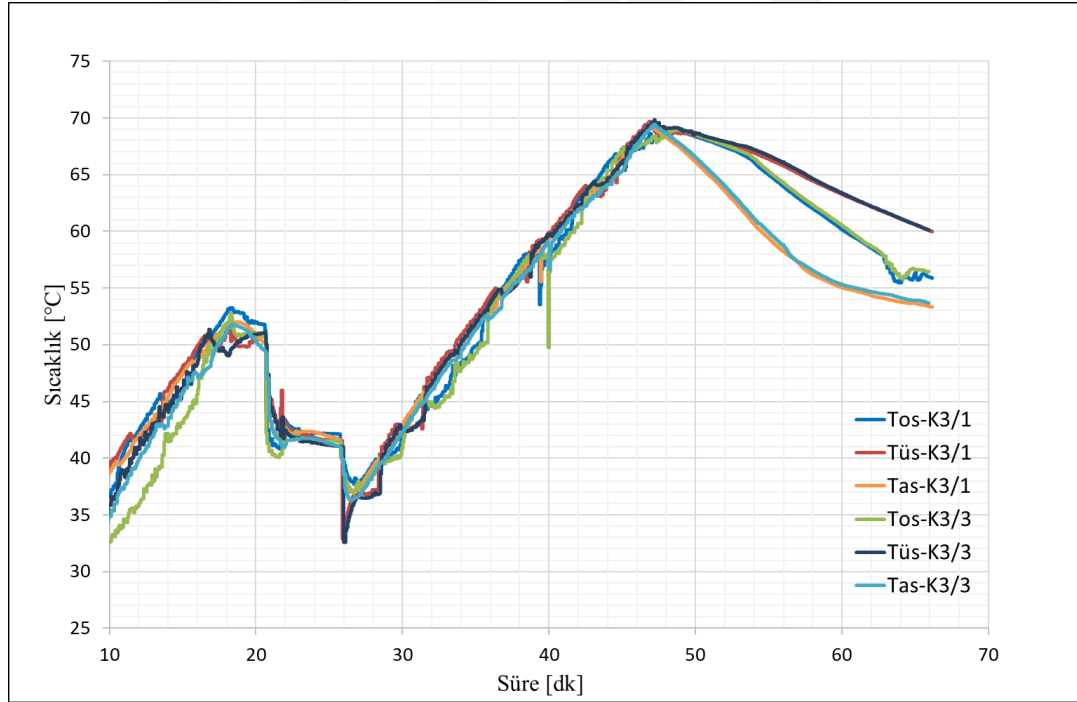


Şekil 4.35 : Operatör teknisyen için ölçüm yeterliliği testleri sonuçları.

5. SONUÇLAR

Bölüm 4.3'te anlatılan deney düzeneğinde en az 3 tekrarlı olacak şekilde Bölüm 4.2'de tariflenen koşullarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuç saçınıklığı görece olarak yüksek olan koşullarda test tekrarı sayısı arttırılmıştır. Başlangıç testleri bulaşık makinesinin orijinal hali ile yapılan referans testlerdir.

Şekil 5.1'de aynı koşulda 2 farklı test için alt, orta ve üst sepet sıcaklıkları grafiği verilmektedir. Deneylerin tekrar edilebilir ve alınan ölçümlerin aynı rejimlere sahip olduğu, grafik incelendiğinde görülmektedir. Tas, Tos ve Tüs ise sırasıyla alt, orta ve üst sepet seviyelerinde alınan sıcaklık ölçümleridir. Koşul ve o koşulda gerçekleştirilen testin tekrar sayısı, K6/1 (altıncı koşula ait 1. tekrar testi) şeklinde belirtilmektedir.

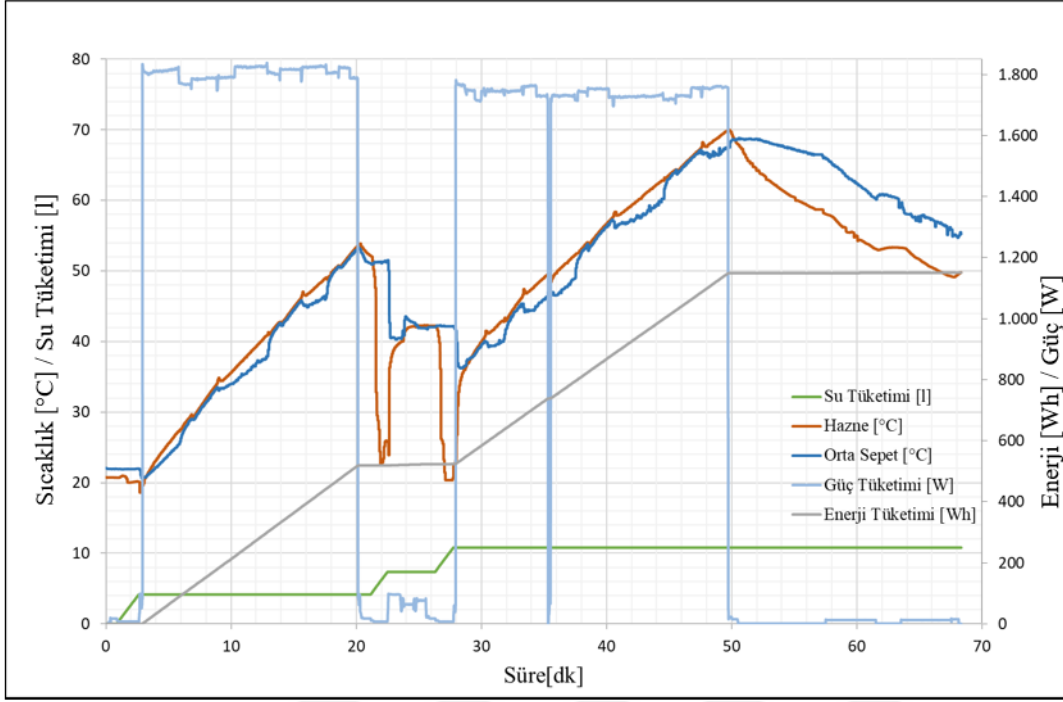


Şekil 5.1 : K3/1,3 testlerine ait sıcaklık grafiği.

Referans koşul (Koşul0) program akışına ait hazne sıcaklığı, orta sepet sıcaklığı, enerji, güç ve su tüketimi eğrilerinin bulunduğu grafik Şekil 5.2'de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamındaki tasarlanan tüm koşullarda, program başlangıcından SCD adımında ısıtıcının devreye girmesine kadar olan süreçte algoritma akışı aynıdır. Bu

sebeple tüm testlerde SCD adımına kadar olan sıcaklık ve enerji tüketimi eğrileri neredeyse aynı ve Şekil 5.2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.2 : Referans koşulda program akışı grafiği.

Referans koşul parametreleri ve ölçüm sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Debi, hava sirkülasyonu miktarını ifade etmektedir ve referans sistemde açık çevrim hava sirkülasyonu gerçekleşmektedir. t_{fan} , t_{krt} ve t_{tot} sırasıyla fan çalışma, KRT adımı ve toplam program süresi anlamına gelmektedir. Su_{krt} , KRT adımı hazneye alınan su miktarını belirtmektedir. T_{os} , T_{tab} ve T_{kab} , kapı açıldığı andaki sırasıyla orta sepet sıcaklığı, tabak sıcaklığı ve kabin üzeri sıcaklığını ifade etmektedir. Referans koşulda KRT adımı kapı açılmamaktadır. Enerji tüketimi E harfi ile gösterilirken kurutma performansı ölçümü sonuçları KP kısaltması ile ifade edilmektedir. Pleksi mobilya yüzeylerinde yoğuşma gerçekleştiğinde ölçülen su miktarı, Nem sütununa yazılmaktadır. Bu bölümdeki sonuç tablolarında, koşullara ait yapılmış olan tekrarlı testlerin ortalama değerleri verilmektedir. Çalışma kapsamında yapılmış olan tüm testlere ait sonuçlar ise Ek B’de tablo halinde verilmektedir.

Referans koşulda KRT süresi 18 dk ve toplam program süresi 67 dk’dır. KRT adımı başında 7dk’lık bir bekleme süresinin ardından 4 dk fan çalışmaktadır. Ardından, 2 dk daha durgun şekilde beklenmekte ve sonrasında tekrar fan 4 dk çalışmaktadır. Çizelge 5.1’deki ‘8/18’ ifadesi 18 dk’lık KRT süresi içinde toplam fan çalışma süresini belirtmektedir. Referans koşulda ortalama KP sonucu %77’dir ve toplam enerji

tüketimi 1150 Wh'tir. 1 l/s hava debisiyle açık çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştiren kurutma sisteminin varlığında referans program için yapılan ölçümler sırasında makine dışındaki pleksi mobilyada herhangi bir yoğunlaşan nem kalıntısına rastlanmamıştır.

Çizelge 5.1 : Birinci deney setindeki koşullarda yapılan testlerin sonuçları.

Koşul	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	T_{os} [°C]	T_{tab} [°C]	t_{krt} [dk]	E_{scd} [Wh]	t_{tot} [dk]	E_{tot} [Wh]	KP [%]	Nem [g]
0	1	8/18	-	-	-	18,00	625	66,69	1150	77,0	-
1	8	8/18	-	-	-	18,00	648	66,30	1157	81,8	0,870
2	8	18	-	-	-	18,00	637	66,14	1149	81,6	1,620
3	0	0	4	-	-	18,00	629	65,79	1134	79,1	0,307
4	8	18	4	-	-	18,00	637	65,89	1149	85,6	1,717
5	8	18	4	-	-	18,00	643	66,31	1154	86,1	-
6	8	14,7	4	42,7	57,9	16,93	635	64,98	1145	91,2	-

Bölüm 4.2’de tariflenen birinci deney seti ve ikinci deney setine ait sonuçlar aşağıda ayrı alt başlıklar altında incelenmektedir. Referans koşul haricindeki tüm koşullarda, Bölüm 3’te detayı aktarılan kurutma sistemine sahip bulaşık makinesi prototipi kullanılmıştır.

5.1 Birinci Deney Seti

Birinci deney seti bu çalışmada önerilen hızlı kurutma yönteminin faydasını kanıtlamak için tasarlanan koşulları içermektedir. Birinci deney setindeki koşullarda yapılan testlerin sonuçları Çizelge 5.1’de verilmektedir. Bu deney setindeki tüm koşullarda SCD sıcaklığı (T_{scd}) sabit ve 70°C’dir. Referans program kurutma algoritmasının, kapalı çevrim kurutma sisteminde 8 l/s hava debisi sirkülasyonu ile gerçekleştirildiği Koşul1’de KP yaklaşık %5 artmıştır. Kurutma sistemi, kapalı çevrim olsa da hava sirkülasyonu miktarının 8 katına çıkması sebebiyle bulaşık makinesi kapısından dış ortama gerçekleşen hava kaçakları sebebiyle pleksi mobilya üzerinde meydana gelen bir miktar yoğunlaşmaya rastlanmıştır. Koşul2 de Koşul1’den farklı olarak KRT adımı boyunca (18dk) fan çalışmaktadır. Hava sirkülasyonunun sağlandığı süre artsa da KP’nda herhangi bir değişim görülmemiştir. Fakat fan çalışma süresinin artması sebebiyle pozitif basınç etkisinde dış ortama kaçan sıcak ve nemli havanın yüzeylerde meydana getirdiği yoğunlaşma miktarının arttığı görülmüştür. Koşul2’de Şekil 5.3’te gösterildiği gibi pleksi mobilya üzerinde yoğunlaşan su kütlesi, 1,62 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.3 : Pleksi mobilya üzerinde yoğunlaşan suyun görüntüsü.

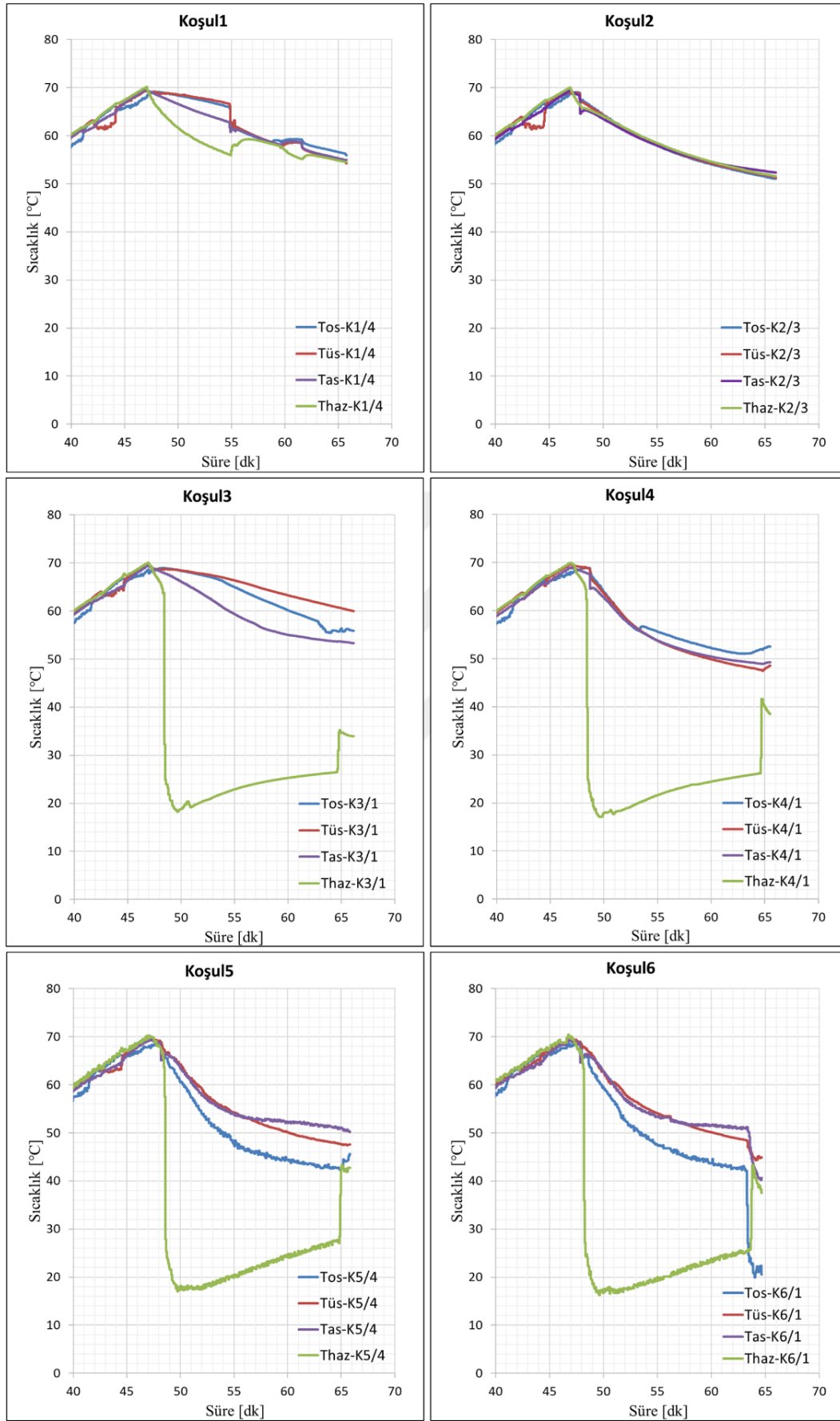
Koşul3'te KRT adımı hazneye 4 l su alınarak 18 dk durgun bir şekilde beklendikten sonra su tahliye edilmekte ve program bitmektedir. KRT adımı soğuk suyun haznede durgun şartlarda bekletilmesi sonucu ölçülen KP, açık çevrim hava sirkülasyonuna sahip referans koşula kıyasla yaklaşık %2 daha fazladır. Kabin zemininde oluşturulan soğuk su yüzeyinin varlığında KRT adımı kapalı çevrim hava sirkülasyonunun gerçekleştirildiği Koşul4 ve Koşul5'te kurutma performansı yaklaşık olarak %86 ölçülmüştür. Koşul5'te hava yönlendirme aparatının varlığında KP sonucu Koşul4'e oranla kayda değer miktarda değişmese de mobilya yüzeyinde yoğunlaşmanın önleniği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, sirkülasyon esnasında hava yönlendirme aparatı aracılığıyla sıcak ve nemli havanın direkt olarak soğuk su yüzeyine çarptırılmasıdır.

Bu çalışma kapsamında önerilen hızlı kurutma yönteminin tam anlamıyla gerçekleştirildiği Koşul6'da KRT adımı başında haznede soğuk su yüzeyi oluşturularak, kabin iç havası sıcaklığı 42°C'ye ulaşınca dek hava yönlendirme aparatının varlığında kapalı çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştirilmektedir. Kabin iç havası, yaklaşık 15 dk'lık sirkülasyon sonrasında istenilen şarta ulaştığında ise bulaşık makinesi kapısı açılmıştır. Ardından sirkülasyon durdurulmuş ve su tahliye edilerek program sonlandırılmıştır. Koşul6 testlerinin ölçümü sonucunda ortalama %91 KP

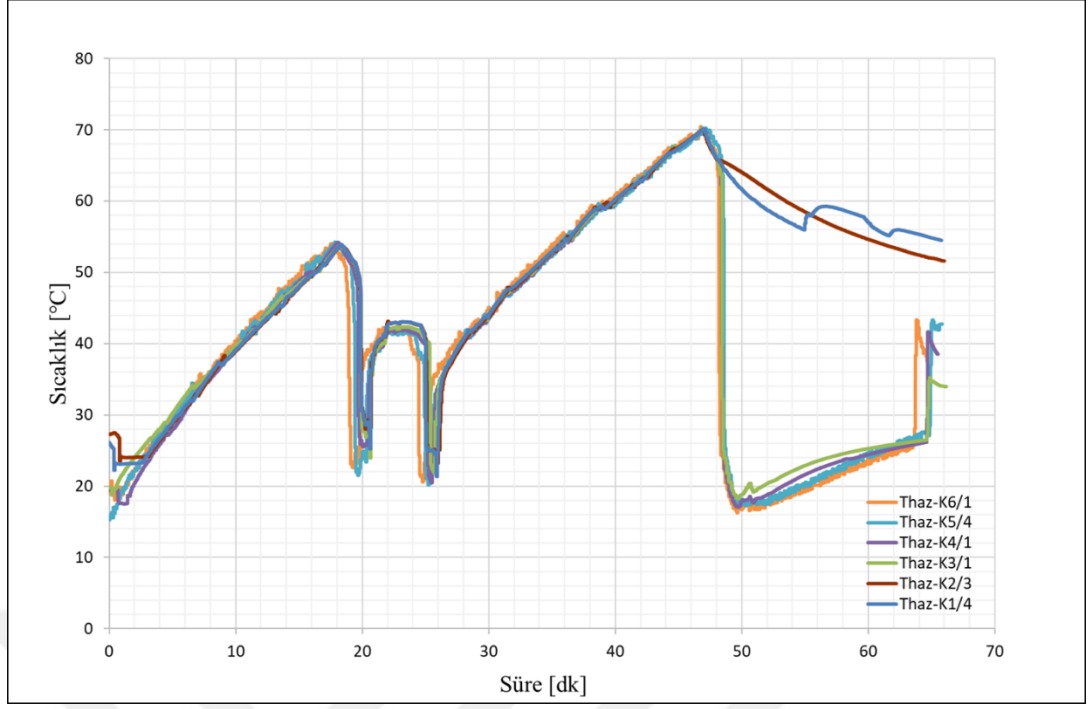
ölçülmüştür ve mobilya yüzeylerinde herhangi bir yoğuşma bölgesine rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan hızlı kurutma sistemiyle KRT adımı haricinde referans koşullara sahip program, test edildiğinde KP'nda %14 gibi ciddi bir miktarda artış sağlandığı sonuçlardan görülmektedir. Birinci deney seti sonuçları, bu çalışmada önerilen hızlı kurutma sisteminin yüksek seviyedeki faydasını kanıtlamaktadır.

Şekil 5.4'te bu deney setindeki altı koşula ait KRT adımı kabini içerisindeki sıcaklık dağılımını veren grafikler karşılaştırma amacıyla bir araya derlenmiştir. Koşul2'de KRT adımı boyunca kapalı çevrim hava sirkülasyonu gerçekleşmesi sebebiyle kabin içerisinde termal katmanlaşma oluşmamaktadır. Koşul1'de ise fanın çalışmadığı anlarda kabin içerisinde termal katmanlaşma oranının zamanla arttığı gözlemlenmektedir. Koşul3-6'da hazne sıcaklığının ani olarak düşmesi KRT adımı hazneye soğuk şebeke suyu alınmasından kaynaklanmaktadır. Koşul3'te hazneye su alınmasıyla durgun şartlarda beklenmektedir. Alt sepet seviyesindeki sıcaklık soğuk yüzey sebebiyle görece olarak zamanla daha hızlı düşse de kabin içerisinde kayda değer sıcaklık farkına sahip termal katmanlar oluştuğu görülmektedir. Kabin iç havasının istenilen değerlere şartlandırılması için hava sirkülasyonunun gerekliliği aşıkardır. Koşul4-5 grafiklerinden hava yönlendirme aparatının varlığında kabin içerisindeki hava sıcaklığının düşüş hızının değişimi açıkça görülmektedir. Koşul6'da KRT adımı sonunda sepet sıcaklıklarının ani olarak düşmesinin sebebi kapı açma uygulamasıdır. Bu koşulda, su alma uygulaması ve kapalı çevrimde direkt olarak soğuk yüzeye yönlendirilmiş hava sirkülasyonunun sağlanmasıyla kabin iç havasının kısa sürede kapı açmak için istenilen şartlara indirildiği açıkça görülmektedir. Kapı açma uygulaması için belirlenen uygun sıcaklık değeri 42°C ve esas alınan ölçüm orta sepet sıcaklığıdır. Koşul6 grafiğindeki sıcaklık eğrilerinin kapı açma anında hızlıca düşüşe geçmesinden çıkarılabilecek bir sonuç da kapı açıldığında taze havanın yüksek debilerde kabin içerisine nüfuz ettiğidir.

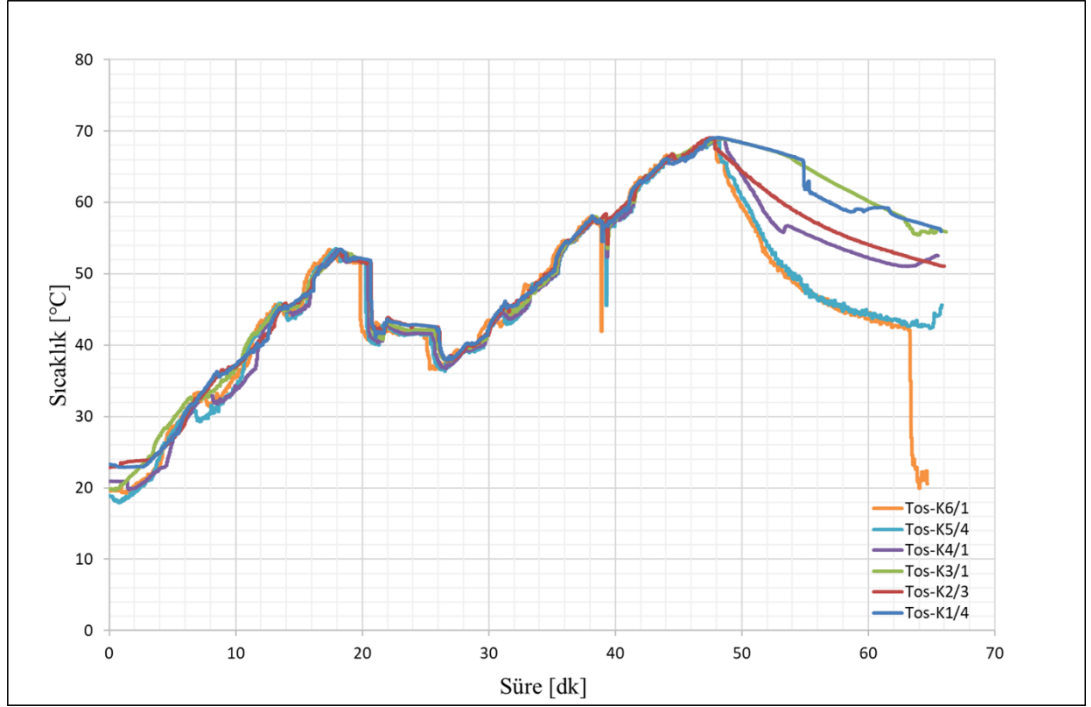
Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de 6 koşulda ölçülen sırasıyla hazne, orta sepet ve tabak sıcaklığına ait eğriler karşılaştırmalı grafiklerde verilmiştir. Şekil 5.6'daki koşullara ait orta sepet sıcaklık eğrileri incelendiğinde Koşul5 ve Koşul6 için KRT adımı sıcaklığın görece olarak çok daha hızlı düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.4 : Birinci deney seti koşullarındaki testlere ait sıcaklık dağılımı grafikleri.



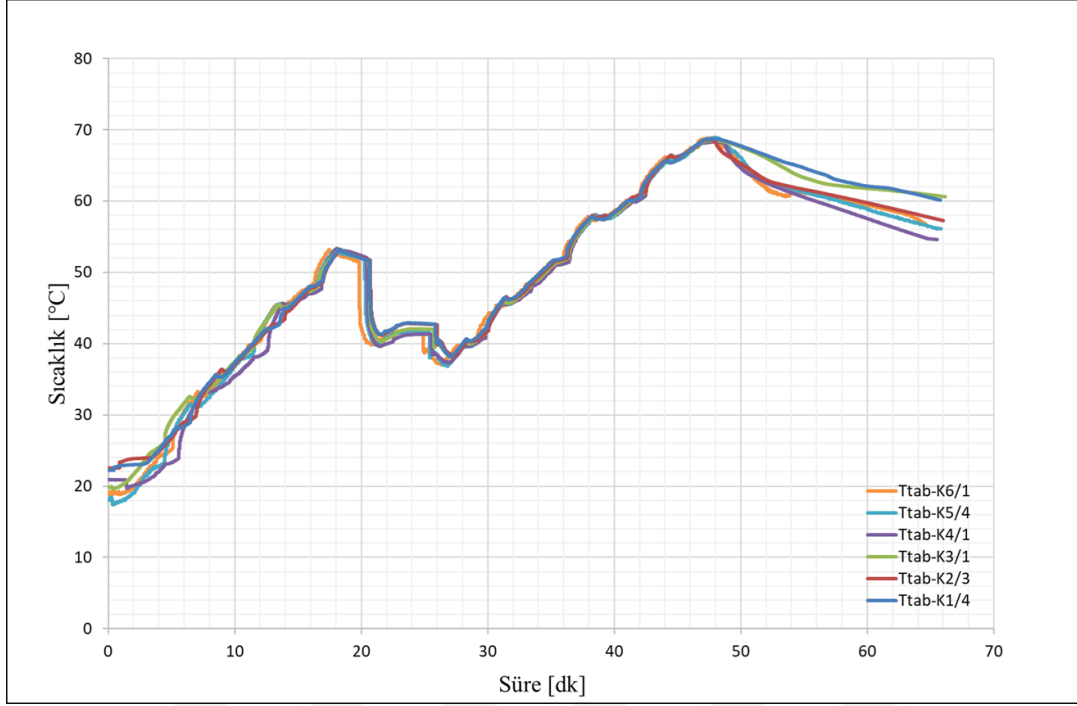
Şekil 5.5 : Birinci deney seti koşullarındaki testlere ait hazne sıcaklığı grafiği.



Şekil 5.6 : Birinci deney seti koşullarındaki testlere ait orta sepet sıcaklığı grafiği.

Şekil 5.7 incelendiğinde ise, tabak sıcaklığının hava sirkülasyonunun etkisiyle daha hızlı düştüğü anlaşılmaktadır.

Bu deney seti testleri sonucunda yeni kurutma sistemine ait fonksiyonların KP üzerine olan etkileri adım adım ortaya konmuştur. Referans koşulun toplam süresi ve kurutma



Şekil 5.7 : Birinci deney seti koşullarındaki testlere ait tabak sıcaklığı grafiği.

sıcaklığına bağlı olarak enerji tüketimi korunduğunda yeni kurutma sistemi ile erişilebilecek maksimum KP değeri çıktısı elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında önerilen kurutma yönteminin asıl amacı kısa süre zarfında yüksek KP elde etmek ve bu faydayı sağlarken bulaşık makinesi dışındaki mobilya yüzeylerinde yoğunlaşma oluşumunu önlemektir. Bu amaç doğrultusunda kurutma yöntemine etki eden parametreleri incelemek gerekmektedir. İkinci deney setindeki koşullarda parametrelerin performansa etkisinin ortaya konulması için gerçekleştirilen testler Bölüm 5.2’de aktarılmaktadır.

5.2 İkinci Deney Seti

Birinci deney setinde, önerilen hızlı kurutma sistemine ait bileşen ve fonksiyonlar adım adım test koşullarına eklenerek yöntemin faydası kanıtlanmaktadır. İkinci deney setindeki test koşullarında ise Bölüm3’te tariflenen kurutma sistemi değişmemekte yalnızca kurutma yönteminin fonksiyonlarına ait parametreler değişmektedir. SCD sıcaklığı, sirkülasyon havası debisi, kapı açma uygulaması öncesi fan çalışma süresi, KRT başında hazneye soğuk yüzey oluşturmak amacıyla alınan su miktarı ve kapı açma anında kabin içi hava sıcaklığı yönteme ait girdi parametreleridir. Kapı açma sıcaklığı ile fan çalışma süresi birbirine bağımlı parametrelerdir. Kapı açma sıcaklığı sabit seçildiğinde, kabin iç havası belirlenen sıcaklığa ulaşıncaya kadar fan çalışmaya

devam etmektedir. Fan çalışma süresi sabit seçildiğinde ise kapının açıldığı andaki sıcaklık süreyle ters orantılı bir şekilde değişmektedir. Deney setindeki tüm koşullarda KRT adımı hazneye soğuk su girişi başladığı andan kapı açma fonksiyonunun devreye girdiği ana kadar fan çalışmaktadır.

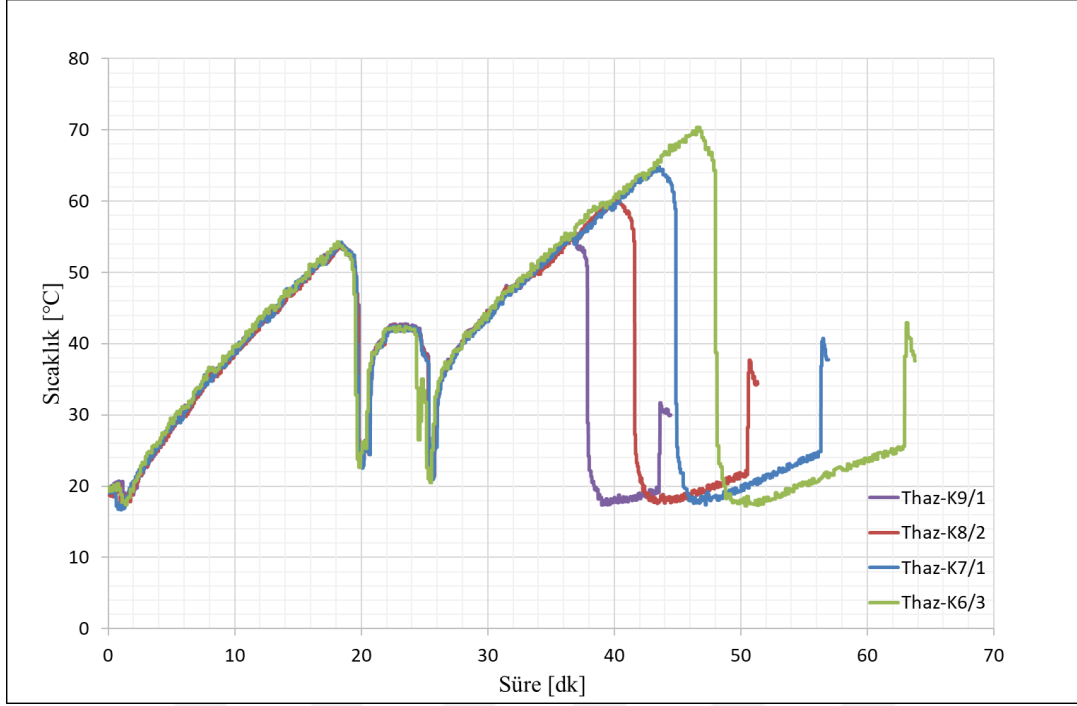
Koşul6-9, SCD sıcaklığı etkisinin incelendiği testlerdir. Bu testlerin gerçekleştirilmesi sonrasında diğer parametrelerin etkisinin incelendiği testlerin, SCD sıcaklığı 60°C olduğu durumdaki koşullarda gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Su miktarı etkisi, Koşul8,10,11’de incelenmektedir. Koşul 8,12-15, hava debisi miktarı etkisinin incelendiği testlerdir. Ek olarak, Koşul11,19 ile minimum hazne suyu miktarında da (3 l) hava debisi etkisi karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, önceden belirlenen kapı açmak için gerekli kabin havası sıcaklığı kuralı dışında da kapı açma fonksiyonunun performansa etkisi farklı kurallarla incelenmiştir.

Tüm bu parametrelerin incelendiği koşullar ve sonuçları aşağıda alt başlıklar halinde anlatılmaktadır. Çizelge 5.2’de ikinci deney setine ait koşullar ve yapılan testlerden elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

5.2.1 Kurutma sıcaklığının etkisi

SCD sıcaklığı bulaşık makinelerinde KRT adımı öncesinde sıcak su sirkülasyonu sonucu ulaşılan en yüksek sıcaklıktır. KRT adımı başında hemen hemen kabin içerisindeki tüm yüzeyler ve hava sıcaklığı SCD sıcaklığına eşit haldedir ve bu sıcaklığa kurutma sıcaklığı da denmektedir. Mesleki tecrübelerden ve literatür araştırmasından edinilen kazanımla kurutmada sıcaklık parametresinin önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir.

Bu çalışma kapsamında 70, 65, 60 ve 55°C olmak üzere farklı kurutma sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da 4 farklı koşulda yapılan testlere ait sırasıyla hazne sıcaklığı, orta sepet sıcaklığı ve tabak sıcaklığı ölçümü karşılaştırma grafiği verilmektedir. Şekil 5.8’deki hazne sıcaklığı eğrileri incelendiğinde koşullara ait SCD sıcaklığı, hazneye kurutmada suyun giriş anı farkları görülmektedir. Durulama sıcaklıklarındaki 5°C’lik azalma sonucu ısıtıcı çalışma süresi, ortalama 3,5 dk azalmaktadır ve önerilen kurutma yöntemine göre toplam süreye de etki etmektedir. KRT adımı başında hazne sıcaklığı eğrisinin ani olarak düşüşe geçme sebebi hazneye



Şekil 5.8 : K6/3, K7/1, K8/2 ve K9/1 testlerine ait hazne sıcaklığı grafiği.

soğuk su girişiyken KRT adımı sonunda orta sepet sıcaklığı eğrisindeki ani düşüşün sebebi kapı açma uygulamasıdır. Şekil 5.9 incelendiğinde, karşılaştırılan koşullarda kapı açma anındaki orta sepet sıcaklıklarının aynı ve 42°C olduğu görülmektedir. SCD sıcaklığının düşürülmesi sonucunda belirli kapı açma sıcaklığına ulaşmak için gerekli fan çalışma süresi de azalmaktadır. Diğer bir ifadeyle sıcaklık düştükçe KRT başladıktan sonra daha kısa süre zarfında kabin iç şartları istenilen seviyeye getirilebilmektedir. Bu yöntemle göre kapalı çevrim hava sirkülasyonunun asıl nedeni kapı açma uygulaması için gerekli iç şartların sağlanması olsa da sirkülasyon süresinin de KP'na bir miktar etkiyeceği bilinmektedir.

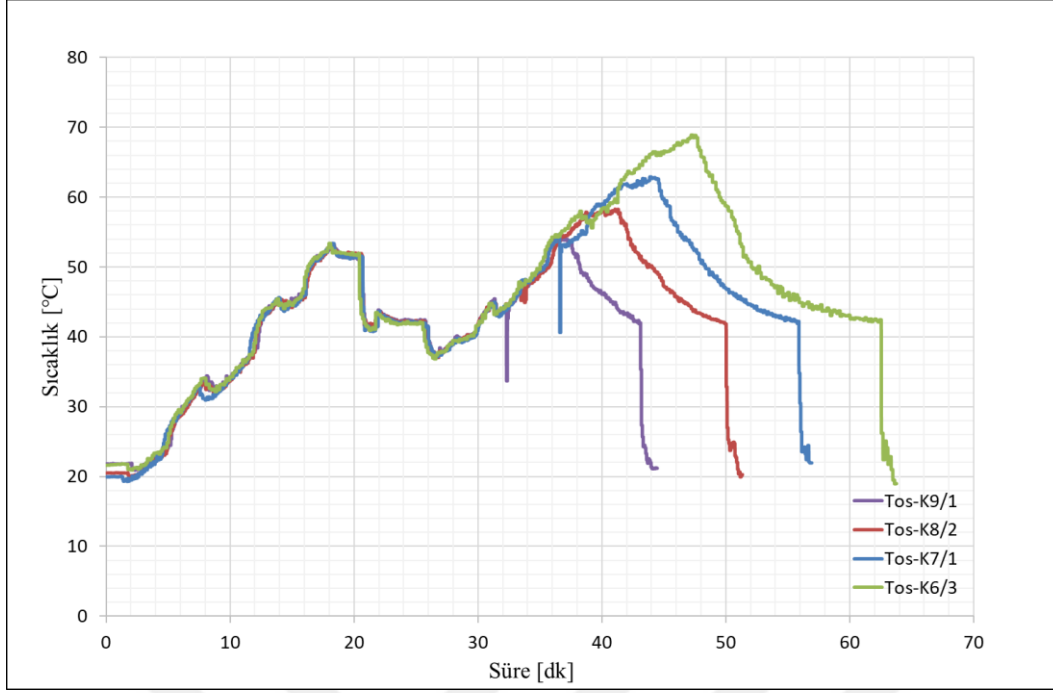
SCD sıcaklığının değişimine bağlı olarak, Şekil 5.10'da tabak sıcaklığı eğrilerinin KRT adımındaki farklılaşmaları görülmektedir.

5.2.2 Kurutmada hazneye alınan su miktarının etkisi

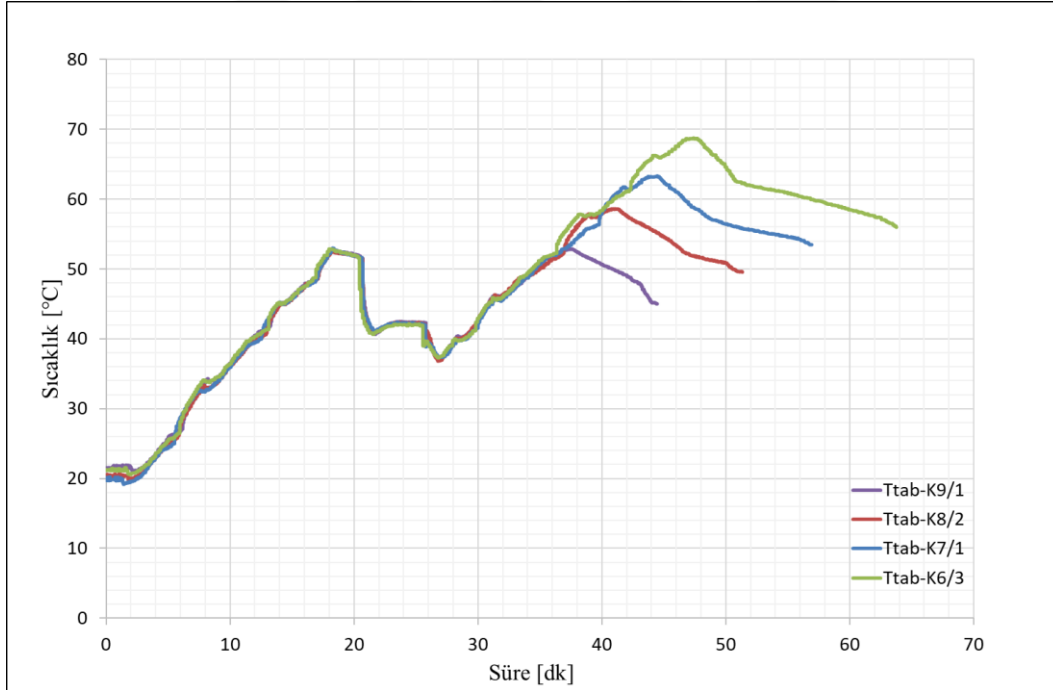
Önerilen yöntemle göre KRT adımı kabin içerisinde soğuk yüzey oluşturmak için hazneye bir miktar soğuk su alınmaktadır. Bölüm 4.4.1'de belirtilen nedenlerden çerçevesinde hazneye alınacak suyun miktarı belirlenmiştir. Kabin zemininde oluşturduğu soğuk yüzey alanı ve su kütlesi değerlendirilerek bu çalışmada 4, 3,5 ve 3 l su hacimleri KRT adımı hazneye alınarak etkileri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.2 : İkinci deney setindeki koşullarda yapılan testlerin sonuçları.

Koşul	T_{scd} [°C]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	T_{os} [°C]	T_{tab} [°C]	T_{kab} [°C]	t_{scd} [dk]	t_{krt} [dk]	E_{scd} [Wh]	E_{fan} [Wh]	t_{tot} [dk]	E_{tot} [Wh]	KP [%]
0	70	1	8/18	-	-	-	-	22,00	18,00	625	2	66,69	1150	77,0
6	70,4	8	14,71	4	42,6	57,8	42,3	21,36	16,93	635	6	65,00	1145	91,2
7	65,0	8	13,30	4	42,2	53,6	40,3	17,28	15,18	513	7	59,15	1024	86,2
8	60,4	8	11,19	4	42,1	50,6	39,3	14,01	12,59	417	5	54,09	929	83,5
9	55,3	8	5,54	4	42,2	48,2	42,0	10,56	7,53	315	3	44,78	823	74,3
10	60,3	8	11,23	3,5	42,3	50,3	40,8	14,38	13,30	428	5	54,37	938	85,6
11	60,3	8	14,65	3	42,2	49,7	40,3	13,87	16,81	410	5	57,37	920	83,5
12	60,5	10	7,23	4	42,0	51,4	40,7	14,12	9,21	420	4	50,02	929	82,6
13	59,8	7	13,33	4	42,0	50,1	37,5	14,31	15,55	420	4	56,55	929	81,5
14	60,4	6	13,98	4	42,1	49,9	38,3	14,15	15,76	419	4	56,60	928	77,1
15	60,4	15	8,56	4	42,0	49,8	36,7	14,13	10,51	416	8	51,33	933	81,6
16	60,5	8	1,29	3,5	53,8	57,4	49,4	13,88	3,57	404	1	44,13	918	80,4
17	44,2	0	0,00	0	41,5	42,0	37,1	4,64	0,00	130	0	31,33	635	38,3
18	60,3	10	12,79	3	42,0	49,9	39,1	13,54	14,73	407	7	55,00	919	84,4
19	60,6	15	12,61	3	42,4	48,7	35,5	14,11	14,79	422	16	55,59	942	84,3
20	60,4	8	10,00	4	42,0	50,9	37,2	14,57	13,81	418	5	55,07	928	84,4
21	60,4	15	10,00	4	40,5	50,0	34,7	13,96	12,03	422	13	52,67	939	85,4
22	60,2	8	5,00	4	45,8	53,3	41,3	13,96	7,45	416	3	48,10	924	82,2
23	60,2	15	5,00	4	42,9	52,4	38,4	13,99	7,70	416	7	48,38	928	83,7
24	58,0	8	5,00	4	43,7	51,1	39,7	12,58	7,65	371	3	47,00	879	83,7



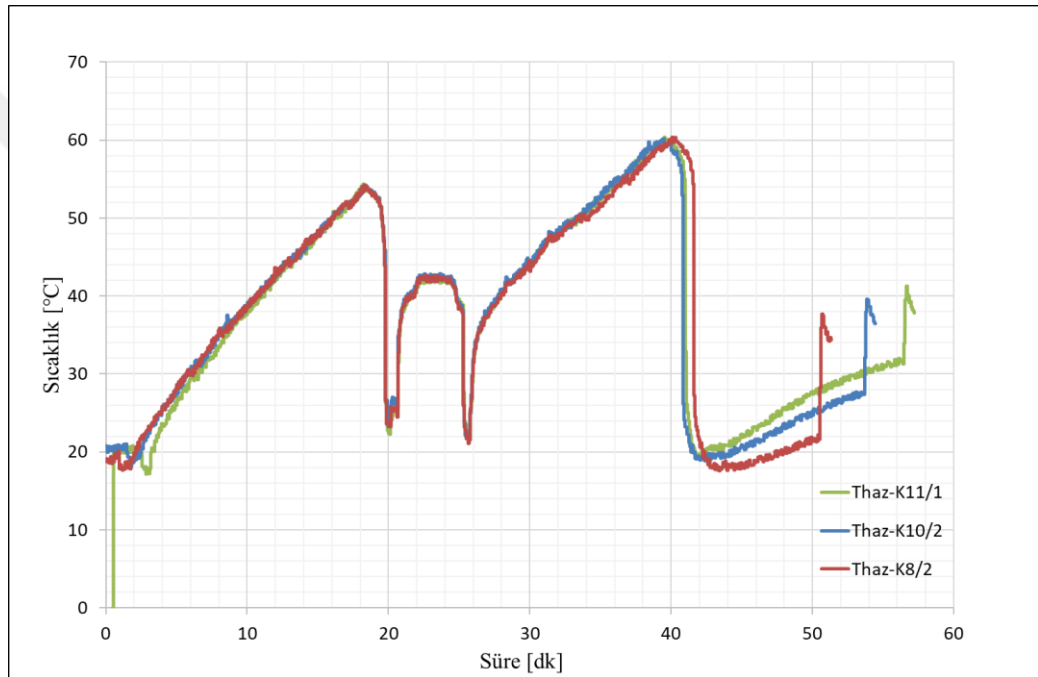
Şekil 5.9 : K6/3, K7/1, K8/2 ve K9/1 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.



Şekil 5.10 : K6/3, K7/1, K8/2 ve K9/1 testlerine ait tabak sıcaklığı grafiği.

Hazneye alınan su miktarına bağlı olarak ısı sığası ve ısı geçişi miktarı değişmektedir. Şekil 5.11’de hazneye alınan su hacmi azaldığında suyun daha hızlı ısındığı görülmektedir. Isınmanın sebebi suyun temas ettiği katı yüzeylerden ısı geçişi gerçekleşmesidir. Kütlesine bağlı olarak ısı sığası daha düşük su hacmi ısı geçişine maruz kaldığında sıcaklığı daha hızlı yükselmektedir.

Su hacmi sıcaklığına bağlı olarak kabin zeminindeki hava temas yüzeyi sıcaklığı da artmaktadır. Hazneye alınan su hacmi görece olarak daha az olduğunda hava-soğuk su arayüzeydeki ısı geçiş alanı daha az olmaktadır ve bu arayüzeydeki sıcaklık farklı zamana bağlı olarak daha hızlı azalmaktadır. Yüzey alanın ve sıcaklık farkının azalması sebebiyle havadan soğuk yüzeye olan ısı geçişi miktarı azalmaktadır ve kabin iç havasının istenilen şartlara ulaşması görece olarak daha fazla vakit almaktadır. Su miktarının, yukarıda anlatılan nedenlere bağlı olarak kabin iç havası sıcaklığına ve toplam program süresine etkisi Şekil 5.12'deki koşulların karşılaştırıldığı orta sepet sıcaklığı grafiği incelendiğinde net olarak anlaşılmaktadır.



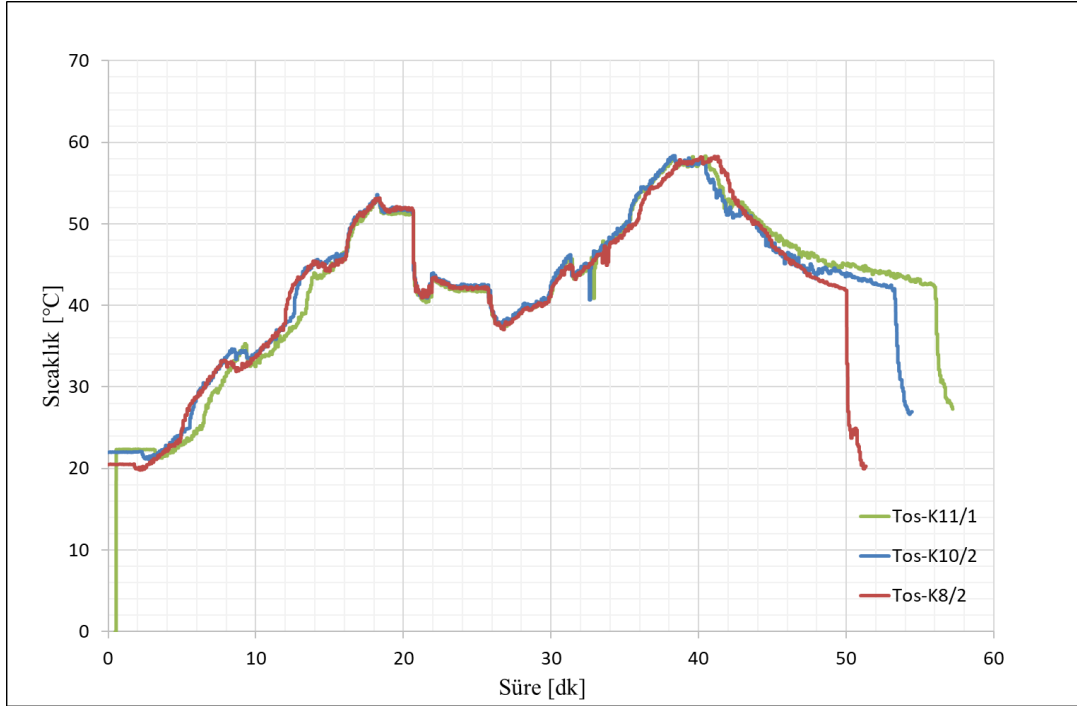
Şekil 5.11 : K8/2, K10/2 ve K11/1 testlerine ait hazne sıcaklığı grafiği.

Su miktarı değişiminin KP üzerine kayda değer derecede etkisi bulunmasa da toplam süreye olan etkisi önem taşımaktadır.

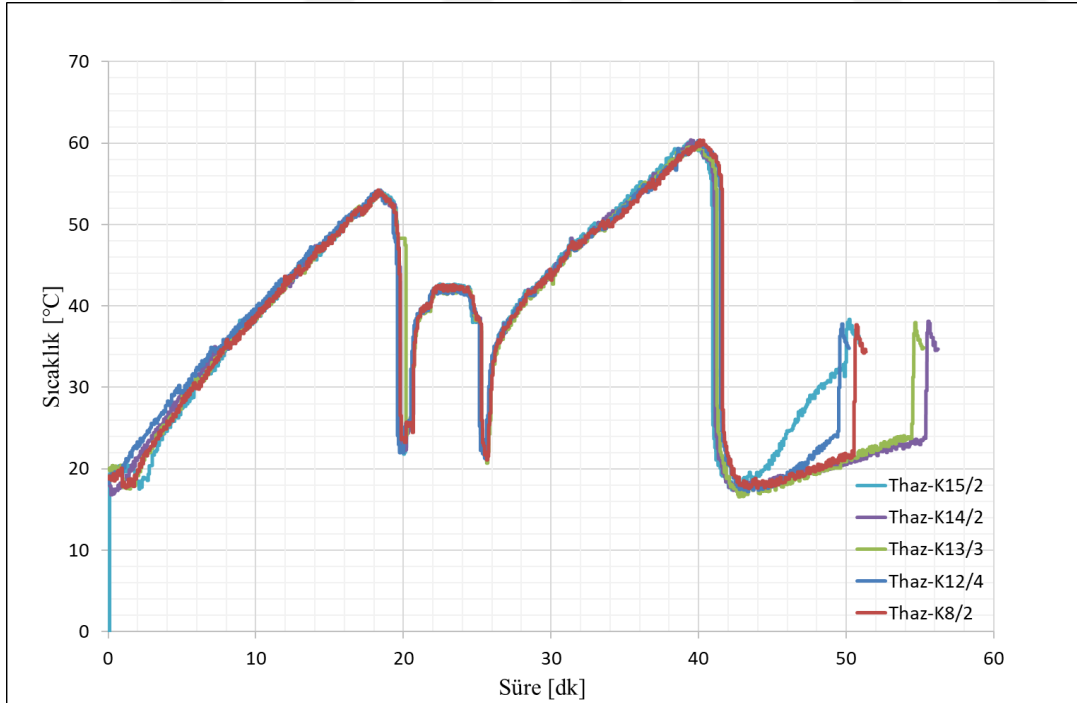
5.2.3 Hava sirkülasyon debisi miktarının etkisi

Hava sirkülasyon hızının artışıyla birlikte ısı ve kütle geçişi miktarının artacağı, Bölüm2'de yapılan teorik yaklaşımda belirtilmektedir. Hava sirkülasyon debisi miktarı etkisinin inceleneceği, 6, 7, 8, 10 ve 15 l/s olmak üzere 5 farklı debi değerine sahip 5 koşul test edilmiştir. Soğuk su yüzeyine çarpıp yüzey üzerinde akışına devam eden sıcak ve nemli havanın, sirkülasyon debisinin artışıyla birlikte ısı transferi katsayısı da artmaktadır. Şekil 5.13'te 5 koşulda yapılan testlere ait hazne sıcaklığı

grafiği verilmektedir. Sirkülasyon debisinin arttığı koşullarda haznedeki su sıcaklığının daha hızlı yükseldiği grafikten görülmektedir. Bu havadan suya daha yüksek miktarda ısı geçişi olduğu manasına gelmektedir.

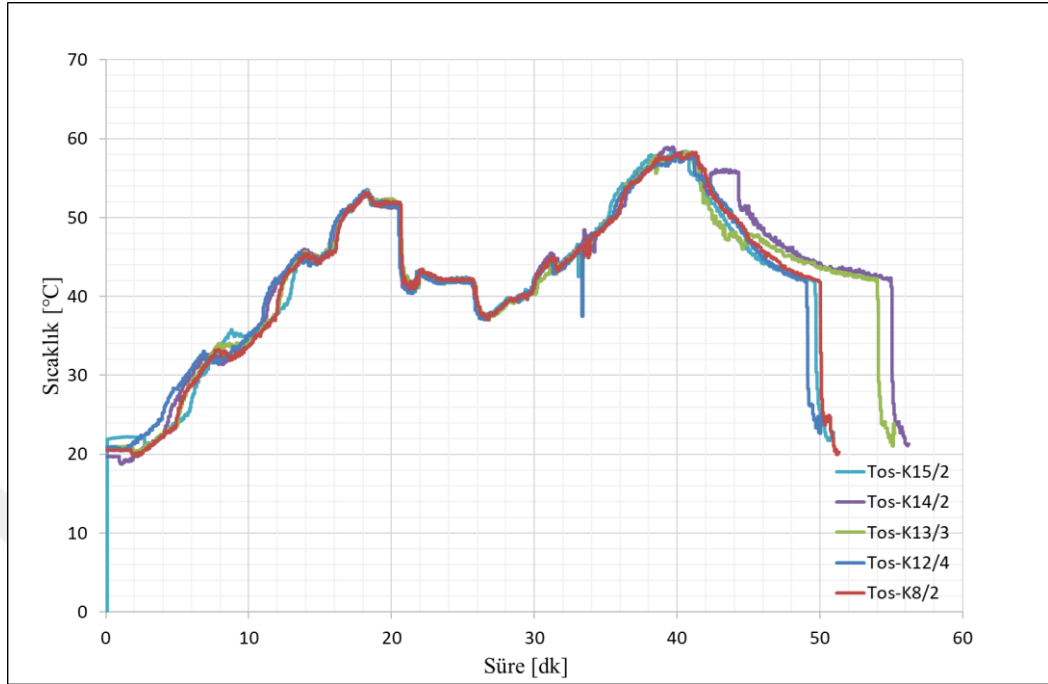


Şekil 5.12 : K8/2, K10/2 ve K11/1 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.



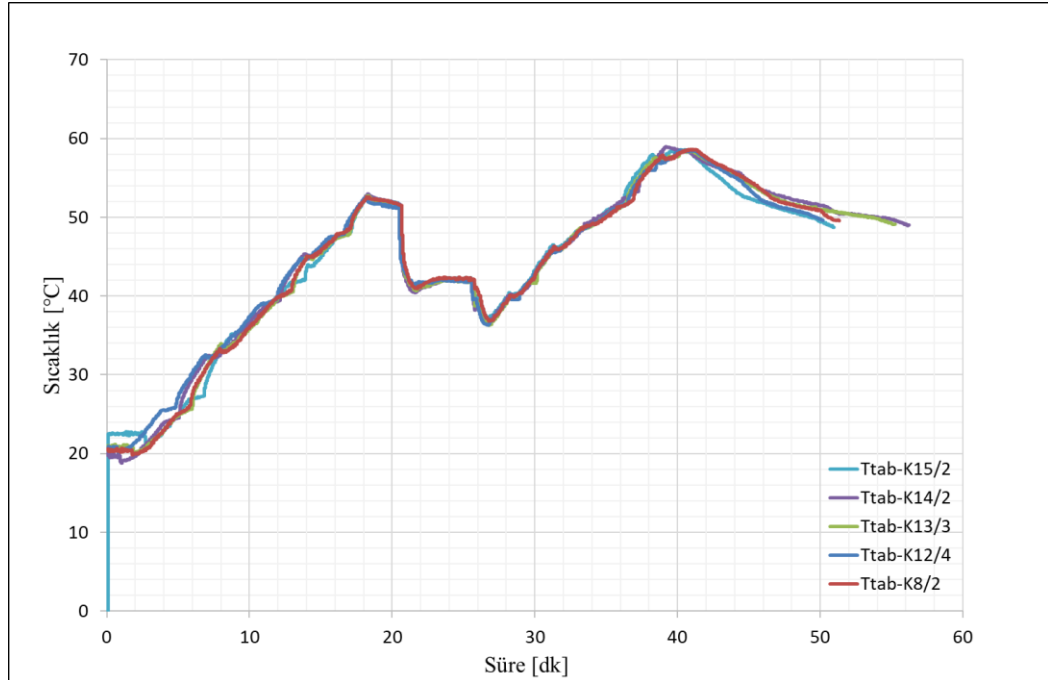
Şekil 5.13 : K8/2, K12/4, K13/3, K14/2 ve K15/2 testlerine ait hazne sıcaklığı grafiği.

Şekil 5.14'teki grafik incelendiğinde ise yüksek hava debisine sahip koşullarda kabin iç havası şartlarının istenilen seviye (42°C) daha kısa sürelerde ulaştığı görülmektedir.



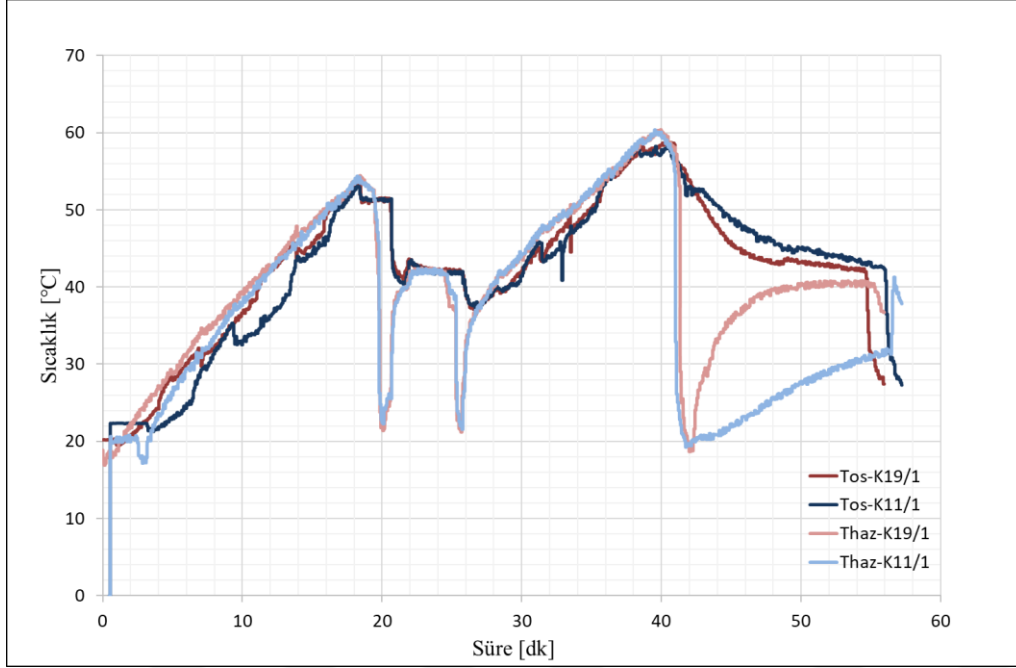
Şekil 5.14 : K8/2, K12/4, K13/3, K14/2 ve K15/2 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.

Şekil 5.15'teki karşılaştırma grafiği incelendiğinde ise sirkülasyon debisi ve süresi miktarının tabak sıcaklığı soğuma rejimine bir miktar etki ettiği söylenebilmektedir.



Şekil 5.15 : K8/2, K12/4, K13/3, K14/2 ve K15/2 testlerine ait tabak sıcaklığı grafiği.

Ek olarak Koşul11 ve Koşul19'un, 8 ve 15 l/s olmak üzere iki farklı hava debisinin haznede 3 l su hacminin varlığında karşılaştırması yapılmıştır. Bu koşulların, hazne ve orta sepet sıcaklığı eğrileri Şekil 5.16'da verilmektedir. 15 l/s gibi yüksek hava debisi değerlerinde hazne suyu sıcaklığını çok hızlı bir şekilde arttırdığı ve hava soğuma hızının bir miktar zaman sonra önemli miktarda azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.16 : K11/1 ve K19/1 testlerine ait hazne ve orta sepet sıcaklığı grafiği.

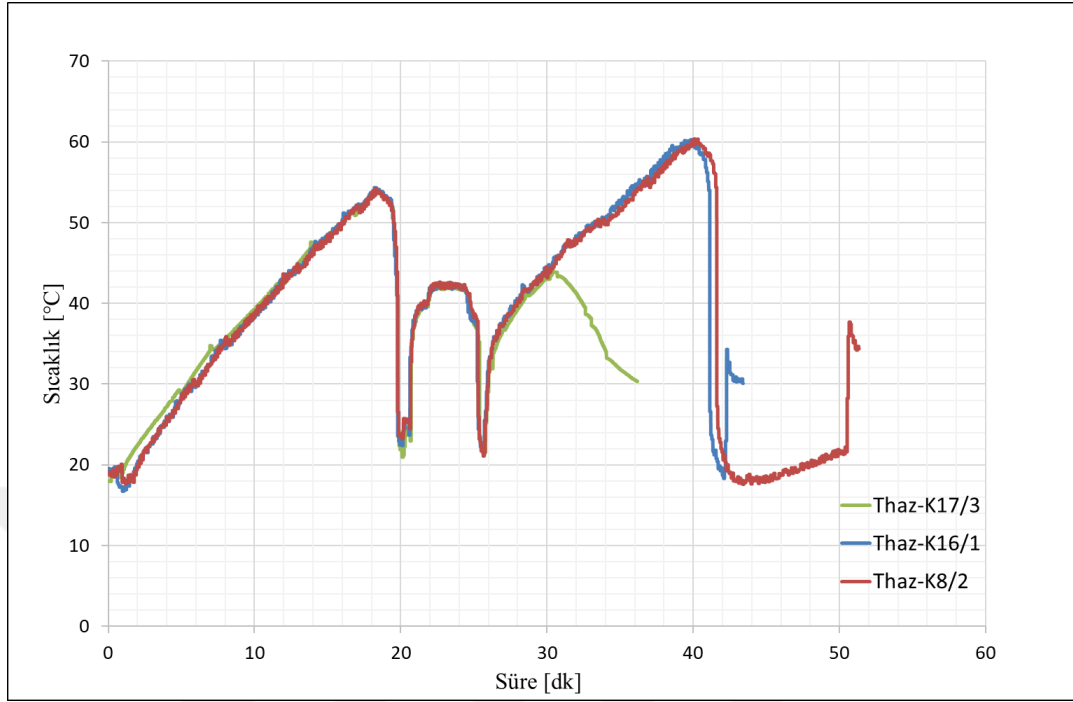
Sonuçlar incelendiğinde sirkülasyon havası debisi artışıyla toplam program süresinde doğru orantılı olarak azalma görülmektedir. KP üzerine etkisi ise net olarak anlaşılamamaktadır. Bunun sebebinin, sirkülasyon debisi ve süresi miktarının değişiminin bileşik etkisi olabileceği düşünülmektedir.

5.2.4 Kapı açma kuralının farklı olduğu koşullar

Bu alt başlığa kadar incelenen tüm koşullarda kapı açma kuralı, kabin iç havasının yani orta sepet sıcaklığının 42°C soğumasıdır. Farklı parametrelerin değişimi ile 42°C sıcaklığa soğuma rejiminin değişimi de yukarıda incelenmektedir. Bu bölümde farklı kapı açma kurallarının uygulandığı koşullar ve etkileri incelenmektedir.

42°C kapı açma sıcaklığı kuralına referans olarak Koşul8 alınmıştır. Koşul16'da kapı açma sıcaklığı yükseltilecek 54°C kabul edilmiştir. Koşul17 ise SCD adımıyla ısıtma işlemi orta sepet sıcaklığı 42 °C kadar yapılmaktadır ve ardından kapı açılarak program sonlandırılmaktadır. Koşul17'de istisna olarak önerilen yöntemle özgü olan su alma işlemiyle birlikte kapalı çevrim hava sirkülasyonu gerçekleştirilmemektedir. Şekil

5.17’de üç koşulun hazne sıcaklığı eğrilerinin olduğu grafik verilmektedir. Algoritma akışları bu grafik üzerinden daha iyi anlaşılmaktadır.

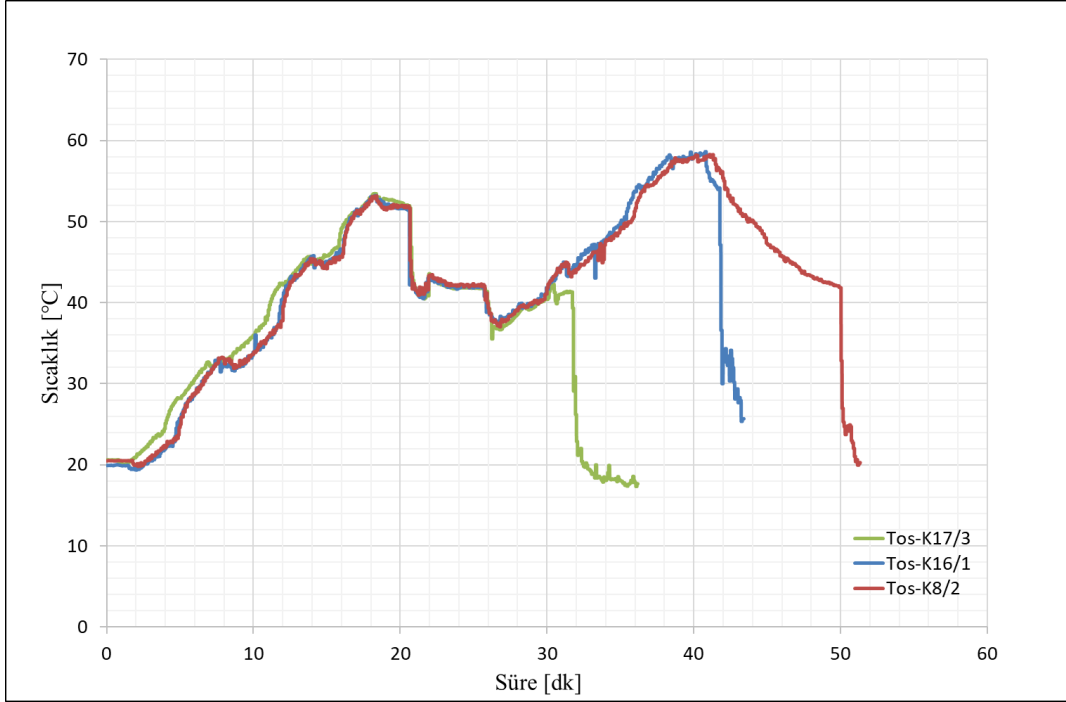


Şekil 5.17 : K8/2, K16/1 ve K17/3 testlerine ait hazne sıcaklığı grafiği.

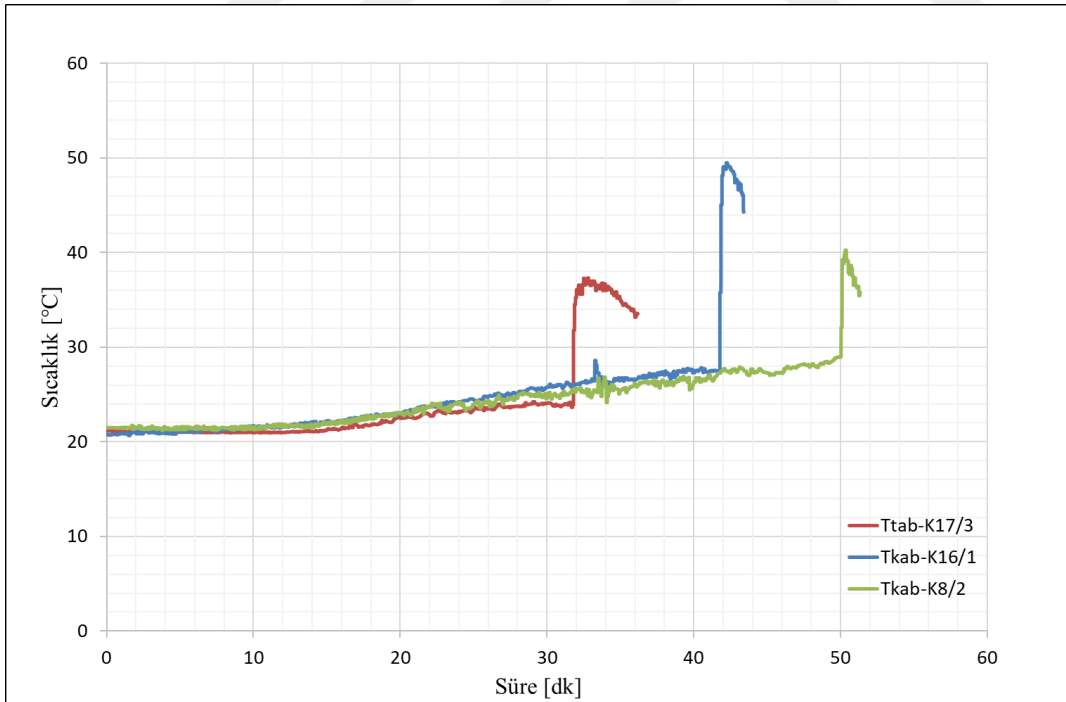
Şekil 5.18’deki orta sepet sıcaklığı eğrileri incelendiğinde, koşullar arası kurutma ve toplam program süresi arasındaki fark bariz bir şekilde görülmektedir. Koşul8-16 arasında kapı açma sıcaklığındaki farka bağlı olarak gerekli hava sirkülasyonu süresi büyük fark göstermektedir. Başlangıçta daha yüksek sıcaklıklarda kapı açma uygulamasının KP üzerinde olumlu etkisinin olacağı düşünülse de Çizelge 5.2’deki, koşullara ait sonuçlar incelendiğinde kapı kapalı şekilde gerçekleştirilen hava sirkülasyonu süresinin çok kısa olması sonucunda KP olumsuz etkilenmektedir. Bunun sebebi, SCD adımı sonundan itibaren bir süre yükler üzerinden gerçekleşen su süzülmesinin, kabin içi sıcaklıklarının korunduğu kapı kapalı durumda ve hava sirkülasyonunun varlığında daha yüksek oranda gerçekleşmesi olarak düşünülmektedir. Yüzeyler üzerinden su süzülmesine ait teorik yaklaşım Bölüm 2.4’te aktarılmaktadır. Koşul17’de SCD adımı sonrasında kapının hemen açılmasının sonucunda KP’nın ciddi miktarda düşük ölçülmesin de aynı sebepten kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca, kapı açma uygulaması sonrasında kabin iç havasının dış ortama nüfuz etmesi sonucunda, oluşacak etkiler açısından kapı üzerinden ölçülen sıcaklığı da (T_{kab}) incelemek gerekmektedir. Pleksi mobilyaya sabitlenmiş ısı çifti ile ölçülen sıcaklığa

kabin üzeri sıcaklık da denmektedir. Şekil 5.19'daki kabin üzeri sıcaklık eğrilerinin verildiği grafik görülmektedir.



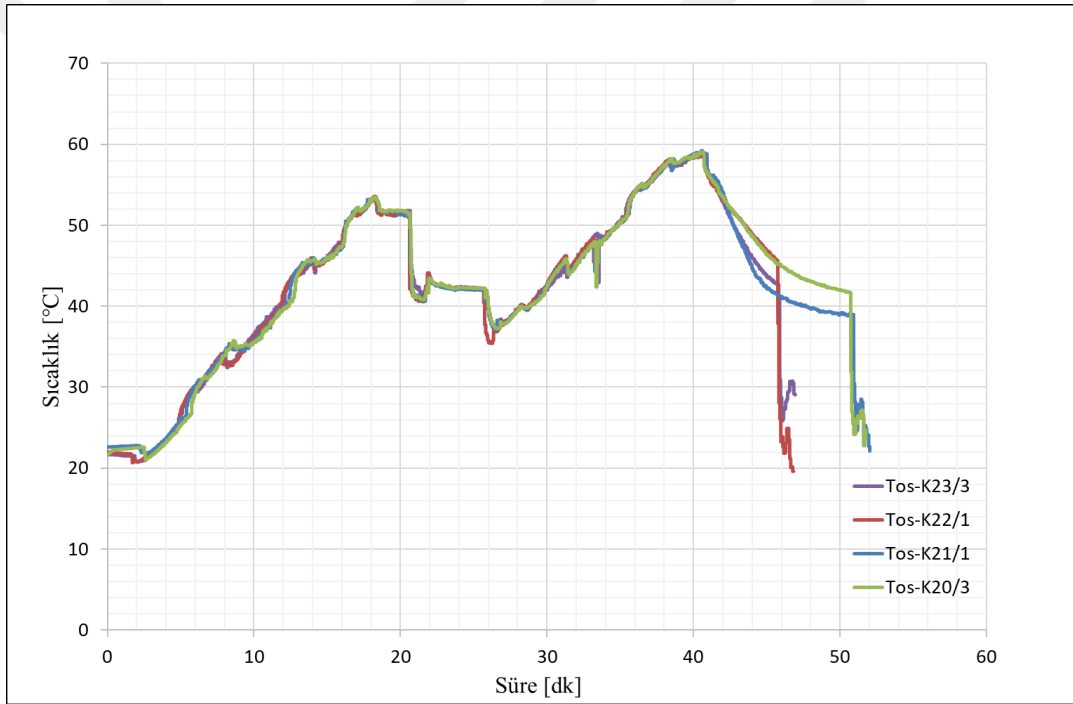
Şekil 5.18 : K8/2, K16/1 ve K17/3 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.



Şekil 5.19 : K8/2, K16/1 ve K17/3 testlerine ait kabin üzeri sıcaklık grafiği.

Grafik incelendiğinde Koşul16'da dış ortama nüfuz eden hava sıcaklığının başlangıçta yaklaşık 50°C olduğu ve bu koşulun dış ortama zarar verebilmesi açısından tehlikeli olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Farklı kapı açma kuralı olarak sabit fan çalışma süresinin sonunda kapının açıldığı koşullar da test edilerek incelenmiştir. 15 ve 8 l/s olmak üzere iki farklı hava sirkülasyonu debisinde; 5 ve 10 dk olmak üzere iki farklı fan çalışma süresinde test edilen dört koşula ait sıcaklık grafiği Şekil 5.20’de verilmektedir. Koşullara ait kabin içi havası soğuma rejimleri ve kapı açma sıcaklıkları arasındaki fark bariz şekilde görülmektedir. Aynı sürede farklı debilerde hava sirkülasyonu gerçekleşmesi sonucu kapı açılma anı sıcaklık değeri 2-3 °C değişmektedir. Benzer sıcaklık farkı değerleri aynı hava debisi miktarı için farklı sirkülasyon süreleri için de söz konusudur. Koşullara ait, Çizelge 5.2’deki sonuçlar incelendiğinde görece olarak küçük miktarlarda da olsa debinin veya sürenin artması sonucunda KP’nda bir miktar artış olduğu görülmektedir.



Şekil 5.20 : K20/3, K21/1, K22/1 ve K23/3 testlerine ait orta sepet sıcaklığı grafiği.

Ayrıca farklı kapı açma kurallarının uygulandığı bu koşulların ölçümlerinde, test düzeneğindeki pleksi mobilya üzerinde herhangi bir yoğunlaşma bölgesine rastlanmamıştır. Bunun sebebinin, önerilen yöntemle kabin içerisinde soğuk yüzey üzerine hava sirkülasyonu gerçekleştirilerek havanın soğuması sonucu kabin içi havası üzerinde taşınan nem miktarının ciddi şekilde azalması olduğu düşünülmektedir. Kabin içi havası soğudukça dış yüzey ile etkileşimi sonunda gerçekleşecek sıcaklık düşümü miktarı da azalacaktır. Bu sebeple dış yüzey üzerinde yoğunlaşma gerçekleşme ihtimali de azalacaktır.

5.2.5 Deneyisel verilerin istatistiksel analizi (ANOVA&Regresyon)

İkinci deney seti altındaki koşullarda yapılan testlerin sonuçlarının olduğu Çizelge 5.2 ve sıcaklık grafiklerinin incelenmesiyle kurutma yönteminin girdisi olan parametrelerin etkisi yukarıda alt başlıklar altında incelenerek yorumlanmıştır.

Tüm koşullarda yapılan en az üç tekrarlı test setleri geniş bir test verisi oluşturmaktadır. Parametrelerin daha nitel olarak incelenmesi için 19 koşul 64 test sonucuna ait deneyisel veriler, Minitab18 yazılımında istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Analize sokulan girdi parametreleri, SCD sıcaklığı (T_scd), hava debisi (Debi), fan çalışma süresi (t_fan) ve KRT adımıyla hazneye alınan su hacmidir (KRT_su) ve çıktı parametresi kurutma performansdır (KP). Toplam program süresi ve toplam enerji tüketimi için istatistiksel analize gerek duyulmamıştır.

Varyans Analizi (ANOVA), istatistiksel bir yöntemdir ve bu analizle birbirleriyle ilişkili olan üç veya daha fazla grup arasında ortalamalar karşılaştırılmaktadır. Bu analiz, farklı grupların istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık gösterip göstermediğini belirlemek için kullanılmaktadır [44]. Bu analizde genellikle boş (null) hipotezi (H0) ve alternatif hipotezi (H1) olmak üzere iki tane hipotez kullanılmaktadır. H0 hipotezi, grupların birbirinden istatistiksel olarak farklı olmadığını ifade etmektedir. H1 hipotezi ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu öne sürmektedir. ANOVA analiziyle verilerin istatistiksel testlerin uygulanarak incelenmesiyle H0 hipotezinin doğrulanıp doğrulanmadığı sınırlanmaktadır. Eğer P değeri karşılaştırılan eşik değerinden küçükse yani H0 hipotezini reddediyorsa, H1 hipotezi kabul edilmekte ve istatistiksel olarak gruplar arasında anlamlı bir farkın varlığı söylenebilmektedir. P değeri genellikle 0,05 olarak kabul edilen bir eşik değeriyle karşılaştırılmaktadır [44].

Bu çalışma kapsamında yapılan analizde güven aralığı %95 seçilmiştir. Analize göre ilgili parametreye ait P değeri 0,05 (%5)'ten küçük bir değere karşılık geliyorsa, parametrenin %95 güven aralığında sonuca etki ettiği söylenebilmektedir. Şekil 5.21'de ANOVA analizine ait sonuçlar ve P değeri 0,05'ten küçük olan etkili parametreler verilmektedir. İstatistiksel analiz sonucuna göre girdi parametreleri arasından SCD sıcaklığı (T_scd) ve hava debisi (Debi), çıktı parametresi olan KP'na etkiyen parametrelerdir. Ayrıca, Debi değişkeni 2. mertebeden etki göstermektedir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	469,786	156,595	33,64	0,000
T_scd [°C]	1	396,200	396,200	85,11	0,000
Debi [l/s]	1	53,503	53,503	11,49	0,001
Debi [l/s]*Debi [l/s]	1	48,101	48,101	10,33	0,002
Error	56	260,679	4,655		
Lack-of-Fit	54	260,278	4,820	24,08	0,041
Pure Error	2	0,400	0,200		
Total	59	730,465			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,15754	64,31%	62,40%	59,02%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5,86	8,43	0,69	0,490	
T_scd [°C]	0,9185	0,0996	9,23	0,000	1,01
Debi [l/s]	3,98	1,17	3,39	0,001	170,85
Debi [l/s]*Debi [l/s]	-0,1674	0,0521	-3,21	0,002	170,93

Regression Equation

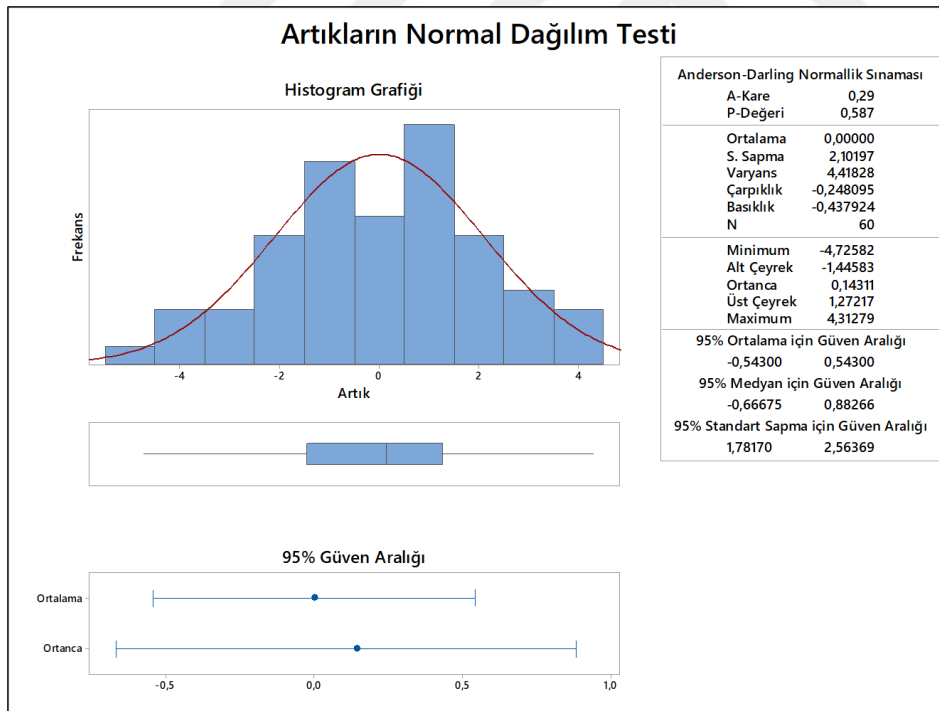
$$KP [\%] = 5,86 + 0,9185 T_scd [^{\circ}C] + 3,98 Debi [l/s] - 0,1674 Debi [l/s]*Debi [l/s]$$

Şekil 5.21 : Minitab yazılımında gerçekleştirilen analize ait sonuçlar.

Regresyon analizi, bağımlı bir değişkenin (sonuç) bir veya birden daha fazla bağımsız değişkenle (girdi) ilişkisini modellemek ve tahmin etmek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen katsayılar, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini göstermektedir. Katsayıların işaretleri, değişkene ait etkinin yönünü belirlemekte (pozitif veya negatif), büyüklükleri ise etkinin gücünü ifade etmektedir. [45]. Denklemdaki sabit sayı ise hata sabitini ifade etmektedir. İstatistiksel analizle oluşturulan modele ait regresyon denklemi ve katsayıları Şekil 5.22’de verilmektedir. R-kare (R-sq) değeri, regresyon modelinin verileri ne kadar iyi açıkladığını ölçmektedir. Diğer bir ifadeyle bu değer, bağımlı değişkendeki değişikliğin bağımsız değişkenler tarafından ne kadarının açıklandığını ifade etmektedir. R-kare değeri 0 ile 1 arasında bir değer alır ve ne kadar yüksek olursa, modelin verilere o kadar iyi uyum sağladığı anlamına gelmektedir [46].

Daha yüksek uyum oranına (R-kare) sahip bir model elde etmek için deneysel veri sayısının artırılması gerekmektedir.

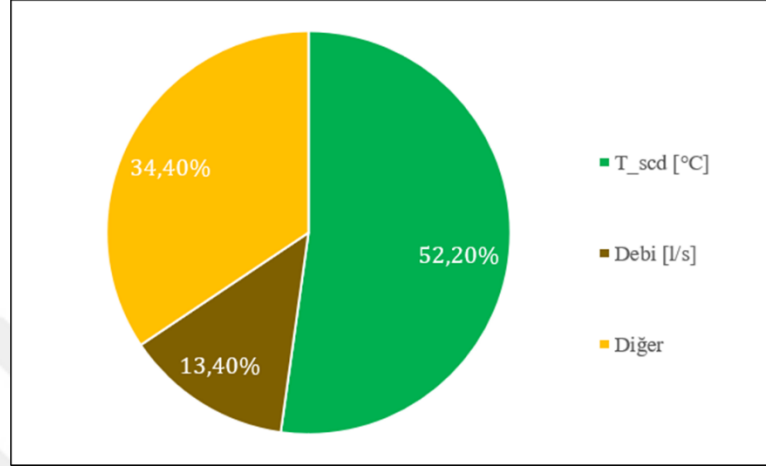
Artıkları incelemek istatistiksel analizde önemli bir adımdır çünkü modeller ve veriler arasındaki tutarsızlıkları belirlemeye ve modelin genel uyum seviyesini değerlendirmeye olanak tanımaktadır [47]. Artıklar, gözlenen (ölçülen) ve tahmin edilen değerler arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır [48]. Artık histogram grafiği, bir regresyon analizinin veya diğer istatistiksel analizlerin sonucunda kalan hataların (artıkların) dağılımını göstermek için kullanılır [49]. Eğer artıklar normal dağılıma uyuyorsa, bu regresyon modelinin doğru ve güvenilir olduğunu gösterir [49]. Normal dağılım, istatistiksel analizlerde sıkça kullanılan bir varsayımdır. Bu dağılım, verilerin ortalamasının etrafında simetrik bir şekilde dağıldığını ve genellikle çan şeklinde bir grafik oluşturduğunu ifade eder [46]. Şekil 5.22’de artıkların normal dağılım testine ait histogram grafiği verilmektedir. Bu yaklaşıma göre dağılım testi çıktıları incelendiğinde artıkların normal dağılım gösterdiği ve analize ait modelin güvenilir olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 5.22 : Minitab yazılımında gerçekleştirilen analize ait artıkların normal dağılım testi.

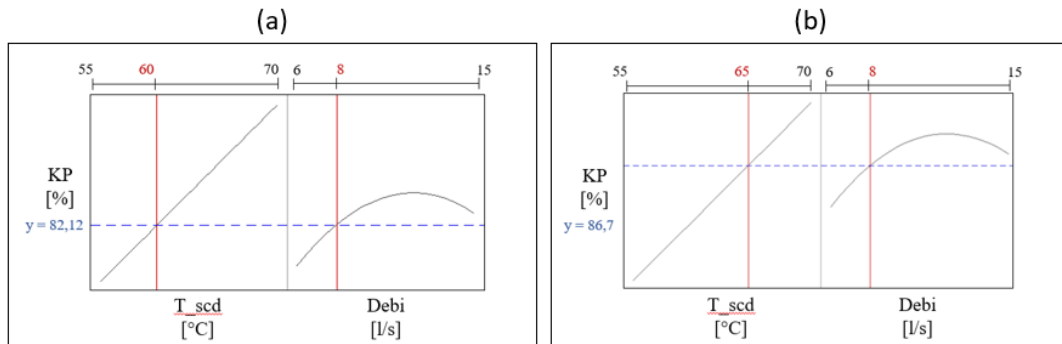
ANOVA istatistiksel analiz yönteminde, bir parametre için düzeltilmiş kareler toplamı (Adj SS), regresyon kareler toplamı ile sadece diğer parametreleri içeren bir model arasındaki farktır. Adj SS değeri arttıkça ilgili parametrenin çıktı üzerindeki etki oranı

artmaktadır [50]. Bu bilgiler ışığında, modeldeki parametrelerin çıktı üzerindeki etki oranlarını veren pasta grafiği Şekil 5.23'te verilmektedir. Çalışma kapsamında önerilen hızlı kurutma yöntemi özelinde oluşturulan bu istatistiksel modele göre KP çıktısı üzerindeki en etkili parametre SCD sıcaklığıdır. Sıcaklığın kurutmadaki en etkili parametre olduğu literatür araştırması sırasında da edinilen bir kazanımdır.



Şekil 5.23 : Parametrelerin kurutma performansına etkisini gösteren pasta grafiği.

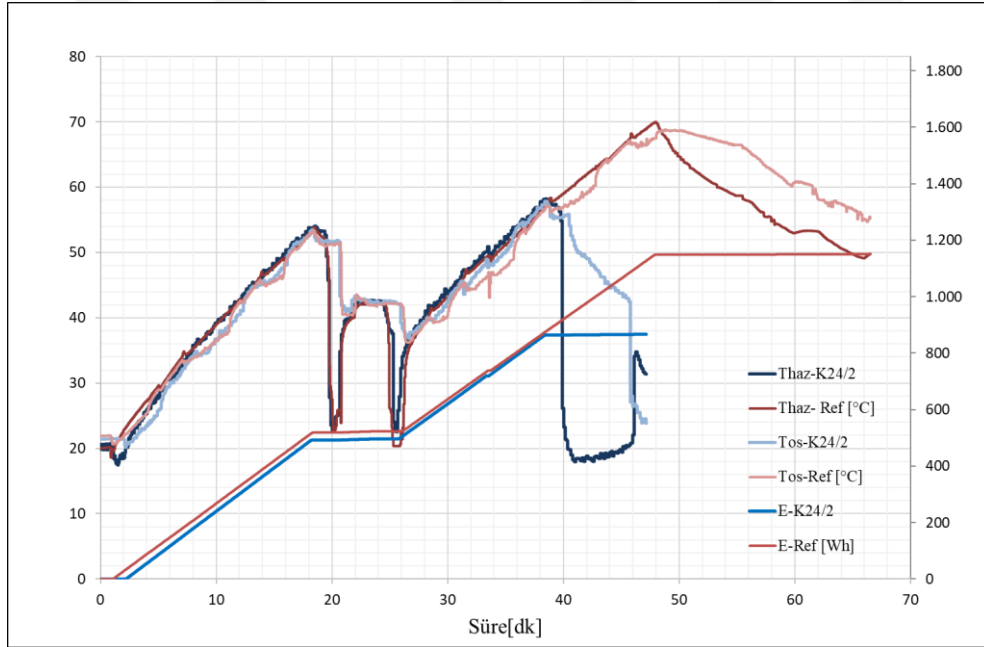
Ayrıca Minitab yazılımındaki ‘Sonuç Optimizasyonu Aracı’ kullanılarak modele ait optimizasyon eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5.24’te iki farklı sıcaklık değeri için optimizasyon aracının çıktısı verilmektedir. Burada Debi eğrisinin parabolik olmasının sebebi artan hava sirkülasyonu ile beraber yüklerin soğuma hızının da artmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Diğer bir ifadeyle hava debisinin artmasıyla havadan soğuk yüzeye ısı geçişi artarken yükten havaya olan ısı geçişi de artmaktadır. Yüklerin sahip olduğu ısı enerjisi daha hızlı deşarj etmesi buharlaşma hızının daha kısa sürede düşüşe geçmesine sebep olduğu için debi artışının bir noktadan sonra KP’na olumsuz etki ettiği düşünülmektedir.



Şekil 5.24 : Modele ait optimizasyon eğrileri: (a) T_scd: 60°C, Debi: 8 l/s ve KP: 82. (b) T_scd: 65°C, Debi: 8 l/s ve KP: 86,5.

5.3 Referans Koşul ve Öneri Koşulunun Karşılaştırılması

Sonuçların incelenmesiyle, kısa süre zarfı içerisinde yüksek KP sağlayacak iyi koşul önerisi olarak belirlenmiş olan, SCD sıcaklığı 58°C, hava sirkülasyonu debisi 8 l/s ve fan çalışma süresi 5 dk olan Koşul24 test edilmiştir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan sistem için önerilen hızlı program koşulu Koşul24'tür. Çizelge 5.2'deki koşullara ait çıktıların karşılaştırması yapıldığında önerilen koşul ile referans koşula görece olarak su tüketiminde 4 l'lik bir artışa karşın toplam enerji tüketiminden %23 ve toplam süreden %30 oranında kazanç sağlanırken KP'nda %9 oranında bir yükselme elde edilmiştir. Ek olarak, Koşul24' e ait testlerin ölçülümü esnasında mobilya üzerinde nem kalıntısına rastlanmamıştır. Koşulların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.25'te verilmektedir.



Şekil 5.25 : Referans koşul ve Koşul24'ün karşılaştırma grafiği.

Çizelge 5.3'te referans koşul ile önerilen koşul karşılaştırması yapılmaktadır. Ref, referans açık çevrim kurutma sistemini ifade ederken KÇ, kapalı çevrim kurutma sistemini ifade etmektedir. HYA ise hava yönlendirme aparatının kısaltılmış ifadesidir.

Çizelge 5.3 : Referans koşul ile hızlı kurutma yöntemi için önerilen koşulun karşılaştırması.

Koşul	Kurutma Sistemi	T_{scd} [°C]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	Kapı Açma	Su_{tot} [l]	t_{tot} [dk]	E_{tot} [Wh]	KP [%]	LP [%]
0	Ref	70	1	8/18	0	Yok	11	67	1150	77	52
24	KÇ + HYA	58	8	5	4	Var	15	47	890	83	57

Ek olarak, yeni kurutma sistemi ve önerilen koşulun referans duruma görece olarak LP'na etkisinin incelenmesi için Bölüm 4.6'da tariflenen LP testleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.3'te verilen sonuca göre yeni sistem ve koşulun LP'na olumsuz bir etkisinin olmadığı ve bir miktar iyileşme sağlandığı anlaşılmaktadır.

Yapılan detaylı incelemeler sonucunda çalışmada önerilen yeni kurutma sistemi ile ilgili sonuçlar aşağıdaki maddelerle özetlenebilir:

Otomatik kapı açma fonksiyonu KP'nı önemli ölçüde iyileştirmektedir. Ancak yüksek sıcaklıklarda, dış ortama karşı zarar teşkil edebilmektedir. Bu çalışmada yüksek sıcaklıklarda kapı açma uygulamasının zararını ortadan kaldıracak bir yöntem geliştirilmiştir.

Kurutma yönteminin, referans program sıcaklıklarında referans program toplam enerji tüketimini ve toplam süresini koruyacak şekilde gerçekleştirilmesi sonucunda su tüketiminde 4 l'lik bir artışa karşın KP'nda %20 oranında bir artış sağlanmaktadır.

Kurutma sisteminde önerilen koşul ile referans koşula görece olarak su tüketiminde 4 l'lik bir artışa karşın toplam enerji tüketiminden %23 ve toplam süreden %30 oranında kazanç sağlanırken KP'nda %9 oranında bir yükselme elde edilmektedir.

Deneysel sonuçların incelenmesiyle, bu kurutma yönteminde KP'na etki eden en baskın parametrenin SCD sıcaklığı olduğu sonucu çıkarılmıştır. Diğer yandan, SCD sıcaklığının artmasıyla toplam program süresi uzamaktadır. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla, dış mobilya yüzeylerinde yoğuşma oluşması ihtimali de artmaktadır.

KRT adımı hazneye alınan su miktarı kabin iç havasının şartlandırılma süresine etki etmektedir. Su miktarı azaldıkça, soğuk yüzey-hava arasındaki ısı geçişi miktarı görece olarak zamanla daha hızlı düşmektedir ve KRT adımı süresi uzamaktadır. Diğer yandan, toplam su tüketimine etkisi göz önünde bulundurulduğunda olabildiğince az miktarda su alınması gerekmektedir. Su miktarının KP üzerine belirli bir etkisi yoktur.

Hava debisinin artmasıyla kabin iç havası sıcaklığının daha hızlı soğumasına bağlı olarak program süresi kısalmaktadır. KP ise istatistiksel analize göre bir noktaya kadar artarken, bir noktadan sonra hava debisi artışından olumsuz etkilenebilmektedir.

Kapı açma kuralının, dar sıcaklık veya zaman aralıkları sınırları içerisinde değişmesinin KP'na ciddi bir etkisi yoktur. Ancak, KRT adımı başından itibaren, kapı açmadan önce bir süre (3-5dk) yükler üzerinden suyun süzülmesinin beklenmesi KP

açısından önemlidir. Ek olarak, referansa görece olarak yeni kurutma sisteminde kapı açmak için gerekli kabin içi havası sıcaklığı (Tos), süre kazanmak amacıyla bir miktar($\sim 3^{\circ}\text{C}$) arttırılsa da dış yüzeylerde yoğuşmaya sebep olmamıştır.



6. DEĞERLENDİRME, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Günümüzde neredeyse tüm evlerde bulaşık makinesi kullanılmaktadır. İnsan hayatında büyük bir yere sahip olan bulaşık makinelerinde temizlik çevrimi genel olarak sırasıyla ön veya soğuk yıkama, ana yıkama, soğuk durulama, SCD ve KRT adımlarından oluşmaktadır. Kullanıcılar açısından bulaşık makinesi tercihinde enerji ve su tüketiminin yanı sıra yıkama ve KP da yüksek önem arz etmektedir. Bulaşık makinesi KRT adımıyla temelde buharlaşma ve yoğunlaşma fiziksel olayları gerçekleşmektedir. Bu olaylar kütle, ısı ve momentum aktarımının karmaşık bir fonksiyonu olduğu için bu aktarımların farklı kombinasyonları da farklı KP sağlamaktadır. Daha verimli ve performansı yüksek bulaşık makineleri ilginin artması nedeniyle bulaşık makinesini oluşturan sistemleri geliştirmek amacıyla birçok çalışma yürütülmektedir [1-4]. Bu çalışmalardan bir bölümünün odak noktası ise kurutma sisteminin iyileştirilmesidir. Günümüz teknolojisinde bulaşık makineleri özelinde tasarlanmış birçok tipte kurutma sistemi mevcuttur [1]. Bu sistemler açık veya kapalı, dinamik (fanlı) veya statik (fansız) olabilmektedir ve özelleşmiş teknolojiler içerebilmektedir.

Bu tez çalışması, kapsamına ev tipi bulaşık makinelerinin kurutma sistemlerini almaktadır. Amaç, bulaşık makinelerinde çok kısa süre zarfı içerisinde yüksek KP sağlayacak yenilikçi bir yöntem oluşturmaktır. Bulaşık makinelerinde yüksek yıkama ve KP'na, görece olarak yüksek enerji tüketimi sayesinde daha kısa süre zarfında ulaşan hızlı program bulunmaktadır. Hızlı kurutmanın mercek altına alındığı bu çalışmadaki aksiyonlar hızlı program üzerine kurgulanmıştır.

Çalışma süresince literatürde var olan bulaşık makinesi kurutma sistemleri özelindeki çalışmalar araştırılmıştır. Ayrıca, pazar ve patent araştırması yürütülerek tasarlanan kurutma sistemleri detaylıca incelenmiştir. Geniş yelpazede gerçekleştirilen araştırma süreci sonucunda, yenilikçi özellik taşıyan ve gerçekleşen fiziksel olaylara ait teorik yaklaşımlara dayanan bir kurutma sistemi önerilmiş ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında önerilen kurutma yöntemi, yüksek kapasiteye sahip fanlı kapalı çevrim hava sirkülasyonuna, sepet üzerine entegre edilen bir hava yönlendirme

aparatına ve otomatik kapı açma fonksiyonuna sahiptir. Ayrıca, yöntemine göre KRT prosesi, soğuk yüzey oluşturmak amacıyla içeriye şebeke suyunun alındığı bir su alma adımı da içermektedir. Tasarlanan yöntemin yenilikçi bir özellik taşıması sebebiyle haklarını korumak amacıyla 2023/005137 TR numaralı patent başvurusu gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan sistem üretilerek bir bulaşık makinesi prototipi ve deney düzeneği hazırlanmıştır. EN 50242 ‘Ev tipi bulaşık makinelerinde performans değerlendirme yöntemleri’ standardına uygun olarak hazırlanan deney düzeneğinde standarta uygun şekilde yürütülen deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, tasarlanan kurutma yöntemin faydasının sınındığı ve yöntemine ait girdi parametrelerinin etkisinin incelendiği iki farklı deney seti altında yürütülmüştür. Kurutma yönteminin, referans program sıcaklıklarında referans program toplam enerji tüketimini ve toplam süresini koruyacak şekilde gerçekleştirilmesi sonucunda KP’nda %20 oranında bir artış sağlanarak KP 92/100 puan seviyelerine yükseltilmiştir. Yönteme etkiyen parametreleri incelemek amacıyla, tasarlanan KRT adımı koşullarında deneyler gerçekleştirilerek toplamda 64 kadar test sonucu değerlendirilmiştir. Kurutma süresini kısaltırken, enerji tüketiminin olabildiğince düşük ve KP’nın olabildiğince yüksek olmasını sağlayacak bir koşul önerilmiştir. Önerilen koşul ile referans koşula görecek olarak su tüketiminde 4 l’lik bir artışa karşın toplam enerji tüketiminden %23 ve toplam süreden %30 oranında kazanç sağlanırken KP’nda %9 oranında bir yükselme elde edilmiştir. Toplam program süresi 67 dk’dan 47 dk seviyesine indirilmiştir. Enerji tüketimindeki düşüşün sebebi, yöntemin KP’nı önemli ölçüde arttırması sayesinde SCD sıcaklığının düşürülebilmesidir. Toplam sürenin yüksek oranda azalmasında ise hem SCD sıcaklığının azaltılmasıyla ısıtıcı çalışma süresinin kısalması hem de KRT adımı süresinin kısalması etkilidir. Ayrıca, yöntemin gerçekleştirilmesi sonucu bulaşık makinesi dışındaki yüzeylerde yoğunlaşma oluşumu kontrol edilmiş ve ölçümler esnasında mobilyaya zarar verebilecek herhangi bir yoğunlaşma oluşan bölgeye rastlanmamıştır.

Çalışma kapsamında önerilen kurutma yöntemi hızlı program özelinde toplam su tüketimini arttırsa da KRT adımı sisteme alınan bu suyun tahliye edilmeyip, bir sonraki temizleme çevriminde kullanılmak üzere depolanabileceği bilinmektedir. Günümüz yüksek verimliliğe sahip bulaşık makinelerinde yaklaşık 3 l kapasiteye sahip su depolama tankları bulunmaktadır. Ekonomik program özelinde oda sıcaklığında

şartlandırılmış su kullanımı ile enerji tasarrufu sağlamak için tasarlanmış bu su tankları, hızlı program özelinde önerilen bu yöntemde KRT adımıyla alınan ve herhangi bir kirlenmeye maruz kalmayan temiz suyun depolanmasında kullanılabilir.

Bulaşık makinesinde KP'nı etkileyen birçok parametre vardır. KRT prosesini temsilen bulaşık makinesi içerisindeki yükler üzerinden gerçekleşen buharlaşmayı ve soğuk yüzeylerde gerçekleşen yoğuşmayı tam anlamıyla modellemek zordur. Bu zorluğun kapsamında birçok ısı, kütle ve momentum aktarımının birlikte gerçekleşmesi vardır. Kurutmanın zamandan etkilenen bir proses olması sebebiyle de sayısal modelinin analiz edilmesinin çok yüksek hesaplama ve zaman maliyeti getirisi olmaktadır. Bu sebeplerden ötürü bulaşık makinelerinde KRT prosesinin incelenmesi için tam donanımlı deney düzeneğinde standartta uygun testler gerçekleştirmek, daha kısa vadede daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Standartta uygun şekilde testlerin gerçekleştirilmesi için kurutma ve yıkama performansı ölçümü, yetkinliğe sahip kişiler tarafından yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Grundig marka GNUP4620XC modeli bulaşık makinesi kullanılmıştır [14]. Tasarlanan kurutma sistemi prototiplenirken, kullanılan bulaşık makinesinin yapısal tasarımına uygun şekilde komponent yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Kapalı çevrim hava sirkülasyonunda kabin içerisine hava giriş ve çıkışı mevcutta var olan hava açıklığı bölgeleri kullanılarak sağlanmıştır. Bu tez çalışması kapsamının dışında, farklı hava açıklığı bölgeleri üzerine çalışmalar yapılarak sistem performansının iyileştirilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca farklı hava açıklığı bölgelerinin kullanılması ile kabin içerisinde oluşacak farklı hava sirkülasyonunun KP'na etkisi araştırılabilir. Bu çalışma kapsamında yapılan tüm testlerde yük dizilimi modele ait standarttır. Yük dizilimin KP'na önemli derecede etkisi olduğu göz önüne alındığında, önerilen yöntemin farklı yük dizilimlerinde sağlayacağı performans çıktıları araştırılabilir. Ek olarak, bu çalışma kapsamında önerilen yöntemin incelemesi, yalnızca hızlı programda hızlı kurutma çalışmalarıyla gerçekleştirilmiştir. Yöntemin farklı programlara hizmet edeceği koşullar tasarlanarak performansı değerlendirilebilir. Örneğin, yöntemin ekonomik programda KRT adımıyla enerji kazancı sağlanması yönünde faydası sınanmasıyla olumlu sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Bengtsson, P. & Berghel, J.** (2017). Concept study of a new method for drying dishware in a heat pump dishwasher. *Energy Efficiency*, 10(6), 1529–1538. Erişim adresi <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9541-4>
- [2] **Abu-Heiba, A., Malhotra, M., Gluesenkamp, K.R. & Patel, V.K.** (2018). Domestic Dishwasher Simulated Energy Efficiency Evaluation Using Thermoelectric Heat Pump for Water Heating and Dish Drying. *5th International High Performance Buildings Conference*, (paper 323). United States: Purdue University, Temmuz 9-12.
- [3] **Bengtsson, P., Berghel, J. & Renström, R.** (2015). A household dishwasher heated by a heat pump system using an energy storage unit with water as the heat source. *International Journal of Refrigeration*, 49, 19–27. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.10.012>
- [4] **Santori, G., Frazzica, A., Freni, A., Galieni, M., Bonaccorsi, L., Polonara, F. & Restuccia, G.** (2013). Optimization and testing on an adsorption dishwasher. *Energy*, 50, 170–176. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.11.031>
- [5] **Bansal, P., Vineyard, E. & Abdelaziz, O.** (2011). Advances in household appliances- A Review. *Applied Thermal Engineering*, 31(17-18), 3748–3760. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.07.023>
- [6] **Hoak, D.C., Parker, D.S. & Hermelink, A.H.** (2008). How Energy Efficient are Modern Dishwashers. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*. United States: University of Central Florida, Ağustos.
- [7] **Kumar, N., Rendall, J., Gluesenkamp, K., Patel, V., Abu-Heiba, A. & Turnaoğlu, T.** (2021). Measurements Of Evaporation And Condensation Mass Transfer Resistances For Surfaces In Residential Dishwashers. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference* (paper 2212). United States: Purdue University, Mayıs 24-28.
- [8] **Kim, K. R., Lee, J. K., Jeong, H. D., Kang, Y. H. & Ahn, Y. C.** (2020). Numerical and experimental study of air-to-air plate heat exchangers with plain and offset strip fin shapes. *Energies*, 13(21), 5710. Erişim adresi <https://doi.org/10.3390/en13215710>
- [9] **Jeong, S. W., & Lee, D. H.** (2014). Drying performance of a dishwasher with internal air circulation. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(9), 1518–1521. Erişim adresi <https://doi.org/10.1007/s11814-014-0194-0>
- [10] **Kumar, N., Gluesenkamp, K., Rendall, J., Patel, V., Gehl, T., Abu-Heiba, A., Turnaoğlu, T., Wu, G. & Vaidhyanathan, R.** (2021). Novel

Dishwasher with Thermal Storage and Thermoelectric Heat Recovery. *International High Performance Buildings Conference* (paper 372). United States: Purdue University, Mayıs 24-28.

- [11] **Venkatesh, G.** (2022). Dishwashers: Literature review to summarise the multi-dimensionality of sustainable production and consumption. *Sustainability*, 14(16), 10302. Erişim adresi <https://doi.org/10.3390/su141610302>
- [12] **Bengtsson, P. & Berghel, J.** (2016). Study of using a capillary tube in a heat pump dishwasher with transient heating. *International Journal of Refrigeration*, 67, 1–9. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.04.006>
- [13] **Hauer, A. & Fischer, F.** (2010). Open adsorption system for an energy efficient dishwasher. *Chemie Ingenieur Technik*, 83(1-2), 61–66. Erişim adresi <https://doi.org/10.1002/cite.201000197>
- [14] **Grundig.** (t.y.). GNUP4620XC. Erişim: 26 Mart 2023, <http://www.aek.yildiz.edu.tr/bilim.htm>
- [15] **Asko.** (t.y.). DBI664PHXXLS.U. Erişim: 26 Mart 2023, <https://us.asko.com/products/kitchen/dishwashers/touchproof-stainless-steel/DISHWASH-DW40-2-DBI664PHXXLS-U-ASK/p/000000000000737067>
- [16] **Bo, Y., Jiakang, Y., & Weidong, Z.** (2017). *Chinese Patent No. CN 106859566 (A)*. Erişim: Espacenet.
- [17] **Yantao, C., Xiwing, Z., & Yahui, C.** (2018). *Chinese Patent No. CN 108577768 (A)*. Erişim: Espacenet.
- [18] **Erhard, S.** (1976). *German Patent No. DE 2440422 (A1)*. Erişim: Espacenet.
- [19] **Yeong, H. D., Seo, P. N., & Heon, Y. S.** (2005). *Korean Patent No. KR 20050024546 (A)*. Erişim: Espacenet.
- [20] **Hyun, K. D., Seungyou, K., Man, P. H., Jae, J. M., & Youngsoo, K.** (2022). *European Patent No. EP 3987998 (A1)*. Erişim: Espacenet.
- [21] **Guenter, K.** (2011). *German Patent No. DE 102009049066 (A1)*. Erişim: Espacenet.
- [22] **Url-1** <<https://www.youtube.com/watch?v=gkgAcp5iHTI>>, erişim tarihi: 26.03.2023.
- [23] **Miele.** (t.y.). G7925SCi. Erişim: 2 Mart 2023, https://www.miele.com.tr/domestic/bulasik-makineleri-2510.htm?mat=11887400&name=G_7925_SCi_XXL_AutoDos
- [24] **Cintolesi, C., Petronio, A., & Armenio, V.** (2016). Large-eddy simulation of thin film evaporation and condensation from a hot plate in enclosure: First Order statistics. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 101, 1123–1137. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.06.006>
- [25] **Cioulachtjian, S., Launay, S., Boddaert, S. & Lallemand, M.** (2010). Experimental investigation of water drop evaporation under moist air or saturated vapour conditions. *International Journal of Thermal*

- Sciences, 49(6), 859–866. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2009.12.014>
- [26] **Ljung, A. L. & Lundström, S. T.** (2018). Evaporation of a sessile water droplet subjected to forced convection in humid environment. *Drying Technology*, 37(1), 129–138. Erişim adresi <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1441866>
- [27] **Log, T.** (2016). Water droplets evaporating on horizontal semi-infinite solids at room temperature. *Applied Thermal Engineering*, 93, 214–222. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.09.108>
- [28] **Çengel, Y. A. & Ghajar, A. J.** (2020). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications*. McGraw-Hill Education.
- [29] **Bergman, T. L., Lavine, A. & Incropera, F. P.** (2019). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons, Inc.
- [30] **Carel.** (2012). *Evaporative cooling*. CAREL INDUSTRIES S.r.l.
- [31] **Yang, Y., Cui, G. & Lan, C. Q.** (2019). *Developments in evaporative cooling and enhanced evaporative cooling - a review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109230. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.037>
- [32] **Amer, O., Boukhanouf, R. & Ibrahim, H. G.** (2015). A review of Evaporative Cooling Technologies. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(2), 111–117. Erişim adresi <https://doi.org/10.7763/ijesd.2015.v6.571>
- [33] **Cha, J., Kim, T., Lim, S., Lee, H. & Shin, W. G.** (2019). Experimental study on the condensation and heat transfer of impinging steam jet on the water surface. *Annals of Nuclear Energy*, 133, 458–468. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.05.052>
- [34] **EN** (2008). *Electric Dishwashers for Household Use Methods for Measuring the Performance* (EN 50242).
- [35] **IEC** (2004). *Electric Dishwashers for Household Use - Methods for Measuring the Performance* (IEC-60436:2004).
- [36] **Jeong, G. & Kim, Y.** (2015). The effects of energy efficiency and environmental labels on appliance choice in South Korea. *Energy Efficiency*, 8, 559–576.
- [37] **Petronio, A.** (2011). *Numerical Investigation of evaporation and condensation within a tub*. (Doktora tezi). University of Trieste, School of Doctorate in Environmental and Industrial Fluid Mechanics, Trieste.
- [38] **Haider, J.** (2013). *Numerical Modelling of Evaporation and Condensation Phenomena*. (Master tezi). University of Stuttgart, Space Systems Institute, Stuttgart.
- [39] **Chen, Q., Yang, K., Wang, M., Pan, N. & Guo, Z.-Y.** (2010). A new approach to analysis and optimization of Evaporative Cooling System I: Theory. *Energy*, 35(6), 2448–2454. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.02.037>

- [40] **Vargaftik, N.B., Volkov, B.N. & Voljak, L.D.** (1983). International Tables of the Surface Tension of Water. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 12, 817-820.
- [41] **Carey, V. P.** (1992). Liquid-vapor phase-change phenomena. Hemisphere.
- [42] **Pichoff, B. E., Schydlower, M., & Stephenson, S. R.** (1994). Children at risk for accidental burns from hot tap water. *Texas medicine*, 90(11), 54–58.
- [43] **IEC** (2013). *Household and Similar Electrical Appliances Test Code for Determination of Airborne Acoustical Noise* (IEC 60704-2-14:2013).
- [44] **Url-2** <<https://www.tibco.com/reference-center/what-is-analysis-of-variance-anova>>, erişim tarihi: 10.04.2023.
- [45] **Url-3** <<https://support.minitab.com/en-us/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/coefficients-table/#coefficients>>, erişim tarihi: 10.04.2023.
- [46] **Law, M., & Jackson, D.** (2016). Residual plots for linear regression models with censored outcome data: A refined method for visualizing residual uncertainty. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 46(4), 3159–3171. Erişim adresi <https://doi.org/10.1080/03610918.2015.1076470>
- [47] **Feng, C., Li, L., & Sadeghpour, A.** (2020). A comparison of residual diagnosis tools for diagnosing regression models for Count Data. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1). Erişim adresi <https://doi.org/10.1186/s12874-020-01055-2>
- [48] **Dobson, A.** (2001). An introduction to generalized linear models, second edition. *Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science*. Erişim adresi <https://doi.org/10.1201/9781420057683>.
- [49] **Tukey, P. A.** (1983). Graphical methods. *Statistical Data Analysis*, 8–48. Erişim adresi <https://doi.org/10.1090/psapm/028/9885>
- [50] **Url-4** <<https://support.minitab.com/en-us/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/analysis-of-variance-table/#adj-ss>>, erişim tarihi 10.04.2023.

EKLER

EK A: Kalibrasyon Sertifikaları

EK B: Deneysel Sonuçlar





KALİBRASYON LABORATUVARI

AB-0028-K
HK3025
11-22

Sayfa 2/Toplam 3
Page 2 of 3

Makine/Cihaz Testo 440
Instrument/Device

Açıklamalar Cihaz Çözünürlüğü 0,01 m/s dir.
Explanations Ayar yapılması halinde kalibrasyon geçersizdir.

Cihazın laboratuvara kabul tarihi --
Date of receipt of Device

Kalibrasyon Metodu Kalibrasyon, TL 5/04 "Hız Kalibrasyonu Talimatı"na göre referans Isınan Tel Probu
Calibration Method kullanılarak, rüzgar tüneline referans okunan hız ile test cihazından okunan hızın karşılaştırılması yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm belirsizliği EA 4/02 M:2021 uluslararası standardına göre yapılmıştır.

Ölçüm Şartları Ölçüm, düşük türbülans seviyesine sahip, serbest çıkışlı akış profilinin
Measurement Conditions ortasında gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar Şartları (23±3)°C ve (45±20)%rH Bağıl nem
Laboratory Conditions

Ölçüm Sonuçları ve Ölçüm Belirsizliği Yalnızca bilgileri verilen cihaz için geçerlidir.
Measurement Results and Measurement Uncertainty

Referans Değer m/s	Okuma Değeri m/s	Hata m/s	Belirsizlik (±)m/s	Belirsizlik (±)%
2,57	2,50	-0,07	0,07	2,7
5,13	5,16	0,03	0,07	1,4
10,11	10,20	0,09	0,08	0,8

Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin, k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlanmaktadır.

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k= 2 which, for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanamaz çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Şekil A.1 : Testo-440 kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası.



ARÇELİK A.Ş.
Merkez Kalibrasyon Laboratuvarı
E-5 Karayolu Üzeri 34980 Tuzla-İstanbul/TÜRKİYE

KALİBRASYON SERTİFİKASI

ARÇ.2023
8

01-23

Kalibrasyon Etiketi
Calibration Mark

Sayfa No
Page Number

:3/5

Ölçüm Sonuçları:
Measurement Results

AC Gerilim (50Hz)

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
150 V	150,3 V	147,00 V	153,00 V	0,3 V	0,120 V	✓
160 V	160,3 V	156,80 V	163,20 V	0,3 V	0,120 V	✓
170 V	170,3 V	166,80 V	173,40 V	0,3 V	0,120 V	✓
180 V	180,2 V	176,40 V	183,60 V	0,2 V	0,120 V	✓
190 V	190,2 V	186,20 V	193,80 V	0,2 V	0,120 V	✓
200 V	200,1 V	196,00 V	204,00 V	0,1 V	0,120 V	✓
210 V	210 V	205,80 V	214,20 V	0 V	0,120 V	✓
220 V	219,9 V	215,60 V	224,40 V	-0,1 V	0,120 V	✓
230 V	230 V	225,40 V	234,60 V	0 V	0,120 V	✓
240 V	240,1 V	235,20 V	244,80 V	0,1 V	0,120 V	✓
250 V	250,3 V	245,00 V	255,00 V	0,3 V	0,120 V	✓

AC Akım (50 Hz)

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
25 mA	0,022 A	0,0245 A	0,0255 A	-0,003 A	0,0002 A	✗
50 mA	0,049 A	0,0490 A	0,0510 A	-0,001 A	0,0018 A	✗
100 mA	0,1 A	0,0980 A	0,1020 A	0,0 A	0,0018 A	✓
250 mA	0,25 A	0,2450 A	0,2550 A	0,00 A	0,0018 A	✓
1 A	1 A	0,980 A	1,020 A	0 A	0,0350 A	✓
5 A	4,999 A	4,900 A	5,100 A	-0,001 A	0,3500 A	✓
10 A	9,998 A	9,800 A	10,200 A	-0,002 A	0,3500 A	✓

Power (VA) (50Hz 220 V)

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
5 W	4,5 W	4,9 W	5,1 W	-0,5 W	0,0150 W	✗
10 W	9,8 W	9,8 W	10,2 W	-0,2 W	0,0300 W	✓
20 W	20,1 W	19,6 W	20,4 W	0,1 W	0,0600 W	✓
30 W	30,2 W	29,4 W	30,8 W	0,2 W	0,0600 W	✓
55 W	54,9 W	53,9 W	56,1 W	-0,1 W	0,1850 W	✓
220 W	219,7 W	215,6 W	224,4 W	-0,3 W	0,8600 W	✓
1100 W	1099,6 W	1078 W	1122 W	-0,4 W	2,20 W	✓
2200 W	2198,7 W	2156 W	2244 W	-1,3 W	4,40 W	✓
2200 kWh	2200 kWh	2156 kWh	2244 kWh	0 kWh	4,40 kWh	✓

Bu sertifika, Arçelik A.Ş. Merkez Kalibrasyon Laboratuvarının yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçerlidir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Tel: +90 (216) 585 8879/8878/8898/8923/8800 Fax: +90 (216) 423 2639 e-mail: mki@arcelik.com

Shrinkfilm: Public

FRM:2428-0

Şekil A.2 : VTS kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası 1.



ARÇELİK A.Ş.
Merkez Kalibrasyon Laboratuvarı
E-5 Karayolu Üzeri 34950 Tuzla-İstanbul/TÜRKİYE

ARÇ.2023
8

01-23

Kalibrasyon Etiketi
Calibration Mark

Sayfa No
Page Number

4/5

KALİBRASYON SERTİFİKASI

Ölçüm Sonuçları:

Measurement Results

AC Gerilim (60Hz)

Uygulanan Değer Applied Value	Okunan Değer Indicated Value	Alt Sınır Low Limit	Üst Sınır High Limit	Hata Error	Ölç. Belirsizliği Measurement Unc.	
150 V	150,3 V	147,00 V	153,00 V	0,3 V	0,120 V	✓
160 V	160,3 V	156,80 V	163,20 V	0,3 V	0,120 V	✓
170 V	170,3 V	166,60 V	173,40 V	0,3 V	0,120 V	✓
180 V	180,2 V	176,40 V	183,60 V	0,2 V	0,120 V	✓
190 V	190,2 V	186,20 V	193,80 V	0,2 V	0,120 V	✓
200 V	200,1 V	196,00 V	204,00 V	0,1 V	0,120 V	✓
210 V	210 V	205,80 V	214,20 V	0 V	0,120 V	✓
220 V	219,9 V	215,60 V	224,40 V	-0,1 V	0,120 V	✓
230 V	230 V	225,40 V	234,60 V	0 V	0,120 V	✓
240 V	240,1 V	235,20 V	244,80 V	0,1 V	0,120 V	✓
250 V	250,3 V	245,00 V	255,00 V	0,3 V	0,120 V	✓

AC Akım (60 Hz)

Uygulanan Değer Applied Value	Okunan Değer Indicated Value	Alt Sınır Low Limit	Üst Sınır High Limit	Hata Error	Ölç. Belirsizliği Measurement Unc.	
25 mA	0,022 A	0,0245 A	0,0255 A	-0,003 A	0,0002 A	✗
50 mA	0,049 A	0,0490 A	0,0510 A	-0,001 A	0,0018 A	✗
100 mA	0,1 A	0,0980 A	0,1020 A	0,000 A	0,0018 A	✓
250 mA	0,25 A	0,2450 A	0,2550 A	0,000 A	0,0018 A	✓
1 A	1 A	0,980 A	1,020 A	0,000 A	0,0350 A	✓
5 A	4,998 A	4,900 A	5,100 A	-0,002 A	0,3500 A	✓
10 A	9,999 A	9,800 A	10,200 A	-0,001 A	0,3500 A	✓

Power (VA) (60Hz 220 V)

Uygulanan Değer Applied Value	Okunan Değer Indicated Value	Alt Sınır Low Limit	Üst Sınır High Limit	Hata Error	Ölç. Belirsizliği Measurement Unc.	
5 W	4,5 W	4,9 W	5,1 W	-0,50 W	0,0150 W	✗
10 W	9,8 W	9,8 W	10,2 W	-0,20 W	0,0300 W	✓
20 W	20,1 W	19,8 W	20,4 W	0,10 W	0,0600 W	✓
30 W	30,2 W	29,4 W	30,6 W	0,20 W	0,0900 W	✓
55 W	54,9 W	53,9 W	56,1 W	-0,10 W	0,1650 W	✓
220 W	219,7 W	215,6 W	224,4 W	-0,3 W	0,6600 W	✓
1100 W	1099,9 W	1078 W	1122 W	0 W	2,20 W	✓
2200 W	2199,5 W	2156 W	2244 W	-1 W	4,40 W	✓
2200 KWh	2201 KWh	2156 KWh	2244 KWh	1 KWh	4,40 KWh	✓



Bu sertifika, Arçelik A.Ş. Merkez Kalibrasyon Laboratuvarının yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.

FRM:2428-0

İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçersizdir.

This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.

Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Tel: +90 (216) 585 8678/8678/8698/8923/8800

Fax: +90 (216) 423 2639

e-mail: mkl@arcelik.com

Sensitivity: Public

Şekil A.3 : VTS kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası 2.



ARÇELİK A.Ş.
Merkez Kalibrasyon Laboratuvarı
E-5 Karayolu Üzeri 34920 Tuzla-İstanbul/TÜRKİYE

ARÇ-2023
8

01-23

Kalibrasyon Etiket
Calibration Mark

Sayı No : 55

Sayfa No : 3/5

KALİBRASYON SERTİFİKASI
Calibration Certificate

Ölçüm Sonuçları:
Measurement Results

Sıcaklık Ölçümleri (°C)

1. Kanal

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
30 °C	29,57 °C	29,40 °C	30,60 °C	-0,43 °C	0,50 °C	✓
60 °C	59,64 °C	58,80 °C	61,20 °C	-0,36 °C	0,50 °C	✓
90 °C	89,65 °C	88,20 °C	91,80 °C	-0,35 °C	0,50 °C	✓

2. Kanal

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
30 °C	29,57 °C	29,40 °C	30,60 °C	-0,43 °C	0,50 °C	✓
60 °C	59,69 °C	58,80 °C	61,20 °C	-0,31 °C	0,50 °C	✓
90 °C	89,67 °C	88,20 °C	91,80 °C	-0,33 °C	0,50 °C	✓

3. Kanal

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
30 °C	29,48 °C	29,40 °C	30,60 °C	-0,52 °C	0,50 °C	✓
60 °C	59,54 °C	58,80 °C	61,20 °C	-0,46 °C	0,50 °C	✓
90 °C	89,56 °C	88,20 °C	91,80 °C	-0,44 °C	0,50 °C	✓

4. Kanal

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
30 °C	29,45 °C	29,40 °C	30,60 °C	-0,55 °C	0,50 °C	✓
60 °C	59,48 °C	58,80 °C	61,20 °C	-0,52 °C	0,50 °C	✓
90 °C	89,55 °C	88,20 °C	91,80 °C	-0,45 °C	0,50 °C	✓

5. Kanal

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
30 °C	29,52 °C	29,40 °C	30,60 °C	-0,48 °C	0,50 °C	✓
60 °C	59,56 °C	58,80 °C	61,20 °C	-0,44 °C	0,50 °C	✓
90 °C	89,57 °C	88,20 °C	91,80 °C	-0,43 °C	0,50 °C	✓

6. Kanal

Uygulanan Değer <i>Applied Value</i>	Okunan Değer <i>Indicated Value</i>	Alt Sınır <i>Low Limit</i>	Üst Sınır <i>High Limit</i>	Hata <i>Error</i>	Ölç. Belirsizliği <i>Measurement Unc.</i>	
30 °C	29,42 °C	29,40 °C	30,60 °C	-0,58 °C	0,50 °C	✓
60 °C	59,46 °C	58,80 °C	61,20 °C	-0,54 °C	0,50 °C	✓
90 °C	89,46 °C	88,20 °C	91,80 °C	-0,51 °C	0,50 °C	✓



Bu sertifika, Arçelik A.Ş. Merkez Kalibrasyon Laboratuvarının yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.
İmzasız ve mührsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.
Tel: +90 (216) 585 8679/8676/8699/8923/8800

Fax: +90 (216) 423 2639

e-mail: mkl@arcelik.com

Şekil A.4 : VTS kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası 3.

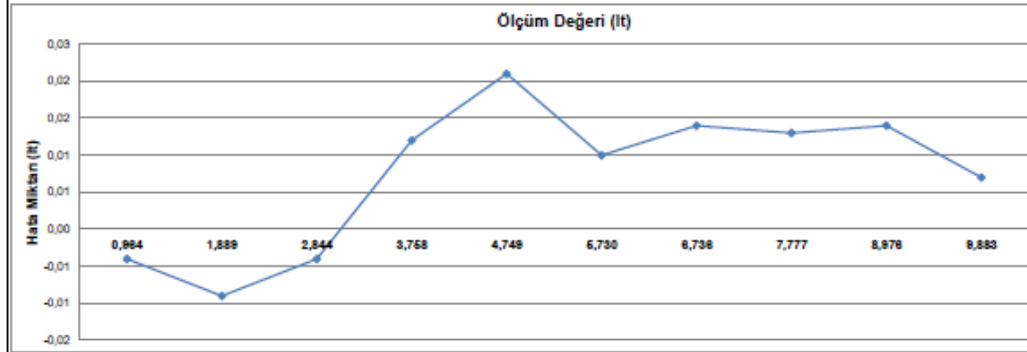
Sayfa No :3/3
 Page Number

Ölçüm Sonuçları:
 Measurement Results

Harcanan Su Miktarı (Lt)

Uygulanan Değer Applied Value	Okunan Değer Indicated Value	Ast Sınır Low Limit	Üst Sınır High Limit	Hata Error	Ölç.Belirsizliği Measurement Unc.	
0,964 lt	0,96 lt	0,76 lt	1,17 lt	0,00 lt	0,02 lt	✓
1,889 lt	1,88 lt	1,69 lt	2,09 lt	-0,01 lt	0,04 lt	✓
2,844 lt	2,84 lt	2,64 lt	3,05 lt	0,00 lt	0,05 lt	✓
3,768 lt	3,77 lt	3,56 lt	3,97 lt	0,01 lt	0,06 lt	✓
4,748 lt	4,77 lt	4,54 lt	4,96 lt	0,02 lt	0,07 lt	✓
5,730 lt	5,74 lt	5,52 lt	5,94 lt	0,01 lt	0,09 lt	✓
6,736 lt	6,75 lt	6,52 lt	6,95 lt	0,01 lt	0,10 lt	✓
7,777 lt	7,79 lt	7,56 lt	7,99 lt	0,01 lt	0,11 lt	✓
8,976 lt	8,99 lt	8,76 lt	9,19 lt	0,01 lt	0,13 lt	✓
9,883 lt	9,89 lt	9,66 lt	10,10 lt	0,01 lt	0,14 lt	✓

Ölçümlerin Grafik Gösterimi



Bu sertifika, Arçelik A.Ş. Merkez Kalibrasyon Laboratuvarının yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.
 İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçersizdir.

This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.

Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Tel: +90 (216) 585 8678/8678/8698/8923/8800

Sensivity: Public

Fax: +90 (216) 423 2639

e-mail: mki@arcelik.com

FRM-2428-0

Şekil A.5 : Debimetre kalibrasyon sertifikası ölçüm sonucu sayfası.

EK B

Çizelge B.1: Deneysel çalışmaya ait ölçüm sonuçları.

	Test No.	Kurutma Sistemi	T_{scd} [°C]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	T_{os} [°C]	T_{tab} [°C]	T_{kab} [°C]	t_{scd} [dk]	t_{krt} [dk]	E_{scd} [Wh]	E_{fan} [Wh]	E_{krt} [Wh]	t_{tot} [dk]	E_{tot} [Wh]	KP [%]	Nem [g]
	0	Av.	Ref	70,0	1	8/18	-	-	-	22,00	18,00	625	2	627	66,69	1150	77	-
Koşul 1	1	KÇ	70,0	8	8/18	-	-	-	-	21,00	18,00	630	4	634	68,00	1107	83,2	0,880
	2	KÇ	70,1	8	8/18	-	-	-	-	22,15	18,00	680	3	683	70,00	1218	79,1	1,020
	3	KÇ	70,2	8	8/18	-	-	-	-	21,30	18,00	627	4	631	68,00	1125	80,5	0,690
	4	KÇ	70,1	8	8/18	-	-	-	-	22,00	18,00	655	4	659	70,00	1210	84,4	0,890
	Av.	KÇ	70,1	8	8/18	-	-	-	-	21,61	18,00	648	4	652	69,00	1165	81,8	0,870
Koşul 2	1	KÇ	70,1	8	18,00	-	-	-	-	21,80	18,00	651	7	658	71,00	1211	81,2	1,390
	2	KÇ	70,1	8	18,00	-	-	-	-	21,00	18,00	625	7	632	68,00	1109	82,1	1,890
	3	KÇ	70,1	8	18,00	-	-	-	-	21,00	18,00	622	7	629	68,00	1114	80,6	1,810
	4	KÇ	70,2	8	18,00	-	-	-	-	22,00	18,00	649	7	656	69,00	1182	82,6	1,390
	Av.	KÇ	70,1	8	18,00	-	-	-	-	21,45	18,00	637	7	644	69,00	1154	81,6	1,620
Koşul 3	1	KÇ	70,1	0	0,00	4,0	-	-	-	21,00	18,00	624	0	624	68,00	1173	78,5	0,580
	2	KÇ	69,8	0	0,00	4,0	-	-	-	21,30	18,00	633	0	633	67,00	1134	79,4	0,230
	3	KÇ	70,1	0	0,00	4,0	-	-	-	21,00	18,00	629	0	629	65,00	1080	79,4	0,110
	Av.	KÇ	70,0	0	0,00	4,0	-	-	-	21,10	18,00	629	0	629	66,67	1129	79,1	0,307
Koşul 4	1	KÇ	70,0	8	18,00	4,0	-	-	-	21,11	18,00	639	7	646	67,00	1155	86,2	2,02
	2	KÇ	70,0	8	18,00	4,0	-	-	-	21,00	18,00	633	7	640	65,00	1105	85,3	1,63
	3	KÇ	70,0	8	18,00	4,0	-	-	-	21,50	18,00	640	7	647	67,00	1155	85,3	1,5
	Av.	KÇ	70,0	8	18,00	4,0	-	-	-	21,20	18,00	637	7	644	66,33	1138	85,6	1,716
Koşul 5	1	KÇ+HYA	70,2	8	18,00	4,0	-	-	-	21,40	18,00	635	7	642	68,00	1192	85,6	-
	2	KÇ+HYA	70,6	8	18,00	4,0	-	-	-	22,00	18,00	655	7	662	69,00	1214	86,8	-
	3	KÇ+HYA	70,1	8	18,00	4,0	-	-	-	21,37	18,00	636	7	643	65,00	1122	85,9	-
	4	KÇ+HYA	70,2	8	18,00	4,0	-	-	-	21,69	18,00	645	7	652	68,00	1191	86,2	-
	Av.	KÇ+HYA	70,3	8	18,00	4,0	-	-	-	21,62	18,00	643	7	649	67,50	1180	86,1	-

Çizelge B.1 (devam): Deneysel çalışmaya ait ölçüm sonuçları.

	Test No.	Kurutma Sistemi	T_{scd} [°C]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	T_{os} [°C]	T_{lab} [°C]	T_{kab} [°C]	t_{scd} [dk]	t_{krt} [dk]	E_{scd} [Wh]	E_{fan} [Wh]	E_{krt} [Wh]	t_{tot} [dk]	E_{tot} [Wh]	KP [%]	Nem [g]
Koşul 6	1	KÇ+HYA	70,4	8	15,70	4,0	42,5	58,0	41,4	21,68	18,00	641	6	647	66,00	1155	91,8	-
	2	KÇ+HYA	70,5	8	13,47	4,0	43,0	58,5	41,7	21,20	15,80	634	5	639	62,00	1106	90,9	-
	3	KÇ+HYA	70,4	8	14,97	4,0	42,4	57,0	43,7	21,20	17,00	629	6	635	65,00	1122	90,9	-
	Av.	KÇ+HYA	70,4	8	14,71	4,0	42,6	57,8	42,3	21,36	16,93	635	6	640	64,33	1128	91,2	-
Koşul 7	1	KÇ+HYA	65,0	8	11,78	4,0	42,2	54,3	41,4	17,70	13,50	517	5	522	58,00	1043	85,3	-
	2	KÇ+HYA	65,0	8	15,00	4,0	42,2	52,5	39,7	17,48	17,31	515	7	522	62,00	1018	87,6	-
	3	KÇ+HYA	65,1	8	9,40	4,0	42,0	55,4	40,7	17,30	11,20	517	7	524	56,00	1042	85,0	-
	4	KÇ+HYA	65,0	8	17,00	4,0	42,4	52,3	39,3	16,65	18,70	502	7	509	62,00	1010	86,8	-
	Av.	KÇ+HYA	65,0	8	13,30	4,0	42,2	53,6	40,3	17,28	15,18	513	7	519	59,50	1028	86,2	-
Koşul 8	1	KÇ+HYA	60,5	8	7,68	4,0	41,8	51,7	41,7	13,70	9,70	408	3	411	50,00	902	80,9	-
	2	KÇ+HYA	60,5	8	12,23	4,0	42,4	50,0	38,8	14,30	14,40	426	5	431	56,00	963	84,7	-
	3	KÇ+HYA	60,3	8	9,00	4,0	41,8	50,9	40,3	14,28	11,00	421	4	425	52,00	933	83,2	-
	4	KÇ+HYA	60,4	8	11,70	4,0	42,0	50,3	38,3	13,75	13,86	412	7	419	54,00	912	82,6	-
	5	KÇ+HYA	60,3	8	11,81	4,0	42,0	50,4	37,6	14,00	14,00	417	5	422	54,00	909	83,2	-
	Av.	KÇ+HYA	60,4	8	10,48	4,0	42,0	50,6	39,3	14,01	12,59	417	5	422	53,20	924	82,9	-
Koşul 9	1	KÇ+HYA	55,4	8	5,80	4,0	41,9	47,8	41,0	10,70	8,00	324	3	327	46,00	815	74,4	-
	2	KÇ+HYA	55,5	8	3,68	4,0	42,6	49,6	44,1	10,50	5,70	310	2	312	43,00	820	73,2	-
	3	KÇ+HYA	55,0	8	7,15	4,0	42,0	47,2	40,7	10,47	8,90	312	3	315	46,00	813	75,3	-
	Av.	KÇ+HYA	55,3	8	5,54	4,0	42,2	48,2	42,0	10,56	7,53	315	3	318	45,00	816	74,3	-
Koşul 10	1	KÇ+HYA	60,4	8	9,50	3,5	42,0	50,7	42,1	13,85	11,80	413	5	418	53,00	939	85,3	-
	2	KÇ+HYA	60,2	8	13,10	3,5	42,0	50,0	40,2	13,75	14,88	407	5	412	55,00	901	84,7	-
	3	KÇ+HYA	60,4	8	11,10	3,5	42,9	50,2	40,0	15,54	13,23	464	4	468	52,00	874	86,8	-
	Av.	KÇ+HYA	60,3	8	11,23	3,5	42,3	50,3	40,8	14,38	13,30	428	5	433	53,33	905	85,6	-
Koşul 11	1	KÇ+HYA	60,4	8	15,67	3,0	42,3	49,4	39,8	13,88	17,47	413	5	418	56,00	875	83,2	-
	2	KÇ+HYA	60,2	8	16,23	3,0	42,3	48,7	39,8	13,73	18,77	406	5	411	58,00	897	83,4	-
	3	KÇ+HYA	60,5	8	12,06	3,0	42,0	51,0	41,2	14,00	14,20	411	5	416	55,00	925	83,8	-
	Av.	KÇ+HYA	60,3	8	14,65	3,0	42,2	49,7	40,3	13,87	16,81	410	5	415	56,33	899	83,5	-

Çizelge B.1 (devam): Deneysel çalışmaya ait ölçüm sonuçları.

	Test No.	Kurutma Sistemi	T_{scd} [°C]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	T_{os} [°C]	T_{lab} [°C]	T_{kab} [°C]	t_{scd} [dk]	t_{krt} [dk]	E_{scd} [Wh]	E_{fan} [Wh]	E_{krt} [Wh]	t_{tot} [dk]	E_{tot} [Wh]	KP [%]	Nem [g]
Koşul 12	1	KÇ+HYA	60,7	10	7,00	4,0	42,1	51,2	40,4	13,80	10,00	410	4	414	48,00	876	84,1	-
	2	KÇ+HYA	60,4	10	5,45	4,0	41,9	52,0	43,4	13,80	7,26	417	3	420	47,00	898	85,6	-
	3	KÇ+HYA	60,5	10	4,75	4,0	42,2	53,2	43,5	14,20	6,60	424	3	427	48,00	948	80,3	-
	4	KÇ+HYA	60,3	10	8,60	4,0	41,9	50,4	39,0	14,40	10,00	419	5	424	53,00	937	80,6	-
	5	KÇ+HYA	60,3	10	10,35	4,0	42,1	50,0	37,2	14,40	12,21	429	6	435	53,00	931	82,4	-
	Av.	KÇ+HYA	60,5	10	7,23	4,0	42,0	51,4	40,7	14,12	9,21	420	4	424	49,80	918	82,6	-
Koşul 13	1	KÇ+HYA	60,1	7	13,50	4,0	42,0	50,4	37,4	14,37	16,64	424	4	428	59,00	958	81,5	-
	2	KÇ+HYA	59,7	7	13,00	4,0	42,0	50,0	37,5	14,37	14,80	420	4	424	57,00	923	80,6	-
	3	KÇ+HYA	59,7	7	13,50	4,0	42,0	49,8	37,5	14,20	15,20	417	4	421	56,00	927	82,4	-
	Av.	KÇ+HYA	59,8	7	13,33	4,0	42,0	50,1	37,5	14,31	15,55	420	4	424	57,33	936	81,5	-
Koşul 14	1	KÇ+HYA	60,4	6	12,68	4,0	42,0	50,0	39,0	14,30	14,47	423	4	427	56,00	955	77,1	-
	2	KÇ+HYA	60,4	6	14,50	4,0	42,0	49,8	38,0	14,00	16,31	415	4	419	58,00	954	77,9	-
	3	KÇ+HYA	60,5	6	14,77	4,0	42,2	50,0	38,0	14,15	16,50	420	4	424	57,00	934	76,2	-
	Av.	KÇ+HYA	60,4	6	13,98	4,0	42,1	49,9	38,3	14,15	15,76	419	4	423	57,00	948	77,1	-
Koşul 15	1	KÇ+HYA	60,6	15	8,83	4,0	42,0	49,8	36,6	14,16	10,80	426	8	434	52,00	961	81,2	-
	2	KÇ+HYA	60,3	15	9,28	4,0	42,0	49,8	36,5	13,75	11,40	411	8	419	51,00	898	81,2	-
	3	KÇ+HYA	60,3	15	9,67	4,0	42,0	49,3	37,0	13,76	11,64	411	9	420	52,00	910	79,7	-
	4	KÇ+HYA	60,2	15	8,00	4,0	42,0	50,2	36,4	14,10	10,00	418	10	428	51,00	925	83,2	-
	5	KÇ+HYA	60,5	15	7,00	4,0	42,0	50,0	37,1	14,90	8,70	429	9	438	51,00	967	82,6	-
	Av.	KÇ+HYA	60,4	15	8,56	4,0	42,0	49,8	36,7	14,13	10,51	416	8	424	51,40	932	81,6	-
Koşul 16	1	KÇ+HYA	60,3	8	1,50	3,5	54,0	57,8	49,3	14,00	3,50	417	1	418	46,00	936	80,9	-
	2	KÇ+HYA	60,5	8	1,00	3,5	53,5	57,0	48,5	13,20	3,60	390	1	391	43,00	899	79,1	-
	3	KÇ+HYA	60,6	8	1,38	3,5	54,0	57,5	50,4	14,43	3,60	429	1	430	43,00	907	81,2	-
	Av.	KÇ+HYA	60,5	8	1,29	3,5	53,8	57,4	49,4	13,88	3,57	404	1	405	44,00	914	80,4	-

Çizelge B.1 (devam): Deneysel çalışmaya ait ölçüm sonuçları.

	Test No.	Kurutma Sistemi	T_{scd} [°C]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	T_{os} [°C]	T_{lab} [°C]	T_{kab} [°C]	t_{scd} [dk]	t_{krt} [dk]	E_{scd} [Wh]	E_{fan} [Wh]	E_{krt} [Wh]	t_{tot} [dk]	E_{tot} [Wh]	KP [%]	Nem [g]
Koşul 17	1	KÇ+HYA	44,6	0	0,00	0,0	41,8	42,0	36,9	4,70	0,00	132	0	132	34,00	667	39,4	-
	2	KÇ+HYA	44,2	0	0,00	0,0	41,3	42,0	37,2	4,61	0,00	129	0	129	34,00	665	36,5	-
	3	KÇ+HYA	43,9	0	0,00	0,0	41,3	42,0	37,3	4,60	0,00	128	0	128	34,00	672	39,1	-
	Av.	KÇ+HYA	44,2	0	0,00	0,0	41,5	42,0	37,1	4,64	0,00	130	0	130	34,00	668	38,3	-
Koşul 18	1	KÇ+HYA	60,4	10	16,25	3,0	42,2	49,0	38,8	13,52	18,00	406	9	415	58,00	902	84,1	-
	2	KÇ+HYA	60,2	10	9,33	3,0	41,8	50,7	39,4	13,55	11,45	407	5	412	51,00	894	84,7	-
	Av.	KÇ+HYA	60,3	10	12,79	3,0	42,0	49,9	39,1	13,54	14,73	407	7	414	54,50	898	84,4	-
Koşul 19	1	KÇ+HYA	60,4	15	13,75	3,0	42,0	48,5	34,5	14,20	16,00	422	17	439	58,00	976	83,5	-
	2	KÇ+HYA	60,5	15	16,00	3,0	43,5	47,2	34,5	14,00	18,00	418	18	436	59,00	949	85,6	-
	3	KÇ+HYA	60,8	15	10,50	3,0	42,0	49,2	36,4	14,25	12,60	427	13	440	55,00	986	85,3	-
	4	KÇ+HYA	60,6	15	10,20	3,0	42,0	49,8	36,4	14,00	12,55	421	13	434	54,00	959	82,9	-
	Av.	KÇ+HYA	60,6	15	12,61	3,0	42,4	48,7	35,5	14,11	14,79	422	16	438	56,50	968	84,3	-
Koşul 20	1	KÇ+HYA	60,3	8	10,00	4,0	42,1	51,3	38,0	14,35	12,00	419	4	423	54,00	934	85,0	-
	2	KÇ+HYA	60,5	8	10,00	4,0	41,9	50,5	36,1	14,16	15,24	412	6	418	53,00	930	83,8	-
	3	KÇ+HYA	60,3	8	10,00	4,0	42,0	51,0	37,6	15,20	14,20	422	5	427	52,00	906	84,4	-
	Av.	KÇ+HYA	60,4	8	10,00	4,0	42,0	50,9	37,2	14,57	13,81	418	5	423	53,00	923	84,4	-
Koşul 21	1	KÇ+HYA	60,4	15	10,00	4,0	39,0	49,9	34,6	13,50	12,25	417	12	429	52,00	924	86,2	-
	2	KÇ+HYA	60,5	15	10,00	4,0	41,0	50,3	34,9	14,20	12,00	427	13	440	53,00	966	84,7	-
	3	KÇ+HYA	60,4	15	10,00	4,0	41,5	49,8	34,7	14,17	11,83	421	13	434	53,00	947	85,3	-
	Av.	KÇ+HYA	60,4	15	10,00	4,0	40,5	50,0	34,7	13,96	12,03	422	13	434	52,67	946	85,4	-
Koşul 22	1	KÇ+HYA	60,2	8	5,00	4,0	45,7	53,0	41,0	13,80	7,24	412	3	415	48,00	925	81,5	-
	2	KÇ+HYA	60,2	8	5,00	4,0	45,2	53,6	40,8	13,75	8,10	412	3	415	48,00	901	83,5	-
	3	KÇ+HYA	60,3	8	5,00	4,0	46,3	53,2	42,2	14,33	7,00	425	3	428	48,00	931	81,5	-
	Av.	KÇ+HYA	60,2	8	5,00	4,0	45,8	53,3	41,3	13,96	7,45	416	3	419	48,00	919	82,2	-

Çizelge B.1 (devam): Deneysel çalışmaya ait ölçüm sonuçları.

	Test No.	Kurutma Sistemi	T_{scd} [°C]	Debi [l/s]	t_{fan} [dk]	Su_{krt} [l]	T_{os} [°C]	T_{tab} [°C]	T_{kab} [°C]	t_{scd} [dk]	t_{krt} [dk]	E_{scd} [Wh]	E_{fan} [Wh]	E_{krt} [Wh]	t_{tot} [dk]	E_{tot} [Wh]	KP [%]	Nem [g]
Koşul 23	1	KÇ+HYA	60,1	15	5,00	4,0	43,0	52,3	38,4	13,83	8,75	415	6	421	49,00	931	82,6	-
	2	KÇ+HYA	60,4	15	5,00	4,0	43,1	52,9	38,6	14,38	7,00	422	7	429	48,00	941	84,4	-
	3	KÇ+HYA	60,2	15	5,00	4,0	42,7	52,0	38,1	13,75	7,35	412	8	420	48,00	920	84,1	-
	Av.	KÇ+HYA	60,2	15	5,00	4,0	42,9	52,4	38,4	13,99	7,70	416	7	423	48,33	931	83,7	-
Koşul 24	1	KÇ+HYA	58,0	8	5,00	4,0	44,3	51,2	40,0	12,50	7,30	370	2	372	46,75	888	83,8	-
	2	KÇ+HYA	58,0	8	5,00	4,0	42,5	50,7	38,9	12,75	8,66	367	3	370	48,00	867	84,1	-
	3	KÇ+HYA	58,0	8	5,00	4,0	44,4	51,2	40,2	12,50	7,00	376	3	379	46,25	883	83,2	-
	Av.	KÇ+HYA	58,0	8	5,00	4,0	43,7	51,1	39,7	12,58	7,65	371	3	374	47,00	879	83,7	-



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Rahmi Mert Akkūlah

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 Eylül' den beri Arçelik A.Ş. Merkez Arge'de Temizleme ve Tekstil Teknolojileri departmanında Arge Mühendisi olarak çalışmaya devam ediyor.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Akkūlah, R. M.** 2023. Ev Tipi Bulaşık Makinesinde Kurutma Sıcaklığı ve Sirkülasyon Havası Debisi Parametrelerinin Genel Performansa Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Uluslararası Kongre- *ULIBTK 2023: Uluslararası Katılımlı 24. Isı Bilimi ve Tekniğı Kongresi*, 6-8 Eylül, 2023 Ankara, Türkiye.
- **Akkūlah, R. M., Efe, A., Arslan, Z. Y., Hatipoğlu, Ö., & Ergen, A.** 2023. Bulaşık makinesinde hızlı kurutma yöntemi ve hava yönlendirme aparatı. Patent başvuru numarası: 2023E00025 TR .