

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULAŞIK MAKİNESİ ISIL ANALİZ VE MODELLEME
ÇALIŞMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Tuğrul KODAZ**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ISI-AKIŞKAN

OCAK 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULAŞIK MAKİNESİ ISIL ANALİZ VE MODELLEME
ÇALIŞMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Tuğrul KODAZ
503051115**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Yard.Doç.Dr. Y. Erhan BÖKE
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet DURMAYAZ (İ.T.Ü.)
Yard.Doç.Dr. Necmi KAPTAN (İ.T.Ü.)**

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Yard. Doç. Dr. Y. Erhan BÖKE'ye teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Şemsettin EKSERT ve Sn. Dr. Cemil İNAN şahsında teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen Sn. Fatih ÖZKADI ve Sn. Yalçın GÜLDALI'ya, değerli fikirleri ve eleştirileriyle Sn. Alper SOYSAL ve Bekir ÖZYURT'a, deneysel çalışmalarındaki katkılarından dolayı Sn. Ercan KURTULDU ve Sn. Mehmet KAYA'ya ve tüm Ar-Ge Termodinamik Teknolojileri Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım boyunca verdikleri destekten dolayı tüm Ar-Ge Yüksek Lisans Öğrencileri'ne teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, eğitimimdeki destekleri için tüm İTÜ. Makina Fakültesi öğretim üyelerine, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen AİLEME ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2008

Tuğrul KODAZ

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Bulaşık Makinesinin Tanıtılması	3
2. ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI	8
2.1 Literatür Araştırması	8
2.1.1 Pompa ve Motor Etkinliği	9
2.1.2 Sıcaklık-Zaman Bağlılıkları	10
2.1.3 Su Seviyesinin Azaltılması	10
2.1.4 Alttan ve Üstten Sprey Yapan Kollar	11
2.1.5 Son Durulama Suyunun Tekrar Kullanımı	11
2.1.6 Isı Tamponu	11
2.1.7 Isı Değiştiricisi	12
2.1.8 Ekstra Isıtma Olmadan Kurutma	13
2.1.9 Sıcak Durulama Safhasında Daha Düşük Sıcaklıkta Su Kullanmanın Enerji Tüketimine Etkisi	13
2.1.10 Enerji Kazançlı Program Seçimleri	14
2.2 Patent Çalışmaları	15
3. BULAŞIK MAKİNESİ ENERJİ BİLANÇOSU	26
3.1 Deney Düzenegi	27
3.1.1 Termokupllar	27
3.1.2 Isı Akısı Sensörleri	28
3.1.3 Debimetre	29
3.1.4 Termal Kamera	30
3.1.5 Veri Toplama Üniteleri	31
3.1.6 Deney Makinesi ve Yükler	33

3.1.7 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı	34
3.1.8 Yayma Katsayısı Ölçüm Cihazı	38
3.2 Ölçümler	38
3.2.1 Veri Toplama Ünitesi Kalibrasyonu	38
3.2.2 Sıcaklık Ölçümleri	41
3.2.3 Isı Akısı Ölçümleri	47
3.2.4 Isıl Görüntüleme Çalışmaları	49
3.3 Enerji Bilançosu Hesabı	58
3.3.1 50°C Ekonomik Yıkama Programı Enerji Bilançosu	58
4. BULAŞIK MAKİNESİ ISIL MODELİ	72
4.1 Isıtıcı Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	73
4.2 Su Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	76
4.3 Kazan Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	78
4.4 Kazan Ses Yalıtımı Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	80
4.4.1 Kazan Ses Yalıtımı Ön Bölgesi	81
4.4.2 Kazan Ses Yalıtımı Arka Bölgesi	81
4.4.3 Kazan Ses Yalıtımı Sağ Bölgesi	81
4.4.4 Kazan Ses Yalıtımı Sol Bölgesi	81
4.4.5 Kazan Ses Yalıtımı Üst Bölgesi	81
4.4.6 Kazan Ses Yalıtımı Alt Bölgesi	82
4.5 Denge Ağırlığı Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	84
4.6 Kabin Sol Hava Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	85
4.7 Kabin Alt Hava Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	86
4.8 Kabin Ön Hava Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	87
4.9 Kabin Üst Hava Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	88
4.10 Dış Kabin Sol Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	89
4.11 Dış Kabin Sağ Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	90
4.12 Dış Kabin Ön Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	91
4.13 Dış Kabin Üst Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	92
4.14 Dış Kabin Alt Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	93
4.15 Keçe Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	94
4.16 Motor Kontrol Hacmi Enerji Dengesi	96
4.17 Model Veri Girişleri	98
4.18 Isıl Modelin Parametrik Analizi ve Doğrulaması	101
4.18.1 Isıl Model Parametrik Analiz	101
4.18.2 Isıl Model Doğrulama	113
5. SONUÇ	120
KAYNAKLAR	123
EKLER	125
ÖZGEÇMİŞ	127

KISALTMALAR

ECCP	: European Climate Change Programme
UNFCCC	: The United Nations Framework Convention on Climate Change
FDM	: Faz Değiştiren Malzemeler
GEA	: Group of Efficient Appliances
vH&K	: Van Holsteijn en Kemna
RTD	: Resistance Temperature Detector

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1: Bulaşık Makinesi Yıkama Programları	7
Tablo 2.1: Kazançlı Programlar Enerji ve Su Tüketimleri.....	15
Tablo 3.1: Bulaşık Makinesi Standart Yükler ve Ağırlıkları	33
Tablo 3.2: Termokupl Yerleşim Yerleri.....	41
Tablo 3.3: Bulaşık Makinesi Enerji Tüketimi Değerleri.....	58
Tablo 3.4: Sisteme Giren Ve Tahliye Edilen Su Miktarları	60
Tablo 3.5: Sisteme Giren ve Çıkan Su İle Giren ve Çıkan Enerji Miktarları	60
Tablo 3.6: Kurutma Sonu İçin Enerji Bilançosu	61
Tablo 3.7: Soğuk Yıkama Adımı Su ve Yük Depo Miktarları.....	64
Tablo 3.8: Sıcak Yıkama Adımı Su ve Yük Depo Miktarları	66
Tablo 3.9: Soğuk Durulama Adımı Su ve Yük Depo Miktarları.....	68
Tablo 3.10: Sıcak Durulama Adımı Su ve Yük Depo Miktarları.....	69
Tablo 4.1: Benzeşim–DeneySEL Enerji Tüketimi Karşılaştırma Sonuçları	104
Tablo 4.2: Farklı Su Giriş Sıcaklıklarının Ana Yıkama Isıtma Süresi, Ana Yıkama Başlangıç Sıcaklığına ve Enerji Tüketimine Etkisi	105
Tablo 4.3: Farklı Isıtıcı Güçlerinin Ana Yıkama Isıtma Süresine ve Enerji Tüketimine Etkisi.....	106
Tablo 4.4: Farklı Sıcaklık Ayar Değerlerinin Ana Yıkama-Sıcak Durulama Sürelerine ve Enerji Tüketime Etkisi.....	107
Tablo 4.5: Farklı Kazan Ses Yalıtımı Özgöl Isı Değerlerinin Ana Yıkama-Sıcak Durulama Sürelerine ve Enerji Tüketime Etkisi	108
Tablo 4.6: Farklı Kazan Ses Yalıtımı Isı İletim Katsayısı Değerlerinin Sıcak Durulama Isıtma Süresine ve Enerji Tüketimine Etkisi	109
Tablo 4.7: Farklı Sistem/Yük Başlangıç Sıcaklıklarının Ana Yıkama Başlangıç Sıcaklığına-Isıtma Süresine ve Enerji Tüketimine Etkisi	110
Tablo 4.8: Farklı Bölgelerdeki Yalıtım Uygulamasının Ana Yıkama Sonu Sıcaklığına ve Enerji Tüketimine Etkisi	112
Tablo 4.9: Farklı Yük Miktarlarının Ana Yıkama Isıtma Süresine, Ana Yıkama Sonu Su Sıcaklığına ve Enerji Tüketimine Etkisi	113
Tablo 4.10: Yarım Yük/Yüksüz Durumda Enerji Tüketimi DeneySEL-Benzeşim Karşılaştırması.....	114
Tablo 4.11: Yalıtım Durumunda Enerji Tüketimi DeneySEL-Benzeşim Karşılaştırması.....	115
Tablo 4.12: Düşük Şebeke Su Sıcaklığı Durumunda Enerji Tüketimi DeneySEL/Benzeşim Karşılaştırması	117
Tablo 4.13: Yüksek Şebeke Su Sıcaklığı DeneySEL/Benzeşim Karşılaştırması	118
Tablo 4.14: Farklı Sıcaklık Ayarları Enerji Tüketimi DeneySEL/Benzeşim Doğrulaması	119
Tablo A.1: Sıcaklık kalibrasyonu uygulanan ve ölçülen sıcaklık değerleri.....	125
Tablo A.2: Enerji tüketim kalibrasyonu uygulanan ve ölçülen sıcaklık değerleri ..	126

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1: Ön Panel Demontaj Resmi.....	3
Şekil 1.2: Yıkama Grubu Demontaj Resmi	4
Şekil 1.3: Kapı Grubu Demontaj Resmi.....	5
Şekil 1.4: Kazan Grubu Demontaj Resmi.....	6
Şekil 1.5: Bulaşık Makinesi Temel Bileşenleri.....	6
Şekil 2.1: Ses ve Isı İzolasyonu İçi Kurutma Kanalı Uygulaması	16
Şekil 2.2: Sac Arası Yalıtım Uygulaması.....	17
Şekil 2.3: Bulaşık Makinesi Soğutma Kanalı Uygulaması.....	18
Şekil 2.4: Ses Yalıtımı Altı Isı Yalıtımı Uygulaması.....	18
Şekil 2.5: Kazan Etrafı Isıtıcı Uygulaması	19
Şekil 2.6: Şerit Isı Yalıtımı Uygulaması.....	19
Şekil 2.7: Faz Değiştiren Malzeme İle Kurutma Performans Arttırma Uygulaması	20
Şekil 2.8: Yıkayıcı Atık Su Isı Değiştiricisi	21
Şekil 2.9: Yıkayıcı Faz Değiştiren Malzemeli Isı Değiştiricisi Uygulaması.....	21
Şekil 2.10: Güneş Enerjili Isı Değiştirici Uygulaması	22
Şekil 2.11: Yıkayıcı Faz Değiştiren Malzemeli Isı Değiştiricisi Uygulaması.....	23
Şekil 2.12: Su Yerine Hava İle Isıtma Uygulaması	24
Şekil 2.13: Yıkama Öncesi Isı Kazanım Uygulaması	24
Şekil 2.14: Suyun Tekrar Kullanımı Sistemi.....	25
Şekil 3.1: Termokupl.....	28
Şekil 3.2: Termokupl ve Termopil Kullanılmış Isı Akısı Sensörü.....	28
Şekil 3.3: Isı Akısı Sensörü İç Yapısı/Akı İlerleme Hattı	29
Şekil 3.4: Debimetre.....	30
Şekil 3.5: Termal Kamera.....	31
Şekil 3.6: Veri Toplama Ünitesi	31
Şekil 3.7: Data Alıcı ve Çoklu Giriş Kartı.....	32
Şekil 3.8: Enerji Analizörü	32
Şekil 3.9: Bulaşık Makinesi Standart Yük (Seramik-Cam) Yerleşimi.....	34
Şekil 3.10: Bulaşık Makinesi Standart Yük (Metal) Yerleşimi	34
Şekil 3.11: 300x300 mm. Boyutlarında Ölçüm Yapabilen Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı	36
Şekil 3.12: 600x600 mm. Boyutlarında Ölçüm Yapabilen Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı	37
Şekil 3.13: Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı Çalışma Şeması.....	37
Şekil 3.14: Isı Yayma Katsayısı Ölçüm Cihazı	38
Şekil 3.15: Enerji Bilançosu Deney Düzeneği Şematik Gösterimi.....	39
Şekil 3.16: Enerji Bilançosu Sistemi Kalibrasyon Düzeneği	39
Şekil 3.17: 50°C Ekonomik Yıkama Programı İçin Gücün Zamanla Değişimi	43
Şekil 3.18: 50°C Ekonomik Yıkama Programı Su-Yük-Kazan Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi.....	44

Şekil 3.19: 50°C Ekonomik Yıkama Programı Su, Kazan Ses Yalıtımı, Motor, Isıtıcı Ve Denge Ağırlığı Sıcaklıkları Zaman Değişimi	45
Şekil 3.20: 50°C Ekonomik Yıkama Programında Dış Panel Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi	46
Şekil 3.21: Bulaşık Makinesi Isı Akısı Sensörleri Yerleşimi	47
Şekil 3.22: Kazan İle Makine İç Ortamı Arasındaki Isı Geçişinin Zamanla Değişimi	48
Şekil 3.23: Dış Kabin İle Dış Ortam Arasındaki Isı Geçişinin Zamanla Değişimi ...	49
Şekil 3.24: Isıl Görüntüleme İçin Kullanılan Yüzeyler	50
Şekil 3.25: Deney Başlangıcı Öncesinde Bulaşık Makinesi.....	50
Şekil 3.26: Su Alımı Ardından Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı	51
Şekil 3.27: Isıtma Öncesi Kazan Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı.....	51
Şekil 3.28: Isıtma Başlangıcı Sonrası Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı	52
Şekil 3.29: Isıtıcının Devreden Çıktığı Durumda Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı	52
Şekil 3.30: Tahliye Esnasında Arka Duvar ve Tahliye Hortumu Sıcaklık Dağılımı	53
Şekil 3.31: Soğuk Durulama Adımı Sonu Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı.....	54
Şekil 3.32: Sıcak Durulama Su Alımı Ardından Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı	54
Şekil 3.33: Isınma Sırasında Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı	55
Şekil 3.34: Isıtma Sonu Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı	55
Şekil 3.35: Kurutma Sırasında Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı.....	56
Şekil 3.36: Tüm Periyodlar İçin Yan Duvar ve Kapı Sıcaklık Dağılımları.....	57
Şekil 3.37: İşlem Bazında Enerji Tüketimi.....	59
Şekil 3.38: Ekonomi 50 °C Programı İçin Sistem Enerji Bilançosu.....	62
Şekil 3.39: Deney Enerji Bilançosu Detayı	62
Şekil 3.40: Deney Tahliye Sonu Enerji Bilançosu.....	63
Şekil 3.41: Soğuk Yıkama Adımı Enerji Bilançosu.....	65
Şekil 3.42: Sıcak Yıkama Adımı Enerji Bilançosu.....	67
Şekil 3.43: Soğuk Durulama Yıkama Adımı Enerji Bilançosu	69
Şekil 3.44: Sıcak Durulama Adımı Enerji Bilançosu.....	70
Şekil 4.1: Bulaşık Makinesi Şematik Gösterimi	72
Şekil 4.2: Bulaşık Makinesi Isı Akış Şeması.....	73
Şekil 4.3: Isıtıcı Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	73
Şekil 4.4: Su-Yük-Kazan Kontrol Hacimleri Sıcaklık Karşılaştırması.....	76
Şekil 4.5: Su-Ortak Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması	77
Şekil 4.6: Kazan Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	78
Şekil 4.7: Kazan Kontrol Hacmi Sıcaklıkları	79
Şekil 4.8: Kazan-Kazan Ses Yalıtımı Teması Dağılımlı Modelleme.....	79
Şekil 4.9: Kazan Ses Yalıtımı Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	82
Şekil 4.10: Denge Ağırlığı Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması	84
Şekil 4.11: Kabin Sol Havası Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması	85
Şekil 4.12: Kabin Alt Havası Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	86
Şekil 4.13: Kabin Ön Havası Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	87
Şekil 4.14: Kabin Üst Havası Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması	88
Şekil 4.15: Dış Kabin Sol Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	89
Şekil 4.16: Dış Kabin Sağ Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması	90
Şekil 4.17: Dış Kabin Ön Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması	91
Şekil 4.18: Dış Kabin Üst Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	92
Şekil 4.19: Dış Kabin Alt Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	93
Şekil 4.20: Keçe Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması.....	94
Şekil 4.21: Keçe Dağılımlı Modelleme	95

Şekil 4.22: Motor Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması	96
Şekil 4.23: Program çalışma sistematigi.....	99
Şekil 4.24: 40°C Hassas Yıkama Programı Benzeşim–Deneysel Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Karşılaştırma Sonuçları	102
Şekil 4.25: 50°C Ekonomik Yıkama Programı Benzeşim–Deneysel Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Karşılaştırma Sonuçları	102
Şekil 4.26: 70°C Yoğun Yıkama Programı Benzeşim–Deneysel Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Karşılaştırma Sonuçları	103
Şekil 4.27: Farklı Su Giriş Sıcaklıklarının Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi	105
Şekil 4.28: Farklı Isıtıcı Güçlerinin Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi ...	106
Şekil 4.29: Farklı Sıcaklık Ayar Değerlerinin Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi	107
Şekil 4.30: Farklı Kazan Ses Yalıtımı Özgöl Isı Değerlerinin Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi	108
Şekil 4.31: Farklı Kazan Ses Yalıtımı Isı İletim Katsayısı Değerlerinin Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi.....	109
Şekil 4.32: Farklı Sistem/Yük Başlangıç Sıcaklıklarının Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi.....	110
Şekil 4.33: Farklı Bölgelerdeki Yalıtım Uygulamasının Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi.....	111
Şekil 4.34: Farklı Yük Miktarlarının Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi .	112
Şekil 4.35: Yarım Yük/Yüksüz Durumda Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel-Benzeşim Karşılaştırması	114
Şekil 4.36: Yalıtım Durumunda Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel-Benzeşim Karşılaştırması.....	115
Şekil 4.37: Düşük Şebeke Su Sıcaklığı Durumunda Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel/Benzeşim Karşılaştırması	116
Şekil 4.38: Yüksek Şebeke Su Sıcaklığı Durumunda Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel/Benzeşim Karşılaştırması	117
Şekil 4.39: Farklı Sıcaklık Ayarları Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel/Benzeşim Doğrulaması.....	119

SEMBOL LİSTESİ

A	: Yüzey Alanı [m^2]
c_p	: Sabit Basıncıta Özgöl Isı [kJ/kgK]
d	: Çap [m]
DC	: Doğru Akım
d_x	: Numune Kalınlığı [m]
Δt	: Zaman Adımı [s]
E	: Enerji [Wh]
g	: Yer Çekimi İvmesi [m/s^2]
h	: Isı Taşınım Katsayısı [W/m^2K]
k	: Isı İletim Katsayısı [W/mK]
l	: Uzunluk [m]
m	: Kütle [kg]
Nu	: Nusselt Sayısı
N	: Kalibrasyon Sabiti
Pr	: Prandtl Sayısı
P	: Güç [W]
Q	: Isı Geçiş Miktarı [kJ]
Ra	: Rayleigh Sayısı
Re	: Reynolds Sayısı
T	: Sıcaklık [$^{\circ}C$]
W	: Güç [W]
V	: Elektriksel Potansiyel Farkı [V]
v	: Hız [m/s]

Yunan Harfleri

Δ	: Fark
ν	: Kinematik Viskozite [m^2/s]
σ	: Stefan-Boltzman Sabiti
η	: Verim
ε	: Yayılım Katsayısı

Alt İndisler

ısıt	: Isıtıcı
da	: Denge Ağırlığı
dka	: Dış Kabin Alt
dksag	: Dış Kabin Sağ
dkso	: Dış Kabin Sol
dkö	: Dış Kabin Ön
dkü	: Dış Kabin Üst

doh	: Dış Ortam Hava
kah	: Kabin Alt Hava
kaz	: Kazan
köh	: Kazan Ön Hava
ksh	: Kabin Sol Hava
ksy	: Kazan Ses Yalıtımı
küh	: Kabin Üst Hava
mot	: Motor
ort	: Ortak
ple	: Plastik Elemanlar

ÖZET

Bulaşık makinelerinde de diğer tüm beyaz eşyalarda olduğu gibi belirlenen standartlar ve çevresel baskılar enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak üreticileri zorlamaktadır. Daha az enerji tüketen ürünlerin oluşturulabilmesi için bulaşık makinesinin iyi analiz edilerek enerji bilançosunun oluşturulması, alternatif uygulamaların belirlenmesi gerekmektedir.

Bu sebeple gerçekleştirilen tez çalışmasının ilk bölümünde, bulaşık makinesi ve çalışma prensibi hakkında bilgiler verilmiş, bulaşık makinesinde bulunan bileşenler, özellikleri ve çalışma sürecindeki görevleri tariflenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında bulaşık makineleri v.b. yıkayıcılarında enerji tüketim değerlerinin azaltılmasını sağlayan ısı iyileştirmeler ile ilgili olarak gerçekleştirilmiş olan literatür ve patent çalışmalarının sonuçları sunulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde standart kapasiteli ev tipi bulaşık makinelerinin mevcut durum ısı davranışlarının ve enerji bilançolarının deneysel olarak ortaya konması, enerji tüketiminin azaltılmasında gelişmeye açık alanların belirlenmesi ve ısı uygulamalar kullanılarak enerji kazanımının deneysel olarak irdelenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar sunulmuştur. Çalışmalar kapsamında, bulaşık makinesi sıcaklık haritasının çıkarılması amacıyla enerji bilançosu deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde bulunan ölçüm elemanları aracılığı ile bulaşık makinesi bileşenleri için yıkama çevrimi boyunca ayrıntılı sıcaklık haritaları çıkarılmıştır. Elde edilen zamana bağlı sıcaklık değişimleri kullanılarak yıkama çevrimi ve alt çevrimlerine ait enerji bilançoları hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji bilançosu yardımı ile bulaşık makinesinde ısı olarak iyileştirilebilecek bileşenler belirlenmiştir. Sıcaklık ölçümleri ve enerji bilançosu belirleme çalışmalarına ek olarak bulaşık makinesi içerisindeki ve bulaşık makinesi ile dış ortam arasındaki ısı geçişleri ısı akısı ölçümleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçülen sıcaklık değerleri ve ısı geçişleri termal kamera ile de görsel olarak belirlenmiştir. Bulaşık makinesinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yalıtım uygulaması çalışmaları da deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde bulaşık makinesi ısıl modelinin oluşturulması çalışmaları ile ilgili bilgi verilmiştir. Söz konusu çalışmada bulaşık içerisinde ısı transferlerinin gerçekleştiği temel kontrol hacimleri belirlenmiş ve bu hacimlerdeki elemanlar için zamana bağlı ısı dengesi denklemleri yazılarak açık sayısal yöntemle çözdürülmüştür. Böylelikle, fiziksel ve yapısal özellikleri ile çevrim parametreleri belirlenen bir bulaşık makinesi için, elemanların çevrim boyunca değişen sıcaklık profilleri benzeşimleri gerçekleştirilmiştir. Modelden elde edilen veriler, deneysel verilerle de karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın son kısmında ise, gerçekleştirilmiş olan deneysel ve teorik çalışmaların sonuçları sunulmuştur.

THERMAL ANALYSIS AND MODELLING OF A DISHWASHER

SUMMARY

Like other white appliances, for the dishwashers, standards and environmental needs force the producers to produce less energy consuming devices. To produce less energy consuming devices, it is important to make thermal analysis of the dishwasher.

In the first part of this study, some information about dishwashers, their operation methodology and their components is given.

In the second part of this study, the literature and patent studies about the thermal methods for reducing the energy consumption are analysed.

In the third part of this study, the studies to determine the current thermal behaviour/the energy balance of household dishwashers and any possible method to decrease the energy consumption of the dishwashers are subjected. For this purpose, an experimental setup to determine the thermal behaviour of a dishwasher is established. By the measurement equipments on the setup, the temperature profile of the dishwasher is measured during washing operation. By using this temperature profile data, energy balance of the dishwasher for every sub-operation is evaluated. And after the evaluation, critical components which need to improve thermally are determined. In addition to the temperature measurements and energy balance evaluation, the heat transfer mechanics on the dishwasher is stated by heat flux sensors. Moreover, the temperature distribution on the surfaces of the dishwasher is thermally visualized by a thermal camera.

In the fourth part of this study, thermal modelling of the dishwasher is performed. In this study control volumes, where heat transfer mechanisms are stated, are determined, heat balance equations are composed and solved for each control volume. By using this thermal model, for a certain defined dishwasher, it is provided to simulate the temperature profile of all components during the washing process. The temperature profiles acquired from simulation are compared with the experimental results.

In the last section of this study, the results of experimental and theoretical studies are presented.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) adı altında yürütülen küresel ısınma ile mücadele çalışmaları 1997 yılında Kyoto Protokolünün oluşumuna zemin hazırlamıştır. Kyoto protokolü, sanayileşmiş ülkelerin emisyonlarının 2008-2012 yıllarını kapsayan beş yıllık bir dönem içinde belli bir oranda azaltulmasını öngören ve yasal bağlayıcılığı bulunan uluslararası bir antlaşmadır. Avrupa Birliği (EU), söz konusu süre zarfında yapacağı çalışmalarla sera gazı emisyonlarını %8 oranında düşürmeyi hedeflemektedir. Bu hedef çerçevesinde üye ülkeler, European Climate Change Programme (ECCP) adı altında açıklanan ek direktiflere de uyma konusunda anlaşmıştır. ECCP ek direktifleri içinde, enerji tüketen cihazlara yönelik minimum performans standartlarının belirlenmesi ve enerji etiketlemesi konusuna ilişkin düzenlemeler de yer almaktadır. Enerji etiketlemesi ve çevresel etiketleme, küresel ısınma ve benzeri çevresel sorunlara ilişkin duyarlılığı artırma konusunda bir araç olarak kullanılmaktadır.

Avrupa Birliği direktifleri uyarınca, üretilen bulaşık makineleri, diğer tüm evsel cihazlarda da uygulandığı üzere enerji etiketi ile piyasaya sürülmektedir. Tüketicuyu yönlendiren bir etkiye sahip olan enerji etiketi üzerinde enerji tüketimi, yıkama ve sıkma performansları, en iyiden en kötüye sıralanacak şekilde A-G harfleri ile ifade edilmektedir. Etiket üzerinde ayrıca yıkama çevrimi başına tüketilen elektrik enerjisi, su tüketimi, maksimum sıkma devri ve gürültü değerleri de bulunmaktadır. Bulaşık makinesinin enerji etiketlemesi EN-50242 standardı uyarınca yapılmaktadır.

1970'li yılların başında ortaya çıkan enerji krizi, enerji verimliliği konusunda çeşitli çalışmalara hız kazandırmıştır ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması gerekliliğini doğurmuştur. Enerji veriminin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar, diğer tüm sektörlerde olduğu gibi beyaz eşya sektöründe de üreticiler arasında önemli bir

rekabet doğurmuştur. Daha az enerji ve su tüketerek daha iyi bulaşık yıkayan bulaşık makineleri için hedef sürekli olarak büyümektedir.

Bu çalışmanın amacı, standart kapasiteli ev tipi bulaşık makinelerinin mevcut durum enerji bilançolarının deneysel olarak ortaya konması, enerji tüketiminin azaltılmasında gelişmeye açık alanların belirlenmesi ve ısı uygulamalar kullanılarak enerji kazanımının deneysel olarak irdelenmesidir. Enerji tüketiminin ısı yöntemler kullanılarak azaltılmasına yönelik patentler ve uygulamalar kapsamlı olarak literatür araştırması kısmında incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan 12 kişilik standart yemek takımı yıkama kapasitesine sahip bulaşık makinesinde, üç ana yıkama programı için sıcaklık ve ısı akısı ölçümleri yürütülmüş ve makinede bulunan bileşenler için çevrim boyunca ayrıntılı sıcaklık haritaları çıkarılmıştır. Isı akısı ölçümlerinde, üç farklı sıcaklıktaki çevrim için, kazandan makine iç ortamına ısıtım ve taşınım ile kaybedilen ısı miktarları belirlenmiştir. Bu çalışmalara ek olarak, makinedeki ısı geçişleri ve sıcaklık dağılımı, 50°C ekonomik yıkama programı süresince termal kamera ile görsel olarak belirlenmiştir.

Tüketilen elektrik enerjisinin ısı enerjisiye dönüşmüş durumda bulaşık makinesi sisteminde ne şekilde kullanıldığını görmek üzere termodinamiğin birinci yasası kullanılarak, üç ana yıkama programı için toplam ve yıkama adımlarına ait enerji bilançoları çıkarılmıştır. Enerji bilançolarının hesaplarla ortaya konması ile, seçilmiş bulaşık makinesinin enerji tüketiminin azaltılması konusunda hangi noktalara yoğunlaşılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

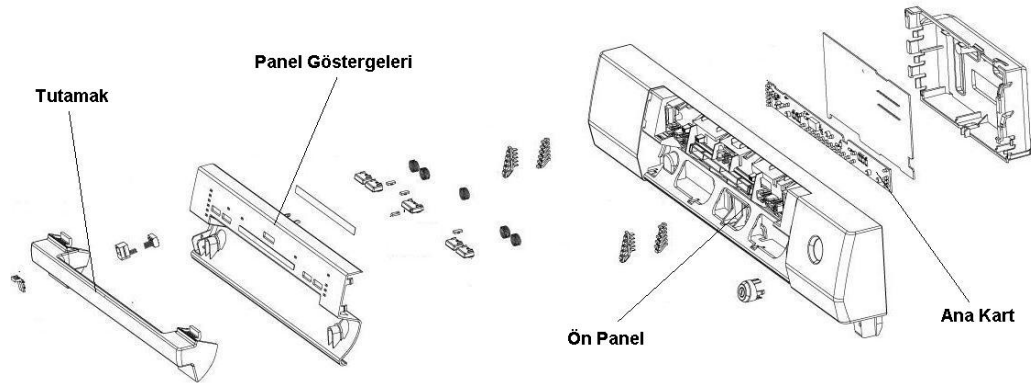
Çalışmanın devam eden bölümünde, bulaşık makinesi ile ilgili olarak bir ısı modelleme çalışması yapılmıştır. Söz konusu model için bulaşık makinesi içinde ısı transferlerinin gerçekleştiği temel kontrol hacimleri belirlenmiş ve bu hacimlerdeki elemanlar için zamana bağlı ısı dengesi denklemleri yazılarak açık sayısal yöntemle çözdürülmüştür. Böylelikle, fiziksel ve yapısal özellikleri ile çevrim parametreleri belirlenen bir bulaşık makinesi için, elemanların çevrim boyunca değişen sıcaklık profilleri benzeşimleri gerçekleştirilmiştir. Modelden elde edilen veriler, deneysel verilerle de karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın son kısmında ise, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik uygulama çalışmaları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmalar kapsamında ısı yalıtım uygulamaları yürütülmüştür.

1.2 Bulaşık Makinesinin Tanıtılması

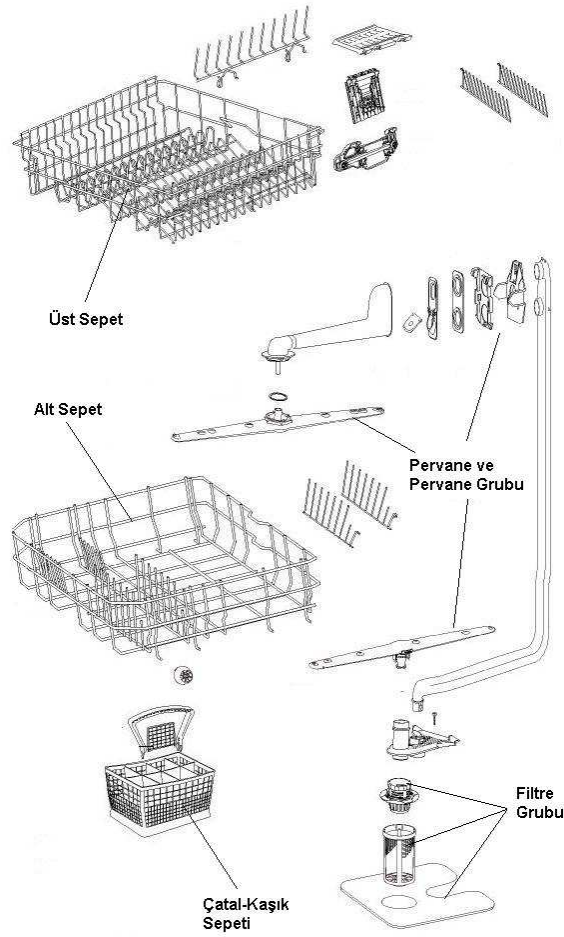
Bulaşık makinesi temel bölümleri:

- Ön panel : Ön panel; gösterge, gösterge kartı, ana kart, program seçim düğmeleri ve tutamaktan meydana gelmektedir. Ön panel içerisindeki ana kart yıkama programlarının işlendiği bir devre elemanıdır. Bununla birlikte üzerinde bulunan elektronik devre elemanları yıkama işlemi sırasında çalıştırılacak bileşenlerin devreye alınmasını ve devreden çıkarılmasını kontrol ederler.



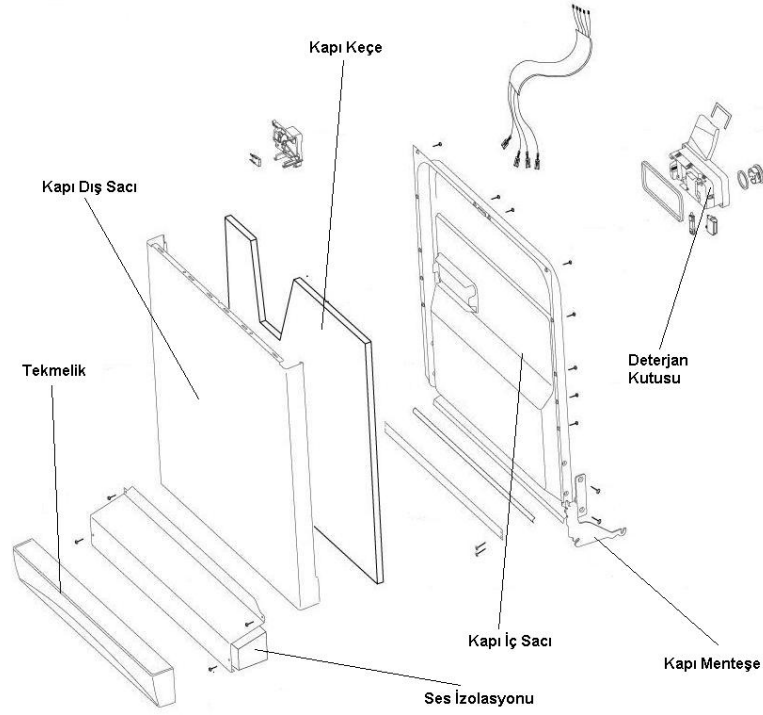
Şekil 1.1: Ön Panel Demontaj Resmi

- Yıkama grubu : Yıkama grubu, bulaşıkların su ile temasta olduğu ve yıkama işleminin gerçekleştirildiği üst sepet ve bileşenlerini, alt sepet ve bileşenlerini, pervane ve pervane grubunu, çatal-kaşık sepetini ve filtre grubunu içeren bölümdür. Üst ve alt sepetler, üst ve alt pervane ve çatal/kaşık sepeti plastik, filtre grubu ise metal esastır. Üst pervane üst sepete, alt pervane ise kazan alt bölgesine bağlıdır. Bulaşıklar alt ve üst sepetlere standart olarak yerleştirilmekte olup pervane ve pervane gruplarından iletilen su ile temastadırlar. Pervane delik boyut ve yerleşimleri en iyi yıkama performansının eldesi için tasarlanmışlardır. Yıkama haznesi içerisindeki filtre grubu ise, bulaşıkların üzerindeki kir v.b. artıkların toplanmasını ve yıkama suyundan ayrıştırılmalarını sağlamaktadır.



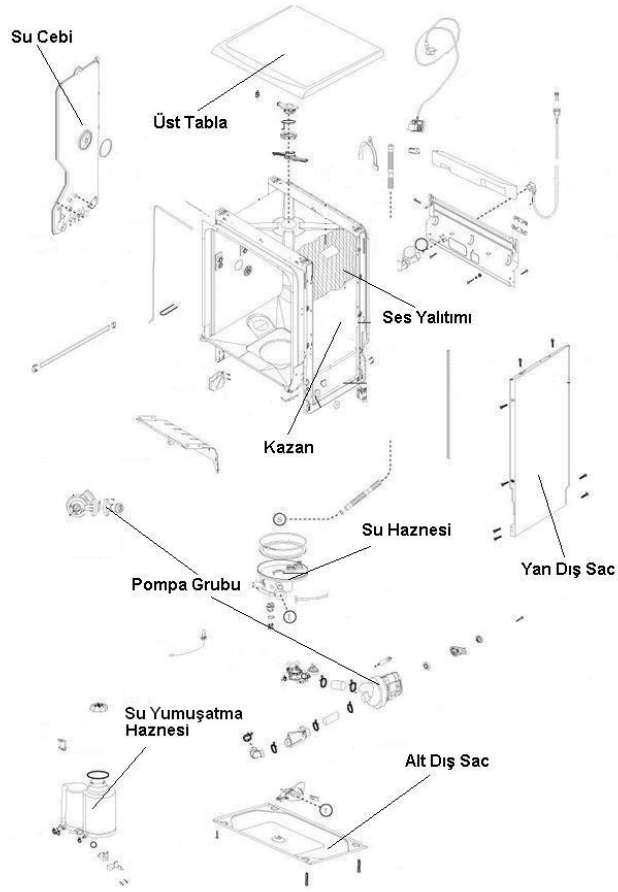
Şekil 1.2: Yıkama Grubu Demontaj Resmi

- Kapı grubu : Kapı grubu koruma bloğu(tekmelik), ses izolasyonu, kapı dış sacı, kapı keçesi, kapı iç sacı, kapı menteşesi ve kapı iç sacına monte edilen deterjan kutusundan meydana gelmektedir. Motor ses izolasyonu, bulaşık makinesi pompa grubundan kaynaklanan gürültünün azaltılmasında, kapı keçesi, yıkama haznesi ve yıkama suyu ile temasta bulunan kapı iç sacından sistem dışına doğru meydana gelen ısıl kaçakların azaltılmasında kullanılmaktadır. Kapı iç sacına monte edilmiş olan deterjan kutusu ise deterjanı barındırmakta olup, yıkamanın belirli bir adımında ana kart tarafından otomatik olarak açılmakta ve deterjanın yıkama suyuna karışması sağlanmaktadır.

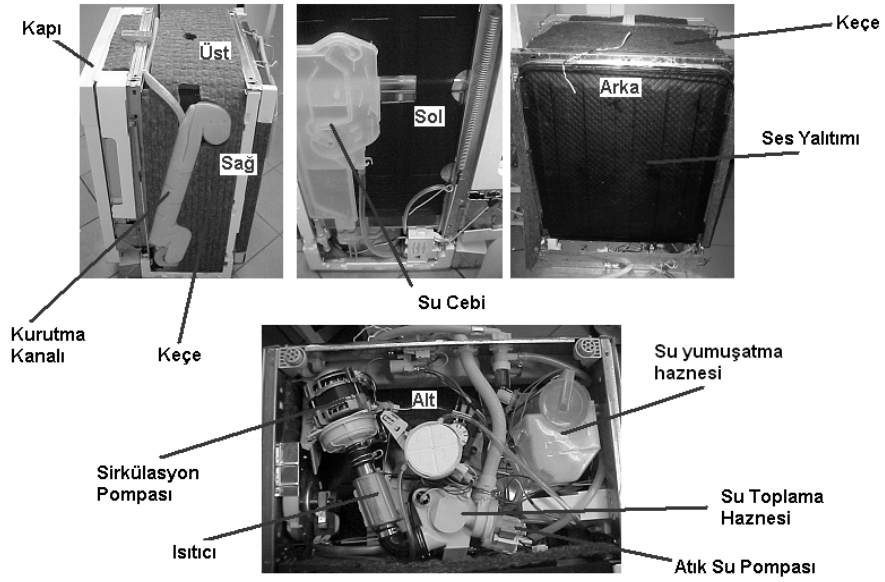


Şekil 1.3: Kapı Grubu Demontaj Resmi

- Kazan grubu : Kazan grubu kazan ve kazana doğrudan monte olan bileşenlerden oluşmaktadır. Bu grupta kazan, kazan etrafına yerleştirilen ses yalıtımı, keçe, su haznesi, pompa grubu, su yumuşatma haznesi, su haznesi, yan dış sac, alt dış sac ve üst tabla bulunmaktadır. Ses yalıtımı malzemesi tüm kazan yüzeyine kaplanmış olup darbe sönümleyici özelliği mevcuttur. Kazan yıkama grubunu içermektedir. Pompa grubu ana yıkama su pompası ve atık su pompasından oluşmaktadır. Kazan, alt dış sac ve yan dış sac için sac malzeme, üst tablada ise tahta içerikli kaplama kullanılmıştır. Sisteme yıkama suyunun şebekeden girişi su cebi üzerinden olup su cebinin gelen suyun atmosfer basıncına düşürülmesi, yıkama ve kurutma sırasındaki kazan içi buharın tahliyesi ve yumuşatma suyunun depolanması gibi görevleri vardır. Su yumuşatma haznesi ise suyun sertlik içeren iyonlardan arındırıldığı ve arındırıcı maddenin belirli zamanlarda tuz ile yenilendiği kısımdır.



Şekil 1.4: Kazan Grubu Demontaj Resmi



Şekil 1.5: Bulaşık Makinesi Temel Bileşenleri

Çalışmada kullanılan bulaşık makinesi 9 programlı, yıkama kapasitesi 12 kişilik standart sofra takımı olan toplam güç değeri 2200 W ve ısıtıcı gücü 1800 W olan bir bulaşık makinesidir. Dış ölçüleri 850 x 600 x 570 mm³ olan bulaşık makinesinin etiketinde belirtilen enerji tüketim değeri 1050 Wh, su tüketimi ise 9 litredir. Bulaşık makinesi seçilen yıkama programına göre değişen çalışma profilleri sergilemektedir. En temel halde şebekeden su alınmakta ve suyun miktarı belirlenen değere ulaşınca sistem su alımını bitirmektedir. Sisteme alınan suyun miktarı manyetik bir sayaç aracılığı ile tespit edilmektedir. Sisteme alınan su, su toplama haznesinden alınarak ana yıkama pompası aracılığı ile pervaneler yardımıyla yıkanacak bulaşıkların üzerine gönderilmektedir. Bulaşıklara çarpan su tekrar su toplama haznesine dolmakta ve çevrim devam etmektedir. Yıkama adımı ve programa göre suyun dolaşımı ile beraber ısıtıcı yardımı ile ısıtılması da söz konusudur. Soğuk yıkama adımlarında yıkama zamanı, sıcak yıkama adımlarında ise sıcaklık ayar değerleri çalışma şartlarını belirler. Sistemde bulunan sıcaklık algılayıcı, seçilen programın sıcaklık ayar değerlerine uygun olacak şekilde ana kart üzerinden suyun ısıtılmasını kontrol eder. Seçilen yıkama profiline göre bazı adımlarda sistemdeki su, sistem dışına atılarak yerine yeni su alımı gerçekleştirilmektedir. Belirli bir yıkama süresi sonunda ise kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yıkama profilleri yıkanacak bulaşıkların miktarına ve kirlilik durumuna göre en ideal yıkama performansını en düşük su ve enerji tüketimi değerlerinde sağlamak amacı ile tasarlanmışlardır. Mevcut bulaşık makinesi üzerinde 9 program olmasına rağmen en temel 3 program incelenmiştir. Bu programlar;

Tablo 1.1: Bulaşık Makinesi Yıkama Programları

Hassas Yıkama Programı	40°C
Ekonomik Yıkama Programı	50°C
Yoğun Yıkama Programı	70°C

Üretici tarafından beyan edilen bulaşık makinesi standart yıkama programı ekonomik yıkama programıdır.

2. ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Bulaşık makineleri için ısı ve mekanik kayıpları azaltma ve buna bağlı olarak enerji tüketimini azaltma çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilen literatür ve patent araştırmaları sunulmuştur.

2.1 Literatür Araştırması

Bulaşık makinelerinin enerji veriminin iyileştirilmesi konusunda, enerji tasarrufu potansiyeli gösteren çeşitli tasarım seçenekleri bulunmaktadır. Bulaşık makinesinde enerji tüketimi azaltma ölçütlerinin belirlenmesi amacı ile yapılan çalışmalar Mayıs 1995’de Avrupa’da GEA ve vH&K tarafından “Washing Machines: Long Term Efficiency Targets, a Technical and Economic Analysis” ve Ağustos 2001’de AEA Technologies tarafından “Revision of the EU Ecolabel Criteria for Dishwashers” adları altında yayınlanmıştır. GEA ve vH&K’nın yayınladığı bu raporlar, gelecek süreçte teknik fizibiliteye sahip, tüketici açısından ekonomik olarak düşük enerji tüketimi değerlerini sağlayan tasarım seçeneklerini ortaya koymaktadır [1,2].

Bulaşık makinesi ısı iyileştirme çalışmaları iki şekilde sağlanabilir:

- Isıl yalıtımını arttırmak.
- Kabin enerji depolamasını azaltmak.

Kabinde enerji depolanmasını azaltmak, daha düşük ısı kapasiteye sahip malzemeler kullanarak mümkündür. Genelde kullanılan malzeme olan çelik, polipropilen dahil (1,3-1,7 kJ/kg°C) çoğu malzemedan çok daha düşük ısı depolama katsayısına sahiptir (0,5 kJ/kg °C). Bu değerler kazan malzemesi olarak polipropilen kullanmak için en az 3 kat daha hafif bir konstrüksiyon elde edilmesi gerektiğine işaretler. Kazan için farklı bir malzeme kullanmak yerine kazan ağırlığını azaltma çalışmalarına gidilmesi daha makuldür. 65°C sıcaklık için ağırlıkta sağlanacak %5’ lik bir azalma toplamda 20 Wh’lik bir enerji kazancı anlamına gelmektedir.

Termal yalıtımda iyileşme sağlanması, iç gövde ile dış gövde arasındaki termal köprülerin azaltılması ile sağlanabilmektedir. 65°C su sıcaklığı şartlarında iç gövde ile dış gövde arasındaki iç gövdeyi saran 2 adet çelik bağlantı için kayıp değeri 450 W'dır.(Dış ortam sıcaklığı yaklaşık 22°C'dir. Kaybın sadece 50W'lık kısmı iç gövde ile dış gövde arasındaki yalıtımlı boşluk üzerinden meydana gelmektedir. İç kazan ile dış kazan arasındaki 5 adet bağlantıdan 2'si iptal edilirse, kazanlar arasında yalıtım köpüğü olması halinde anlık ısı kaybı 250W'a kadar düşebilir. Toplamda kayıp her bir çevrim için 340W'dan 230W'a düşebilmektedir.

2.1.1 Pompa ve Motor Etkinliği

Bulaşık makinelerinde biri atık su diğeri ana yıkama pompası olmak üzere 2 adet pompa vardır. Ana yıkama pompası, ayrıca dönen sprey kollarını tahrik etmektedir. Bu iki pompanın enerji tüketim miktarları, mekanik güç gereksinimlerine, gücün gerekli olduğu süreye, pompanın ve motorun verimine bağlıdır.

Ana yıkama pompasının çalışma süresi, makine çalışma süresine hemen hemen eşit olduğu halde, atık su pompası için bu durum geçerli değildir.

Sirkülasyon pompasının güç tüketim değeri;

- Devirdaim eden su miktarına
- Bulaşıklara püskürtülen suyun basınç değerine
- Borularda meydana gelen hidrodinamik kayıplara
- Dönen sprey kollarındaki sürtünmelere bağlıdır.

Pompa etkinlik değeri;

- Pompa tasarımına
- Pompa kapasitesine ve
- Yüke bağlıdır.

Motor etkinliği;

- Motor kapasitesine
- Yüke
- Motor tipi ve içsel kayıplara bağlıdır.

Genel olarak bulaşık makinesinde kullanılan motor ve pompa grubu toplam verimi yaklaşık %20'dir. Bu durumda 130 Wh'lik enerji tüketiminin 30 Wh'lik kısmı suyun taşınması için kullanılırken, 100 Wh'lik enerji atılmaktadır (atık enerjinin 3'te biri suyu ısıtırken kalan kısmı ise motor parçalarının ısınmasını sağlar).

Bulaşık makinelerinde gelişmiş motor ve pompa grupları kullanılarak %30 seviyelerinde verim değerine ulaşmak mümkündür. Bu durumda elde edilen kazanç değeri her bir çevrim için 43 Wh'tir.

Fırçasız doğru akım motoru ve pistonlu pompa kullanarak sağlanacak yeni tekniklerle toplamda %75'lik verim dolayısı ile 95 Wh'lik bir kazanç değerine ulaşılabilir. Pistonlu pompalarla ilgili tek sorun, yüksek gürültü düzeyinde çalışmalarıdır.

2.1.2 Sıcaklık-Zaman Bağlılıkları

Bulaşıkların temizlenmesi zamanın, sıcaklığın, deterjanın ve mekanik etkinin bir fonksiyonudur. 60°C şartlarında taşınım ve ışınila olan ısı kaybı 400 W civarındadır. Bu durum dakikada 7 Wh'lik ısı kaybı anlamına gelmektedir. 55°C şartlarında ise ısı kaybı 350 W'tir.

Yıkama safhasında ana yıkama pompasının dakika başına çektiğı enerji değeri 2.3 Wh'tir.

İlk sıcak yıkama için sağlanacak 10°C'lik sıcaklık düşüşü, standart temel durumda 197, gerçek temel durumda ise 174 Wh değerinde enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Temel durumda, sıcak durulama sırasında daha önceki yıkama safhalarında kullanılan enerjinin yaklaşık 4'te biri makinede ve bulaşıkların üzerinde depolandığı için sıcaklık değeri 20°C yerine 29°C olmaktadır.

Sıcak yıkama sırasında kullanılan su sıcaklık değeri düşürülürse aynı şekilde sıcak durulama başlangıç sıcaklığı da azalmış, sıcaklık değeri 34°C yerine 29°C olacaktır.

Tüm bu olasılıklar değerlendirildiğı zaman enerji tüketim değeri standart temel durum için 1476 Wh yerine 1355 Wh, gerçek temel durumda ise 1347 Wh yerine 1205 Wh olacaktır.

2.1.3 Su Seviyesinin Azaltılması

Her fazın başlangıcında makine şebekeden bir miktar su almaktadır. Bu miktar her bir faz için 5,4 litre olmakla beraber su yumuşatma malzemesinin yenilenmesi için 2,4 litre su alınmaktadır. Fazlarda kullanılan su, deterjanı çözmekte, yükteki kirlere mekanik zorlama yapmakta, kiri beraberinde kazan altındaki filtreye taşımakta ve her faz sonunda sistem dışına atılmaktadır. Bir faz boyunca alınan suyun ne kadarının hangi bölgede olduğunu tespit etmek güç olsa da yaklaşık bir değer verilebilir.

- Tüplerde ve sprey kollarında 0,5 litre

- Kazan altında (Filtre bölgesi) 3,0 litre
- Yük ve kazan yüzeyinde 0,4 litre
- Makine alt kısmında 1,5 litre

Kullanılabilecek en basit kontrol mekanizması zamanlayıcı tarafından kontrol edilen valf sistemidir. Bunun yanında daha gelişmiş olan sistemlerde valf, zamanlayıcı tarafından kontrol edilmek yerine, kazan alt kısmındaki su seviyesini belirleyebilen basınç sensörü ile kontrol edilebilir.

2.1.4 Alttan ve Üstten Sprey Yapan Kollar

Kazan içerisine çalışmanın herhangi bir anında gönderilen su miktarı 0,75 litre'dir. Toplamda 1,5 litre olan alt kısım (Pompa hattı) kapasitesi dolayısı ile geriye kalan 0,75 litre su alt kısımda kalmaktadır. Su eğer alttan ve üstten aynı anda püskürtülürse her fazda 0,75 litre su kazancı olur. Her çevrim için bu değer 3 litredir ve 70 Wh'lik bir kazanç anlamına gelir.

2.1.5 Son Durulama Suyunun Tekrar Kullanımı

Son durulama suyunun, depolanarak bir sonraki yıkama sürecindeki ilk soğuk yıkama safhasında kullanılması mümkündür. Bu durum, son durulama suyunun büyük bir oranda kir v.b. partiküllerden arınmış olması nedeniyle uygulanabilir. Bu şekilde soğuk ön yıkama performansında ve hijyen şartlarında herhangi bir problem meydana gelmez. Sıcak durulama sırasında kullanılan tüm su depolanıp bir sonraki süreçte kullanılırsa 5,4 litrelik bir kazanç sağlanmış olur. Bu su kazancı yıllık 1123 litre anlamına gelmektedir.

2.1.6 Isı Tamponu

Bazı makine üreticileri, ürettikleri makinelerde ısı tamponu uygulamaktadırlar. Uygulanan ısı tamponu, sistemden yüksek sıcaklıkta atılan suyun enerjisinin şebekeden alınan soğuk suya verilmesi esasına göre çalışmaktadır. Sıcak yıkama sonucu sistem dışına atılacak su, soğuk durulama suyuna ısısını vermekte, soğuk durulama sonucunda atılan su ise sıcak durulama suyuna enerjisini aktararak enerji tasarrufu sağlanmış olmaktadır. Standart temel durum için sıcak yıkama ve onu takip eden soğuk durulama sonucunda sistem dışına doğru 417 Wh enerji çıkışı olmaktadır. Bu değer, 597 Wh'lik sıcak durulama fazı enerjisinin büyük bir kısmına tekabül etmektedir. Isı tamponu ile elde edilebilecek enerji kazancı makinenin ve

yükün depoladığı enerji miktarıyla artacak biçimde değişiklik göstermektedir. Gerçekleştirilen deneyler sonucu standart temel durum için 109 Wh, gerçek temel durum için ise 107 Wh enerji kazancı sağlanmıştır. Bununla birlikte sıcak durulama için ısıtma zamanı azaldığı için toplam süreçte 2 dakikalık bir süre kazancı sağlanmıştır.

2.1.7 Isı Değiştiricisi

Sıcak atık su ile, soğuk şebeke suyunu ısı değiştiricisi kullanarak karşılaştırmak suretiyle, atık suyun enerjisinden faydalanmak mümkündür. Uygulanabilecek en uygun sistem iç içe geçmiş 2 borudan oluşan sistemdir. Boruların içindeki akış ters yönlü yapılarak maksimum ısı transferi sağlanmış olacaktır. Bulaşık makinesi uygulamasında 9 metre boy, 26 mm yüksekliğinde ısı değiştiricisi uygun bir çözümdür. Atık su boru çapı minimum 16 mm akış için minimum hız ise 0,1m/s alınmalıdır. Bu düşük hız atık su atım süresinin 1,5 dakikadan 4,5 dakikaya, 0,5 dakikalık su alım zamanının ise 1 dakikaya yükselmesine neden olur. Bu durum, standart temel durumda toplam çevrim zamanının 75 dakikadan 84 dakikaya, gerçek temel durumda ise 78 dakikadan 88 dakikaya yükselmesine neden olmaktadır. Standart temel durumda aksel borulu ısı değiştiricisi kullanılması durumunda 182 Wh, gerçek temel durumda ise 168 Wh enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Atık su pompasının kullandığı ekstra enerji, ısıtma evresinde çalışacak ana yıkama pompasının daha az çalışması sayesinde karşılanmış olmaktadır.

Bulaşık makinesinde ısı değiştirici uygulayarak atık enerjiden faydalanılmasına yönelik bir diğer çalışma da Ghent Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bulaşık makinesi atık su hattı üzerine yerleştirilen bir ısı değiştirici yardımı ile sıcak atık suyun enerjisinin soğuk şebeke suyuna verilmesini amaçlayan 2 adet ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Isı değiştiricilerden birisi atık su ile soğuk suyu, bir hazne içerisindeki kanallar aracılığı ile, su atımı sırasında anlık olarak karşılaştırmakta iken, diğeri atık su ile soğuk suyu bir hazne içerisinde uzun süre bekleterek karşılaştırmaktadır. Çalışma sisteminde meydana getirilen bu fark atık sudan geri kazanılan su miktarında farklılıklara neden olmaktadır.

- Direkt geçişli ısı değiştiricisinde;
 - Kazanılan ısı enerjisi: 244 kJ
 - Yıkama başına mali kazanç: 0,02 €
 - Yıl boyunca elde edilecek kazanç: 6,41 €

- Direkt geçişli ısı değiştiricisinde;
- Kazanılan ısıl enerji: 367 kJ
- Yıkama başına mali kazanç: 0,027 €
- Yıl boyunca elde edilecek kazanç: 8,69 € olmaktadır [3].

2.1.8 Ekstra Isıtma Olmadan Kurutma

Temel durum için ölçülen kurutma enerji miktarı yaklaşık olarak 40 Wh'tir. Gerçekleştirilen testlere göre, kurutma enerjisi ile kurutma zamanı arasında herhangi bir bağıntı bulunmamaktadır. Kurutma zamanını azaltmak için 2 yöntem uygulanabilir.

- Yoğuşturma sistemi ile kazan içindeki havanın devirdaimi
- Nemli havanın devirdaimi

2.1.8.1 Yoğuşturmalı Sistemin Kazanç Potansiyeli

Yoğuşturmalı sistem, yoğuşturucu akışkan olarak 15°C'daki suyun kullanıldığı sistemdir. Soğuk su, sıcak durulama sonucu sistem dışına atılan suyun atımını takiben kazan etrafında bulunan hazneye dolmakta ve kazanı soğutarak kazan içerisindeki nemli havadaki suyun yoğuşmasını sağlamaktadır. Kullanılan soğuk su, bir sonraki çevrimde kullanılabilir. Isıtıcı kullanılarak yapılan kurutma işlemlerine göre çevrim başına 40 Wh enerji tasarrufu sağlamak mümkündür.

2.1.8.2 Hava Devirdaiminin Enerji Kazanç Potansiyeli

Fan tarafından kazan içinden emilen hava, kazan duvarlarına doğru üflenerek sıcaklığı artırılmaktadır. Kazan içerisinde dolaşan hava, yük üzerindeki nemi almakta ve borular yardımıyla kazan dışına emilmektedir. Kazan dışındaki boru üzerinde yapılan tasarımlarla nemi yoğuşan hava tekrar kazan içine gönderilmektedir. Bu şekilde çevrim başına 36 Wh'lik enerji tasarrufu sağlamak mümkündür.

2.1.9 Sıcak Durulama Safhasında Daha Düşük Sıcaklıkta Su Kullanmanın Enerji Tüketimine Etkisi

Sıcak durulama için kullanılan 65°C sıcaklık değeri yerine 55°C sıcaklığında su kullanılması halinde enerji tasarrufu sağlamak mümkün olacaktır. Sıcaklığın düşürölmesi halinde kurutma zamanı artacaktır. Hem standart hem gerçek temel durum için sağlanabilecek kazanç sıcaklıktaki düşme ile doğru orantılıdır. Sıcaklığın

65°C'den 55°C'ye inmesiyle dış ortamla sistem arasındaki fark faktörü 35/45 (Su sıcaklıklarının 20°C dış ortam sıcaklığından olan farklarının oranı) olmaktadır. Bu faktör nedeniyle Standart temel durumda enerji tüketimi 597 Wh'ten 464 Wh'e, gerçek temel durumda ise 567 Wh'ten 441 Wh'e düşmektedir.

2.1.10 Enerji Kazançlı Program Seçimleri

Bulaşık makinelerinde seçilen yıkama programları enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple üreticiler daha az enerji tüketen yıkama programlarını sunmaktadırlar.

2.1.10.1 55°C normal/E program seçeneği

55°C yıkama normal yıkama programı genelde kullanılan 65°C'deki normal programdan farklı bir şekilde çalışmaktadır. Programda 55°C'de yıkama yapılmakta ve yıkama evresindeki ısıtma adına 174 Wh enerji kazancı sağlanmaktadır. Bununla birlikte ana yıkamadaki sıcaklık düşüşü, sıcak durulama safhası başlangıç sıcaklıklarını düşüreceği için, sıcak durulama safhası için ekstra 60 Wh'lik enerji gereklidir (31,1°C yerine 27,4°C başlangıç sıcaklığı). Enerji kazancının yanı sıra ana yıkama zamanında 3,5 dakika kısalma, sıcak durulama safhasında ise 1 dakika 9 saniye artış gözlenmiştir. Yıkama süresindeki kısalma motor çalışma süresini kısaltmış, bu sayede 5 Wh enerji tasarrufu sağlanabilmiştir.

2.1.10.2 55°C kazanç program seçeneği

55°C yıkama kazanç yıkama programı genelde kullanılan 65°C'deki normal programdan farklı bir şekilde çalışmaktadır. Programda ön yıkama yapılmamakta, yıkama ve sıcak durulama ise 55°C'de yapılmaktadır. Sıcak yıkama ve sıcak durulama safhalarından geri kazanılan enerji miktarı 174 Wh olup, sıcak durulama başlangıç sıcaklığındaki düşüş nedeniyle ekstra 60 Wh'e ihtiyaç duyulmaktadır. Ön yıkama olmaması nedeniyle sirkülasyon ve atık su pompasında 15 Wh enerji kazancı sağlanırken sıcak yıkama ve sıcak durulama safhalarında sırasıyla 3 dakika 29 saniye ve 2 dakika 24 saniye kısalma dolayısıyla motor enerjisinde 13 Wh tasarruf sağlanmıştır. Toplamda geri kazanılan enerji 316 Wh'tir.

2.1.10.3 45°C cam programı seçeneği

45°C cam yıkama programı genelde kullanılan 65°C'deki normal programdan farklı bir şekilde çalışmaktadır. 45°C'de yıkama, 55°C'de sıcak durulama yapılmaktadır. Üst yıkama kollarında düşük basınç kullanılmaktadır. Bu durumda ilk etapta sıcak yıkama safhasında 347 Wh, sıcak durulama evresinde ise 174 Wh enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bununla birlikte, sıcak durulama başlangıç sıcaklığı daha düşük olduğu için ekstra 101 Wh enerji gereksinimi duyulmaktadır. Ön yıkama olmadığı için ana su ve atık su pompasında 15 Wh, sıcak yıkama ve sıcak durulama safhalarında ise su devirdaimi azaldığı için 19 Wh enerji kazancı ve 8 dakika toplam çevrimde kısalma sağlanmıştır. Toplamda sağlanan enerji tasarruf ise 454 Wh'tir.

Bulaşık makineleri v.b yıkama makinelerinde tüketilen enerji miktarının azaltılması için uygulanabilecek çeşitli iyileştirme alternatifleri ve enerji tüketimine olan etkileri Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1: Kazançlı Programlar Enerji ve Su Tüketimleri

Temel Durum	1	1+2	2+3	3+4	4+5	5+6	6+7	7+8	8+9	9+10	Tasarım numarası
138	126	118	112	100	92	91	87	84	83	83	Enerji Tüketimi(Wh/n kişilik yemek takımı)
2	2,00	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,68	1,24	Su(l/n kişilik yemek takımı)
Tasarım numarası	Tasarım tipi										
1	Daha düşük su sıcaklığında durulama(55 °C)										
2	Daha düşük sıcaklıkta sıcak yıkama suyu()+10 dakika daha uzun yıkama										
3	Alt ve üst su püskürtme kollarından değişken püskürtme										
4	Çapraz akışlı ısı değiştiricisi(Atık ve temiz su arasında)										
5	Geliştirilmiş ısıl etkinlik, ısıl köprülerin azaltılması										
6	Isınan parçaların ağırlıklarının azaltılması										
7	Ek ısıtma olmadan kurutma için yoğunlaştırıcı										
8	Geliştirilmiş motor ve pompa etkinliği										
9	Geliştirilmiş su seviye kontrolü										
10	Sıcak durulama suyunun yeniden kullanımı										

2.2 Patent Çalışmaları

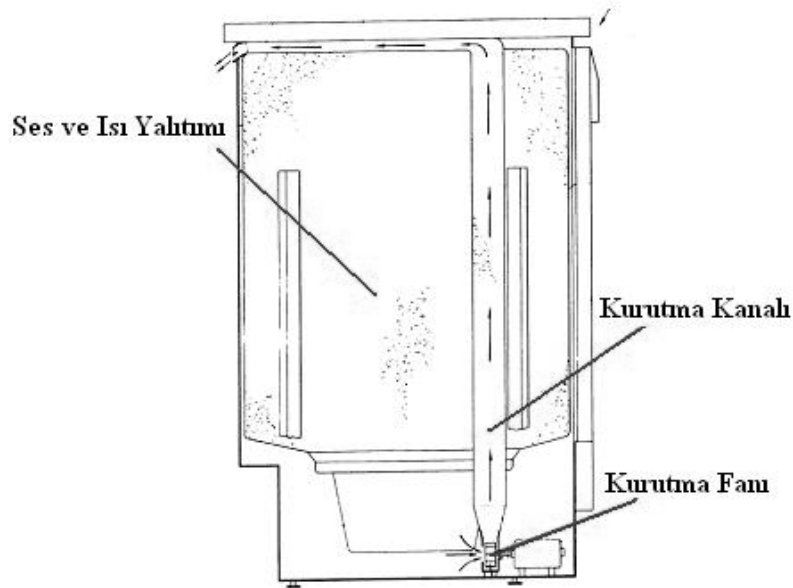
Bulaşık makinelerinde seçilen programa göre değişmekle beraber soğuk ve sıcak yıkama adımları mevcuttur. Soğuk yıkama adımları, genellikle büyük taneli ve yüzeye yapışmamış kirlerin ön temizliğinin gerçekleştirmesini sağlayan kısa süreli yıkama adımlarını oluştururken, sıcak yıkama adımları ağır kirlerin temizliği amacı ile kullanılan uzun süreli yıkama adımlarıdır. Soğuk yıkama adımlarında yıkama haznesine alınan su herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmadan yıkama pervaneleri yardımı ile bulaşığa yönlendirilmektedirler. Standart şebeke suyu sıcaklıklarının $15 \pm 2^\circ\text{C}$, standart ortam sıcaklıklarının $23 \pm 2^\circ\text{C}$, soğuk yıkama adımlarının kısa süreli olmaları sebebiyle hazne içine alınan soğuk su ile dış ortam arasındaki ısı transferi çok düşük mertebelerde kalmaktadır. Bununla beraber sıcak yıkama

adımlarında yıkama haznesi içi sıcaklıklar 60-70°C mertebesinde olduğundan yıkama haznesinden dış ortam ile yüksek miktarda taşınım ve ısıtım şeklinde ısı transferi söz konusu olmaktadır. Bununla beraber yüksek sıcaklık farkları nedeniyle yıkama haznesinden etrafındaki makine bileşenlerine doğru yüksek miktarlarda ısı transferi mevcuttur.

Deneylerde kullanılan bulaşık makinesindeki sıcak yıkama adımlarında 2 safha mevcuttur. İlk adımda yıkama devam ederken su, ısıtıcı tarafından ısıtılmakta, belirli bir sıcaklık ayar değerine ulaşıldığında ise ısıtıcı devre dışı kalmaktadır. İkinci safhada ise belirli bir sıcaklık değerine gelmiş su ile yük yıkanmaya devam etmektedir. İkinci safha süre bazlı olup belirli bir yıkama süresinin ardından sıcak yıkama işlemi sonlandırılmaktadır. Sıcak yıkama adımlarının ilk safhasında gerçekleşen ısı transferi büyük bir oranda yıkama haznesinden, hazne etrafındaki daha düşük sıcaklık değerine sahip makine bileşenlerine doğru gerçekleşirken, ikinci safhada ısı transferi büyük oranda makineden dış ortama doğru gerçekleşmektedir. Bu sebeple uygulanacak yalıtım hem dış ortama doğru hem de yıkama haznesinden makine bileşenlerine doğru gerçekleşen ısı kaçakları engelleyici nitelikte olmalıdır.

Bulaşık makinesinde yalıtım kullanımına yönelik gerçekleştirilen patent araştırması sonucunda elde edilen patentler sunulmuştur.

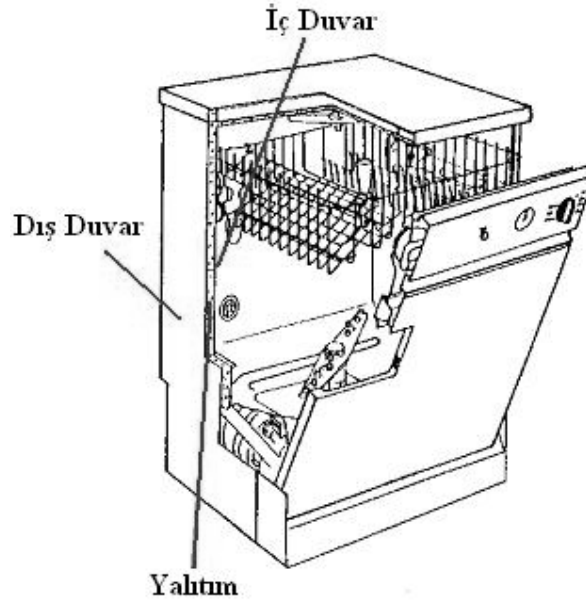
1986 yılında Graf, R. ve Koos, Dietrich tarafından DE3515592 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.1’de sunulmuştur.



Şekil 2.1: Ses ve Isı İzolasyonu İçin Kurutma Kanalı Uygulaması

Şekil 2.1’de sunulan tasarımda bulaşık makinesi kurutma performansının artırılması amacıyla bulaşık makinesi kazanı üzerindeki ses ve ısı izolasyonunun içerisine yerleştirilen kurutma kanalı mevcuttur. Bu sayede kurutma esnasında yoğunlaşma yüzeyi oluşturmak mümkün olmaktadır. Yoğunlaşma yüzeyi oluşturulması daha yüksek bir kurutma performansı sağlanmasında etkilidir. Bu sayede kurutma performansını artırmak amacı ile kullanılan kurutma öncesi yıkama safhasında yüksek su/yük sıcaklıklarına çıkma ve kurutma için ekstra bir ısıtıcı kullanma zorunlulukları ortadan kalkmaktadır. Bu durum daha düşük enerji tüketimi değerlerinin eldesini sağlar [4].

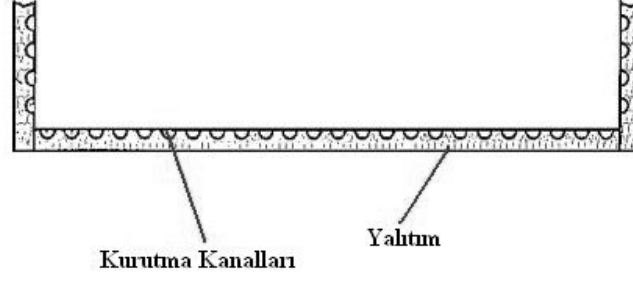
1992 yılında Enner, G ve Windt, J. Tarafından alınan DE4110292 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.2’de sunulmuştur.



Şekil 2.2: Saclar Arası Yalıtım Uygulaması

Şekil 2.2’de sunulan patentte bulaşık makinesi kazanı etrafına yalıtım amacıyla yalıtım malzemesi (Plastik esaslı köpük) yerleştirilmesi ile ilgili buluş sunulmuştur. Kazan ile dış saçı arasına yerleştirilen yalıtım malzemesi yıkama haznesinden dış ortama doğru olan ısı kaçaklarının minimuma indirilmesini sağlamaktadır. Yalıtım tüm kazan dışı boyunca yapılmaktadır. Uygulanan yalıtım sayesinde hem yıkama haznesinden makine bileşenlerine hem de dış ortama doğru olan ısı kaçakları engellenmektedir [5].

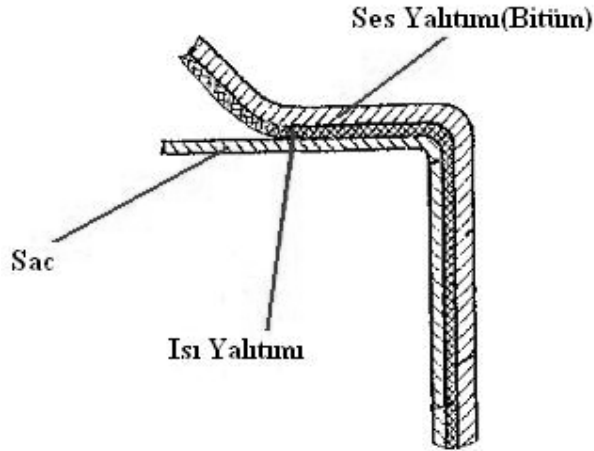
2004 yılında Konrad, H. tarafından DE10347244 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.3’te sunulmuştur.



Şekil 2.3: Bulaşık Makinesi Soğutma Kanalı Uygulaması

Şekil 2.3'te sunulan patentte bulaşık makinesi etrafında soğutma kanalları bulunan tasarım söz konusudur. Soğutma kanalları bulaşık makinesi kazanı dışında olup yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Kurutma safhasında daha etkin işlem amaçlanmaktadır. Soğutma kanalları oluşturulması daha yüksek bir kurutma performansı sağlanmasında etkilidir. Bu sayede kurutma performansını artırmak amacı ile kullanılan kurutma öncesi yıkama safhasında yüksek su/yük sıcaklıklarına çıkma ve kurutma için ekstra bir ısıtıcı kullanma zorunlulukları ortadan kalkmaktadır. Bu durum daha düşük enerji tüketimi değerlerinin eldesini sağlar [6].

2004 yılında Ennen, G., Hettenhausen, U. tarafından DE19858002 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.4'te sunulmuştur.

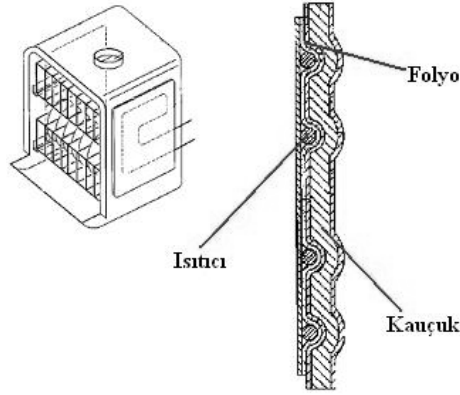


Şekil 2.4: Ses Yalıtımı Altı Isı Yalıtımı Uygulaması

Şekil 2.4'te sunulan patentte bulaşık makinesi kazanı üzerinde ses yalıtımı amacıyla kullanılan ses yalıtımı malzemesinin ısı olarak yıkama haznesinden en az etkilenmesini sağlayacak tasarım mevcuttur. Bitüm malzemesi yüksek ısı kapasitesine sahip olduğundan, yıkama haznesi ile direkt temasının kesilmesi

amaçlanmıştır. Bunu sağlamak için yıkama haznesi dışı ile bitüm arasına yalıtım malzemesi yerleştirilmiştir. Uygulanan bu yalıtımla, yüksek ısı kapasitesine sahip bitüme, yıkama haznesi ile ısıl temasta olan makine bileşenlerine ve dış ortama doğru olan ısı kaçak engellenmiş olacaktır [7].

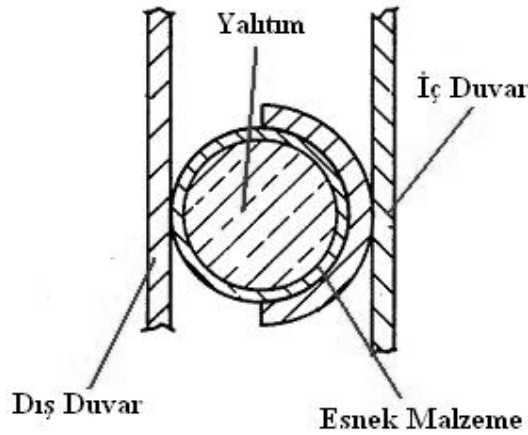
1999 yılında Muzino, T. tarafından JP11299719 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.5'te sunulmuştur.



Şekil 2.5: Kazan Etrafı Isıtıcı Uygulaması

Şekil 2.5'te sunulan patentte bulaşık makinesi kazanı etrafına yerleştirilen ısıtıcı sistemi söz konusudur. Kazan etrafına sarılan ısıtıcının etrafında bitül kauçuk malzeme ve alüminyum folyo vardır. Bu şekilde ısı kaçaklar engellenmiş olup daha verimli bir yıkama sağlanmaktadır [8].

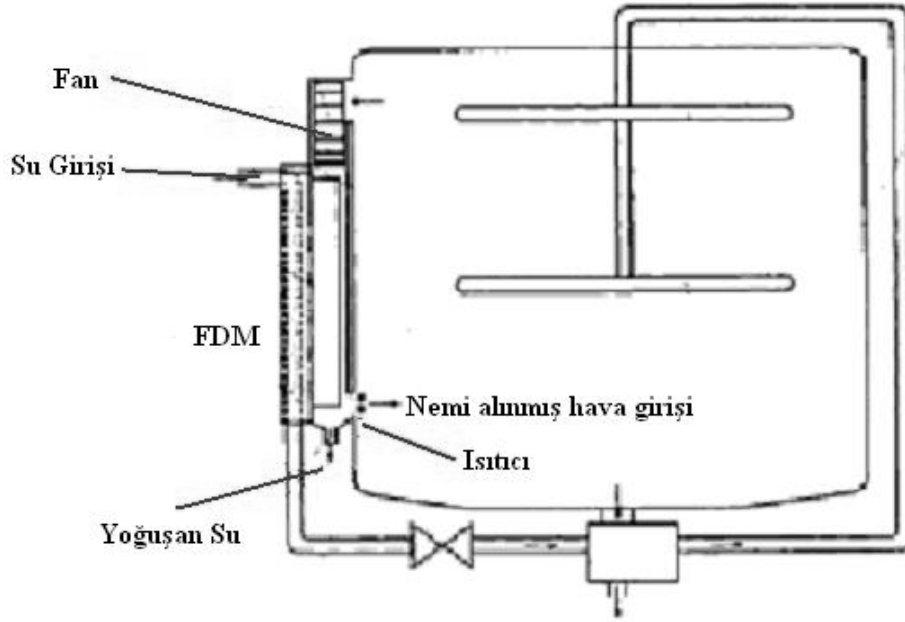
1990 yılında Nelson, T. tarafından US4901676 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.6'da sunulmuştur.



Şekil 2.6: Şerit Isı Yalıtımı Uygulaması

Şekil 2.6’da sunulan patentte bulaşık makinesi kazanı etrafına yerleştirilen esnek malzemeden ses yalıtımı dolgulu şeritler mevcuttur. Şeritler bulaşık makinesi ses izolasyonu sağlamaktadırlar. Ses yalıtımlı şeritler haricinde kalan boşluklara ses yalıtımı yapılabileceği gibi vakum da uygulanabilir [9].

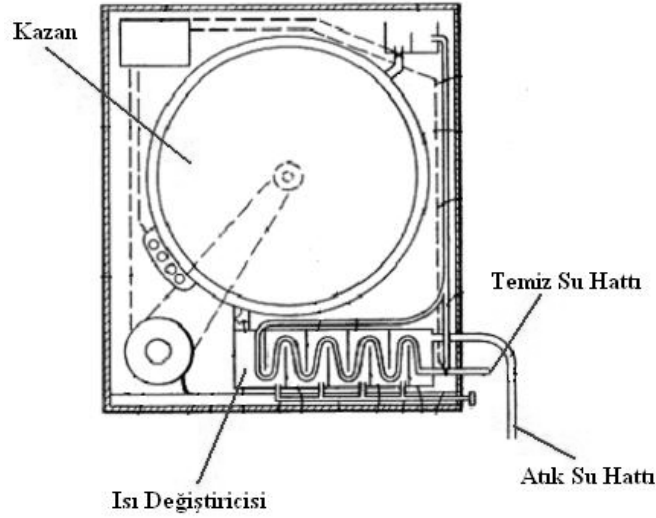
2000 yılında Juerg, W. tarafından CH690354 başvuru numarası ile alınan patetteki tasarım Şekil 2.7’de sunulmuştur.



Şekil 2.7: Faz Değiştiren Malzeme İle Kurutma Performans Arttırma Uygulaması

Şekil 2.7’de sunulan patentte bulaşık makinesi çalışması son periyodunda kurutma işleminde kullanılan, havanın neminin alınmasını sağlayan sistem tasarımı mevcuttur. Sıcak ve nemli havanın, neminin alınması FDM’li ısı değiştiricisi sayesinde olmakta ve havadaki nem azaldığı için bulaşıkların üzerindeki nemin yok edilmesi daha kısa sürede mümkün olmaktadır. Şebekeden alınan su, ortam şartlarından daha düşük sıcaklıkta olduğundan, ortam sıcaklığındaki FDM’den ısı almakta ve daha yüksek sıcaklıkta makine içine gönderilmektedir. Kurutma işlemi sırasında, soğuk su tarafından sıcaklığı düşürülmüş FDM üzerinden geçirilen sıcak ve nemli hava, nemini bırakmakta ve makine içerisine kuru olarak dönmektedir [10].

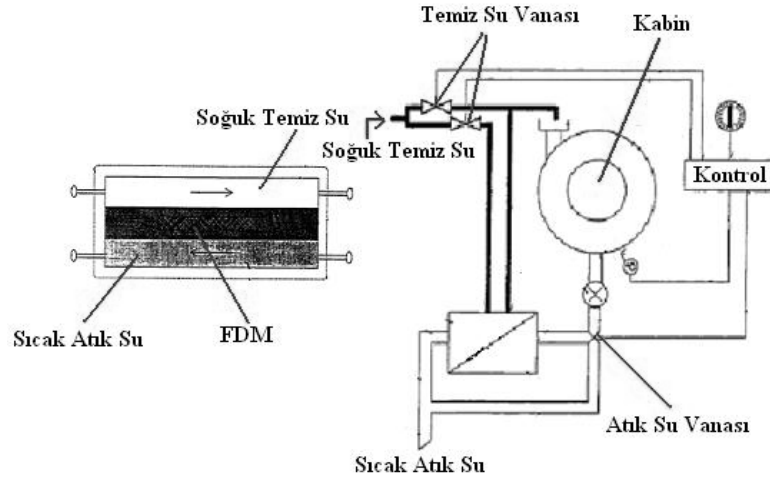
Huber, W. ve Kahlich, D. tarafından 1967 yılında DE2501165 başvuru numarası ile alınan patetteki tasarım Şekil 2.8’de sunulmuştur.



Şekil 2.8: Yıkayıcı Atık Su Isı Değiştiricisi

Şekil 2.8’de sunulan patentte bulaşık ve çamaşır makinelerinde, kullanım sonucu sıcak olarak sistem dışına atılan suyun, ısısının alınmasını sağlayacak, ısı değiştiricisi konstrüksiyonu uygulaması mevcuttur. Kullanım sonucu sıcak olarak atılan su, bir ısı değiştiricisinden geçirilmekte ve bu ısı değiştiricisinde ikinci bir hat içerisinde geçmekte olan soğuk suya depolanan ısı verilmektedir. Isı değiştiricisinde depolanan ısı temiz su yerine sistemde kullanılacak kurutma havasını ısıtmak için de kullanılabilir. Isı değiştiricisi içerisindeki yönlendiriciler etkinliği artırmak için tasarlanmıştır [11].

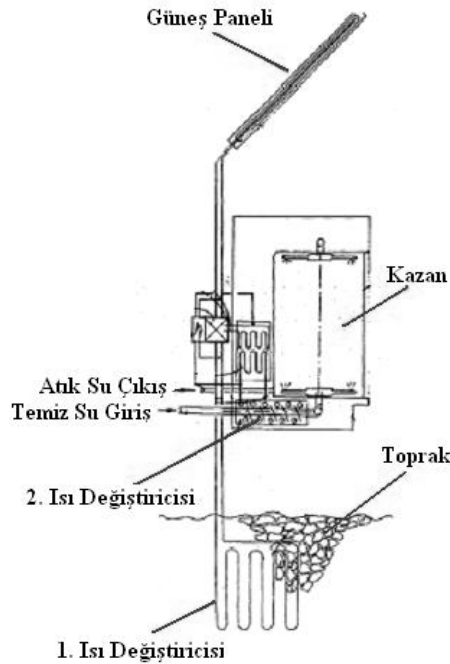
1995 yılınca Moschuetz, H. tarafından DE4403737 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.9’da sunulmuştur.



Şekil 2.9: Yıkayıcı Faz Değiştiren Malzemeli Isı Değiştiricisi Uygulaması

Şekil 2.9’da sunulan patentte, soğuk ve sıcak akışkanın FDM ile temasta olup birbirleri ile direk temasta olmadıkları ısı değiştiricisi konstrüksiyonu mevcuttur. Tasarımı gerçekleştirilen ısı değiştiricisi, özellikle bulaşık ve çamaşır makineleri için dizayn edilmiştir. Buluşta, soğuk ve sıcak akışkanın arasında FDM bulunan bir ısı değiştiricisi, ısı değiştiricisinin uygulandığı makine üzerinde ise, kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen, su hatları mevcuttur. Makine kullanımı sonucu sıcak olarak sistem dışına atılan sıcak atık su, ısı değiştiricisinden geçirilirken, ısısını FDM’ye vermekte ve FDM’nin faz değiştirmesi sağlanmaktadır. Makinenin ilerleyen periyotlarında şebekeden alınan soğuk su, ısı değiştiricisi içerisinde enerji depolamış olan FDM üzerinden geçirilerek, suyun ön ısıtması sağlanmış olmaktadır. Temiz ve atık suyun akış kontrolü, kontrol elemanı sayesinde gerçekleştirilmektedir. Kontrol elemanında alınan karar sonucu, şebeke suyu, ısı değiştiricisinden geçirilip, kazana gönderildiği gibi, direkt olarak da kazana gönderilebilmektedir. Aynı durum atık su için de geçerli olup, ısı değiştiricisinden suyun geçirilerek de, geçirilmeyerek de atımı söz konusu olabilmektedir. Kontrol ünitesi, akışın yönünü, temiz ve atık su vanalarını kontrol ederek belirlemektedir [12].

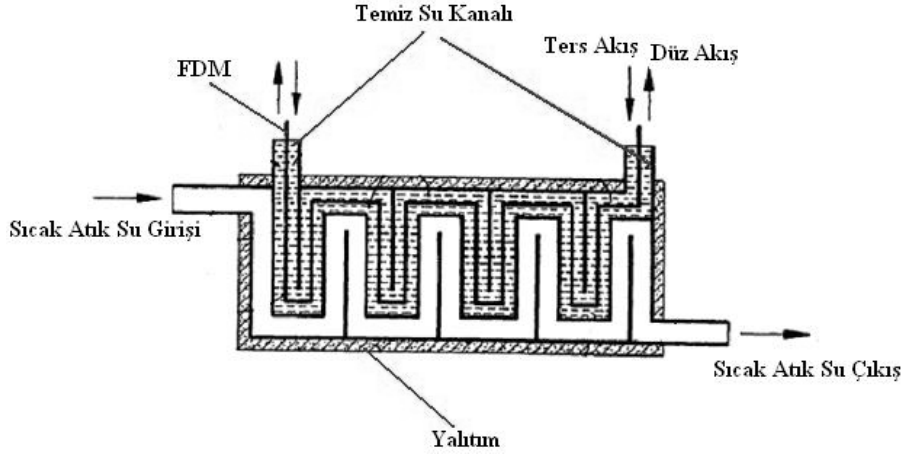
2002 yılınca Oettl, S. tarafından DE10045074 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.10’da sunulmuştur.



Şekil 2.10: Güneş Enerjili Isı Değiştirici Uygulaması

Şekil 2.10’da sunulan patentte güneş paneli ile güneş enerjisini, ısı pompası yardımı ile ise toprak enerjisini alarak depolayan ve depolanan enerjiyi bulaşık makinesi v.b. aletlerde kullanan ısı değıştiricili sistem tasarımı mevcuttur [13].

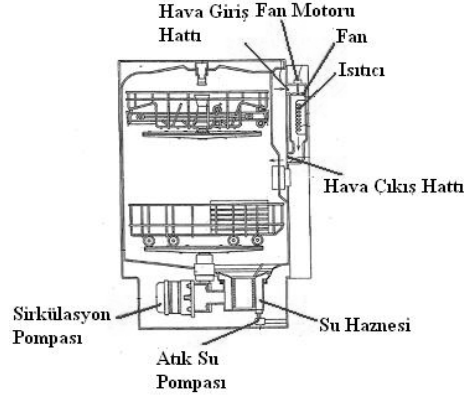
2001 yılında Stickel, E. ve Eiermann, R. tarafından EP1111118 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.11’de sunulmuştur.



Şekil 2.11: Yıkayıcı Faz Değıştiren Malzemeli Isı Değıştiricisi Uygulaması

Şekil 2.11’de sunulan patentte içerisinde FDM bulunduran kanal, soğuk su hattı ile, sıcak su hattının mevcut olduğu ısı değıştiricisi sistemi söz konusudur. Sistemden atılan sıcak su, ısı değıştiricisi içerisinde geçirilirken ısını, soğuk su borusundaki, FDM kanalına vermekte ve FDM’nin faz değıştirmesine neden olmaktadır. İlerleyen periyotta, soğuk suyun, soğuk su hattından geçirilmesi sırasında, FDM’de depolanan enerji soğuk suya aktarılmaktadır. Soğuk suyun, soğuk su kanalından geçişi, FDM borusunun, iki yüzünden birbirlerine göre ters geçişli olarak gerçekleşmekte, bu sayede maksimum ısı transferi sağlanmaktadır. Sistemde meydana gelebilecek ısı kayıpları engellemek için yalıtım kullanılmaktadır [14].

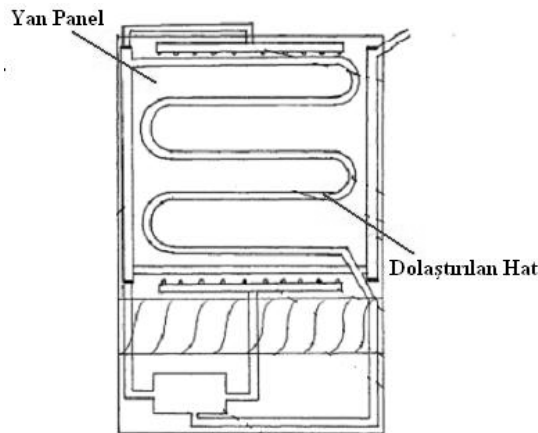
2004 yılınca Jung, T. ve Hur, G. tarafından US2004200508 başvuru numarası ile alınan patetteki tasarım Şeki 2.12’de sunulmuştur.



Şekil 2.12: Su Yerine Hava İle Isıtma Uygulaması

Şekil 2.12’de sunulan patentteki buluş bulaşık makinesi içerisinde kullanılan sıcak suyun eldesinde, suyun direkt ısıtılması yerine, özgül ısısı sudan daha düşük olan havanın ısıtılması yoluna gidilmesi, esasına dayanmaktadır. Kapıya monte edilen ısıtıcı yardımı ile sıcaklığı artırılan hava, yıkanacak bulaşıkların üzerine gönderilmekte ve bulaşıkların belirli bir sıcaklığa gelmesi sağlanmaktadır. Daha sonra şebekeden alınıp sistem içerisine gönderilen soğuk su ile yıkama sağlanmakta, bu sayede bulaşık makinesi sıcak yıkama periyodu gerçekleştirilmektedir. Isıtılan bileşen su yerine daha düşük özgül ısıdaki hava olduğu için, sistemde enerji tasarrufu sağlanmış olmaktadır [15].

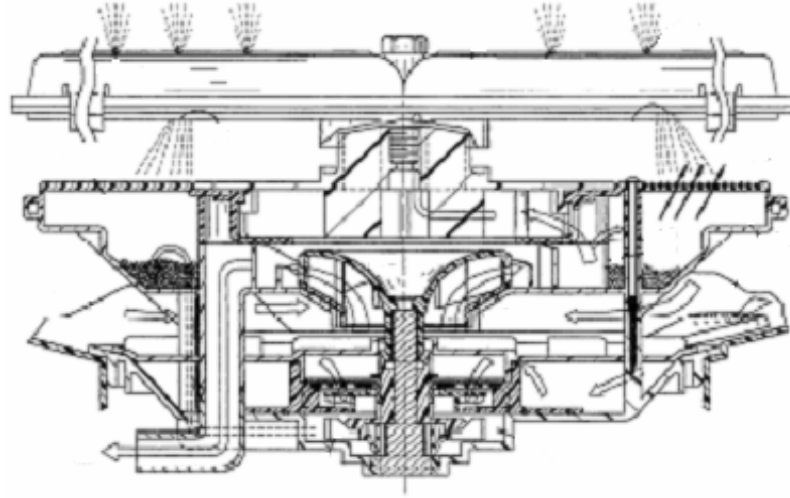
2004 yılında Kulbach, E. tarafından EP1382288 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.13’te sunulmuştur.



Şekil 2.13: Yıkama Öncesi Isı Kazanım Uygulaması

Şekil 2.13'te sunulan patentteki tasarımın amacı bulaşık makinesi sıcak yıkama periyodunda şebekeden alınan soğuk suyun kabin içerisine gönderilmeden önce makine yan veya arka duvarlar, tavan veya tabana yerleştirilmiş borulama sisteminde ön ısıtma yapılarak enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Tanımlanan ön ısıtma, bir önceki yıkama periyodunda kabin içinde depolanan ısı yardımı ile gerçekleştirilmektedir [16].

1995 yılında Young, R. tarafından US5429679 başvuru numarası ile alınan patentteki tasarım Şekil 2.14'te sunulmuştur.



Şekil 2.14: Suyun Tekrar Kullanımı Sistemi

Şekil 2.14'te sunulan patentin amacı yıkama işleminde kullanılan suyun kabine girmeden önce ısıtılması ve bu yolla enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Tasarlanan sistemde, yıkama çevrimi sonunda belirli miktarda sıcak su filtrelerden geçirilerek temizlenmektedir. Temizleme işlemi ardından, dışarıdan alınan aynı miktarda su, temizlenen su ile karıştırılarak kabin içine ısıtıcı kullanılmadan gönderilmektedir [17].

3. BULAŞIK MAKİNESİ ENERJİ BİLANÇOSU

Bulaşık makinelerinde de diğer tüm beyaz eşyalarda olduğu gibi belirlenen standartlar ve çevresel baskılar enerji ve su tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak üreticileri zorlamaktadır. Daha az enerji tüketen ürünlerin oluşturulabilmesi için bulaşık makinesinin iyi analiz edilerek enerji bilançosunun oluşturulması alternatif uygulamaların oluşturulması ve uygulanması açısından yol gösterici olacaktır.

Bulaşık makinesi enerji bilançosunun çıkarılması amacıyla bulaşık makinesinin bileşen ağırlıkları belirlenmiş, bu işlemin ardından bir makineye termokupllar yerleştirilerek bileşenler ve suyun yıkama işlemi sürecindeki sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Belirlenen sıcaklıklar bulaşık makinesi enerji bilançosunun oluşturulması için kullanılmıştır. Enerji bilançosunun belirlenmesi amacıyla bulaşık makinesi, termodinamiğin birinci kanunu baz alınarak incelenmiştir. Yapılan sıcaklık ölçümleri ile giren – çıkan enerji miktarları, yapılan iş ile bileşenler üzerinde depolanan enerji miktarları belirlenmiştir. Bulaşık makinesi enerji bilançosu iki farklı yöntem ile hesaplanmıştır. Bunlardan birincisi, bulaşık makinesinin çalışma başlangıcı ile kurutma sonu arasındaki periyodun değerlendirilmesi ve diğeri ise her periyot için ayrı ayrı enerji bilançolarının oluşturulmasıdır. Ayrı ayrı enerji bilançoları ısı analizlerin daha kolay yapılabilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmada ek olarak Ekonomi 50°C programında farklı bölgelerin ısı görüntüleme çalışmaları ile ısı akısı ölçümleri de gerçekleştirilmiştir.

Bulaşık makinesi enerji bilançosunun belirlenmesi ile birlikte enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik alternatif yöntemler elde edilecektir. Başlıca alternatif yöntemler, depolanan enerji miktarının azaltılmasına yönelik olarak yüksek özgül ısı değerine sahip olan kazan üzeri ses yalıtımı malzemesi başta olmak üzere bileşenlerin ağırlıklarının azaltılması ve daha düşük özgül ısı değerine sahip bileşenlerin kullanımı, sıcak suyun kullanıldığı çalışma evrelerinde ısı kaybının azaltılmasına yönelik olarak yalıtım uygulaması, ısıtıcının daha verimli kullanımına yönelik olarak çalışmaların yapılması ve atık enerjiden faydalanılması amacıyla

enerjinin depolanması ve farklı yıkama evrelerinde kullanılması olarak tanımlanabilmektedir.

3.1 Deney Düzeneği

Bulaşık makinesi enerji bilançosu deney düzeneği temel olarak şu elemanlardan oluşmaktadır:

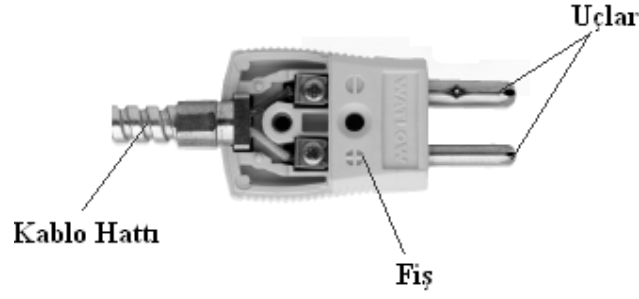
- Termokupllar
- Isı akısı sensörleri
- Debimetre
- Termal kamera
- Veri toplama panosu
- Deney makinesi ve standart yükler

Yardımcı cihazlar ise;

- Isı iletim katsayısı ölçüm cihazı
- Özgül ısı ölçüm cihazı
- Emissivite ölçüm cihazı

3.1.1 Termokupllar

Termokupllar iki farklı metalin birbirine kaynaklanmasından oluşan yapılardır. Birleşim noktasındaki sıcaklığa bağlı olarak metallerin bağlı olduğu devrede bir gerilim sinyali oluşur. Farklı metal çiftlerinin aynı sıcaklık değerlerinde meydana getirdiği gerilim sinyali şiddeti farklıdır. Birçok farklı tipte termokupl mevcuttur (K, E, J, N, B, R, S, T tipleri). Termokupllar, farklı sıcaklık aralıklarındaki ölçüm hassasiyetleri sebebiyle birbirlerinden ayrılmaktadırlar (demir-konstantan 75/700°C, nikel-krom nikel 650/1200°C, platin rodyum-platin birleşimi ise 1200°C ve üzeri). Gerçekleştirilen deneysel çalışmada kullanılan termokupllar T tipi (bakır-konstantan -100/165°C) olup 0.3°C hassasiyetle çalışmaktadırlar. Deneysel çalışmalarda kullanılan Watlow marka T tipi termokupl Şekil 3.1’de sunulmuştur.

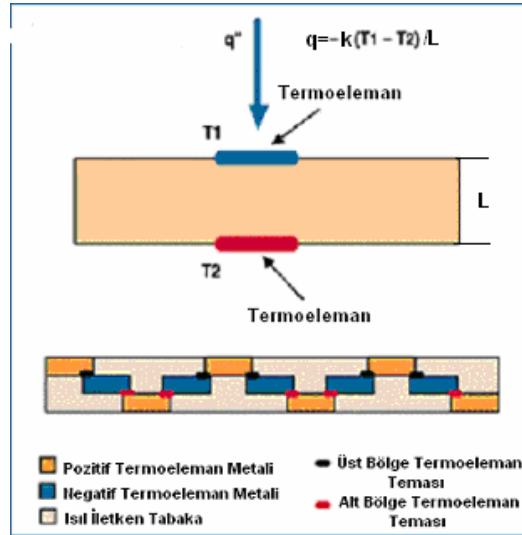


Şekil 3.1: Termokupl

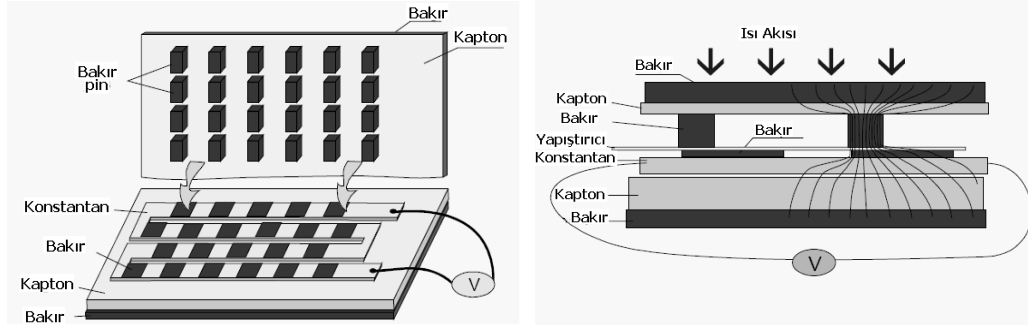
3.1.2 Isı Akısı Sensörleri

Isı akısı sensörleri, ince bir tabaka şeklindeki ısıl direnç malzemesiyle ayrılmış bir termopil veya birkaç termoelemandan oluşur. Bir sıcaklık gradyeni altında, iki termopil bağlantı tabakası farklı sıcaklıklarda olacak ve dolayısıyla aralarında bir gerilim meydana gelecektir. Isı akısı bu gerilim ile orantılıdır. Dikkat edilmesi gereken husus, sıcaklık gradyeninin oluşmaması halinde tabakalar arasında sıcaklık farkı olmayacağından bir gerilimin oluşmayacağıdır. Sensörün yanıt zamanını artırmak için ısıl direnç tabakası mümkün olduğunca ince olmalıdır. Ayrıca düzgün bir sıcaklık dağılımının elde edilebilmesi için sensörlerin ısıl iletkenliği yüksek olmalıdır.

Termokupl kullanılmış ısı akısı sensörü detayı Şekil 3.2’de, termopil kullanılmış ısı akısı sensörü detayı Şekil 3.3’te sunulmuştur.



Şekil 3.2. Termokupl ve Termopil Kullanılmış Isı Akısı Sensörü



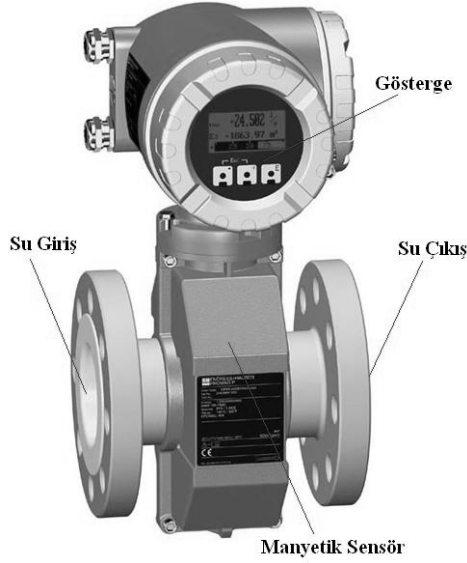
Şekil 3.3: Isı Akısı Sensörü İç Yapısı/Akı İlerleme Hattı

Isı akısı sensörlerinin daimi olarak ölçülen parametreyi etkilemesi de söz konusudur. Isı akısı ölçümü yapılacak bölgenin sınırındaki ısı iletkenliği değiştirerek ısı akısında sapmalara neden olabilmektedirler (direnç hatası; eğer sensör sınırındaki iletkenliği düşürürse, daha fazla enerji sensör üzerinden geçecektir). Buna ek olarak sensörün bulunması söz konusu ölçüm bölgesindeki ısı geçişini de etkileyebilir ve bunun sonucunda bu bölgedeki eş sıcaklık çizgileri (izoterm) değişebilir. Bu nedenle ısı akısı ölçümlerinde ısı akısı sensörleri kullanılırken belirlenen bölgedeki ısı özellikleri üzerine sensörün etkisi dikkate alınmalıdır. Ancak genellikle bu etki oldukça küçük olmakta ve ihmal edilmektedir. Isı akısı sensörlerinde μV olarak okunan sinyal, $W/m^2/\mu V$ cinsinden belirli katsayılarla çarpılarak W/m^2 cinsinden ısı akısına çevrilir. Sensörlere özgü katsayılar kalibrasyonla elde edilir. Isı akısı sensörlerinin kalibrasyonunda önceden kalibre edilmiş bir yardımcı sensör ve ince film ısıtıcı kullanılmaktadır.

3.1.3 Debimetre

Deney düzeneğinde su tüketimi ölçümleri için kullanılan cihaz Şekil 3.4'te sunulmuştur. Kullanılan debimetre Endress+Hauser firmasına ait Proline Promag 50 model elektromanyetik debimetredir. Cihaz elektromanyetik akış ölçümü yapmaktadır. Buna göre, manyetik alan içinde hareket eden iletken akışkan üzerinde gerilim indüklenmektedir. Akış hızı, indüklenen gerilim değeri ile orantılı olarak ölçülmekte ve akış çapına göre debi hesaplanmaktadır. Cihaz, 20-60°C ortam sıcaklığında çalışmaktadır. Debimetre içerisinde ölçüm alınan bölgede ölçülebilen akış hızı aralığı 0,01-10 m/s arasında değişmektedir. Ölçülecek sıvının fiziksel özelliklerine göre, hız değeri bu aralığın dışında da ayarlanabilir. Ölçüm hassasiyeti,

okunan hız değerinin $\pm$ %0,5'i kadardır. Debimetre hız, hacimsel ve kütesel debi değerlerini anlık olarak ölçebilmektedir.



Şekil 3.4: Debimetre

3.1.4 Termal Kamera

Isıl olarak aktif cihazların üzerindeki, ısı kaçaklarının yoğun olduğu kritik bölgelerin tespiti geleneksel yöntemlerle oldukça zordur. Bu sebeple çeşitli görüntüleme araçları ve yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı termal görüntüleme yöntemidir. Bu yöntem, her nesnenin sahip olduğu sıcaklık değerine bağlı olarak değişen dalga boylarında ışıınım yayması esasına dayanmaktadır. Termal görüntüleme, termal kamera olarak adlandırılan, radyasyon vasıtası ile yayılan termal enerjiyi ölçmeye yarayan, lenslerden ve algılayıcılardan oluşan cihaz yardımı ile gerçekleştirilmektedir.

Bulaşık makinesi de ısıl olarak aktif bir cihaz olması ve ısı kaçaklarının büyük yüzeyli alanlarda meydana gelmesi sebebiyle termal kamera ile görüntülenmiştir. Çalışmadaki temel amaç; bulaşık makinesi üzerindeki ısı kaçak bölgelerinin tespiti ve tespit edilen bölgelere gerekli müdahalelerin yapılarak meydana gelen ısı kaçakların engellenmesidir.

Bu çalışma kapsamında bulaşık makinesi termal kamera ölçümü deney düzeneği oluşturulmuştur. Isıl görüntüleme sırasında Şekil 3.5'te sunulan flir marka termal

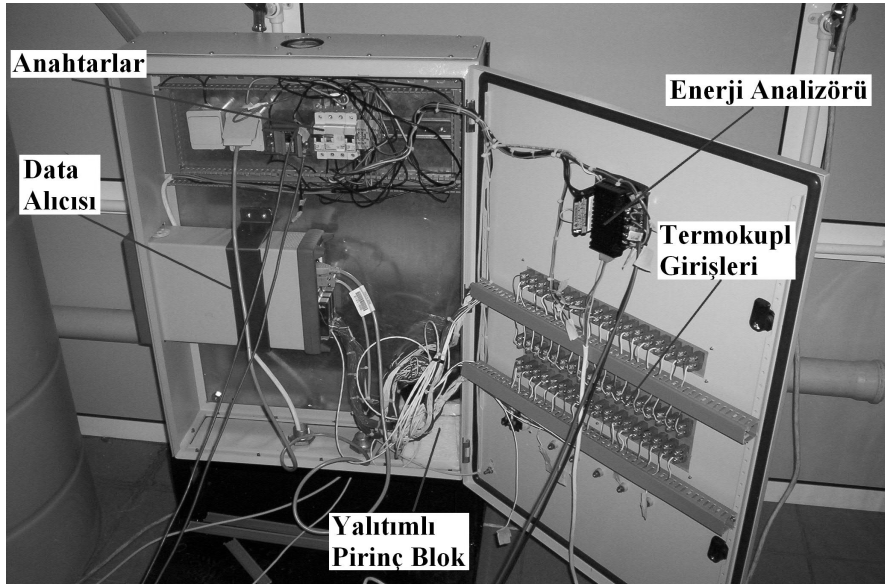
kamera kullanılmıştır. Kullanılan termal kamera, sıcaklık ölçümünü, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ hassasiyet ile gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 3.5: Termal Kamera

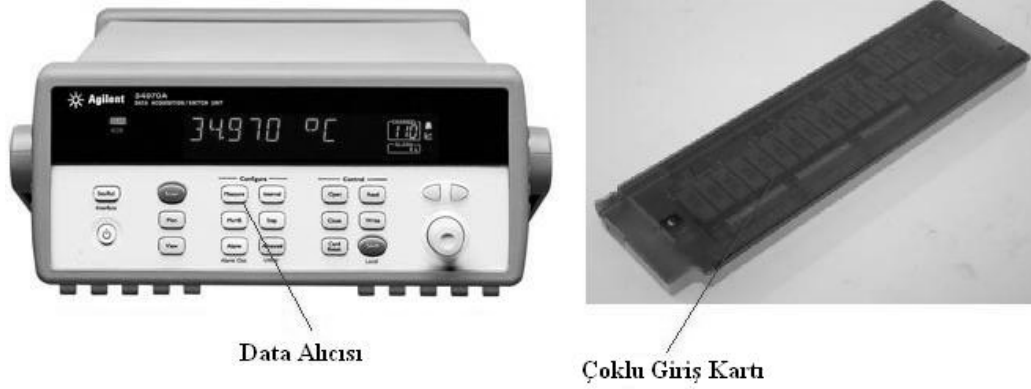
3.1.5 Veri Toplama Üniteleri

Şekil 3.6’da sunulan ve deneysel çalışmalarda kullanılan veri toplama ünitesi, sıcaklık ölçümleri için kullanılan data alıcısı, enerji ölçümleri için kullanılan enerji analizörü, deney makinesinden gelen termokuplların yerleşeceği termokupl girişleri ve referans RTD ile gelen sıcaklık sinyallerinin karşılaştırıldığı yalıtımlı pirinç bloktan meydana gelmiştir. Data alıcısı ve enerji analizörünün bilgisayar bağlantısı mevcut olup çalışma esnasında elde edilen ölçümler bilgisayara aktarılmaktadır. Ünite içerisinde eş sıcaklık dağılımının eldesi amacıyla fan kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Veri Toplama Ünitesi

Şekil 3.7’de sunulan ve sıcaklık ölçümleri için kullanılan Agilent marka data alıcısında, 20 ölçüm kanallı 3 adet çoklu giriş kartı bulunmaktadır. Data alıcı ünite ile sıcaklık, akım, direnç ve frekans ölçümleri yapmak mümkündür. Sıcaklık ölçümleri termokupl, termistör veya RTD ile yapılabilmektedir.



Şekil 3.7: Data Alıcı ve Çoklu Giriş Kartı

Deneyisel çalışmalardaki enerji, güç ve voltaj ölçümlerinde kullanılan ve Şekil 3.8’de sunulan ION marka enerji analizörü 100-240 V alternatif akım, 110-300 V doğru akım şartlarında -20°C-70°C sıcaklık ve %5-%95 nem aralığında çalışmaktadır. Analizör; %0,5 hassasiyet ile güç ve voltaj; %0,3 hassasiyetle ise akım değeri ölçebilmektedir.



Şekil 3.8: Enerji Analizörü

3.1.6 Deney Makinesi ve Yükler

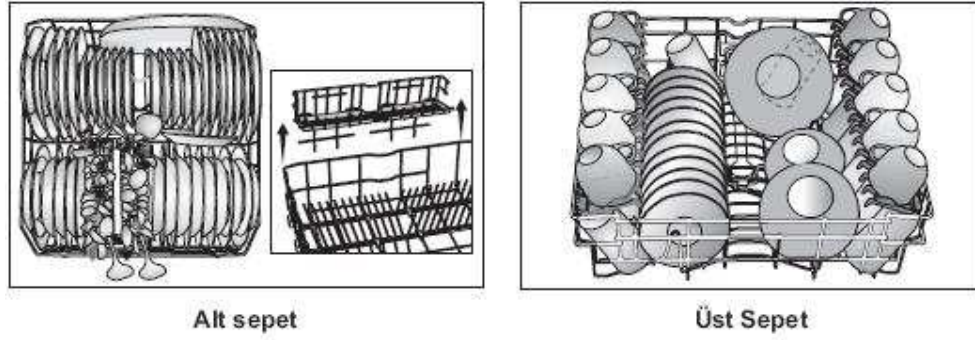
Çalışmada kullanılan bulaşık makinesi 9 programlı, yıkama kapasitesi 12 kişilik standart sofrta takımı olan toplam güç değeri 2000 W ve ısıtıcı gücü 1800 W olan bir bulaşık makinesidir. Dış ölçüleri 850 x 600 x 570 mm³ olan bulaşık makinesinin standart yük şartındaki enerji tüketimi 1050 Wh, su tüketimi ise 9 litre olarak deklare edilmektedir. Çalışmada kullanılan bulaşık makinesi 4 evrede(Ön yıkama, ana yıkama, soğuk durulama, sıcak durulama) yıkama yapmaktadır. Yıkama evreleri içerisinde ön yıkama, soğuk durulama ve sıcak durulama adımları öncesi sisteme su alınmaktadır. Bu çerçevede, soğuk yıkama ve sıcak yıkamada aynı su kullanılarak, öncelikli olarak su tüketimi, ve iki periyot arasında soğuk su alınmaması sebebiyle ısıtmaya yeni alınan temiz sudan daha sıcak bir su ile başlanması sebebiyle enerji tüketimi iyileştirilmiştir.

Deneyisel çalışmada yük olarak standartlarca belirlenmiş özelliklere sahip yükler kullanılmıştır. Bu yüklerin ağırlık, özgül ısı ve yüzey pürüzlülük değerleri belirlidir. Standart yüklerin ağırlıkları Tablo 3.1’de sunulmaktadır.

Tablo 3.1: Bulaşık Makinesi Standart Yükler ve Ağırlıkları

Malzeme	Ortalama Ağırlık (kg)	Adet	Toplam (kg)
Çay Fincanı	0,10	12	1,21
Çay Tabağı	0,14	12	1,69
Küçük P. Tabağı	0,26	12	3,12
Büyük P. Tabağı	0,51	12	6,12
Yemek Tabağı	0,48	12	5,75
Salata Tabağı	0,80	1	0,80
Beher	0,11	12	1,31
Çay Kaşığı	0,02	12	0,21
Yemek Kaşığı	0,06	12	0,73
Çatal	0,04	12	0,46
Bıçak	0,05	12	0,65
Tatlı Kaşığı	0,03	12	0,32
Büyük Kase	0,56	1	0,56
Orta Kase	0,41	1	0,41
Küçük Kase	0,14	1	0,14
		Toplam	23,49

Standart yüklerin bulaşık makinesi içerisindeki yerleşimi Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9: Bulaşık Makinesi Standart Yük (Seramik-Cam) Yerleşimi



Şekil 3.10: Bulaşık Makinesi Standart Yük (Metal) Yerleşimi

Standart deney şartları için belirtilen ortam sıcaklığı $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, ortam nem değeri $\%55 \pm 5$, su sıcaklığı ise $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'dir.

3.1.7 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı

Bu tip cihazlar, çeşitli malzemelerin ısı iletim katsayılarının ölçülmesi amacıyla kullanılırlar. Ölçüm, sürekli rejimde ölçümü yapılacak malzemedan ısı geçişi sağlanarak yapılmaktadır.

Numune üzerinden geçişi sağlanan ısı, her iki yüzeyde farklı sıcaklıkların sağlanması ile oluşturulur. Birim zamanda geçen ısı miktarı, numunenin ısı iletim katsayısı ve numune kalınlığına bağlıdır. Bu durum Fourier kanunu ile açıklanabilir.

$$q = k \cdot A \cdot (\Delta T / L) \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de;

- q : Numune üzerinden geçen ısı miktarı (W)
k : Ortalama bir sıcaklıkta numune ısı iletim katsayısı (W/mK)
A : Numune yüzey alanı (m²)
ΔT : Alt üst plaka sıcaklık farkı (K)
L : Numune kalınlığı (m) olarak tanımlanmıştır.

Cihaz üzerinde ısı akısının belirlenebilmesi için, alt ve üst plakalara monte edilmiş, ölçümü yapılacak numune ile temas halinde iki adet “ısı akısı ölçer” bulunur. Isı akısı ölçer içerisindeki termopil yardımıyla, geçen ısı miktarına eşdeğer bir gerilim değeri elde edilir. Elde edilen gerilim değerinin ısı akısı ölçerlerinin kalibrasyon katsayısı ile çarpımı numune üzerinden geçen ısı akısı değerini vermektedir. Elde edilen ısı akısı değeri Denklem (3.2) kullanılarak numune ısı iletim katsayısının hesabında kullanılmaktadır.

$$kL = \frac{VN}{\Delta T} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de;

- k : Ortalama bir sıcaklıkta numune ısı iletim katsayısı (W/mK)
L : Numune kalınlığı (m)
V : Geçen ısıya bağlı olarak “ısı akısı ölçer”in okuduğu gerilim (V)
N : Isı akısı ölçer ile numune üzerinden geçen ısı arasındaki bağıntıyı veren kalibrasyon sabiti(W/(m²V))
ΔT : Alt üst plaka sıcaklık farkı (K)
olarak tanımlanmıştır.

Kalibrasyon sabiti “N”, kalibrasyon numunesi olarak kullanılan, ısı iletim katsayısı bilinen bir numunenin, cihazda ölçümünün yapılması ile elde edilebilir. Bu sabit değer tamamen sıcaklık ile değişmektedir. Tek bir sıcaklıkta kalibrasyon yapıldığı zaman, kalibrasyon sabiti N, Denklem (3.3)'te sunulduğu gibi cihaz tarafından belirlenir.

$$N = \frac{kL\Delta T}{V} \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'te,

- k : Ortalama bir sıcaklıkta numune ısı iletim katsayısı (W/mK)
L : Numune kalınlığı (m)

V : Geçen ısıya bağlı olarak “ısı akışı ölçer”in okuduğu gerilim (V)
N : Isı akışı ölçer ile numune üzerinden geçen ısı arasındaki bağıntıyı veren kalibrasyon sabiti ($W/(m^2V)$)

ΔT : Alt üst plaka sıcaklık farkı (K)

olarak tanımlanmıştır.

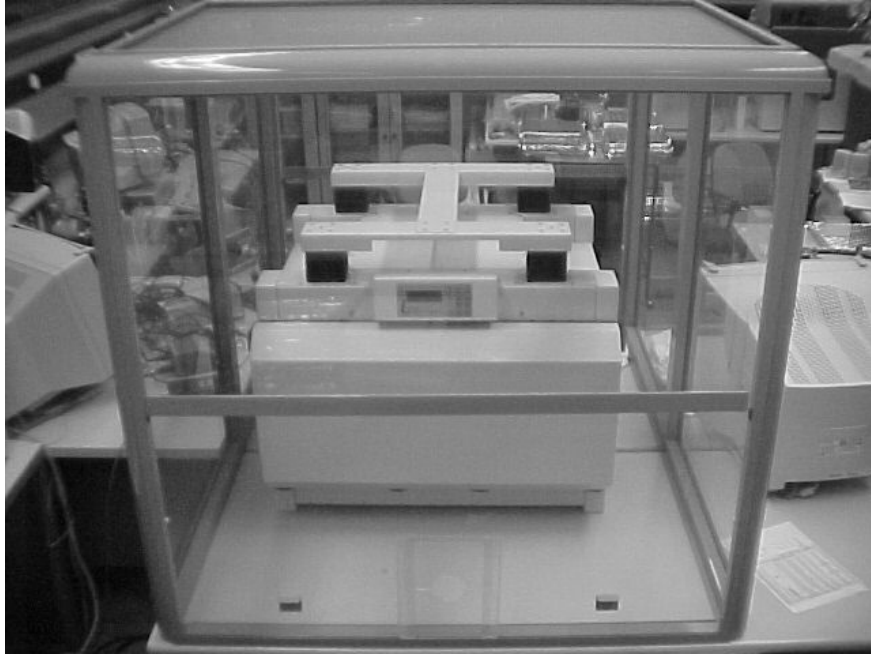
Çalışmada, ısı iletim katsayılarının belirlenmesi amacıyla, ısı akışı ölçer metoduna göre ölçüm yapan iki adet cihaz kullanılmıştır. Bunlardan biri, 300x300 mm. boyutlarında ve 0,5-10 cm kalınlığında, diğeri ise 600x600 mm boyutlarında ve 0-20,3 cm kalınlığında numunelerin ısı iletim katsayılarını belirleyebilmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan Holometrix marka ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı Şekil 3.11’de sunulmuştur.



Şekil 3.11: 300x300 mm. Boyutlarında Ölçüm Yapabilen Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı

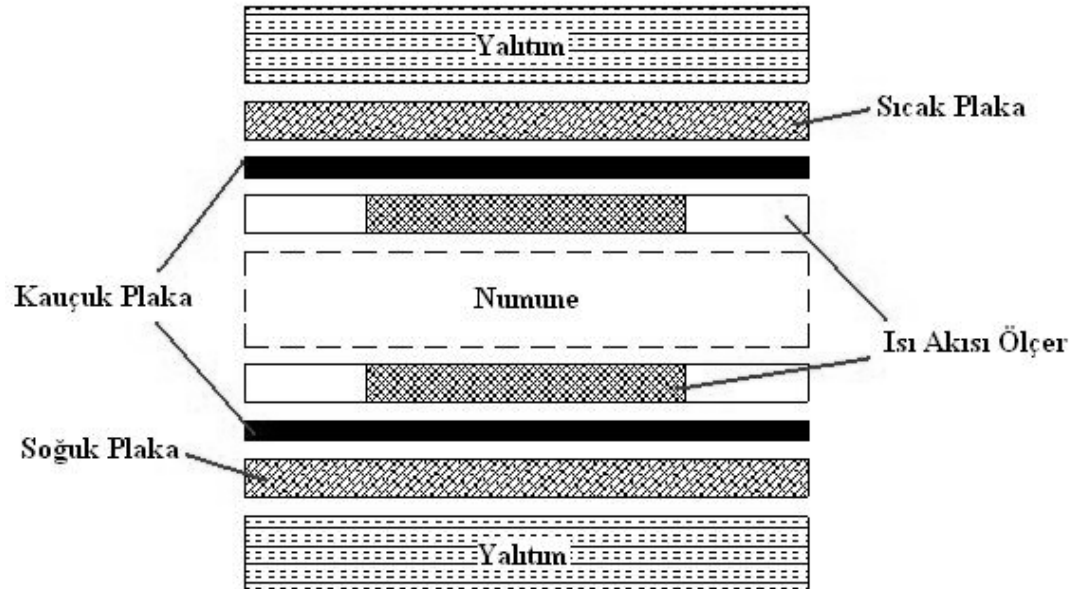
Şekil 3.11’de sunulan ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı, 0,015 W/mK ile 0,43 W/mK aralığında ölçüm yapabilmektedir. Ölçüm hassasiyeti, üretici firma tarafından $\pm\%5$ olarak belirtilmiştir. Bu cihazda ölçümler sıcak taraf 38°C ve soğuk taraf 10°C olmak üzere, 24°C ortalama sıcaklıkta yapılmaktadır.

Şekil 3.12’de sunulan ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı, 0,0015 W/mK ile 0,20 W/mK aralığında ölçüm yapabilmektedir. Ölçüm hassasiyeti, üretici firma tarafından $\pm\%0,5$ olarak belirtilmiştir. Bu cihazda ölçümler, sıcaklık farkı 20°C ‘den az olmamak koşulu ile -15°C ile 80°C arasında ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 3.12: 600x600 mm. Boyutlarında Ölçüm Yapabilen Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı

Isı akısı ölçüm metoduna göre ölçüm yapan ısı iletim katsayısı ölçüm cihazlarındaki numune yerleşimi Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı Çalışma Şeması

3.1.8 Yayma Katsayısı Ölçüm Cihazı

Bulaşık makinesine ait parçalardan, birbirlerine ya da dış ortama doğru meydana gelen ışınlama ile ısı transfer miktarının tespiti için gerekli yayma katsayısının ölçümü yayma katsayısı ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm cihazı optik prensiplere göre çalışmaktadır. Cihaza ait ölçüm ağzından yüzeye doğru belirli bir dalga boyunda iletilen ışık demeti yüzeye çarpmakta ve geri dönmektedir. Geri dönen ışığın dalga boyuna bağlı olarak yüzeyin yayma katsayısı ölçülmektedir. Yayma katsayısı değeri doğrudan cihazın ekranından okunabilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan Pyrofiber marka yayma katsayısı ölçüm cihazı Şekil 3.14'te sunulmuştur.



Şekil 3.14: Isı Yayma Katsayısı Ölçüm Cihazı

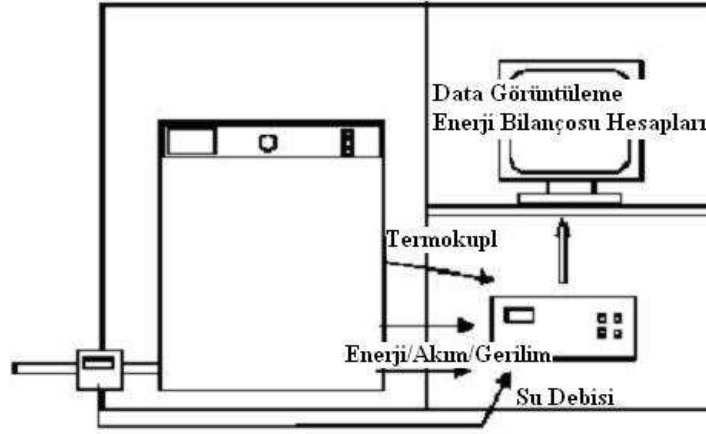
3.2 Ölçümler

Ölçümler kısmında ilk olarak, makinenin 50°C ekonomik programına ait sıcaklık haritasının çıkarılması ele alınacaktır. Daha sonra, bu program süresince kazandan makine bileşenlerine ve makineden dış ortama doğru olan ısı akısı ölçümleri incelenecektir.

3.2.1 Veri Toplama Ünitesi Kalibrasyonu

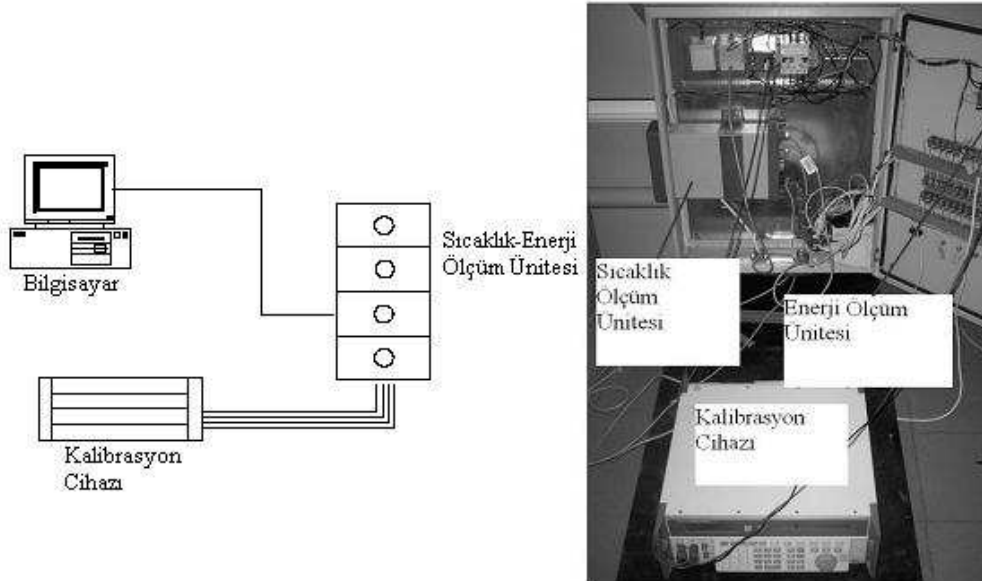
Bulaşık makinesi için oluşturulan ısıl modele ait sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması amacıyla çeşitli ölçümlerin gerçekleştirilebildiği bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneği kullanılarak sıcaklık, enerji analizörü kullanılarak enerji, akım, voltaj, anlık güç değerleri, debimetre kullanılarak ise su tüketim değerleri ölçülebilmektedir. Deney düzeneği temel olarak, 54 adet termoeleman girişi, giriş yapılacak termoelemanlar ile sıcaklık farkının karşılaştırılması amacıyla bakır blok, güç ve enerji ölçümleri için enerji analizörü, sıcaklık veri alma ünitesi,

debimetre ve bir bilgisayardan oluşmaktadır. Oluşturulan sistemin şematik gösterimi Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Enerji Bilançosu Deney Düzeneği Şematik Gösterimi

Çalışma bünyesinde oluşturulan sistemin ölçüm doğruluğunu sağlamak amacıyla kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma, sıcaklık ölçüm sistemi ve enerji analizörü için yapılmıştır. Kalibrasyon amacıyla sıcaklık ile enerji datası toplama ünitesi, kalibrasyon cihazı ve bir adet bilgisayar kullanılmıştır. Kullanılan deney düzeneği Şekil 3.16'da sunulmuştur.



Şekil 3.16: Enerji Bilançosu Sistemi Kalibrasyon Düzeneği

Kalibrasyon işleminde Fluke 5500A kodlu kalibrasyon cihazı kullanılmıştır. Kalibrasyon cihazı, üzerinde bulunan elektronik devreler sayesinde istenilen değerde gerilim, akım, direnç, sıcaklık v.b. büyüklüklere karşılık gelen elektriksel sinyalleri üretebilen cihazdır. Bu cihaz tarafından üretilen sinyaller, kalibrasyonu yapılacak cihaza yönlendirilmektedir. Cihaz üzerinden herhangi bir data ölçüm sistemi ile alınan bilgiler gönderilen sinyal bilgileri ile karşılaştırılarak hatayı en aza indirecek katsayılar belirlenmekte ve data ölçüm programına kaydedilmektedir. Bu sayede, ölçümü gerçekleştirilecek sinyaller uygun katsayılarla çarpılarak doğru sonuçların alınması sağlanmaktadır.

Deney düzeneğinde öncelikle sıcaklık ölçümü kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki aşamalı olarak yapılmıştır. İlk aşamada, sıcaklık değerlerinin okunduğu data alım ünitesinin kalibrasyonu amacıyla, belirli bir sıcaklık aralığında kalibrasyon cihazının gönderdiği sinyaller karşılığında bilgisayar yazılımı olan data alım programı tarafından gösterilen değerler incelenmiştir. İnceleme sonucunda sıcaklık değerlerinin lineer değişimi için bir doğru çıkarılmış, doğru denklemi her bir sıcaklık kanalı için data alım programına yüklenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise ilk aşamada elde edilen doğru denklemi yüklenen sistem kullanılarak, kalibrasyonunun teyidi için yeniden ikinci bir kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. İlk ve ikinci aşamalar sonunda kalibrasyon cihazı tarafından gönderilen sıcaklık değerleri ve onlara karşılık data alım programından okunan değerler ‘Ekler’ kısmında sunulmuştur (Tablo A.1).

Tablo A.1’de sunulduğu üzere, ikinci kalibrasyon sırasında kalibrasyon cihazı tarafından gönderilen sıcaklık sinyalleri karşısında, data alım programından okunan değerlerin yeterince yakın olduğu tespit edilmiş ve sıcaklık kalibrasyonu tamamlanmıştır. Benzer bir kalibrasyon çalışması pano üzerinde enerji ölçümleri için kullanılan enerji analizörü için gerçekleştirilmiştir.

Enerji analizörü kalibrasyon çalışması iki aşamalı olarak planlanmıştır. İlk aşamada, sistemde güç ve voltaj değerlerinin okunduğu data alım ünitesinin kalibrasyonu amacıyla, belirli bir güç ve voltaj aralığında kalibrasyon cihazının gönderdiği sinyaller karşılığında bilgisayar yazılımı olan data alım programı tarafından gösterilen değerler incelenmiştir. İncelenen değerlerden tespit edildiği üzere gerçek değerler ile uygulanan değerler arasındaki fark oldukça küçüktür ($R^2=0,999$). Bu

sebeple ikinci bir kalibrasyona gerek duyulmamıştır. İlk kalibrasyon sonucu data alım programından okunan değerler ‘Ekler’ kısmında sunulmuştur (Tablo A.2).

3.2.2 Sıcaklık Ölçümleri

Bulaşık makinesinin sıcaklık profilinin çıkarılması amacıyla, makine üzerindeki çeşitli bölgelere termokupl yerleştirilmiştir. Makine üzerine yerleştirilen termokupllar yardımı ile makine bileşenlerinin yıkama süresince depoladıkları ısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Makine üzerindeki termokuplların yerleşim yerleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Termokupl Yerleşim Yerleri

No	Ölçüm Yeri	No	Ölçüm Yeri	No	Ölçüm Yeri
1	Alt Sepet	19	Kazan Ses Yalıtımı Altı Arka	37	Isıtıcı
2	Üst Sepet	20	Kapı Kazan Ses Yalıtımı	38	Valf
3	Ray	21	Kapı Kazan Ses Yalıtımı	39	Giriş Pompası
4	Plastik Boru	22	Kapı Keçe	40	Üç Yollu Vana
5	Kazan Sağ	23	Kapı Hava	41	Denge Ağırlığı
6	Kazan Üst	24	Sağ Panel Dış	42	Tuz Kutusu
7	Kazan Sol	25	Sağ Panel İç	43	Su Cebi
8	Kazan Alt	26	Sağ Panel Hava	44	Atık Hortum
9	Kazan Arka	27	Sol Panel Dış	45	Üç Yollu Vana Emiş
10	Kazan Ses Yalıtımı Üstü Sağ	28	Sol Panel İç	46	Üç Yollu Vana Tahliye
11	Kazan Ses Yalıtımı Üstü Üst	29	Sol Panel Hava	47	Çatal Sepeti
12	Kazan Ses Yalıtımı Üstü Sol	30	Üst Panel Dış	48	Deterjan Kutusu
13	Kazan Ses	31	Üst Panel Hava	49	Alt Sac

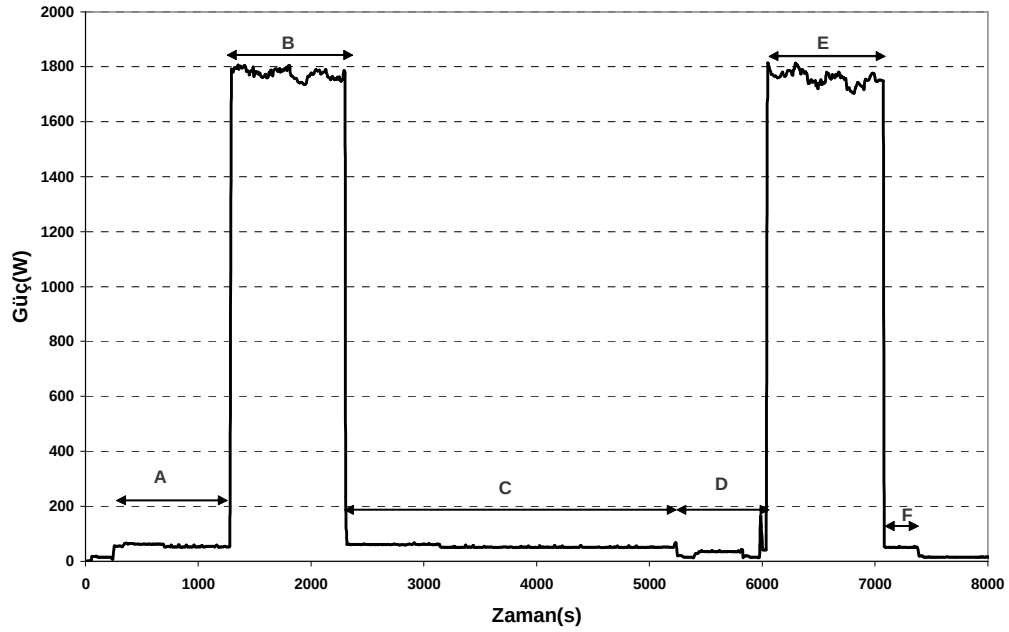
	Yalıtımı Üstü Alt				
14	Kazan Ses Yalıtımı Üstü Arka	32	Tabak	50	Alt Hava
15	Kazan Ses Yalıtımı Altı Sağ	33	Bardak	51	Kazan Hava
16	Kazan Ses Yalıtımı Altı Üst	34	Çatal	52	Atık Su
17	Kazan Ses Yalıtımı Altı Sol	35	Kurutma Kanalı	53	Giriş Suyu
18	Kazan Ses Yalıtımı Altı Alt	36	Tahliye Pompası	54	Plastik Boru Su

Herhangi bir bileşen için sıcaklık dağılımının belirlenmesinde, o bileşen üzerinden ölçülen belli sayıdaki sıcaklığın ortalaması alınarak konumdan bağımsız sıcaklık dağılımı modeli kullanılmıştır. Yani söz konusu bileşenin sıcaklık değişiminin her noktasında aynı olduğu kabulü yapılmıştır.

Termokupllar, bileşenlerin yüzeyine, ölçülecek noktanın çevresi ısıya karşı yalıtılacak biçimde polistren köpük ile kaplanarak uygulanmıştır. Termokupl önce çıplak yüzeye alüminyum bantla yapıştırılmış, daha sonra üzerine ölçülecek noktayı örtecek büyüklükte bir yalıtım parçası daha eklenmiştir. Yıkama suyunun ve kazan içindeki havanın sıcaklığının ölçülebilmesi için kazan üzerinde belirli noktalar delinmiş ve içlerinden termokupl geçirilerek sızdırmazlık sağlanacak şekilde epoksi reçine ile kapatılmıştır.

3.2.2.1 50 °C ekonomik yıkama programı sıcaklık haritası

Program, üretici enerji beyan programı olup ön yıkama, ana yıkama, soğuk durulama ve sıcak durulama adımlarından meydana gelmektedir. Program süresince elde edilen güç profili Şekil 3.17’de görülmektedir.



Şekil 3.17: 50°C Ekonomik Yıkama Programı İçin Gücün Zamanla Değişimi

Şekil 3.17’de sunulan 50°C ekonomik programı gücün zamanla değişimine göre;

A- Ön yıkama adıdır. Ön yıkama adımı şebekeden kazan içesisine su alınmakta ve ısıtma işlemine tabi tutulmadan su devirdaimi gerçekleştirilmektedir. Ön yıkama adımı yaklaşık olarak 18 dakika sürmektedir.

B- Ana yıkama adımı ısıtma sürecidir. Ön yıkama adımı sırasında makine kazanı içeresine alınan su ısıtmakta ve kazan içeresinde devirdaim edilmektedir. Süreç zamandan bağımsız olup su sıcaklığı belirlenen değere ulaşana kadar devam etmektedir. Isıtıcının devrede kalma süresi, sistem,yük sıcaklıkları ve yük miktarına bağlı olarak değişmektedir.

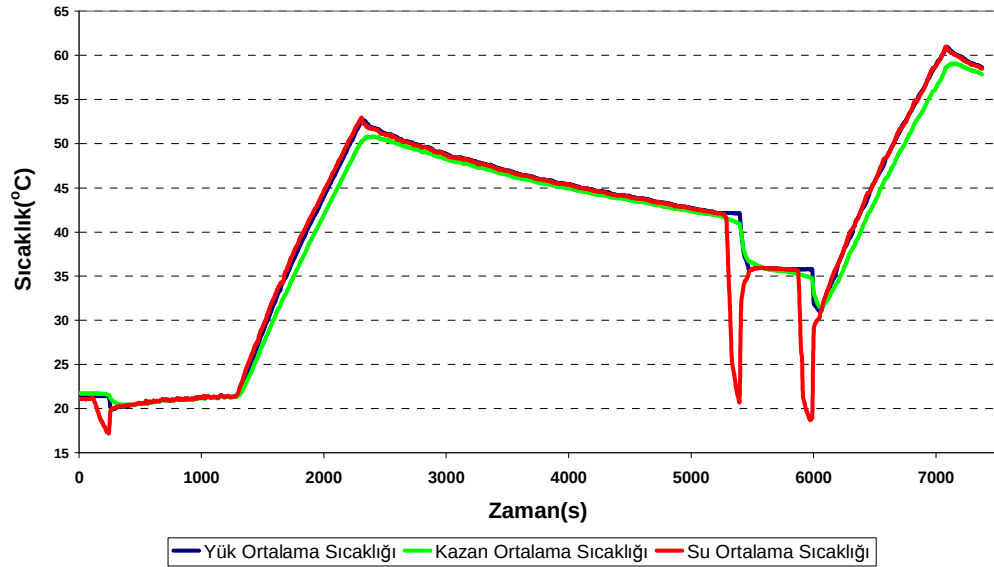
C- Ana yıkama adımı su devirdaiminin gerçekleştirildiği süreçtir. Ana yıkama adımı ısıtma sürecinde belirli bir sıcaklığa getirilen su kazan içeresinde belirli bir süre devirdaim edilir. Devirdaim süresi yaklaşık olarak 50 dakikadır. Su devirdaimi sonunda kazan içeresindeki kirli su sistem dışına atılır.

D- Soğuk durulama adıdır. Şebekeden soğuk su alımı ile başlamaktadır. Alınan soğuk su ısıtılmadan kazan içeresinde devirdaim edilmektedir. Süreç yaklaşık olarak 7 dakika sürmekte, kazan içeresindeki kirli su makine dışına tahliyesi ile tamamlanmaktadır.

E- Sıcak durulama adımı ısıtma sürecidir. Şebekeden soğuk su alımı ile başlamaktadır. Şebekeden alınan su ısıtılmakta ve kazan içerisinde devirdaim edilmektedir. Süreç zamandan bağımsız olup su sıcaklığı belirlenen değere ulaşana kadar devam etmektedir.

F- Sıcak durulama adımı su devirdaiminin gerçekleştirildiği süreçtir. Sıcak durulama adımı ısıtma sürecinde belirli bir sıcaklığa getirilen su kazan içerisinde belirli bir süre devirdaim edilir. Devirdaim süresi yaklaşık olarak 5 dakikadır. Su devirdaimi sonunda kazan içerisindeki kirli su sistem dışına atılır.

50 °C ekonomik yıkama programı su sıcaklıklarının çevrim boyunca değişimi ise Şekil 3.18’de sunulmuştur.



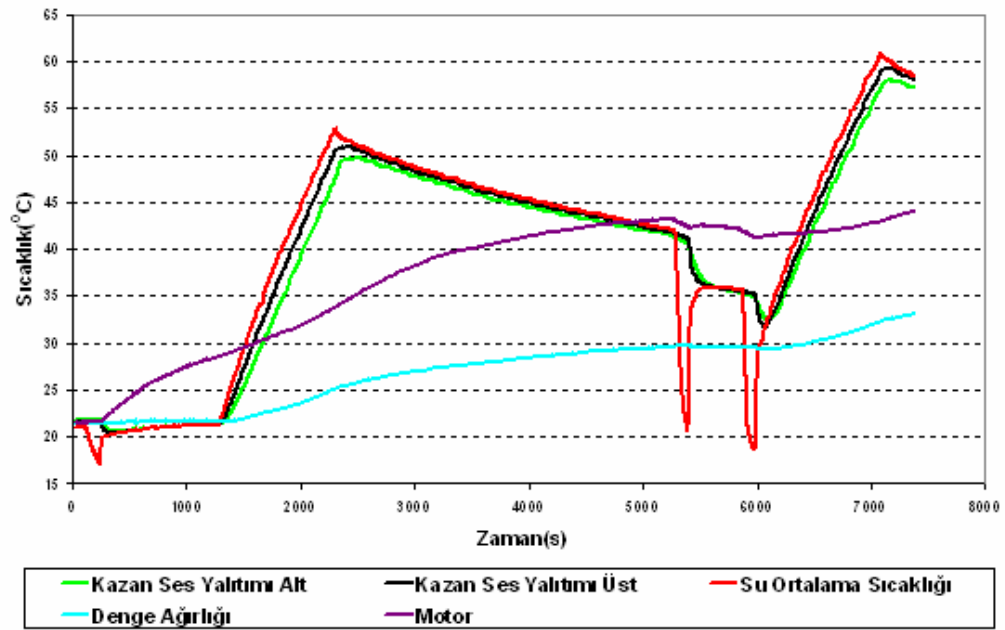
Şekil 3.18: 50°C Ekonomik Yıkama Programı Su-Yük-Kazan Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi

Şekil 3.18’de sunulan su sıcaklığı, kazan içindeki 3 noktadan alınan su sıcaklığı ölçümlerinin ortalaması olarak gösterilmiştir. Deney makinesinin 50 °C ekonomik yıkama programında 2 adet sıcaklık ayar değeri mevcuttur. Ölçülen değerlere göre ulaşılan en yüksek su sıcaklıkları 52,9 °C ve 61,1 °C olmaktadır. Ana yıkama ısıtma süreci bitişinde devam eden 50 dakikalık su dolaşımı periyodu sonunda su sıcaklığı 41,5 °C olmaktadır. Sürekli rejim yıkama süresince yıkama suyu, başta taşınım olmak üzere tüm ısı geçiş mekanizmalarının etkisi ile 0,38 °C/dakika’lık bir hızla ısı

kaybetmektedir. Bu süre zarfında, 6 noktadan alınan ölçümlerin ortalaması olarak belirtilen kazan sıcaklığı, su sıcaklığını yaklaşık 2,0°C'lik bir farkla izlemektedir. Kazan malzemesi sacdır.

Bu duruma suyun kazan ile yüksek oranda temasta olmaması gösterilebilir. Bununla birlikte su ile yüksek oranda temasta olan yük ise su ile aynı sıcaklıkta olmaktadır.

Kazan ve yük dışındaki kazan ses yalıtımı, ısıtıcı, beton denge ağırlığı ve motor gibi diğer önemli elemanlarının çevrim boyunca sıcaklık değişimi de incelenmiş Şekil 3.19'da sunulmuştur.

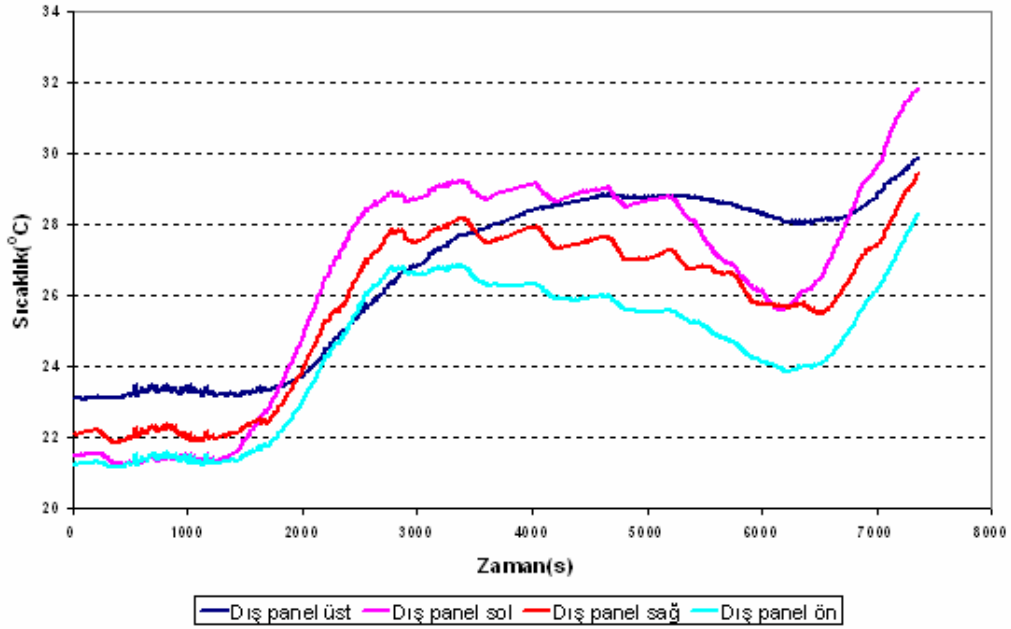


Şekil 3.19: 50°C Ekonomik Yıkama Programı Su, Kazan Ses Yalıtımı, Motor, Isıtıcı Ve Denge Ağırlığı Sıcaklıkları Zaman Değişimi

Kazan ses yalıtımı sıcaklık ölçümlerinde ses yalıtımının her iki yüzeyinden de ölçüm alınmıştır. Bu ölçüm, kazan ses yalıtımı üzerindeki sıcaklık gradyeninin tespitini sağlamıştır. Kazan ses yalıtımının kazan ile temastaki sıcaklıkları özellikle ısıtma evrelerinde kazan ile temasta olmayan kısımdan daha yüksektir. Sıcaklık farkı sürekli olarak artmaktadır. Ana yıkama ısıtma süreci sonunda kazan ses yalıtımı alt/üst yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı 1,33°C'ye kadar yükselmiştir. Bu değer sıcak durulama süreci için 1,29°C'dir. Beton denge ağırlığı da kazan ile tek bir yüzeyinden iletim yolu ile temastadır. Isıl ataletinin yüksek olması sebebiyle sıcaklık

değerleri kritik önem taşımaktadır. Beton denge ağırlığı en yüksek sıcaklığına sıcak durulama süreci sonunda ulaşmaktadır. Maksimum sıcaklık değeri 33,1°C'dir. Motor üzerinden tek noktadan sıcaklık değeri ölçülmüştür. Alınan ölçüme göre en yüksek sıcaklık sıcak durulama sonunda 44,2°C olarak ölçülmüştür. Sıcaklıkların normal şartlarda daha yüksek olması gerekirken düşük çıkması, motorun hareket ettirdiği su ile soğuması sebebiyledir.

Yıkama süreci boyunca sıcaklık değerleri kritik olan diğer bileşenler ise dış panellerdir. Dış paneller, sağ, sol, üst ve ön olmak üzere 4 adettir. Üst panel sunta esaslı olup diğer paneller paslanmaz sac'tır. Dış panellerin hem iç hem de dış yüzeyinde sıcaklık ölçülmüştür. 50°C ekonomik yıkama programı sırasında elde edilen sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 3.20'de sunulmuştur.



Şekil 3.20: 50°C Ekonomik Yıkama Programında Dış Panel Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi

Şekil 3.20'de görüldüğü gibi dış panel başlangıç sıcaklıkları ortalama 22°C'dir. Ön yıkama programı sırasında kazan kontrol hacmi içerisine ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda su alındığından dış panel sıcaklıkları düşmektedir. Isıtma sürecinin başlaması ile beraber sıcaklıklar da artmaktadır. Sıcaklıklardaki artış ısı köprüleri üzerinden iletim, hava üzerinden taşınım ve ışıınım sebebiyledir. Ana yıkama süreci sonunda dış panel sıcaklıkları 5-6°C arasında artmaktadır. Üst dış

panel sıcaklıklarındaki artışın daha düşük olması ısı iletim katsayısı düşük olan suntadan imal edilmesi sebebiyledir. Bununla birlikte sağ dış panel sıcaklıklarındaki yüksek artışın sebebi ise bu bölgedeki yalıtım miktarının az olmasıdır.

3.2.3 Isı Akısı Ölçümleri

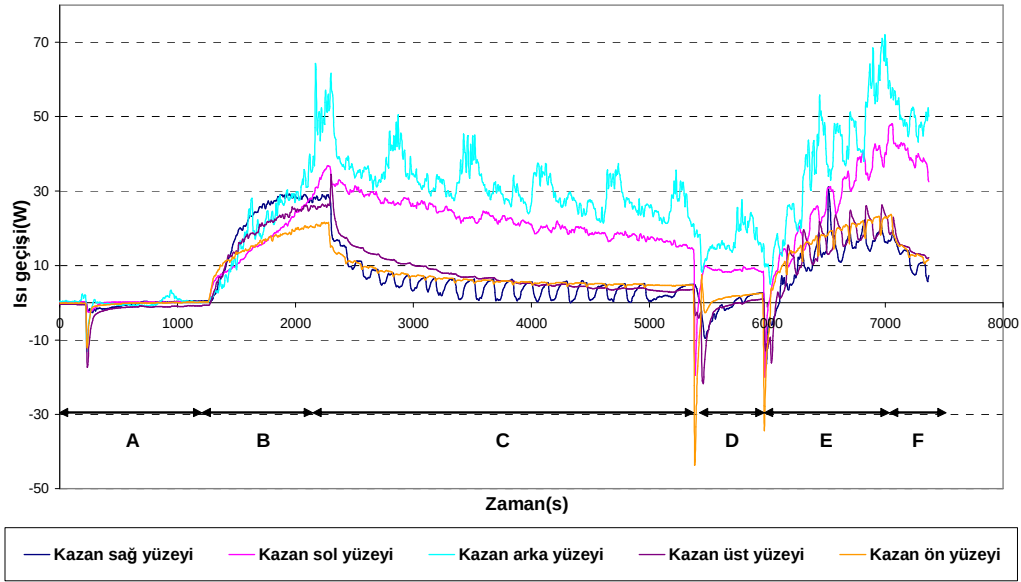
Bulaşık makinesinden olan ısı kaçaklarının ölçülmesi amacıyla sisteme ısı akısı sensörleri yerleştirilmiştir. Sensörler kazan sağ, kazan sol, kazan ön, kazan arka, kazan üst, dış kabin sağ, dış kabin sol, dış kabin ön, dış kabin üst ve dış kabin alt bölgelerine yerleştirilmiştir. Bulaşık makinesi üzerindeki ısı akısı sensörleri yerleşimi Şekil 3.21’de sunulmuştur.



Şekil 3.21: Bulaşık Makinesi Isı Akısı Sensörleri Yerleşimi

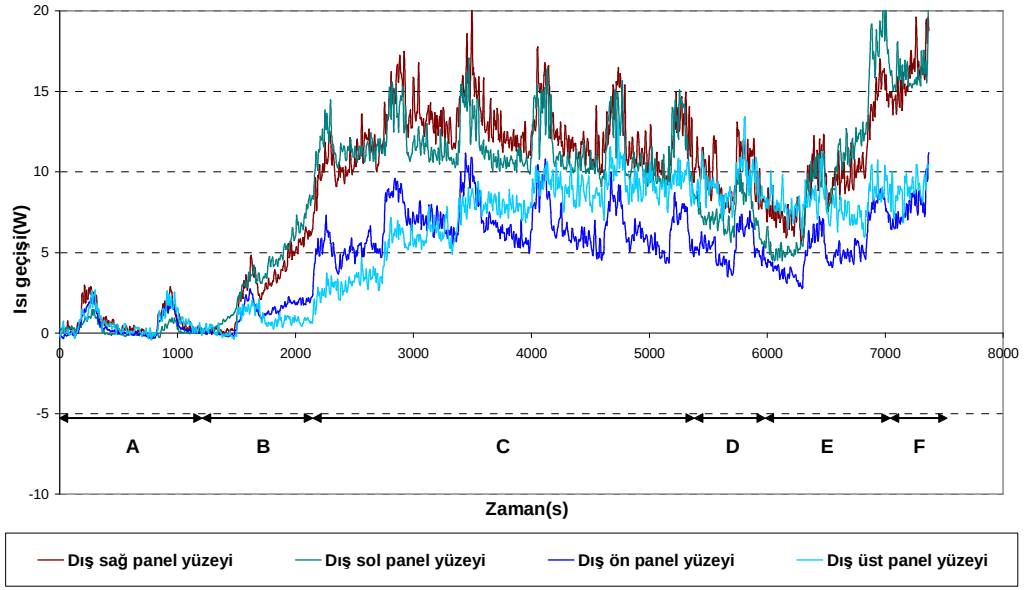
Isı akısı sensörleri bulundukları yüzeylere ısı iletkenliği yüksek olan özel bir yapıştırıcı ile uygulanmaktadır. Sensörler veri alma ünitesine bağlı olup ısı akı değerine bağlı olarak doğru akım üretmektedirler. Bu değerler, μVDC birimine çevrilir ve sensöre özgü bir katsayı ile çarpılarak W/m^2 cinsinden ısı akısı bulunmuş olur. Sensöre ait katsayılar sensör üreticisi tarafından belirlenmiş olup Ekler kısmında verilmiştir. Sensörlerin W/m^2 cinsinden ölçtüğü değerlerin ortalaması

alınıp ilgili oldukları yüzey alanı ile çarpıldıktan sonra buradan olan taşınım ve ısıtım ısı geçişlerinin toplamı elde edilmiş olur. 50°C ekonomik yıkama programı için yıkama fazına bağlı olarak kazan yanal yüzeyinden makine iç ortamına ve kabin dışından dış ortama taşınım ve ısıtım ile birim zamanda geçen ısı miktarı, W cinsinden Şekil 3.22’de sunulmuştur.



Şekil 3.22: Kazan İle Makine İç Ortamı Arasındaki Isı Geçişinin Zamanla Değişimi

Şekil 3.22’de ‘A’ ile tariflenen ön yıkama ve ‘D’ ile tariflenen soğuk yıkama adımlarında su sıcaklıkları düşük olduğu için ısı kaçakları da göreceli olarak düşük, ‘B’ ile tariflenen ana yıkama ısıtma ve ‘E’ ile tariflenen sıcak durulama ısıtma süreçlerinde su sıcaklıkları arttığı için ısı kaçakları da yüksektir. Bununla birlikte ‘B’ ile tariflenen ana yıkama su dolaşımı ve ‘F’ ile tariflenen sıcak durulama su dolaşımı periyotlarında ısı kaçaklarından dolayı su sıcaklığı düşmekte, düşen su sıcaklığı ile birlikte ısı kaçakları da azalmaktadır. Kazan, su ile doğrudan temaslı olduğu için su sıcaklıklarındaki değişim ısı kaçakları olarak izlenebilmektedir. Kazan içerisine şebekeden soğuk su alımı ve takip eden belirli sürelerde su sıcaklığı kazan sac sıcaklıklarından daha düşük olduğundan makine iç ortamından kazan içerisine doğru ısı geçişi olmaktadır. Bu durum Şekil 3.22’de negatif ısı geçişi olarak görülmektedir. Kazan yüzeylerine ek olarak dış kabin üzerine yerleştirilen ısı akısı sensörleri yardımı ile dış ortam ile olan ısı geçiş miktarları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 3.23’te görülmektedir.



Şekil 3.23: Dış Kabin İle Dış Ortam Arasındaki Isı Geçişinin Zamanla Değişimi

Şekil 3.23'ten tespit edildiği üzere yıkama boyunca takip edilen sıcaklık değerleri ısı akısı değerlerini doğrudan etkilemekle beraber etkiler kazan üzerindeki sensörlerden elde edilen verilere göre daha düşüktür. Bu durum, dış kabinin su ile temasta olmaması sebebiyledir.

Deneyler sonucunda elde edilen bilgiye göre, ısı kaçakları en çok yalıtım uygulanmayan bölgelerde meydana gelmektedir. Bu bölgeler kazan arka ve kazan sol bölgeleridir. Bu bölgelerden meydana gelen kaçakların diğer bölgelerden meydana gelen kaçaklardan daha yüksek olduğu grafiklerde görülmektedir. Bu sebeple, bu bölgelerde yalıtım uygulanması gerekmektedir.

Elde edilen bilgilere göre kazan kontrol hacminden dış ortama olan ısı kaçığının %47,3'ü kazan arka bölgesinden gerçekleşmektedir.

3.2.4 Isıl Görüntüleme Çalışmaları

Ekonomi 50 °C programının daha iyi analiz edilebilmesi açısından yıkama işlemi sırasında bulaşık makinesinin 3 farklı yüzeyindeki iki farklı noktadan termal olarak görüntülenmiştir. Görüntüleme kritik olarak gözüken arka duvar, kapak ve önden bakınca sol yan yüzey için yapılmıştır. Görüntülenen yüzeyler Şekil 3.24'te görülmektedir.



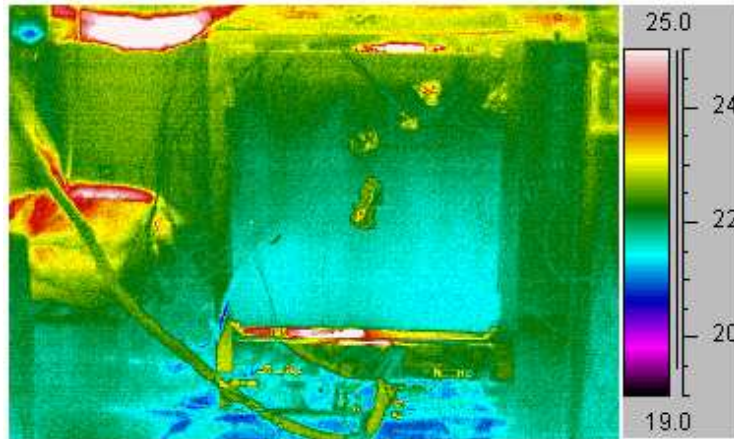
Şekil 3.24: Isıl Görüntüleme İçin Kullanılan Yüzeyler

Sistemin görüntülenmesi soğuk yıkama, sıcak yıkama, soğuk durulama ve sıcak durulama yıkama adımları için yapılmıştır. Termal kamera ile makine üzerinden yapılan sıcaklık ölçümleri birbirleri ile uyumlu sonuçlar vermişlerdir.

- **Soğuk Yıkama Adımı**

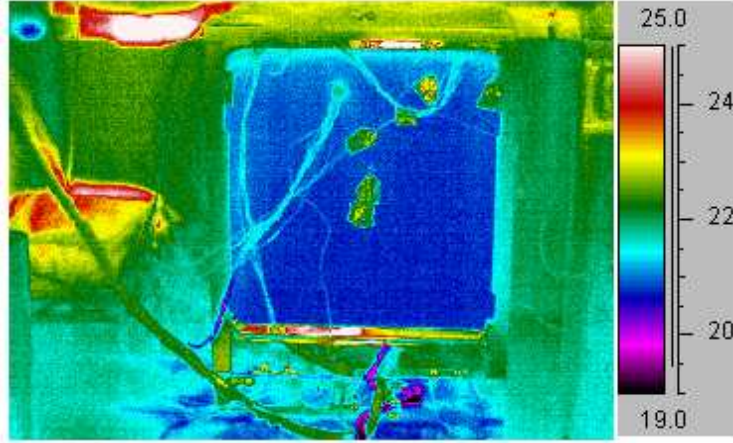
Soğuk yıkama adımı öncesi bulaşık makinesi enerji deneyine hazır hale getirilmiş, standart yük yüklenmiş ve deney amaçlı olarak ekonomi 50°C referans programı seçilmiştir.

Deney başlangıcında ortam sıcaklığının $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık seviyesinde olmasına ve bulaşık makinesinin bu sıcaklıkta dengeye gelmiş olmasına dikkat edilmiştir. Deney başlangıcı öncesinde bulaşık makinesinin sıcaklık dağılımı Şekil 3.25'te sunulmuştur.



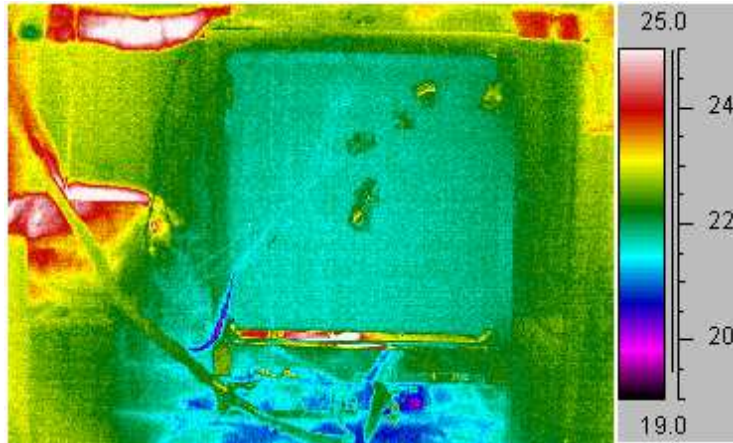
Şekil 3.25: Deney Başlangıcı Öncesinde Bulaşık Makinesi

Şekil 3.25'te görüldüğü üzere enerji tüketimi deneyinin başlangıcı ardından bulaşık makinesi soğuk ve sıcak yıkama adımlarında kullanım amacıyla kazan içerisine su almıştır. Su sıcaklığının 15–16°C aralığında olması sebebiyle bulaşık makinesi arka duvarı soğumuştur. Su alımı ardından arka duvar sıcaklık dağılımı Şekil 3.26'da sunulmuştur.



Şekil 3.26: Su Alımı Ardından Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

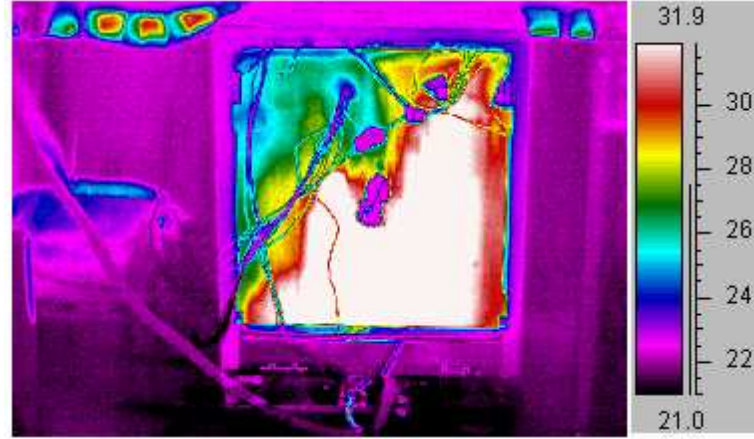
Şekil 3.26'da sunulduğu üzere yıkama suyunun kazan içerisine girmesi ardından kazan arka duvarı sıcaklığı soğuk suyun etkisiyle ortam sıcaklığının altına düşmüştür. Su alımı ardından su devirdaimi başlamış ve devirdaim ile birlikte ortam sıcaklığının etkisiyle kazan içerisindeki su ile birlikte kazan arka duvarı da ısınmıştır. Isıtma başlangıcı öncesinde kazan arka duvar sıcaklık dağılımı Şekil 3.27'de sunulmuştur.



Şekil 3.27: Isıtma Öncesi Kazan Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

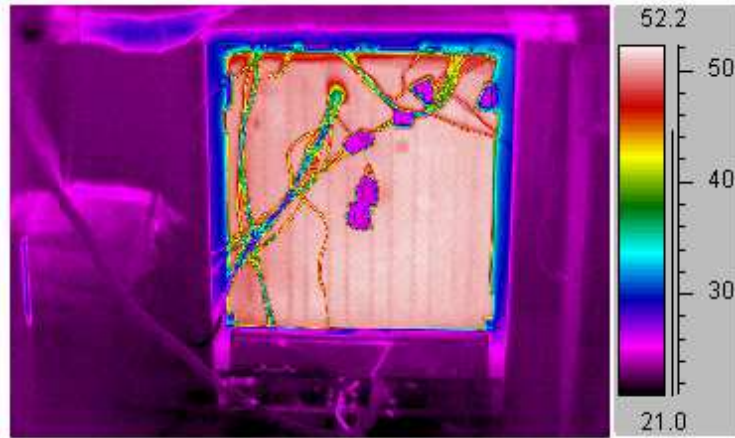
- **Sıcak Yıkama Adımı**

Soğuk yıkama adımının tamamlanması ile birlikte sıcak yıkama adımı başlamış ve ısıtıcı devreye girmiştir. Isıtıcının devreye girmesi suyun ısınması yanında kazan ve sistem bileşenlerinin ısınması sağlamıştır. Isıtma başlangıcı sonunda arka duvar sıcaklık dağılımı Şekil 3.28’de sunulmuştur.



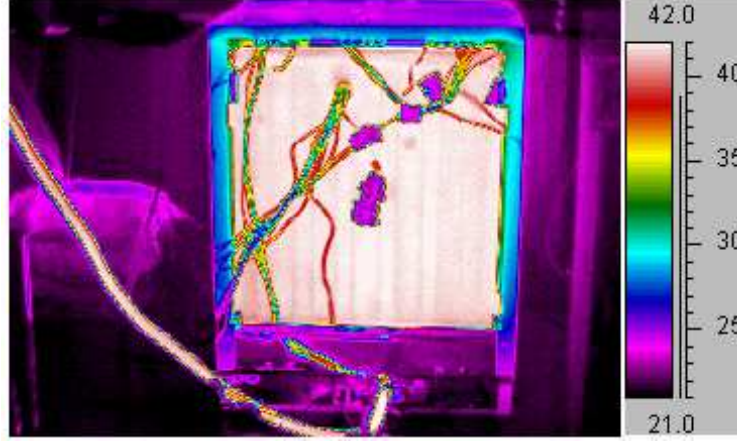
Şekil 3.28: Isıtma Başlangıcı Sonrası Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

Şekil 3.28’de görüldüğü üzere ısıtıcının devreye girmesi ile birlikte kazan arka duvarı ısınmaya başlamıştır. Isınma kazan sağ alt bölgeden başlamıştır. Bu durumun temel sebebi pervaneden gelen suyun bu bölgeye temas etmesi olarak tanımlanabilir. Suyun bu bölgeye çarpması ile ısınan bu bölgeden ısı tüm kazan duvarına doğru yayılmaktadır. Isıtıcı çalışmasının sonuna kadar kazan ve su ısınır. Su sıcaklığının istenilen seviyeye gelmesi ardından ısıtıcı devreden çıkar. Isıtıcının devreden çıktığı anda arka duvar sıcaklık dağılımı Şekil 3.29’da sunulmuştur.



Şekil 3.29: Isıtıcının Devreden Çıktığı Durumda Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

Şekil 3.29’da görüldüğü üzere arka duvar sıcaklıkları 53°C sıcaklık seviyesine gelmiş ve sıcaklık dağılımı homojen olmuştur. Isıtma işleminin tamamlanması ardından sirkülasyon başlamış ve sirkülasyon suyun tahliyesine kadar devam etmiştir. Suyun tahliyesi aşamasında arka duvar ve tahliye hortumu sıcaklık dağılımı Şekil 3.30’da sunulmuştur.

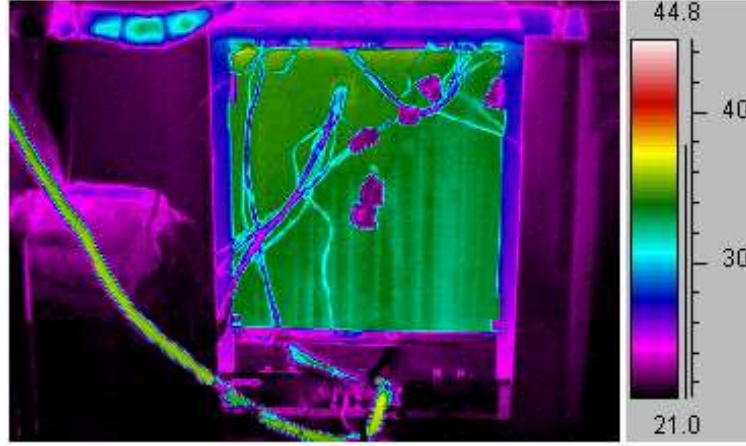


Şekil 3.30: Tahliye Esnasında Arka Duvar ve Tahliye Hortumu Sıcaklık Dağılımı

Şekil 3.30’da görüldüğü üzere tahliye esnasında arka duvar sıcaklıkları 42°C seviyesinde gerçekleşmiştir. Benzer olarak atık su sıcaklığı da 40°C seviyelerinde gerçekleşmiştir.

- **Soğuk Durulama Adımı**

Sıcak yıkama adımının tamamlanması ile birlikte kazana yeni su alınmış ve soğuk durulama yıkama adımı başlatılmıştır. Sıcak yıkama adımı sonunda 40°C seviyelerinde olan kazan sıcaklıkları suyun alınması ve sirküle edilmesi ile birlikte 34°C seviyesine inmiştir. Soğuk durulama adımı sonunda kazan arka duvar sıcaklık dağılımı Şekil 3.31’de sunulmuştur.

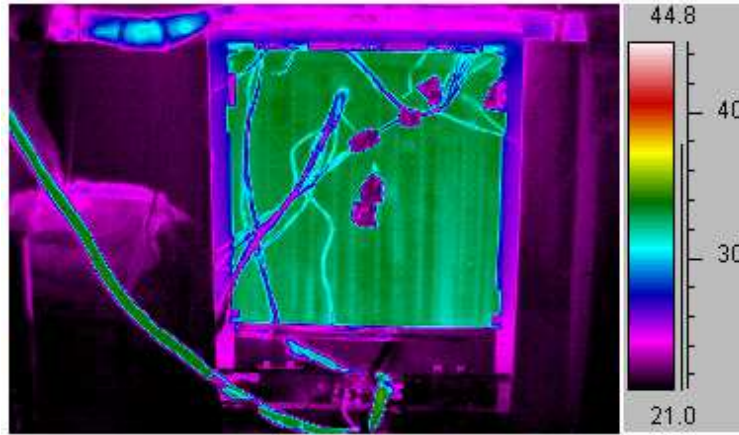


Şekil 3.31: Soğuk Durulama Adımı Sonu Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

Şekil 3.31’de görüldüğü üzere soğuk durulama yıkama adımı sonrasında kazan sıcaklıkları azalmış ve su tahliye edilmiştir. Soğuk durulama adımının sonlanması ile sıcak durulama adımı için su alımı yapılmıştır.

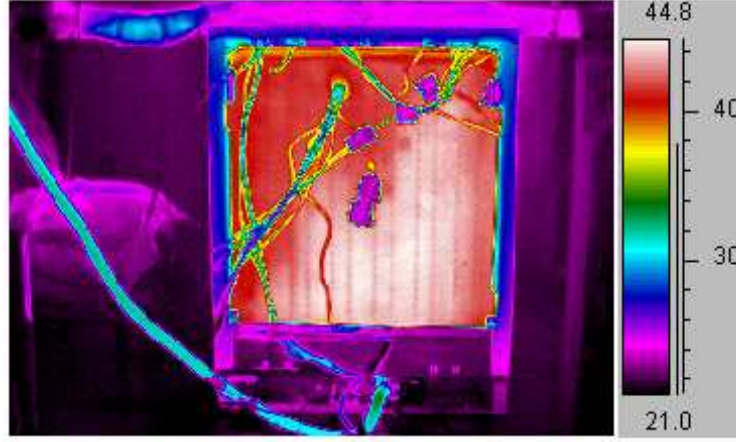
- **Sıcak Durulama Adımı**

Soğuk durulama adımının tamamlanması ardından kazan içerisine sıcak durulama için su alınmıştır. Su alımı ile birlikte kazan sıcaklıkları 1–2°C kadar daha azalmıştır. Su alımı ardından kazan arka duvar sıcaklık dağılımı Şekil 3.32’de sunulmuştur.



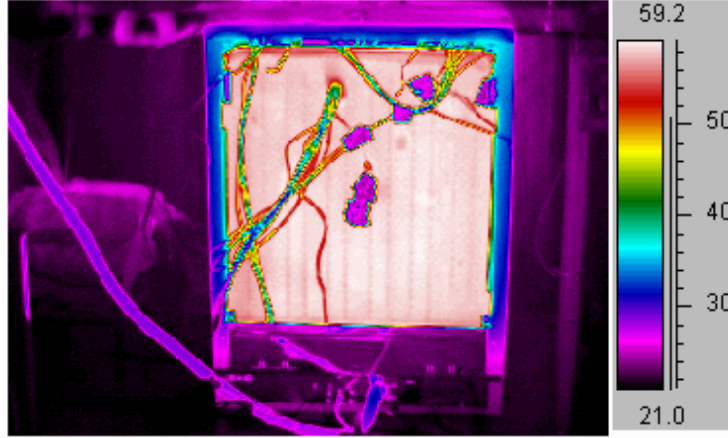
Şekil 3.32: Sıcak Durulama Su Alımı Ardından Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

Su alımı ardından ısıtıcı devreye girmiş ve ısıtma işlemi başlamıştır. Şekil 3.33’te görüldüğü üzere arka duvarda ısınma sıcak yıkamaya benzer şekilde sağ alt köşeden başlamıştır. Isınma sırasında arka duvar sıcaklık dağılımı Şekil 3.33’te sunulmuştur.



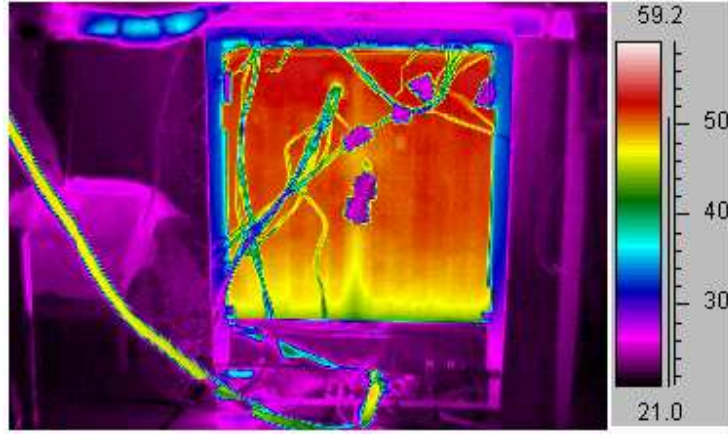
Şekil 3.33: Isınma Sırasında Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

Suyun istenilen sıcaklığa ulaşması ile birlikte ısıtıcı devreden çıkmıştır. Şekil 3.34'te görüldüğü üzere ısıtıcının devreden çıktığı durum dikkate alındığında kazan arka duvarında sıcaklıkların 60°C seviyesine ulaştığı görülmüştür. Diğer taraftan gözlemlenen bir diğer özellik, kazan arka duvarı merkezinden ortama doğru sıcaklıklar incelendiğinde ortam sıcaklığına doğru bir azalma görülmüştür. Kazan ile yan panellerin birleştiği noktalarda sıcaklıklar 38°C seviyesinde olmakla beraber, üst panelin birleştiği noktalarda sıcaklıklar 30°C seviyesinde olmaktadır. Isıtma sonunda kazan arka duvar sıcaklık dağılımı Şekil 3.34'te sunulmuştur.



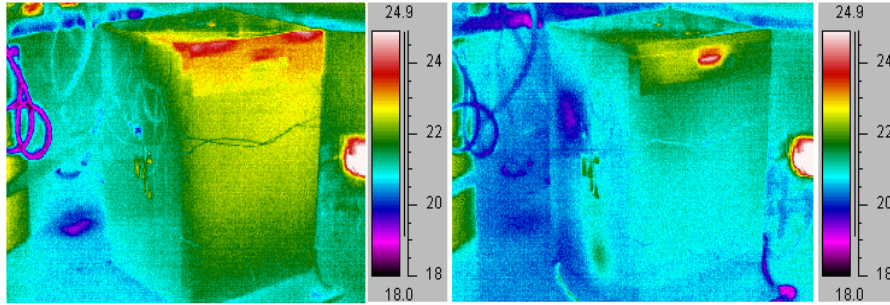
Şekil 3.34: Isıtma Sonu Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

Isıtmanın tamamlanması ile suyun sirkülasyonu başlatılmış ve tanımlanan süre sonunda su tahliye edilmiştir. Tahliye ardından kurutma işlemi başlatılmış ve buna bağlı olarak sistem soğumaya başlamıştır. Kurutma esnasında kazan arka duvar davranışı Şekil 3.35'te sunulmuştur.



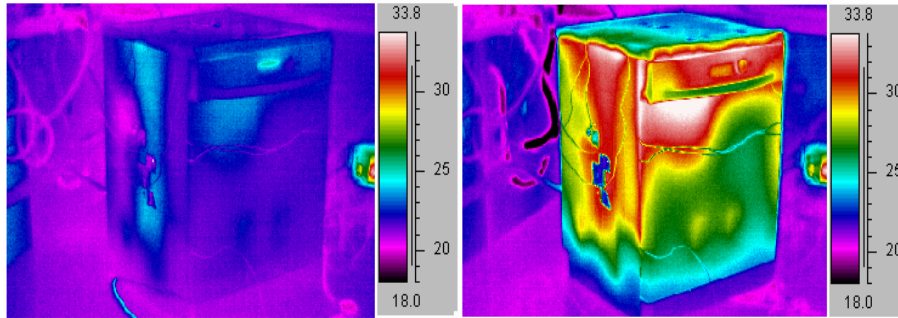
Şekil 3.35: Kurutma Sırasında Arka Duvar Sıcaklık Dağılımı

Arka duvarın termal görüntülenmesinin yanında yan duvar ile kapak için de termal görüntüleme çalışması yapılmıştır. Çalışma, benzer şekilde standart yük ile ekonomi 50°C yıkama programında yapılmıştır. Termal görüntüleme çalışması çerçevesinde elde edilen görüntüler Şekil 3.36’da sunulmuştur.



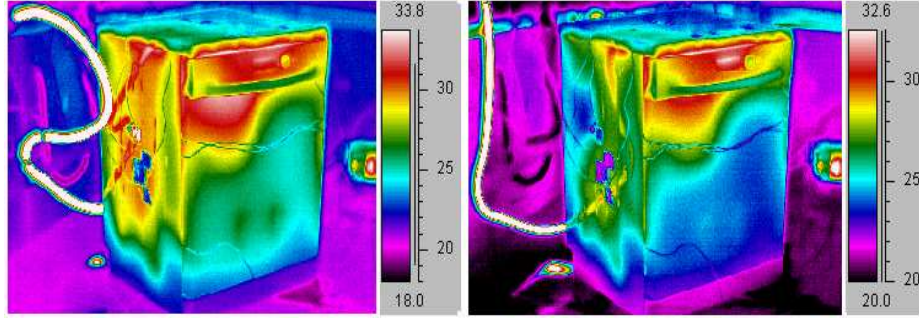
Soğuk Yıkama Başlangıcı

Soğuk Yıkama Sonu



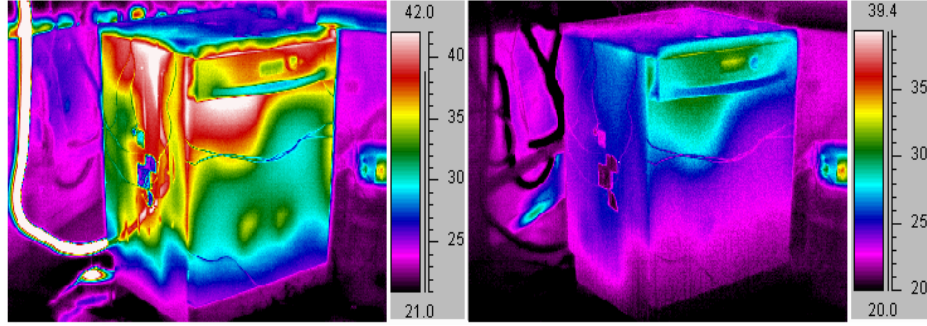
Sıcak Yıkama Başlangıcı

Sıcak Yıkama Isıtma Sonu



Sıcak Yıkama Tahliye

Soğuk Durulama Sonu



Sıcak Durulama Tahliye

Kurutma Sonu

Şekil 3.36: Tüm Periyodlar İçin Yan Duvar ve Kapı Sıcaklık Dağılımları

Şekil 3.36’da görüldüğü üzere, yan duvar ve kapı için termal görüntüleme çalışması yapılmış ve farklı periyodlar için sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Buna göre, soğuk durulama esnasında bulaşık makinesinin genel olarak soğuduğu görülmüştür. Sıcak yıkama periyodunda ısıtma ile birlikte sistemin genel olarak ısındığı, en sıcak bölgelerin üst bölgeler olduğu görülmüştür. Özellikle yan panel üst panel birleşme noktası ile kapı üst bölgesinin sistemde en sıcak bölgeler olduğu gözlemlenmiştir. Sıcak yıkama periyodunda ulaşılan maksimum sıcaklıklar 34°C seviyesinde olmuştur. Soğuk durulama periyodunun başlangıcı ile birlikte sistem sıcaklıkları azalmış ve 30°C seviyelerine inmiştir.

Sıcak durulamada ısıtıcı devreye girmiş sistemi ısıtmıştır. Bu periyotta ulaşılan en yüksek sıcaklık 42°C seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu bölgede arka duvara göre daha düşük sıcaklıklara ulaşılmasının temel sebebi, arka duvarın ortam ile direkt temasta, termal görüntüleme yapılan bu bölgelerde ise kazanın keçe ve yan panellerin içerisinde yer almasıdır. Son olarak sistem kurutma periyodunu tamamlamış ve kurutma sonunda sıcaklıklar 30°C seviyesine inmiştir.

3.3 Enerji Bilançosu Hesabı

Genel enerji bilançosu çalışmasında kullanılmak üzere bir adet bulaşık makinesi ile standart enerji programı olan ekonomi 50°C programında enerji tüketimi deneyi gerçekleştirilmiştir. Yapılan enerji deneyi çerçevesinde yıkama adımlarına göre enerji tüketim değeri sunulmuştur.

3.3.1 50°C Ekonomik Yıkama Programı Enerji Bilançosu

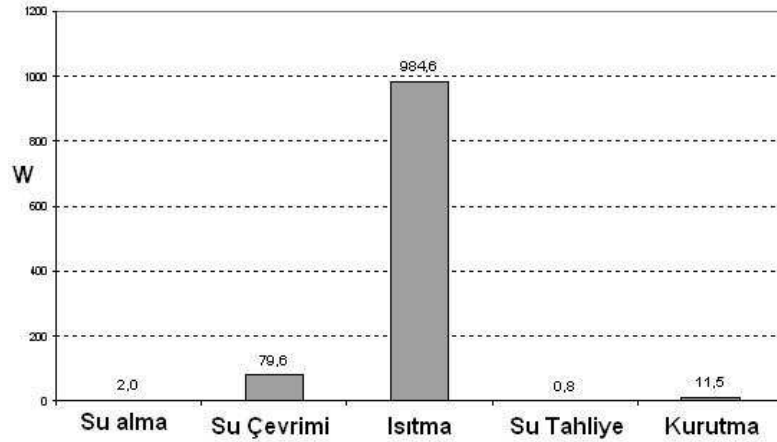
Yapılan deney sonucunda bulaşık makinesi enerji tüketimini etkileyen ana parametrenin ısıtıcının çalışma süresi olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler incelendiğinde, ısıtma işleminin gerçekleştiği sıcak yıkama ve sıcak durulama periyotlarında toplam enerjinin %99,5 'lik kısmının harcandığı görülmüştür. Toplam enerji tüketiminde ısıtıcının etkisi ise %91,3 olarak belirlenmiştir. Bu değere, ısıtma işlemi sırasında su devirdaimi için devrede olan pompanın çektiği enerji değeri de dahildir.

Tablo 3.3: Bulaşık Makinesi Enerji Tüketimi Değerleri

	Deney	
	Zaman [saat]	Enerji [Wh]
Kart vb.	0,05	0,20
Su Alış	0,03	0,39
Su Devirdaimi	0,29	16,42
Su Devirdaimi+Isıtma	0,26	474,66
Su Devirdaimi	0,82	53,72
Tahliye	0,01	0,25
1. Periyod	1,46	545,63
Su Alış	0,02	0,29
Su Devirdaimi	0,12	4,91
Tahliye	0,01	0,25
2. Periyod	0,15	5,44
Su Alış	0,02	0,28
Su Devirdaimi	0,02	0,83
Su Devirdaimi +Isıtma	0,29	509,97
Su Devirdaimi	0,08	4,53
Tahliye	0,01	0,27
Kurutma	0,83	11,53
3. Periyod	1,25	527,40
	2,86	1078,47

Tablo 3.3'te sunulduğu üzere, aynı bulaşık makinesi ile yapılan enerji tüketimi deneyi sonucunda 1078,47 Wh enerji tüketimi değerine ulaşılmıştır.

Gerçekleştirilen deneyde bulaşık makinesi tarafından tüketilen enerjinin işlemlere göre dağılımı Şekil 3.37'de sunulmuştur.



Şekil 3.37: İşlem Bazında Enerji Tüketimi

Şekil 3.37'de sunulduğu üzere deneyde toplam enerjinin %8,7'lik kısmı ısıtma dışındaki işlemler için harcanmıştır.

Enerji bilançosu hesaplarında kullanılan eşitlik Denklem (3.4)'te sunulmuştur [18].

$$Q - W + (E_g - E_ç) = E_2 - E_1 \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'ün çözülebilmesi için $(W_g - W_ç)$, $(E_g - E_ç)$, $(E_2 - E_1)$ ve $(Q_g - Q_ç)$ değerlerine ihtiyaç vardır. Enerji tüketim değerinin belirlenmesi ile W_g değeri 3882,50 kJ olarak tespit edilmiştir. Yine enerji tüketimi deneyinden elde edilen $W_ç$ değeri 337,85 kJ olarak belirlenmiştir.

Enerji bilançosunun elde edilmesi amacıyla belirlenmesi gereken bir diğer parametre sistemde su ile giren ve çıkan enerjinin etkisidir. Bu sebeple, sisteme giren ve sistemden tahliye edilen su miktarları belirlenmiş ve bu değerler Tablo 3.4'te sunulmuştur.

Tablo 3.4: Sisteme Giren Ve Tahliye Edilen Su Miktarları

Yıkama Periyodu	Deney	
	Giren Su Kütlesi [kg]	Çıkan Su Kütlesi [kg]
Soğuk Yıkama	4,02	4,02
Sıcak Yıkama	4,02	3,38
Soğuk Durulama	2,99	2,79
Sıcak Durulama	2,98	2,83

Giren ve çıkan su miktarlardaki fark atık su hortumu içerisinde kalan sudan kaynaklanmaktadır. Atık su hortumu içerisinde kalan su enerji bilançosu hesabı gerçekleştirilen hacmin içerisinde kalmadığı için hesaba katılmamıştır. Sisteme giren ve çıkan su sıcaklıkları kullanılarak giren ve çıkan su entalpileri belirlenmiş ve bu değerler yardımıyla suya aktarılan enerji miktarları belirlenmiştir. Deneyden elde edilen değerler Tablo 3.5'te sunulmuştur.

Tablo 3.5: Sisteme Giren ve Çıkan Su İle Giren ve Çıkan Enerji Miktarları

Deney					
Yıkama Periyodu	Giren Su Kütlesi [kg]	Giren Su Entalpisi [kJ/kg]	Çıkan Su Kütlesi [kg]	Çıkan Su Entalpisi [kJ/kg]	$E_{\text{ç}}-E_{\text{g}}$ [kJ]
Soğuk Yıkama	4,02	67,98	4,02	88,23	81,40
Sıcak Yıkama	4,02	88,23	3,38	172,33	227,97
Soğuk Durulama	2,99	70,41	2,79	145,01	194,16
Sıcak Durulama	2,98	67,39	2,83	235,91	465,90

Tablo 3.5'te sunulduğu üzere tüm yıkama süreci için $E_{\text{ç}}-E_{\text{g}}$ değerlerinin toplamı yaklaşık olarak 970 kJ olarak hesaplanmıştır.

Enerji bilançosunu etkileyen bir diğer parametre sistem bileşenleri üzerinde depolanan enerji miktarıdır. Enerji miktarının belirlenebilmesi amacıyla makine bileşenlerinin ağırlıkları ile yıkama esnasındaki sıcaklıklar belirlenmiştir. Sistemde depolanan enerji miktarı iki şekilde hesaplanabilmektedir. Bunlar, sıcak durulama periyodu kurutma sonu ve sıcak durulama periyodu su tahliye sonudur. Enerji bilançosu hesabı için iki noktadan biri seçilebilmekle beraber, kurutma işleminin 11 – 12 Wh'lık bir etkisinin olması sebebiyle ihmal edilebilmesi mümkündür.

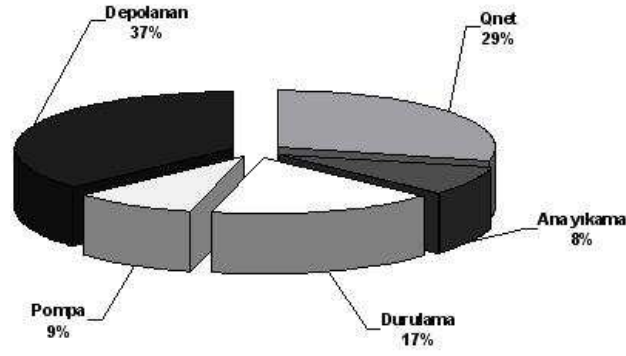
Kurutma sonunun beklendiği durum için deneyde elde edilen değerler Tablo 3.6’da sunulmuştur.

Tablo 3.6: Kurutma Sonu İçin Enerji Bilançosu

50°C Ekonomik Yıkama					
Malzeme	m [kg]	c_p [kJ/kg,K]	İlk Sıcaklık [°C]	Son Sıcaklık [°C]	E_2-E_1 [kJ]
Yük					
Tabak	19,81	1,20	21,4	41,9	489,0
Bardak	1,31	0,84	21,6	40,2	20,4
Çatal vb.	2,37	0,46	21,3	40,1	20,4
Kazan (Sac)	9,82	0,46	21,4	36,3	67,5
Kazan (Plastik)	5,85	1,90	21,7	40,9	213,5
Yalıtım					
Kazan Ses Yalıtımı	5,23	3,90	21,1	35,2	288,5
Keçe	0,45	1,10	20,5	34,6	7,0
Kabin Alt Kısım					
Sac	3,09	0,46	20,7	28,5	11,0
Plastik	4,85	1,90	20,8	30,0	85,3
Denge Ağırlığı	5,86	0,67	20,9	30,2	36,4
Kapı					
Sac	4,11	0,46	21,3	37,1	29,9
Kazan Ses Yalıtımı	1,13	3,90	21,8	36,4	64,4
Kabin Hava	0,25	1,00	21,8	39,4	4,4
Dış Kabin					
Sac	3,83	0,46	21,4	26,3	8,5
Plastik	6,93	1,90	21,8	24,8	39,4
Diğer	5,29	1,90	20,9	22,9	19,1
Toplam					1404,8

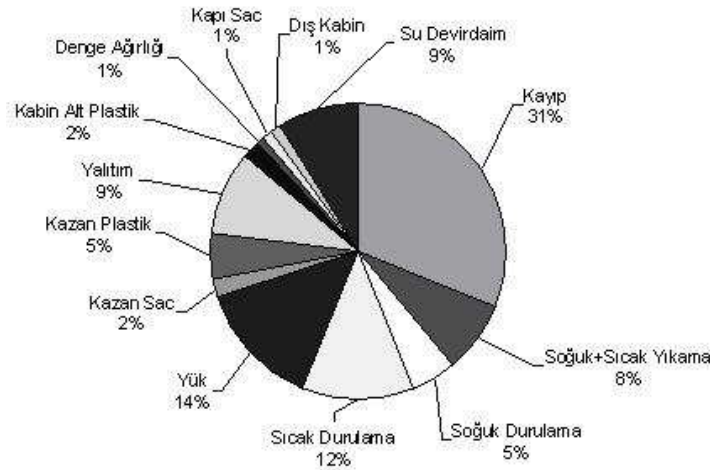
Tablo 3.6’da sunulduğu üzere sistem bileşenleri üzerinde depolanan enerji miktarı ($(E_2 - E_1)$) 1404,8 kJ olarak elde edilmiştir.

Depolanan miktarın belirlenmesi ardından sistemden ortama ve ortamdan sisteme gerçekleşen transfer miktarını hesaplamak mümkün hale gelmiş ve bu çerçevede $Q_g - Q_c$ değeri Denklem (3.4) kullanılarak 1170,41 kJ olarak elde edilmiştir. Sistem enerji bilançosunun dağılımı Şekil 3.38’de sunulmuştur.



Şekil 3.38: Ekonomi 50 °C Programı İçin Sistem Enerji Bilançosu

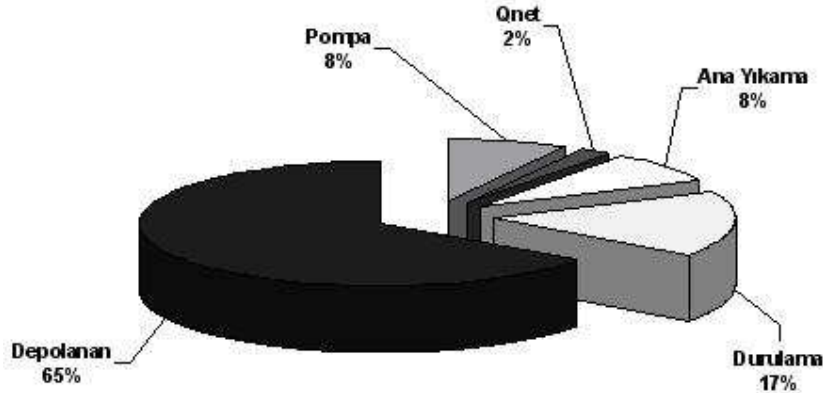
Belirlenen enerji bilançosuna göre bulaşık makinesi deneyinde mutlaka yapılması gereken aktiviteler suyun ve yükün ısıtılması ve suyun devirdaim edilmesidir. Birinci deneyde, mecburi işlemler toplam enerji tüketiminin %47'lik kısmını oluşturmakta, geri kalan %53'lük kısım ise enerji tüketiminin iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilecek potansiyel olarak göze çarpmaktadır. Bu potansiyel detaylandırıldığında, sistem bileşenlerinin daha hafif ve daha düşük özgül ısı değerine sahip malzemelerden üretilmesi, daha iyi yalıtım yapılarak kazandan ortama olan ısı transferinin azaltılması öncelikli iyileştirmeler olarak göze çarpmaktadır. Bunun yanında yıkama suyunun ek tedbirler ile ısıtıcı çalışması öncesinde mevcut duruma göre daha sıcak hale getirilmesi de ısıtıcı çalışma süresini buna bağlı olarak toplam enerji tüketimini iyileştirebilecek bir alternatiftir. Deneyde elde edilen enerji bilançosu detaylı incelemesi Şekil 3.39'da sunulmuştur.



Şekil 3.39: Deney Enerji Bilançosu Detayı

Şekil 3.39’da sunulan detaylı enerji bilançosu incelendiğinde, enerji tüketimini etkileyen önemli bir parametre olarak yalıtım sisteminde kullanılan kazan ses yalıtımı görülmektedir. Kazan ses yalıtımı toplam enerji tüketiminin %9’luk kısmını üzerinde depolamaktadır. Özgül ısı değeri daha düşük bir malzeme kullanılması durumunda enerji tüketimini azaltmak mümkün olabilecektir.

Enerji bilançosunun belirlenmesindeki bir diğer alternatif periyod sonunun suyun tahliye anı olarak kabul edilmesidir. Temel olarak enerji tüketimini etkileyen kritik nokta suyun kazan içerisinde olduğu durumdur. Sıcak durulama sonrasında suyun tahliyesinden kurutma sonuna kadar harcanan enerji miktarının 11–12 Wh olması sebebiyle bu şekilde enerji bilançosunun elde edilmesi de mümkündür. Bu sebeple, sistem çalışması dört yerine beş adıma bölünmüştür. Bu adımlar, soğuk yıkama, sıcak yıkama, soğuk durulama, sıcak durulama su alım-tahliye aralığı ve kurutma olarak tanımlanmıştır. Enerji bilançosunun su tahliyesine kadar olan bölüm dikkate alınarak hesaplanması durumunda elde edilen değer, depolanan ve kayıp değerlerinin toplamının kurutma sonu dikkate alınarak hesaplanan enerji bilançosundaki değer ile aynı olduğu görülmüştür. Tahliye sonu dikkate alındığında hesaplanan enerji bilançosunda depolanan miktar artış göstermekte ve kayıp miktarı azalmaktadır. Bunun temel sebebi, kurutma işleminde kurutma sonuna kadar ısıtılmış bulaşık makinesinin ortam sıcaklığında bekletilmesi ile oluşan ısı kaybıdır. Deney için hesaplanan enerji bilançosunun detayı Şekil 3.40’da sunulmuştur.



Şekil 3.40: Deney Tahliye Sonu Enerji Bilançosu

Şekil 3.40’da sunulan enerji bilançosu incelendiğinde, depolanan miktarın %65’lik kısma karşılık geldiği görülmektedir. Bu miktarın azaltılması daha hafif ve özgül ısı değeri daha düşük malzeme kullanımı ile sağlanabilecektir.

3.3.1.1 Yıkama Adımlarına Göre Enerji Bilançosu Çalışması

Genel enerji bilançosunun elde edilmesinin ardından sistemin daha detaylı incelenebilmesi amacıyla soğuk yıkama, sıcak yıkama, soğuk durulama ve sıcak durulama olarak tanımlanan dört yıkama adımı ayrı ayrı değerlendirilmiş ve bu adımlar için ayrı ayrı enerji bilançoları elde edilmiştir.

Enerji bilançosunun elde edilmesinde genel enerji bilançosu sistematigi izlenmiştir. Her adım için W_g ve $W_ç$ değerleri enerji tüketimi deneyinden belirlenmiştir. Bu işlemin ardından $E_ç-E_g$ ve E_2-E_1 değerleri sistem sıcaklıkları dikkate alınarak hesaplanmış ve $Q_{net}=Q_g-Q_ç$ değeri belirlenmiştir. Hesaplamalarda Denklem (3.4) kullanılmıştır.

- **Soğuk Yıkama Adımı**

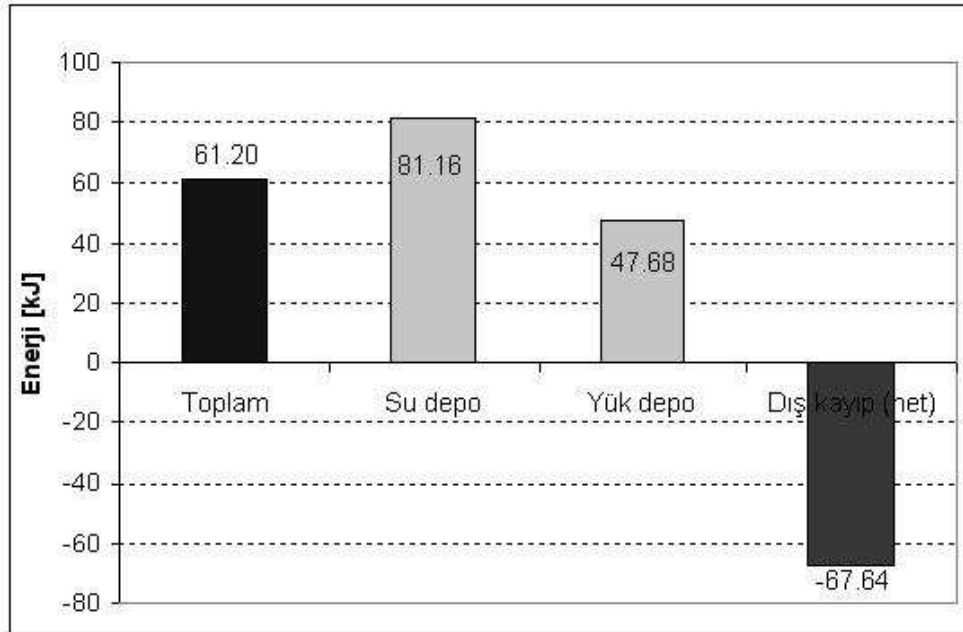
Bulaşık makinesinin bu adımda tükettiği enerji miktarı $W_{giriş}$ 61.1 kJ olarak belirlenmiştir. Bu periyotta su ve yük tarafından depolanan enerji miktarı tabloda sunulmuştur.

Tablo 3.7: Soğuk Yıkama Adımı Su ve Yük Depo Miktarları

Deney					
Malzeme	m [kg]	c_p [kJ/kgK]	İlk Sıcaklık [°C]	Son Sıcaklık [°C]	E_2-E_1 [kJ]
Su	4,02	4,18	16,2	21,0	81,2
Yük					
Tabak	19,81	1,20	21,4	21,9	11,5
Bardak	1,31	0,84	21,6	21,8	0,3
Çatal vb.	2,37	0,46	21,3	21,8	0,5
Kazan (Sac)	9,82	0,46	21,4	21,9	2,1
Kazan (Plastik)	5,85	1,90	21,7	21,9	3,2
Yalıtım					
Kazan Ses Yalıtımı	5,23	3,90	21,1	21,7	12,3
Keçe	0,45	1,10	20,5	21,1	0,3

Kabin Alt Kısım					
Sac	3,09	0,46	20,7	21,6	1,3
Plastik	4,85	1,90	20,8	21,9	10,8
Denge Ağırlığı	5,86	0,67	20,9	21,3	1,6
Kapı					
Sac	4,11	0,46	21,3	21,6	0,6
Kazan Ses Yalıtımı	1,13	3,90	21,8	22,1	1,3
Kabin Hava	0,25	1,00	21,8	22,0	0,1
Dış Kabin					
Sac	3,83	0,46	21,4	21,3	-0,2
Plastik	6,93	1,90	21,8	21,8	-0,4
Diğer	5,29	1,90	20,9	21,2	2,6
Toplam					47,7

Tablo 3.7 ve daha önce değeri verilen W_g incelendiğinde Q_{net} değeri $-67,64$ kJ olarak tespit edilmiştir. Bu değer, bu yıkama adımında ortamdan kazan içine doğru bir ısı transferi olduğunu göstermiştir. Deney için soğuk yıkama adımı enerji bilançosu Şekil 3.41’de sunulmuştur.



Şekil 3.41: Soğuk Yıkama Adımı Enerji Bilançosu

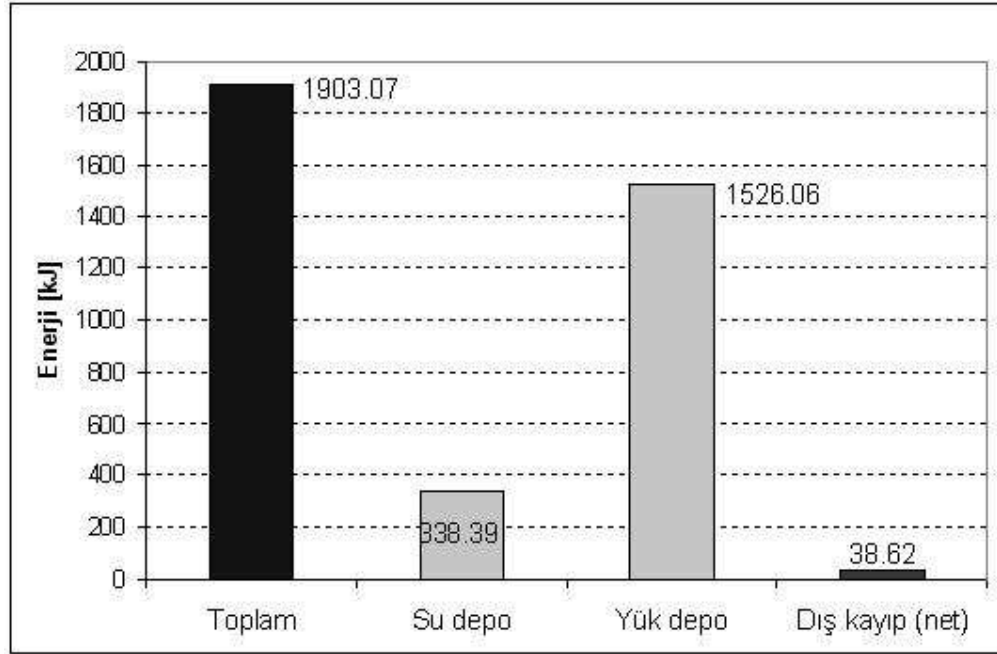
- **Sıcak Yıkama Adımı**

Bulaşık makinesinin bu adımda tükettiği enerji miktarı $W_{giriş}$ 1903,2 kJ olarak belirlenmiştir. Sıcak yıkama adımında ısıtıcı devreye girmekte ve suyun 53°C sıcaklığa kadar ısınmasını sağlamaktadır. Suyun ısınması esnasında sistem de genel olarak ısınmakta ve bileşenler üzerinde depolanmaktadır. Genel enerji bilançosu kısmında da anlatıldığı üzere kayıp miktarı ısıtma olmasına rağmen bu periyotta düşük elde edilmektedir. Bunun temel sebebi, suyun soğuk alınması sebebiyle ısıtıcı devreye girene kadar olan kısımda ortamdan kazana doğru bir ısı transferi gerçekleşmesi ve verilen enerjinin büyük oranda bileşenler üzerinde depolanmasıdır. Isıtıcının çalışmasından durmasına kadar olan aralıkta bileşenler üzerinde enerji depolanmakta ve ısıtma işleminin bitmesi ardından kazan içerisinden ortama doğru ısı transferi gerçekleşmektedir. Deney için bu periyotta su ve yük tarafından depolanan enerji miktarı Tablo 3.8’de, enerji bilançosu ise Şekil 3.42’de sunulmuştur.

Tablo 3.8: Sıcak Yıkama Adımı Su ve Yük Depo Miktarları

Deney					
Malzeme	m [kg]	c_p [kJ/kg.K]	İlk Sıcaklık [°C]	Son Sıcaklık [°C]	E_2-E_1 [kJ]
Su	4,02	4,18	21,0	41,1	338,4
Yük					
Tabak	19,81	1,20	21,9	40,1	434,3
Bardak	1,31	0,84	21,8	40,1	20,0
Çatal vb.	2,37	0,46	21,8	40,0	19,9
Kazan (Sac)	9,82	0,46	21,9	40,2	82,9
Kazan (Plastik)	5,85	1,90	21,9	40,0	200,7
Yalıtım					
Kazan Ses Yalıtımı	5,23	3,90	21,7	38,4	341,7
Keçe	0,45	1,10	21,1	37,1	7,9
Kabin Alt Kısım					
Sac	3,09	0,46	21,6	37,1	22,0
Plastik	4,85	1,90	21,9	38,1	149,2
Denge Ağırlığı	5,86	0,67	21,3	29,2	31,2
Kapı					

Sac	4,11	0,46	21,6	39,8	34,4
Kazan Ses Yalıtımı	1,13	3,90	22,1	39,7	77,9
Kabin Hava	0,25	1,00	22,0	40,1	4,5
Dış Kabin					
Sac	3,83	0,46	21,3	25,9	8,0
Plastik	6,93	1,90	21,8	26,4	61,4
Diğer	5,29	1,90	21,2	24,2	29,8
Toplam					1526,1



Şekil 3.42: Sıcak Yıkama Adımı Enerji Bilançosu

Tablo 3.8 ve W_g değerleri incelendiğinde elde edilen Q_{net} değeri 38,62 kJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, bu yıkama adımında kazandan ortama doğru bir ısı transferi olduğunu göstermiştir.

- **Soğuk Durulama Adımı**

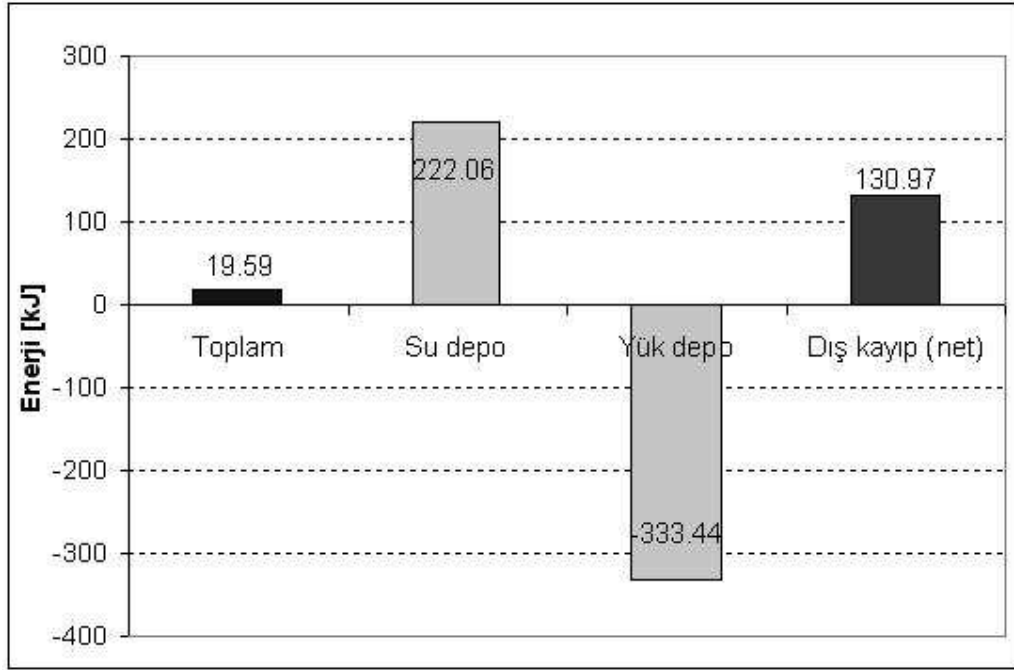
Bulaşık makinesinin bu adımda tükettiği enerji miktarı $W_{giriş}$ 19,59 kJ olarak belirlenmiştir. Deney için bu periyotta su ve yük tarafından depolanan enerji miktarı Tablo 3.9’da ve enerji bilançosu ise Şekil 3.43’te sunulmuştur.

Tablo 3.9: Soğuk Durulama Adımı Su ve Yük Depo Miktarları

Deney					
Malzeme	m [kg]	c_p [kJ/kg.K]	İlk Sıcaklık [°C]	Son Sıcaklık [°C]	Q_{depo} [kJ]
Su	2,98	4,18	16,77	34,6	222,1
Yük					
Tabak	19,81	1,20	40,1	35,7	-106,4
Bardak	1,31	0,84	40,1	35,6	-4,9
Çatal vb.	2,37	0,46	40,0	35,5	-4,9
Kazan (Sac)	9,82	0,46	40,2	35,3	-22,0
Kazan (Plastik)	5,85	1,90	40,0	35,7	-47,4
Yalıtım					
Kazan Ses Yalıtımı	5,23	3,90	38,4	35,0	-69,8
Keçe	0,45	1,10	37,1	34,2	-1,4
Kabin Alt Kısım					
Sac	3,09	0,46	37,1	33,5	-5,1
Plastik	4,85	1,90	38,1	34,4	-34,6
Denge Ağırlığı	5,86	0,67	29,2	29,1	-0,4
Kapı					
Sac	4,11	0,46	39,8	35,2	-8,6
Kazan Ses Yalıtımı	1,13	3,90	39,7	35,3	-19,3
Kabin Hava	0,25	1,00	40,1	35,6	-1,1
Dış Kabin					
Sac	3,83	0,46	25,9	25,2	-1,2
Plastik	6,93	1,90	26,4	26,2	-2,5
Diğer	5,29	1,90	24,2	23,8	-3,8
Toplam					-333,4

Tablo 3.9 ve W_g değerleri incelendiğinde elde edilen Q_{net} değeri 130,97 kJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, bu yıkama adımında kazandan ortama doğru bir ısı transferi olduğunu göstermiştir. Bu yıkama adımının bir diğer özelliği, kazanın ısıtılması ardından sisteme yeni soğuk su alınması ve su alımı ile birlikte sistemin sıcak olarak ortam sıcaklığında bulunması sebebiyle depolanan enerjinin su ve

ortama atılmasıdır. Bu yıkama adımının gerçekleştirilmesi ile birlikte, bir önceki adımda 40°C seviyelerinde olan kazan sıcaklığı 34°C seviyelerine inmektedir.



Şekil 3.43: Soğuk Durulama Yıkama Adımı Enerji Bilançosu

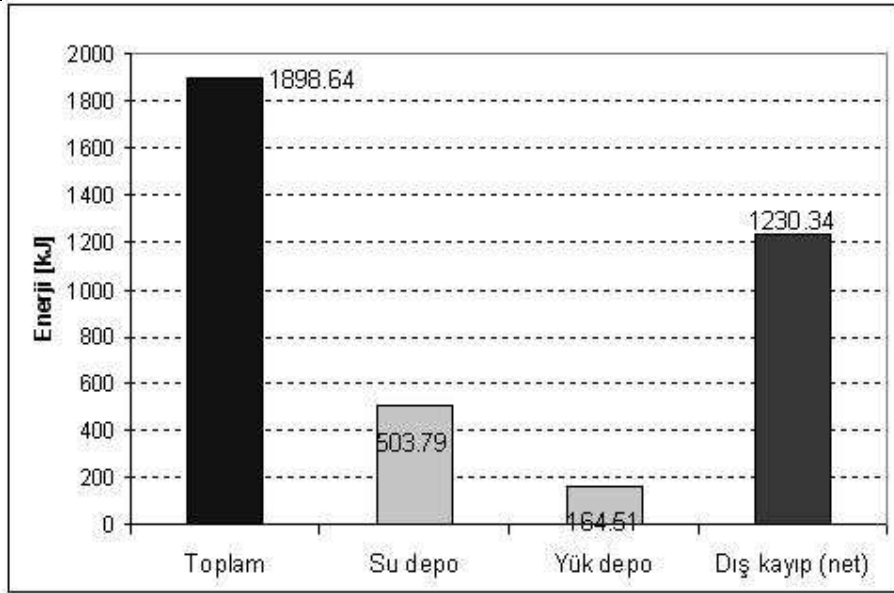
- **Sıcak Durulama Adımı**

Bulaşık makinesinin bu adımda tükettiği enerji miktarı W_g 1898.64 kJ olarak belirlenmiştir. Sıcak yıkama adımında ısıtıcı devreye girmekte ve suyun 61°C sıcaklığa kadar ısınmasını sağlamaktadır. Suyun ısınması esnasında sistem de genel olarak ısınmakta ve enerji bileşenler üzerinde depolanmaktadır. Bu periyotta kayıp enerji miktarı, sistemin kurutma aşamasında ortam sıcaklığında bekletilmesi sebebiyle yüksek olmaktadır. Deney için bu periyotta su ve yük tarafından depolanan enerji miktarı Tablo 3.10’da, enerji bilançosu ise Şekil 3.44’te sunulmuştur.

Tablo 3.10: Sıcak Durulama Adımı Su ve Yük Depo Miktarları

Deney					
Malzeme	m [kg]	c_p [kJ/kg.K]	İlk Sıcaklık [°C]	Son Sıcaklık [°C]	Q_{depo} [kJ]
Su	4,02	4,18	16,05	56,4	503,8
Yük					
Tabak	19,81	1,20	35,7	41,9	149,6

Bardak	1,31	0,84	35,6	40,2	5,1
Çatal vb.	2,37	0,46	35,5	40,1	4,9
Kazan (Sac)	9,82	0,46	35,3	36,3	4,5
Kazan (Plastik)	5,85	1,90	35,7	40,9	56,9
Yalıtım					
Kazan Ses Yalıtımı	5,23	3,90	35,0	35,2	4,3
Keçe	0,45	1,10	34,2	34,6	0,2
Kabin Alt Kısım					
Sac	3,09	0,46	33,5	28,5	-7,2
Plastik	4,85	1,90	34,4	30,0	-40,1
Denge Ağırlığı	5,86	0,67	29,1	30,2	4,0
Kapı					
Sac	4,11	0,46	35,2	37,1	3,6
Kazan Ses Yalıtımı	1,13	3,90	35,3	36,4	4,6
Kabin Hava	0,25	1,00	35,6	39,4	0,9
Dış Kabin					
Sac	3,83	0,46	25,2	26,3	1,8
Plastik	6,93	1,90	26,2	24,8	-19,1
Diğer	5,29	1,90	23,8	22,9	-9,6
Toplam				164,5	



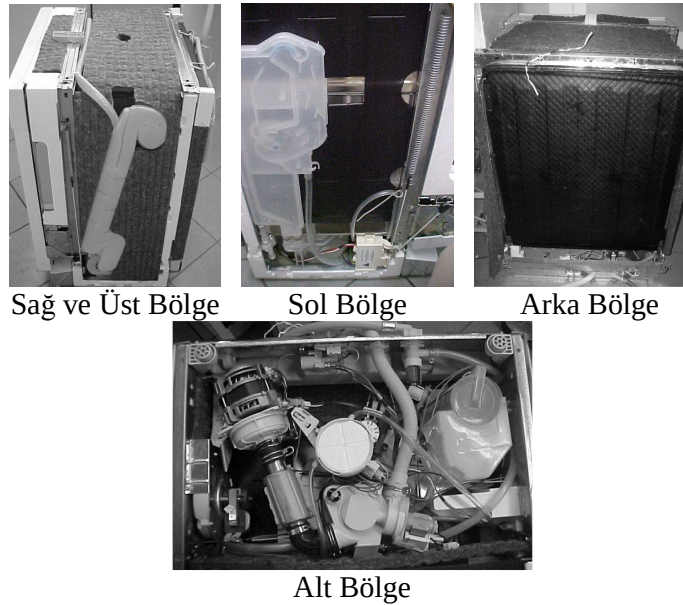
Şekil 3.44: Sıcak Durulama Adımı Enerji Bilançosu

Tablo 3.10 ve W_g değerleri incelendiğinde elde edilen Q_{net} değeri 1230,34 kJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, bu yıkama adımında kazandan ortama doğru bir ısı transferi olduğunu göstermiştir. Sistemde su devirdaimi için harcanan enerji dikkate alındığında genel enerji bilançosu ile yıkama adımları için elde edilen kayıp miktarlarının birbirleri ile eşit olduğu görülmüştür.

4. BULAŞIK MAKİNESİ ISIL MODELİ

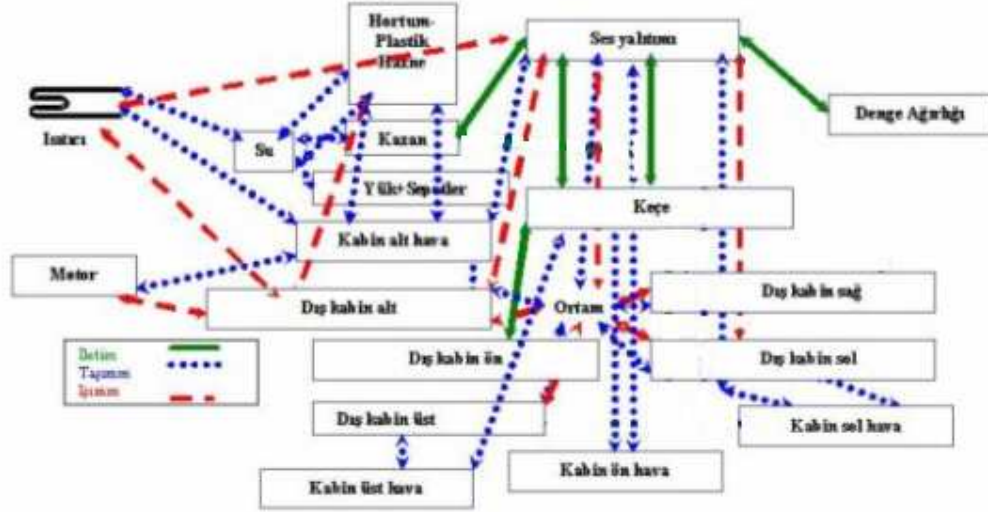
Gerçekleştirilen çalışmada bulaşık makinesi çeşitli kabullerle fiziksel olarak modellenmiş ve bu modele bağlı olarak kontrol hacimleri ve ısı akış şeması oluşturulmuştur. Daha sonra bu kontrol hacimleri için enerjinin korunumu prensibi uygulanarak matematiksel model hazırlanmıştır. Sistem, herhangi bir doğrultuda simetrik olmadığı için Şekil 4.1’de gösterilen sisteme ait her bir yöndeki elemanları(Sağ/Sol/Üst/Alt/Arka bölge) ayrı bir sistem olarak düşünülmüştür. Oluşturulan matematiksel modelin doğruluğunun kanıtlanması amacıyla bir bilgisayar programı hazırlanmış, hazırlanan bilgisayar programı parametrelerin değiştirilmesine olanak sağlamış, bu sayede farklı şartların sisteme etkisi incelenebilmiştir.

Her bir kontrol hacmi için giren, çıkan ve depolanan ısı miktarlarına bağlı olarak enerji dengesi denklemi çözülmektedir. Zamana bağlı değişimin kısa zaman adımlarında yüksek değerler almadığı göz önüne alınarak benzeşim programının çözümleme zamanını kısaltmak amacıyla açık sayısal yöntem çözümü uygulanmıştır.



Şekil 4.1: Bulaşık Makinesi Şematik Gösterimi

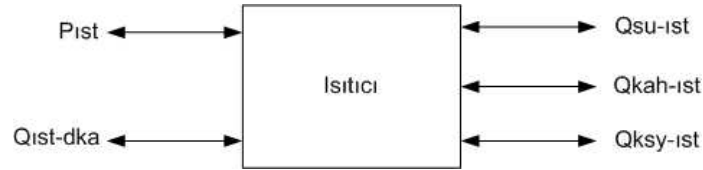
Şekil 4.2’de bulaşık makinesi ısı geçiş şeması verilmiştir. Isı akış şemasına göre giren, çıkan ve depolanan ısının dengesi kurularak her bir kontrol hacmi için farklı zaman adımlarında sıcaklıklar hesaplanmaktadır [19-20].



Şekil 4.2: Bulaşık Makinesi Isı Akış Şeması

4.1 Isıtıcı Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Bulaşık makinesi içerisindeki ısıtıcı kontrol hacmi için giren ve çıkan enerji kaynakları yazılarak enerji dengesi oluşturulmuş ve Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Enerji geçişleri çift yönlü olabileceği için çift taraflı ok ile belirtilmiştir.



Şekil 4.3: Isıtıcı Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Isıtıcı, bulaşık makinesi sistemindeki temel ısı kaynağıdır. Isıl modellemesi yapılan bulaşık makinesi için kullanılan ısıtıcı tipi direnç telli ve doğrudan akışlı olup, elektriksel kaynağı dışında, iç kısmındaki su ile zorlanmış, dış kısmındaki hava ile doğal taşınım yoluyla ısı transfer ilişkisi içerisinde yer almaktadır. Isıtıcı kontrol hacmi dış kısmı üzerinden kazan ses izolasyonu ve dış kabin alt bölgesi kontrol hacimleri ile ısıtım yolu ile ısı transfer ilişkisi içerisinde yer almaktadır. Isıtıcıdan suya doğru olan ısıtıcı iç kısmındaki taşınım, silindirik boru içerisindeki akış halindeki ısı taşınımı; hava ile

temasta olan dış kısımdaki ısı taşınımı ise silindir üzerinden dik akışlı doğal taşınım olarak kabul edilmiştir.

Su-ısıtıcı ve ısıtıcı-hava arası ısı transferi denklemlerinde sıcaklıkların ortalaması

$$T_{film_ist-su} = \left(\frac{T_{ist(i)} + T_{su(i)}}{2} \right) \quad (4.1)$$

$$T_{film_ist-hav} = \left(\frac{T_{ist(i)} + T_{hav(i)}}{2} \right) \quad (4.2)$$

alınarak kabul edilen film sıcaklığı değerleri hesaplanmıştır.

Bulaşık makinesi genel çalışma sürecinde ister sıcak, ister soğuk su çevrimi olsun, su, ısıtıcı üzerinden dolaştırılmakta ve her bir periyotta geçen debi miktarı pompa çalışma şartlarına göre değişmektedir. Dolayısı ile her bir çalışma periyodundaki debi değeri ısıtıcı iç alanına bölünerek hesaplamalar için gerekli hız değerleri

$$v_{ist-su} = \left(\frac{Debi_{su}}{A_{ist}} \right) \quad (4.3)$$

ile elde edilmiştir.

Hız değerine göre ısıtıcı içerisindeki akışa ait Reynolds sayısı

$$Re_{ist-su} = \frac{v_{ist-su} d_{ist-iç}}{v_{su}} \quad (4.4)$$

ile hesaplanmaktadır.

Isıtıcı kontrol hacmi içerisinde geçirilen su kontrol hacminin, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak viskozite değerinde meydana gelecek değişiminin ihmal edilebilir mertebelerde olduğu kabul edilirse ısı transfer katsayısının bulunması için Denklem (4.5)'te ifade edilen Dittus-Boelter eşitliği uygulanabilir.

$$Nu_{ist-su} = 0.023 Re_{ist-su}^{0.8} Pr_{su}^n \quad (4.5)$$

$$h_{ist-su} = \frac{k_{su} Nu_{ist-su}}{d_{ist-iç}} \quad (4.6)$$

* n değeri suyun ısınması halinde 0,4, soğuması halinde ise 0,3 alınmıştır.

Isıtıcı-hava arasındaki taşınım katsayısının bulunması için ise silindir üzerinden meydana gelen doğal taşınım ile ısı transferini ifade eden Denklem (4.7) ve Denklem (4.8)'de sunulan Churchill-Chu korelasyonu kullanılmıştır.

$$Ra_{ist-hav} = \frac{g(T_{ist} - T_{hav})d_{ist}^3 Pr_{hav}}{T_{film_ist-hav} v_{hav}^2} \quad (4.7)$$

$$h_{ist-hav} = \frac{k_{hav}}{d_{ist}} \left[0,6 + \frac{0,387 Ra_{ist-hav}^{0.1666}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr_{hav}} \right)^{0.5625} \right]^{0.2962}} \right]^2 \quad (4.8)$$

Şekil 4.3'te belirtilen ısıtıcı kontrol hacmi enerji dengesi açık sayısal yöntem ile Denklem (4.9)'da sunulmuştur.

$$m_{isit} C_{p-isit} \frac{(T_{isit(i+1)} - T_{isit(i)})}{\Delta t} = P_{isit} - Q_{isit-su} - Q_{isit-kah} - Q_{isit-dka} - Q_{isit-ksy} \quad (4.9)$$

Isıtıcı ile su arasındaki ısı geçiş miktarı

$$Q_{isit-su} = h_{isit-su} A_{isit} (T_{isit(i)} - T_{su(i)}) \quad (4.10)$$

ile hesaplanmaktadır.

Isıtıcı ile kabin alt havası kontrol hacmi arasındaki ısı geçiş miktarı

$$Q_{isit-kah} = h_{isit-kah} A_{isit} (T_{isit(i)} - T_{kah(i)}) \quad (4.11)$$

Isıtıcı ile dış kabin alt kontrol hacmi arasındaki ısı geçiş miktarı

$$Q_{isit-dka} = \frac{A_{isit-dka} \sigma (T_{isit(i)}^4 - T_{dka(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{isit}} + \frac{1}{\epsilon_{dka}} - 1} \quad (4.12)$$

ile hesaplanmaktadır.

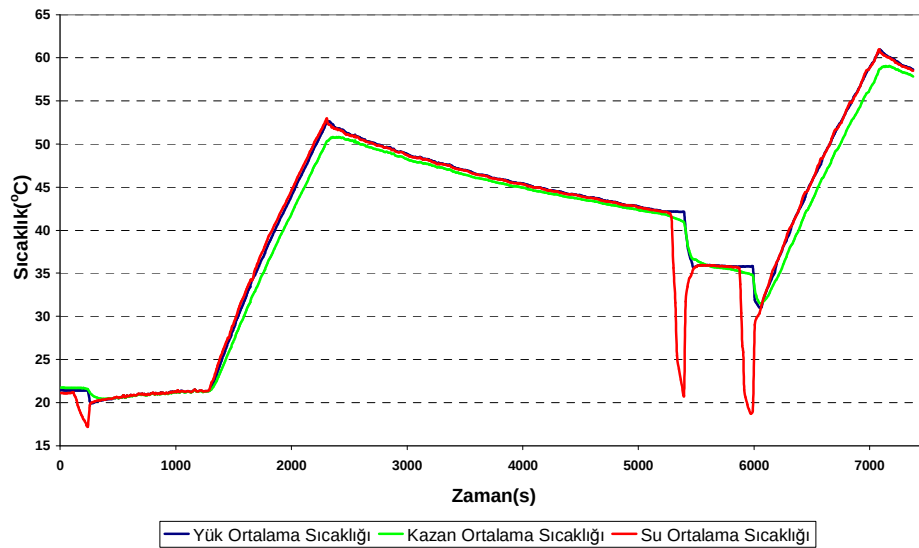
Isıtıcı ile kazan ses yalıtımı kontrol hacmi arasındaki ısı geçiş miktarı

$$Q_{isit-ksy} = \frac{A_{isit-ksy} \sigma (T_{isit(i)}^4 - T_{ksy(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{isit}} + \frac{1}{\epsilon_{ksy}} - 1} \quad (4.13)$$

ile hesaplanmaktadır.

4.2 Su Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Bulaşık makinesi çalışma sürecinde belirli zaman adımlarında sistem içerisine şebekeden alınan su, kazan alt kısmındaki haznede toplanmakta, yeterli miktardaki alımdan sonra ısıtıcı üzerinden ana su pompasına ulaştırılarak basınçlandırılmakta ve su püskürtme ağızlarına gönderilerek yük, kazan, sepetler ve kazan içi diğer elemanlara temas etmektedir. Yıkama performansının artırılması amacıyla, su püskürtme ağızlarının yapısı yüke maksimum suyun temasını sağlamaktadır. Bu nedenle; su ile yük ve su ile sepetler arasındaki taşınım katsayısının su ile kazan arasındaki taşınım katsayısından çok daha yüksek olacağı açıktır. Isıl modellemesi gerçekleştirilen makinede gerçekleştirilen deneyde su sıcaklığı ile yük sıcaklıkları arasındaki farkın çok düşük olduğu tespit edilmiştir (Bknz Şekil 4.4). Elde edilen bu veri ışığında suyun, yükün, sepetlerin ve suyun direkt temasta olduğu plastik elemanların sıcaklığı tek bir sıcaklık olarak değerlendirilmiş, çözümleme buna uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tüm bu elemanlar su-ortak kontrol hacmi olarak ifade edilecektir.



Şekil 4.4: Su-Yük-Kazan Kontrol Hacimleri Sıcaklık Karşılaştırması

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere su ve kazan sıcaklığı arasındaki fark, su ile yük arasındaki sıcaklık farkından nispeten daha yüksek olduğu için kazan için farklı bir sıcaklık tanımı kullanılmıştır. Bu durum suyun kazan ile düşük miktarlarda temasta olması, kazanın ise suyun temasta olduğu diğer elemanlardan daha yüksek miktarlarda dış ortam ile temas halinde olması sebebiyledir.

Su ile kazan arasındaki taşınım katsayısı, yıkama safhasındaki suyun ne kadarlık bir kısmının kazana ve ne şekilde temas ettiğinin bilinmemesi nedeniyle (Rastgele su püskürtme) deneysel verilerden elde edilmiştir. Yıkama sürecinde farklı pompa güçlerinde farklı su hızlarının oluşacağı varsayılarak her güç değeri için farklı su-kazan arası ısı taşınım katsayısı değerleri elde edilmiş ve oluşturulan modelde kullanılmışlardır.

Ortak kontrol hacmi(su, yük, sepetler, kazan içi plastik elemanlar, su ile temastaki diğer plastik elemanlar) için enerji dengesi Şekil 4.5'te sunulmuştur.



Şekil 4.5: Su-Ortak Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Şekil 4.5'te belirtilen su-ortak kontrol hacmi enerji dengesi

$$m_{ort} C_{p-ort} \frac{(T_{ort(i+1)} - T_{ort(i)})}{\Delta t} = Q_{isit-ort} - Q_{ort-kaz} - Q_{ort-kah} - Q_{ort-dka} \quad (4.14)$$

ile ifade edilmiştir.

Ortak kontrol hacminin ısı atalet ifadesi

$$m_{ort} C_{p-ort} = m_{su} C_{p-su} + m_{yük} C_{p-yük} + m_{sepet} C_{p-sepet} + m_{ple} C_{p-ple} + m_{dig} C_{p-dig} \quad (4.15)$$

ile ifade edilmiştir.

Isıtıcı ile su arasındaki ısı geçiş ifadesi ve ısıtıcı ile su arasındaki ısı geçiş ifadesi arasındaki ilişki

$$Q_{isit-ort} = Q_{isit-su} \quad (4.16)$$

ile ifade edilmiştir.

Ortak kontrol hacmi ile kazan arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ort-kaz} = h_{ort-kaz} A_{ort-kaz} (T_{ort(i)} - T_{kaz(i)}) \quad (4.17)$$

ile hesaplanmaktadır.

Ortak ve kabin alt havası kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ort-kah} = h_{ort-kah} A_{ple-kah} (T_{ort(i)} - T_{kah(i)}) \quad (4.18)$$

ile hesaplanmaktadır.

Ortak ve dış kabin alt kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ort-dka} = \frac{A_{ple-dka} \sigma (T_{ort(i)}^4 - T_{dka(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{ple}} + \frac{1}{\epsilon_{dka}} - 1} \quad (4.19)$$

ile hesaplanmaktadır.

Ortak kütle; ısıtıcı, kazan, kazan altındaki plastik elemanlar üzerinden dış kabin alt bölgesi havası ile taşınım ve dış kabin altı ile ışıınım şeklinde ısı transferi ilişkisi içerisinde.

4.3 Kazan Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

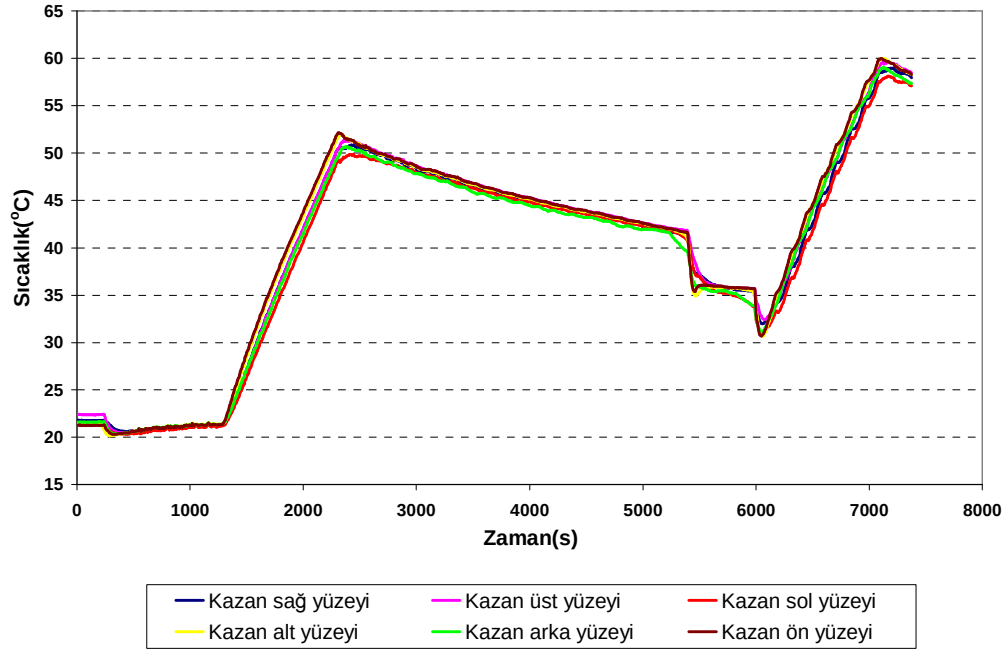
Ortak kontrol hacmi ile taşınım, etrafına kaplanmış olan kazan ses yalıtımı kontrol hacmi ile ise iletim şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan kazan kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Kazan kontrol hacmi enerji dengesi Şekil 4.6’da sunulmuştur.



Şekil 4.6: Kazan Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

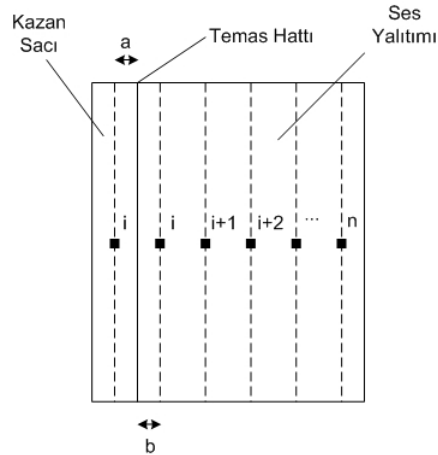
Kazan kontrol hacmi içerisindeki farklı bölgelerin farklı miktarlarda su ile temas etmesi nedeniyle farklı sıcaklık değerine sahip bölgelerin oluşması sebebiyle kazan içerisinde birçok noktadan sıcaklık ölçümü alınmıştır. Elde edilen değerler suyun en fazla temas halinde bulunduğu kazan alt bölgesi sıcaklığının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Diğer bölge sıcaklıkları birbirine çok yakın olduğundan ve kazan alt bölgesi kütlesi toplam kazan kütlesine oranla küçük

olduğundan tek bir kazan sıcaklığı değeri kullanılmıştır. Kazan yüzey sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4.7: Kazan Kontrol Hacmi Sıcaklıkları

Ses yalıtımı kazan üzerine eritilerek dökme şeklinde uygulandığından yüzey ile arasında yüksek oranda fiziksel bağ bulundurmaktadır. Bu bağ iki kontrol hacmi arasında yüksek ısı transfer katsayısı(düşük temas direnci) değerinin elde edilmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple bu iki kontrol hacmi arasındaki ısı geçiş bölgesinde malzemelerin kalınlıkları ile orantılı olacak şekilde ortalama ısı iletim katsayısı tanımlamak mümkündür. Kazan ile kazan ses yalıtımı teması şematik gösterimi Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.8: Kazan-Kazan Ses Yalıtımı Teması Dağılımlı Modelleme

Kazan ile kazan ses yalıtımı temas bölgesi ortalama ısı iletim katsayısı

$$k_{kaz-ksy} = \frac{(k_{kaz}a + k_{ksy}b)}{(a+b)} \quad (4.20)$$

ile ifade edilmiştir.

Kazan ile kazan ses yalıtımı arasındaki ısı geçişi

$$Q_{kaz-ksy} = k_{kaz-ksy} A_{ksy} \frac{(T_{kaz(i)} - T_{ksy(i)})}{(a+b)} \quad (4.21)$$

ile hesaplanmaktadır.

Mevcut formülasyonlara sayısal değerlerin girilmesi sonucu kazan sacının ısı iletim katsayısının ses yalıtımı malzemesinin ısı iletim katsayısına göre çok yüksek olması ve (a+b) değerinin de çok düşük olması sebebiyle kazan sacı ile ses yalıtımı temas noktasında yüksek ısıl gradyen değerleri elde edilmiştir. Elde edilen yüksek ısıl gradyen değerleri analiz programında ıraksamaya neden olmuştur. Bu sebeple kazan kontrol hacmi ile kazan ses yalıtımı kontrol hacmi arasındaki iletim ısı transferi farklı bir formülasyonla çözümlenmiştir.

Yeni formülasyona göre ses yalıtımı son noktası ile kazan sacına en yakın noktası arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan ısıl gradyen ısı geçişine neden olmaktadır. Isıl gradyen sebebiyle meydana gelen ısı geçişi

$$Q_{kaz-ksy} = k_{ksy} A_{ksy} \frac{(T_{ksy^n(i)} - T_{ksy^i(i)})}{(2nb)} \quad (4.22)$$

ile hesaplanmaktadır.

Denklem (4.22)'de verilen ısı geçiş miktarı kazan kontrol hacminden ses yalıtımı kontrol hacmine geçen ısı miktarına eşittir.

Kazan kontrol hacmi için enerji dengesi denklemleri

$$m_{kaz} C_{p-kaz} \frac{(T_{kaz(i+1)} - T_{kaz(i)})}{\Delta t} = Q_{ort-kaz} - Q_{kaz-ksy} \quad (4.23)$$

ile ifade edilmiştir.

4.4 Kazan Ses Yalıtımı Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Kazan, keçe ve denge ağırlığı kontrol hacimleri ile iletim, kabin sol hava, dış ortam hava, kabin ön hava, kabin atl havası kontrol hacimleri ile taşınım, dış kabin alt, dış

kabin sol, keçe ön ve dış ortam havası kontrol hacimleri ile ise ısınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan kazan ses yalıtımı kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır.

Kazan ses yalıtımı kontrol hacmi etrafında birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip bölgeler olması sebebiyle, sağ, sol, üst, alt, ön ve arka olarak 6 bölgeye ayrılmıştır. Kazan ses yalıtımı kontrol hacmine ait enerji dengesi denklemleri toplu halde gösterilmiştir.

4.4.1 Kazan Ses Yalıtımı Ön Bölgesi

Kazan ses yalıtımı ön bölgesi kontrol hacmi; kazan kontrol hacmi ile iletim, kabin ön havası kontrol hacmi ile taşınım, keçe kontrol hacmi ile ise ısınım şeklinde ısı transferi ilişkisi içerisinde.

4.4.2 Kazan Ses Yalıtımı Arka Bölgesi

Kazan ses yalıtımı arka bölgesi kontrol hacmi; kazan kontrol hacmi ile iletim, dış ortam kontrol hacmi ile ise taşınım ve ısınım şeklinde ısı transferi ilişkisi içerisinde.

4.4.3 Kazan Ses Yalıtımı Sağ Bölgesi

Kazan ses yalıtımı sağ bölgesi kontrol hacmi; kazan, kurutma kanalı ve keçe kontrol hacimleri ile iletim şeklinde ısı transferi ilişkisi içerisinde.

4.4.4 Kazan Ses Yalıtımı Sol Bölgesi

Kazan ses yalıtımı sol bölgesi kontrol hacmi; kazan kontrol hacmi ile iletim, kabin sol hava kontrol hacmi ile taşınım, dış kabin sol kontrol hacmi ile ise ısınım şeklinde ısı transferi ilişkisi içerisinde.

4.4.5 Kazan Ses Yalıtımı Üst Bölgesi

Kazan ses yalıtımı üst bölgesi kontrol hacmi; kazan ve keçe kontrol hacimleri ile iletim şeklinde ısı transferi ilişkisi içerisinde.

4.4.6 Kazan Ses Yalıtımı Alt Bölgesi

Kazan ses yalıtımı alt bölgesi kontrol hacmi; kazan kontrol hacmi ile iletim, kabin alt hava kontrol hacmi ile taşınım, ısıtıcı, motor ve dış kabin alt kontrol hacimleri ile ısıtım şeklinde ısı transferi ilişkisi içerisinde.

Kazan ses yalıtımı enerji dengesi Şekil 4.9’da sunulmuştur.



Şekil 4.9: Kazan Ses Yalıtımı Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Kazan ses yalıtımı kontrol hacmi için oluşturulan sayısal açık yöntem enerji dengesi

$$m_{ksy} C_{p-ksy} \frac{(T_{ksy(i+1)} - T_{ksy(i)})}{\Delta t} = Q_{kaz-ksy} - Q_{ksy-köh} - Q_{ksy-keçe} - Q_{ksy-da} - Q_{ksy-ksh} - Q_{ksy-doh} - Q_{ksy-kah} - Q_{ksy-dka} - Q_{ksy-dks} \quad (4.24)$$

ile ifade edilmiştir.

Kazan ses yalıtımı ile keçe kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-keçe} = k_{ksy-keçe} A_{ksy-keçe} (T_{ksy(i)} - T_{keçe(i)}) \quad (4.25)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kazan ses yalıtımı ile denge ağırlığı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-da} = k_{ksy-da} A_{ksy-da} (T_{ksy(i)} - T_{da(i)}) \quad (4.26)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kazan ses yalıtımı ile kabin sol hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-ksh} = h_{ksy-ksh} A_{ksy-ksh} (T_{ksy(i)} - T_{ksh(i)})^* \quad (4.27)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kazan ses yalıtımı ile kabin ön hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-köh} = h_{ksy-köh} A_{ksy-köh} (T_{ksy(i)} - T_{köh(i)})^* \quad (4.28)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kazan ses yalıtımı ile dış ortam havası kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-doh} = h_{ksy-doh} A_{ksy-doh} (T_{ksy(i)} - T_{doh(i)}) + A_{ksy-doh} \sigma (T_{ksy(i)}^4 - T_{doh(i)}^4) * \quad (4.29)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kazan ses yalıtımı ile kabin alt havası kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-kah} = h_{ksy-kah} A_{ksy-kah} (T_{ksy(i)} - T_{kah(i)}) ** \quad (4.30)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kazan ses yalıtımı ile dış kabin sol kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-dksol} = \frac{A_{ksy-dksol} \sigma (T_{ksy(i)}^4 - T_{dksol(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{ksy}} + \frac{1}{\epsilon_{dksol}} - 1} \quad (4.31)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kazan ses yalıtımı ile dış kabin alt kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-dka} = \frac{A_{ksy-dka} \sigma (T_{ksy(i)}^4 - T_{dka(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{ksy}} + \frac{1}{\epsilon_{dka}} - 1} \quad (4.32)$$

ile hesaplanmaktadır.

*Düşey levhada doğal taşınım denklemleri kullanılmıştır.

**Yatay levhada doğal taşınım denklemleri kullanılmıştır.

Kazan ses yalıtımı kontrol hacmi üzerinden kabin sol havası, kabin ön havası ve dış ortam havası kontrol hacimlerine doğru olan taşınım dikey levhada doğal taşınım şeklinde gerçekleşmektedir. Düşey levha etrafında doğal ısı taşınımı ile ilgili Denklem (4.33)'te sunulmuş Churchill – Chu korelasyonu kullanılmıştır.

$$h_{ksy-x} = \frac{k}{L} \left[0,68 + \frac{0,67 Ra^{0.25}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{0.5625} \right]^{0,4444}} \right] \quad (4.33)$$

$$Ra_L = \frac{g(T_{ksy} - T_x)L^3 Pr}{T_f v^2} \quad (4.34)$$

Kazan ses yalıtımı kontrol hacmi üzerinden kabin alt havası kontrol hacmin doğru olan taşınım yatay levhada doğal taşınım şeklinde gerçekleşmektedir.

Sabit sıcaklıktaki yatay levhalarda ısı geçişinin yukarı doğru olması durumunda kullanılan eşitlikler Denklem (4.35) ve Denklem (4.36)'da sunulmuştur.

$$2.10^4 \leq Ra_L \leq 8.10^6 \text{ için } Nu_L = 0,54Ra_L^{1/4} \quad (4.35)$$

$$8.10^6 \leq Ra_L \leq 10^{11} \text{ için } Nu_L = 0,15Ra_L^{1/3} \quad (4.36)$$

Sabit sıcaklıktaki yatay levhalarda ısı geçişinin aşağıya doğru olması durumunda kullanılan eşitlikler Denklem (4.37)'de sunulmuştur.

$$10^5 \leq Ra_L \leq 10^{11} \text{ için } Nu_L = 0,27 * Ra_L^{1/4} \quad (4.37)$$

Kazan ses yalıtımı kontrol hacmi de kazan kontrol hacmi gibi altı parçaya(Sağ/Sol/Üst/Alt/Arka/Ön) bölünerek incelenmiştir. Ayrıca kazan ses yalıtımı kontrol hacmi, kazan kontrol hacmi ile iletim temasında olduğu için kalınlığı boyunca 5 parçada incelenmiştir. Isı iletim katsayısı ile ifade edilen terimler kontrol hacimlerinin birbirleriyle ilk temas ettikleri noktada 2 bileşenin ortalama ısı iletim katsayısı, diğer noktalarda ise ısının iletimle transfer edildiği kontrol hacminin ısı iletim katsayısıdır.

4.5 Denge Ağırlığı Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Kazan ses yalıtımı kontrol hacmi ile iletim, kabin alt hava kontrol hacmi ile ise taşınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan denge ağırlığı kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Denge ağırlığı kontrol hacmi enerji dengesi Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Denge Ağırlığı Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Denge ağırlığı kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{da} C_{p-da} \frac{(T_{da(i+1)} - T_{da(i)})}{\Delta t} = Q_{ksy-da} - Q_{da-kah} \quad (4.38)$$

ile ifade edilmiştir.

Kazan ses yalıtımı ile denge ağırlığı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-da} = k_{ksy-da} A_{ksy-da} (T_{ksy(i)} - T_{da(i)}) \quad (4.39)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kabin alt hava ile denge ağırlığı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{da-kah} = h_{da-kah} A_{da-kah} (T_{da(i)} - T_{kah(i)})^* \quad (4.40)$$

ile hesaplanmaktadır.

* Kabin alt hava kontrol hacmi ile denge ağırlığı kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken yatay silindirden doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill–Chu korelasyonu kullanılmıştır.(Bknz. Denklem (4.7), (4.8))

4.6 Kabin Sol Hava Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Kazan ses yalıtımı ve dış kabin sol kontrol hacimleri ile taşınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan kabin sol hava kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Kabin sol hava kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.11: Kabin Sol Havası Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Kabin sol havası kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{ksh} C_{p-ksh} \frac{(T_{ksh(i+1)} - T_{ksh(i)})}{\Delta t} = Q_{ksy-ksh} - Q_{ksh-dksol} \quad (4.41)$$

ile ifade edilmiştir.

Kazan ses yalıtımı ile kabin sol hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-ksh} = h_{ksh} A_{ksy-ksh} (T_{ksy(i)} - T_{ksh(i)})^* \quad (4.42)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış kabin sol ile kabin sol hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksh-dksol} = h_{ksh-dksol} A_{ksh-dksol} (T_{ksh(i)} - T_{dksol(i)})^* \quad (4.43)$$

ile hesaplanmaktadır.

* Dış kabin sol ve kazan ses yalıtımı kontrol hacimleri ile kabin sol hava kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken dikey levhadan doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill–Chu korelasyonu kullanılmıştır. (Bknz. Denklem (4.33), (4.34))

4.7 Kabin Alt Hava Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Kazan ses yalıtımı, ısıtıcı, plastik elemanlar ve dış kabin alt kontrol hacimleri ile taşınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan kabin alt hava kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Kabin alt hava kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.12’de sunulmuştur.



Şekil 4.12: Kabin Alt Havası Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Kazan ses yalıtımı, ısıtıcı, plastik elemanlar ve dış kabin alt kontrol hacimleri ile taşınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan kabin alt hava kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır.

Kabin alt havası kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{kah} C_{p-kah} \frac{(T_{kah(i+1)} - T_{kah(i)})}{\Delta t} = Q_{ksy-kah} + Q_{ple-kah} + Q_{ısıt-kah} - Q_{kah-dka} \quad (4.44)$$

ifade edilmiştir.

Kabin alt hava ile ısıtıcı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ısıt-kah} = h_{ısıt-kah} A_{ısıt-kah} (T_{ısıt(i)} - T_{kah(i)}) \quad (4.45)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kabin alt hava ile plastik elemanlar arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ple-kah} = h_{ple-kah} A_{ple-kah} (T_{ple(i)} - T_{kah(i)}) \quad (4.46)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kabin alt hava ile dış kabin alt kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{kah-dka} = h_{kah-dka} A_{kah-dka} (T_{kah(i)} - T_{dka(i)})^* \quad (4.47)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kabin alt hava ile kazan ses yalıtımı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-kah} = h_{ksy-kah} A_{ksy-kah} (T_{ksy(i)} - T_{kah(i)})^* \quad (4.48)$$

ile hesaplanmaktadır.

* Dış kabin alt ve kazan ses yalıtımı kontrol hacimleri ile kabin alt hava kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken yatay levhadan doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill–Chu korelasyonu kullanılmıştır. (Bknz. Denklem (4.35)-(4.36))

4.8 Kabin Ön Hava Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Keçe ve kazan ses yalıtımı kontrol hacimleri ile taşınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan kabin ön hava kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Kabin ön hava kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.13'te sunulmuştur.



Şekil 4.13: Kabin Ön Havası Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Kabin ön havası kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{köh} C_{p-köh} \frac{(T_{köh(i+1)} - T_{köh(i)})}{\Delta t} = Q_{ksy-köh} - Q_{köh-keçe} \quad (4.49)$$

ile ifade edilmiştir.

Kabin ön hava ile kazan ses yalıtımı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-köh} = h_{ksy-köh} A_{ksy-köh} (T_{ksy(i)} - T_{köh(i)})^* \quad (4.50)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kabin ön hava ile keçe kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{k\ddot{o}h-ke\check{c}e} = h_{k\ddot{o}h-ke\check{c}e} A_{k\ddot{o}h-ke\check{c}e} (T_{k\ddot{o}h(i)} - T_{ke\check{c}e(i)})^* \quad (4.51)$$

ile hesaplanmaktadır.

* Kazan ses yalıtımı ve keçe kontrol hacimleri ile kabin ön hava kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken dikey levhadan doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill–Chu korelasyonu kullanılmıştır. (Bknz. Denklem (4.33), (4.34))

4.9 Kabin Üst Hava Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Keçe ve dış kabin üst kontrol hacimleri ile taşınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan kabin üst hava kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Kabin üst hava kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.14’te sunulmuştur.



Şekil 4.14: Kabin Üst Havası Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Keçe ve dış kabin üst kontrol hacimleri ile taşınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan kabin üst hava kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır.

Kabin üst havası kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{küh} C_{p-küh} \frac{(T_{küh(i+1)} - T_{küh(i)})}{\Delta t} = Q_{ke\check{c}e-küh} - Q_{küh-dkü} \quad (4.52)$$

ile ifade edilmiştir.

Kabin üst hava ile keçe kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ke\check{c}e-küh} = h_{ke\check{c}e-küh} A_{ke\check{c}e-küh} (T_{ke\check{c}e(i)} - T_{küh(i)})^* \quad (4.53)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kabin üst hava ile dış kabin üst kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{küh-dkü} = h_{küh-dkü} A_{küh-dkü} (T_{küh(i)} - T_{dkü(i)})^* \quad (4.54)$$

ile hesaplanmaktadır.

* Kabin üst hava ve keçe kontrol hacimleri ile dış kabin üst kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken yatay levhadan doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill–Chu korelasyonu kullanılmıştır. (Bknz. Denklem (4.35), (4.36), (4,37))

4.10 Dış Kabin Sol Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Dış ortam hava ve kabin sol hava kontrol hacimleri ile taşınım, kazan ses yalıtımı ve dış ortam kontrol hacimleri ile ısıtım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan dış kabin sol kontrol hacmi sıcaklığı ve ısı ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Kabin sol hava kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.15’te sunulmuştur.



Şekil 4.15: Dış Kabin Sol Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Dış kabin sol kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{dksol} C_{p-dksol} \frac{(T_{dksol(i+1)} - T_{dksol(i)})}{\Delta t} = Q_{ksy-dksol} + Q_{ksh-dksol} - Q_{dksol-doh} \quad (4.55)$$

ile ifade edilmiştir.

Kabin sol hava ile dış kabin sol kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksh-dksol} = h_{ksh-dksol} A_{ksh-dksol} (T_{ksh(i)} - T_{dksol(i)}) \quad (4.56)$$

ile hesaplanmaktadır.

Kazan ses yalıtımı ile dış kabin sol kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-dksol} = \frac{A_{ksy-dksol} \sigma (T_{ksy(i)}^4 - T_{dksol(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{ksy}} + \frac{1}{\epsilon_{dksol}} - 1} \quad (4.57)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış ortam havası ile dış kabin sol kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{dksol-doh} = h_{dksol-doh} A_{dksol-doh} (T_{dksol(i)} - T_{doh(i)}) + A_{dksol-doh} \sigma (T_{dksol(i)}^4 - T_{doh(i)}^4) \quad (4.58)$$

ile hesaplanmaktadır.

4.11 Dış Kabin Sağ Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Dış ortam hava kontrol hacmi ile taşınım ve ışınlım, keçe kontrol hacmi ile iletim şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan dış kabin sağ kontrol hacmi sıcaklığı ve ısı ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Kabin sağ hava kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.16'da sunulmuştur.



Şekil 4.16: Dış Kabin Sağ Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Dış kabin sağ kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{dksag} C_{p-dksag} \frac{(T_{dksag(i+1)} - T_{dksag(i)})}{\Delta t} = Q_{keçe-dksag} - Q_{dksag-doh} \quad (4.59)$$

ile ifade edilmiştir.

Keçe ile dış kabin sağ kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{keçe-dksag} = k_{keçe} A_{keçe-dksag} (T_{keçe^n(i)} - T_{keçe^m(i)}) \quad (4.60)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış ortam hava ile dış kabin sağ kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{dksag-doh} = h_{dksag-doh} A_{dksag-doh} (T_{dksag(i)} - T_{doh(i)}) + A_{dksag-doh} \sigma (T_{dksag(i)}^4 - T_{doh(i)}^4) \quad (4.61)$$

ile hesaplanmaktadır.

m= Keçe kontrol hacminin iletim ısı temasında olduğu kontrol hacmine en yakın nokta numarası

n= Keçe kontrol hacminin iletim ısı temasında olduğu kontrol hacmine en uzak nokta numarası

4.12 Dış Kabin Ön Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Dış ortam hava kontrol hacmi ile taşınım ve ısıtım, keçe kontrol hacmi ile iletim şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan dış kabin ön kontrol hacmi sıcaklığı ve ısı ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Dış kabin ön kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.17’de sunulmuştur.



Şekil 4.17: Dış Kabin Ön Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Dış ortam hava kontrol hacmi ile taşınım ve ısıtım, keçe kontrol hacmi ile iletim şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan dış kabin ön kontrol hacmi sıcaklığı ve ısı ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır.

Dış kabin ön kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{dkö} C_{p-dkö} \frac{(T_{dkö(i+1)} - T_{dkö(i)})}{\Delta t} = Q_{keçe-dkö} - Q_{dkö-doh} \quad (4.62)$$

ile ifade edilmiştir.

Dış ortam ön ile keçe kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{keçe-dkö} = k_{keçe} A_{keçe-dkö} (T_{keçe^n(i)} - T_{keçe^m(i)}) \quad (4.63)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış ortam ön ile dış ortam hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{dkö-doh} = h_{dkö-doh} A_{dkö-doh} (T_{dkö(i)} - T_{doh(i)}) + A_{dkö-doh} \sigma (T_{dkö(i)}^4 - T_{doh(i)}^4) \quad (4.64)$$

ile hesaplanmaktadır.

m= Keçe kontrol hacminin iletim ısı temasında olduğu kontrol hacmine en yakın nokta numarası

n= Keçe kontrol hacminin iletim ısı temasında olduğu kontrol hacmine en uzak nokta numarası

4.13 Dış Kabin Üst Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Kabin üst hava ve dış ortam hava kontrol hacimleri ile taşınım, keçe ve dış ortam hava kontrol hacimleri ile ışınlım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan dış kabin üst kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Dış kabin üst kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.18’de sunulmuştur.



Şekil 4.18: Dış Kabin Üst Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Dış kabin üst kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{dkü} C_{p-dkü} \frac{(T_{dkü(i+1)} - T_{dkü(i)})}{\Delta t} = Q_{keçe-dkü} + Q_{küh-dkü} - Q_{dkü-doh} \quad (4.65)$$

ile ifade edilmiştir.

Dış kabin üst ile kabin üst hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{küh-dkü} = h_{küh-dkü} A_{küh-dkü} (T_{küh(i)} - T_{dkü(i)}) \quad (4.66)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış kabin üst ile keçe kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{keçe-dkü} = \frac{A_{keçe-dkü} \sigma (T_{keçe(i)}^4 - T_{dkü(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{keçe}} + \frac{1}{\epsilon_{dkü}} - 1} \quad (4.67)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış kabin üst ile dış ortam hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{dkü-doh} = h_{dkü-doh} A_{dkü-doh} (T_{dkü(i)} - T_{doh(i)}) + A_{dkü-doh} \sigma (T_{dkü(i)}^4 - T_{doh(i)}^4) \quad (4.68)$$

ile hesaplanmaktadır.

4.14 Dış Kabin Alt Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Kabin alt hava ve dış ortam hava kontrol hacimleri ile taşınım, kazan ses yalıtımı, ısıtıcı, motor ve plastik elemanlar kontrol hacimleri ile ışıınım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan dış kabin alt kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Dış kabin alt kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.19’da sunulmuştur



Şekil 4.19: Dış Kabin Alt Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Dış kabin alt kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{dka} C_{p-dka} \frac{(T_{dka(i+1)} - T_{dka(i)})}{\Delta t} = Q_{ksy-dka} + Q_{isit-dka} + Q_{kah-dka} + Q_{ple-dka} - Q_{dka-doh} \quad (4.69)$$

ile ifade edilmiştir.

Dış kabin alt ile ısıtıcı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{isit-dka} = \frac{A_{isit-dka} \sigma (T_{isit(i)}^4 - T_{dka(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{isit}} + \frac{1}{\epsilon_{dka}} - 1} \quad (4.70)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış kabin alt ile plastik elemanlar arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ple-dka} = \frac{A_{ple-dka} \sigma (T_{ple(i)}^4 - T_{dka(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{ple}} + \frac{1}{\epsilon_{dka}} - 1} \quad (4.71)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış kabin alt ile motor kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{mot-dka} = \frac{A_{mot-dka} \sigma (T_{mot(i)}^4 - T_{dka(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{mot}} + \frac{1}{\epsilon_{dka}} - 1} \quad (4.72)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış kabin alt ile kazan ses yalıtımı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-dka} = \frac{A_{ksy-dka} \sigma (T_{ksy(i)}^4 - T_{dka(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{ksy}} + \frac{1}{\epsilon_{dka}} - 1} \quad (4.73)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış kabin alt ile kabin alt hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{kah-dka} = h_{kah-dka} A_{kah-dka} (T_{kah(i)} - T_{dka(i)})^* \quad (4.74)$$

ile hesaplanmaktadır.

Dış kabin alt ile dış ortam hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

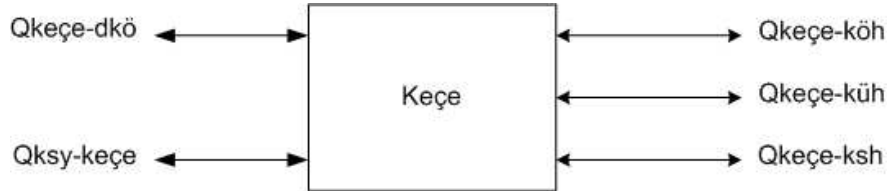
$$Q_{dka-doh} = h_{dka-doh} A_{dka-doh} (T_{dka(i)} - T_{doh(i)})^* + \frac{A_{dka-doh} \sigma (T_{dka(i)}^4 - T_{doh(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{dka}} + \frac{1}{\epsilon_{doh}} - 1} \quad (4.75)$$

ile hesaplanmaktadır.

* Kabin alt hava ve dış ortam hava kontrol hacimleri ile dış kabin alt kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken yatay levhadan doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill–Chu korelasyonu kullanılmıştır. (Bknz. Denklem (4.35)-(4.37))

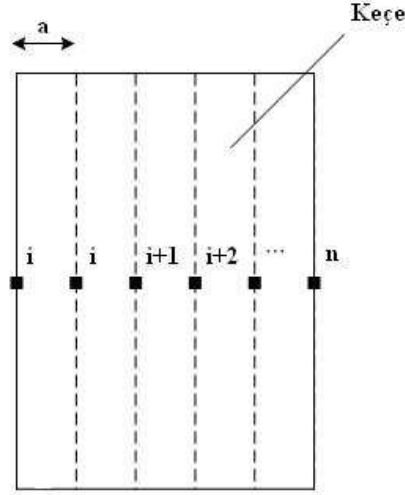
4.15 Keçe Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Kabin sağ hava, kabin ön hava ve kabin üst havası kontrol hacimleri ile taşınım, kazan ses yalıtımı kontrol hacmi ile ısıtım, ses yalıtımı ve dış kabin ön kontrol hacmi ile iletim şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan keçe kontrol hacmi sıcaklığı ve ısı ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Keçe kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.20’de sunulmuştur.



Şekil 4.20: Keçe Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Keçe kontrol hacmi içerisinde düşük iletim katsayısı sonucu yüksek sıcaklık gradyeni oluşacağı için beş elemana bölünerek Şekil 4.21’de görülen dağılımlı bir modelleme yapılmıştır.



Şekil 4.21: Keçe Dağılımlı Modelleme

Keçe kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{keçe} C_{p-keçe} \frac{(T_{keçe(i+1)} - T_{keçe(i)})}{\Delta t} = Q_{köh-keçe} + Q_{ksy-keçe} - Q_{keçe-dkö} - Q_{keçe-küh} - Q_{keçe-ksh}^{***} \quad (4.76)$$

ile ifade edilmiştir.

Keçe ile dış kabin ön kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{keçe-dkö} = k_{keçe} A_{keçe-dkö} (T_{keçe^n(i)} - T_{keçe^m(i)}) \quad (4.77)$$

ile hesaplanmaktadır.

Keçe ile kabin sağ hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{keçe-ksh} = h_{keçe-ksh} A_{keçe-ksh} (T_{keçe(i)} - T_{ksh(i)})^* \quad (4.78)$$

ile hesaplanmaktadır.

Keçe ile kabin ön hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{köh-keçe} = h_{köh-keçe} A_{köh-keçe} (T_{köh(i)} - T_{keçe(i)})^* \quad (4.79)$$

ile hesaplanmaktadır.

Keçe ile kabin üst hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{keçe-küh} = h_{keçe-küh} A_{keçe-küh} (T_{keçe(i)} - T_{küh(i)})^{**} \quad (4.80)$$

ile hesaplanmaktadır.

Keçe ile kazan ses yalıtımı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{ksy-keçe} = \frac{A_{ksy-keçe} \sigma (T_{ksy(i)}^4 - T_{keçe(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{ksy}} + \frac{1}{\epsilon_{keçe}} - 1} \quad (4.81)$$

ile hesaplanmaktadır.

m= Keçe kontrol hacminin iletim ısı temasında olduğu kontrol hacmine en yakın nokta numarası

n= Keçe kontrol hacminin iletim ısı temasında olduğu kontrol hacmine en uzak nokta numarası

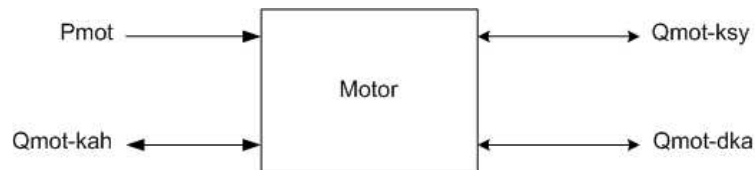
* Kabin sağ hava ve kabin ön hava kontrol hacimleri ile keçe kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken düşey levhadan doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill–Chu korelasyonu kullanılmıştır. (Bknz. Denklem (4.33), (4.34))

** Kabin üst hava kontrol hacmi ile keçe kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken yatay levhadan doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill – Chu korelasyonu kullanılmıştır. (Bknz. Denklem (4.35)-(4,37))

*** Keçe kontrol hacmi bir çok bölgede kullanılmaktadır(keçe sağ, keçe üst, keçe ön). Isıl modellemede her bir bölgedeki keçe kontrol hacimleri için enerji dengesi yazılsa da gösterim tüm keçe kontrol hacimleri için ortak olarak yapılmıştır.

4.16 Motor Kontrol Hacmi Enerji Dengesi

Kabin alt bölge havası kontrol hacmi ile taşınım, dış kabin alt bölgesi ve kazan ses yalıtımı alt bölgesi kontrol hacmi ile ısıtım şeklinde ısı transferi ilişkisinde olan motor kontrol hacmi sıcaklığı ve ısıl ataleti oranında ısıyı da içerisinde depolamaktadır. Motor kontrol hacmi için oluşturulan enerji dengesi Şekil 4.22’de sunulmuştur.



Şekil 4.22: Motor Kontrol Hacmine Ait Isıl Denge Şeması

Kabin alt bölge havası ve motor kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi hesaplarında yatay yüzeydeki doğal taşınım ile ilgili olan Churchill-Chu korelasyonu kullanılmıştır(Bknz. Denklem (4.7), (4.8)). Hava özellikleri için film sıcaklığındaki değerler alınmıştır. Rayleigh sayısı içindeki karakteristik uzunluk olan motor kontrol hacmi dış çapıdır.

Motorun, motor gücüne ve ısı verim değerine bağlı olarak ısı ürettiği kabul edilmiştir.

Motor kontrol hacmi için açık sayısal yöntem ile oluşturulan enerji dengesi

$$m_{mot} C_{p-mot} \frac{(T_{mot(i+1)} - T_{mot(i)})}{\Delta t} = P_{mot} - Q_{mot-kah} - Q_{mot-dka} - Q_{mot-ksy} \quad (4.82)$$

ile ifade edilmiştir.

Motora giren elektriksek kaynak sebebiyle meydana gelen ısı geçişi

$$P_{mot} = P_{mot} \cdot (1 - \eta_{mot}) \quad (4.83)$$

ile hesaplanmaktadır.

Motor ile kabin alt hava kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{mot-kah} = h_{mot-kah} A_{mot-kah} (T_{mot(i)} - T_{kah(i)}) * \quad (4.84)$$

ile hesaplanmaktadır.

Motor ile dış kabin alt kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{mot-dka} = \frac{A_{mot-dka} \sigma (T_{mot(i)}^4 - T_{dka(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{mot}} + \frac{1}{\epsilon_{dka}} - 1} \quad (4.85)$$

ile hesaplanmaktadır.

Motor ile kazan ses yalıtımı kontrol hacimleri arasındaki ısı geçişi

$$Q_{mot-ksy} = \frac{A_{mot-ksy} \sigma (T_{mot(i)}^4 - T_{ksy(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{mot}} + \frac{1}{\epsilon_{ksy}} - 1} \quad (4.86)$$

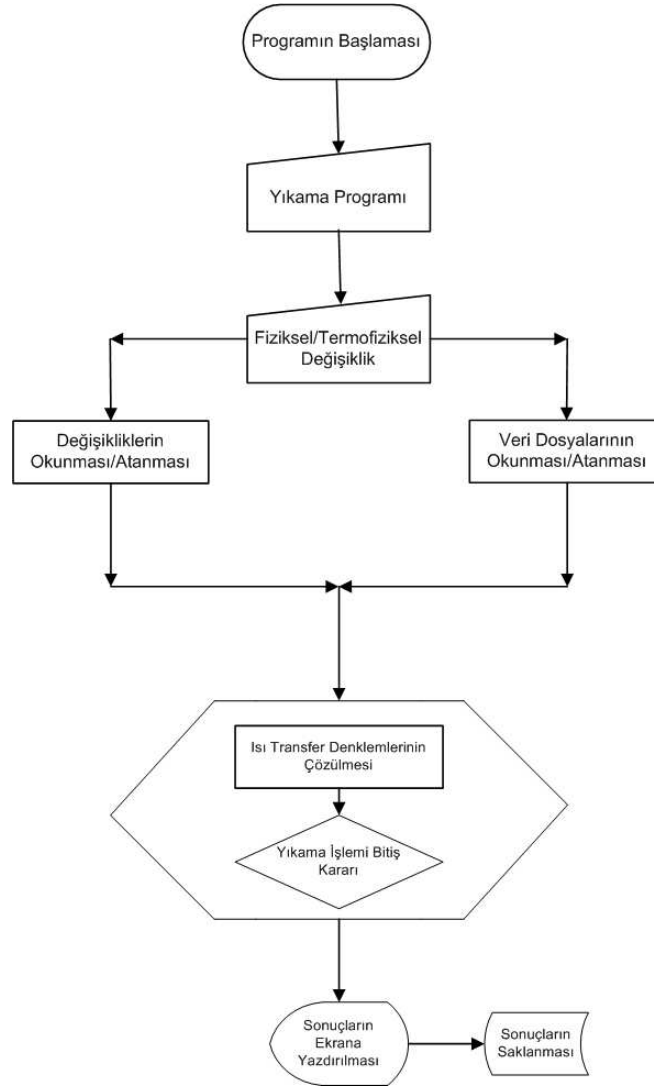
ile hesaplanmaktadır.

* Motor ve kabin alt bölgesi havası kontrol hacimleri arasındaki ısı taşınım katsayısı hesaplanırken, yatay silindirden doğal ısı taşınımı ile ilgili olan Churchill – Chu korelasyonu kullanılmıştır. (Bknz. Denklem (4.7), (4.8))

4.17 Model Veri Girişleri

Bulaşık makinesine ait ısıl modellemede kullanılan formülasyonlar Fortran dili kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Fortran dili ile hazırlanan modelleme programında kullanılan tüm bileşenlerin fiziksel ve termofiziksel özelliklerinin değiştirilmesi mümkündür. Bununla beraber hazırlanan arayüz de çok kapsamlı bir şekilde, birçok farklı parametrenin değiştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Programa ait arayüzde ilk etapta farklı yıkama profilleri ile ilgili seçenekler sunulmaktadır. Bu yıkama profilleri 40°C hassas yıkama, 50°C ekonomik yıkama ve 70°C yoğun yıkama programlarıdır. Kullanıcı bu yıkama profillerinden herhangi birini seçebilir. Yıkama programının seçilmesi ardından, fiziksel/termofiziksel parametrelerin seçimi ile ilgili menüden önceki menüye geçilmektedir. Bu menüde kullanıcıya mevcut bulaşık makinesindeki fiziksel/termofiziksel değişiklik istekleri sorulmaktadır. Kullanıcı eğer değişiklik talebinde bulunmaz ise bilgisayar içerisinde kayıtlı fiziksel ve termofiziksel bilgiler kullanılmaktadır. Eğer kullanıcı değişiklik yapmak ister ise değişiklik menüleri içerisinde istenilen fiziksel/termofiziksel özellikleri değiştirebilir. Değiştirilen özellikler okunarak ilgili isimlere atanmaktadır. Değişiklik işlemlerinin ardından program döngüyü çalıştırmaktadır. Döngü içerisinde ısı transfer denklemleri çözülmekte ve yıkama algoritması kontrol edilerek yıkamanın devam/tamam kararı verilmektedir. Algoritma tamamlanana kadar devam eden döngü algoritmanın bitmesi kararı ardından sonuçları ekrana yazdırmaktadır. Sonuçların ekrana yazdırılması ardından bilgisayarda ilgili klasörler içerisine kaydedilmektedirler. Program çalışma sistematığı Şekil 4.23'te sunulmuştur.



Şekil 4.23: Program çalışma sistematığı

Program içerisinde kullanıcıya değişiklik imkanı veren seçenekler;

- Kazan ses yalıtımı özellikleri
- Isıtıcı özellikleri
- Kazan ve sepet özellikleri
- Su sıcaklığı ayar değerleri
- Su giriş sıcaklığı ayar değerleri
- Yük özellikleri
- Sistem/Yük başlangıç sıcaklıkları
- Yalıtım özellikleri

Bu menüyü takiben her bir özelliğe ait detay bilgisi istenmektedir. Eğer kullanıcı değişiklik isteği yapar ise, değiştirebileceği özellikler sunulmaktadır. Eğer değişiklik talebinde bulunulmaz ise bir sonraki özellikler menüsüne geçilmektedir.

Kazan ses yalıtımı özelliklerine ait alt menüler;

- Kazan ses yalıtımı kalınlığı [m]
- Kazan ses yalıtımı ısı iletim katsayısı [W/mK]
- Kazan ses yalıtımı özgül ısısı [kJ/kgK]

Isıtıcı özelliklerine ait alt menüler;

- Isıtıcı gücü [W]
- Isıtıcı iç çapı [m]
- Isıtıcı uzunluğu [m]
- Isıtıcı içerisinden geçen debi miktarı [kg/sn]

Kazan sepet özellikleri;

- Kazan ağırlığı [kg]
- Sepet ağırlığı [kg]
- Kazan malzemesi özgül ısısı [kJ/kgK]
- Sepet malzemesi özgül ısısı [kJ/kgK]

Su sıcaklığı ayar değerleri;

- Su sıcaklığı ayar değeri [K]
- Su sıcaklığı ayar değeri(ayar değeri sayısı daha önce seçilen programa göre değişmektedir) [K]

Su giriş sıcaklığı;

- Su giriş sıcaklığı [K]

Yük özellikleri;

- Porselen ağırlığı [kg]
- Metal ağırlığı [kg]
- Cam ağırlığı [kg]
- Yeni yük ağırlığı (Kullanıcı maksimum 3 adet yeni yük tanımlayabilmektedir) [kg]

- Yeni yük gizli ısı (Kullanıcı maksimum 3 adet yeni yük tanımlayabilmektedir) [kJ/kgK]

Sistem/Yük başlangıç sıcaklıkları;

- Sistem başlangıç sıcaklığı [K]
- Yük başlangıç sıcaklığı [K]
- Sistem-Yük başlangıç sıcaklığı [K]

Yalıtım uygulama bölgeleri;

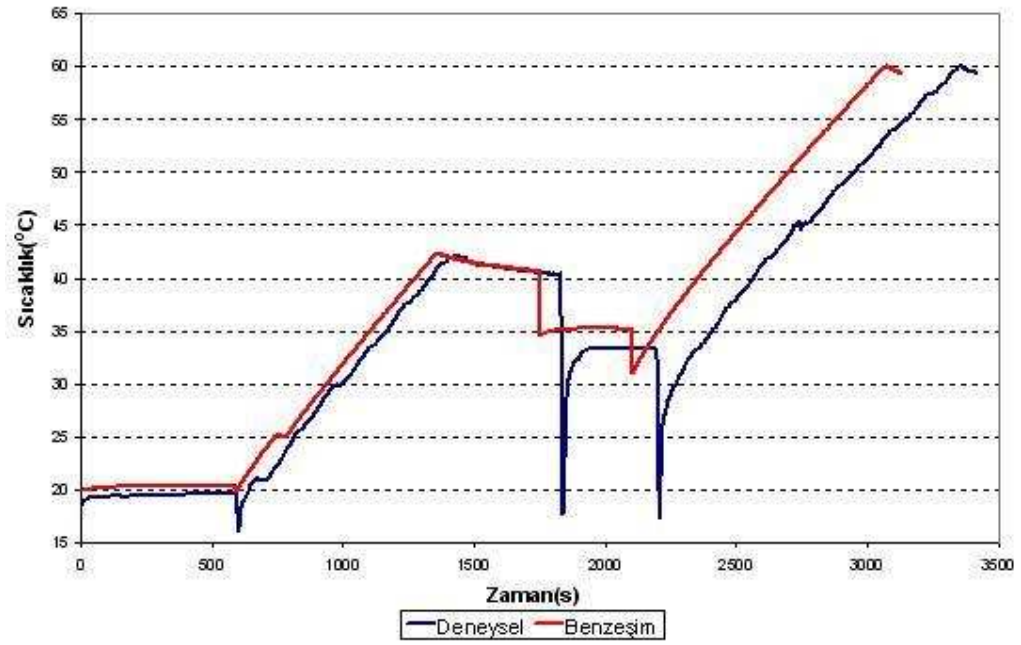
- Kazanın arka bölgesi
- Kazanın sol bölgesi
- Isıtıcı üzeri

4.18 Isıl Modelin Parametrik Analizi ve Doğrulaması

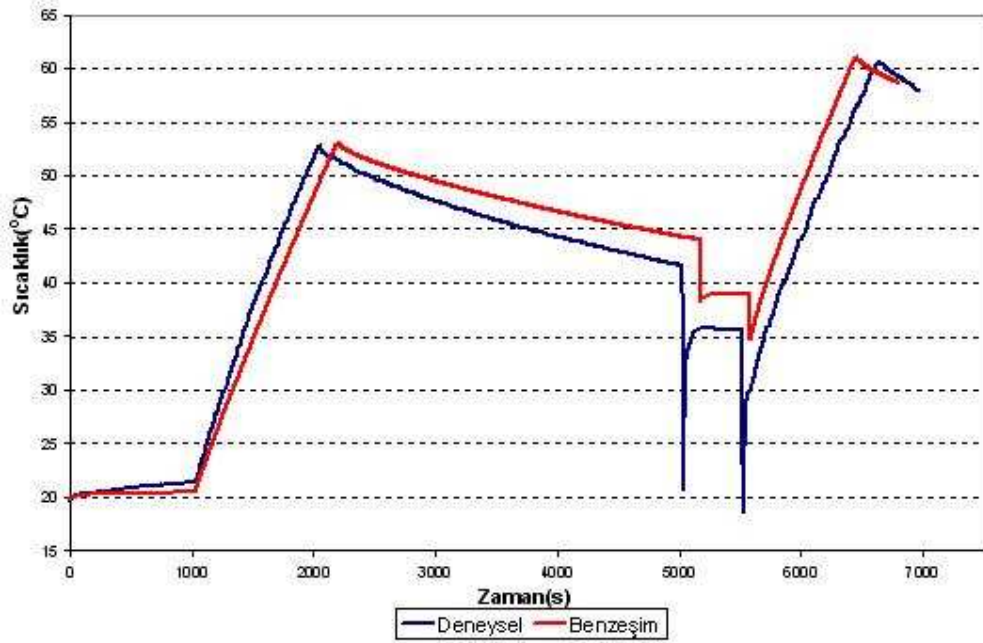
Bulaşık makinesinin ısıl modelinin oluşturulması ve program altyapısının kurulmasıyla beraber model kullanılarak çeşitli parametrik analizler ve modelin doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Sayısal değer olarak, toplam enerji tüketimi (Wh), ısıtma süresi (dakika) ve yıkama boyunca su sıcaklığı (°C) v.b veriler incelenmiştir.

4.18.1 Isıl Model Parametrik Analiz

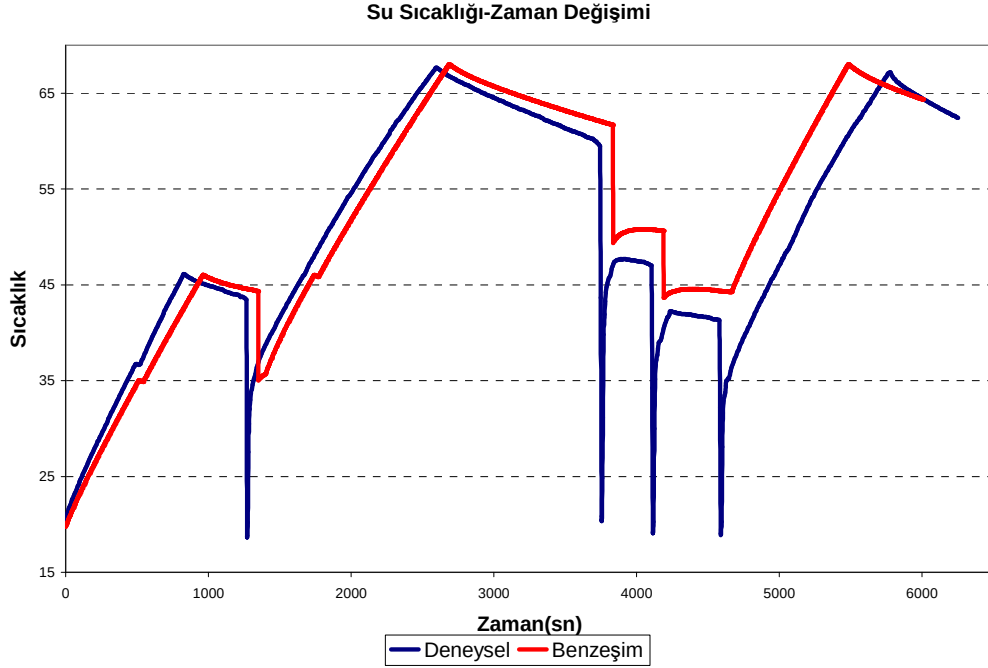
Oluşturulan ısıl model ve bilgisayar programı kullanılarak çeşitli çalışma şartları için parametrik analiz gerçekleştirilmiştir. Parametrik analiz yardımı ile farklı çalışma şartlarında sistemin ısıl davranışı incelenebilecektir. Program yardımı ile oluşturulan 40°C hassas, 50°C ekonomik, 70°C yoğun yıkama programları için elde edilen su sıcaklığının zamanla değişimi eğrileri Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da sunulmuştur.



Şekil 4.24: 40°C Hassas Yıkama Programı Benzeşim–Deneysel Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Karşılaştırma Sonuçları



Şekil 4.25: 50°C Ekonomik Yıkama Programı Benzeşim–Deneysel Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Karşılaştırma Sonuçları



Şekil 4.26: 70°C Yoğun Yıkama Programı Benzeşim–Deneysel Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Karşılaştırma Sonuçları

Benzeşim-deneysel karşılaştırma sonuçları incelendiğinde tespit edilebilecek nokta birinci ısıtma adımında benzeşim sonucu elde edilen ısıtma süresinin deneysel olarak edilde edilen süreye göre 1,5 dakika kadar fazla sürmesidir. Bunun temel sebebi modelleme aşamasında tüm kütlenin beraber ısındığının kabul edilmiş olmasıdır. Deneysel çalışmada ise öncelikle su ısınmakta ve ardından ortamdaki kütleyi ısıtmaktadır. Birinci ısıtma ardından gerçekleşen sirkülasyon adımında sistemde bir soğuma meydana gelmektedir. Bu aşamada, deneylerde sıcaklık değerinin okunduğu bölgenin durgun olması sebebiyle sistemdeki suyun sıcaklığı düşmese de bu bölgenin sıcaklık değeri ani olarak düşmekte ve bu durumun benzeşiminin gerçekleştirilememesi sebebiyle soğuma aşamasında deney verileri ile benzeşim değerleri arasında yaklaşık 1,5 °C seviyesinde bir fark oluşmaktadır. Soğuk durulama adımında deneysel su sıcaklığı ile benzeşim sonucunda elde edilen sıcaklık arasındaki farkın sebebi ise ısıtma adımında olduğu gibi benzeşim sıcaklık değerinin tüm kütle için alınmış olmasıdır. Benzer durum ikinci sıcak yıkama adımı öncesi için de geçerlidir. İkinci sıcak yıkama adımında ise deney ile benzeşim sonuçları birbirine birinci sıcak yıkama adımından daha yakın sonuçlar vermiştir. Bu durumun sebebi, bu adım öncesinde kütlenin de sıcak olmasıdır. Buna rağmen değerler arasında 0,5

dakika kadar bir fark görülmüştür. Deneysel ve benzeşim sonucunda elde edilen enerji tüketim değerleri Tablo 4.1’de sunulmuştur.

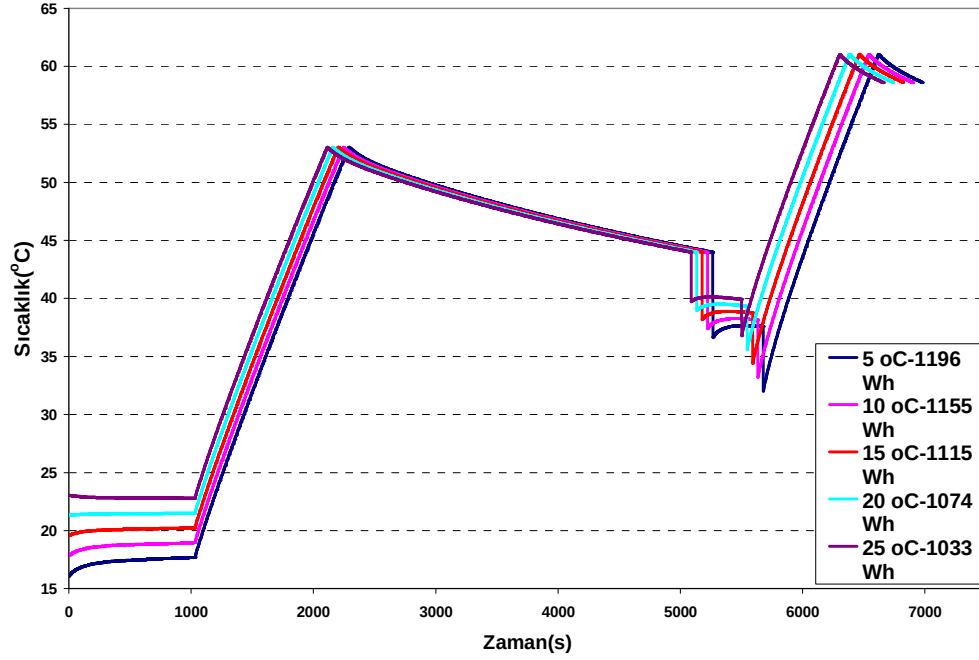
Tablo 4.1: Benzeşim–Deneysel Enerji Tüketimi Karşılaştırma Sonuçları

Program	Deneysel (Wh)	Benzeşim (Wh)	% Fark
Hassas	948	885	6,6
Ekonomik	1092	1107	-1,3
Yoğun	1735	1600	7,7

Isıl modelin kontrolünün ardından benzeşimin beklenen yönde çalışıp çalışmadığının kontrolü ile alternatiflerin uygulanması durumunda elde edilen değerlerin belirlenmesi amacıyla denemeler yapılmıştır. Benzeşim denemelerinde 50 °C ekonomik yıkama için, su giriş sıcaklığı etkisi, ısıtıcı gücü etkisi, sıcaklık ayar değerleri etkisi, kazan ses yalıtımı özgül ısı etkisi, kazan ses yalıtımı ısı iletim katsayısı etkisi, sistem/yük başlangıç sıcaklığı etkisi ve yalıtım etkisi incelenmiştir.

Model parametrik çalışmasının temel durumunda yer alan profile göre, yıkama suyu miktarı 10 l, ısıtıcı gücü 1800 W, su giriş sıcaklığı 15°C, ortam sıcaklığı 22°C, yük miktarı 23,5 kg (2,37 kg metal, 19,81 porselen, 1,31 cam), ayar sıcaklıkları 53 ve 61°C olarak alınmıştır. Durulama sayısı, süreleri ve su miktarları ile sıkma süreleri de temel durum içerisinde belirtilmiştir ve analiz süresince sabit değerde tutulmaktadır.

Parametrik çalışmada ilk olarak, su giriş sıcaklığının enerji tüketimine, ısıtma süresine ve ana yıkama başlangıç sıcaklığına etkisinin incelenmesi için bir deneme yapılmıştır. Su giriş sıcaklık değeri 5-25°C arasında değiştirilerek su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.27’de, ana yıkama ısıtma süresi, ana yıkama başlangıç sıcaklığı ve enerji tüketim değerleri Tablo 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.27: Farklı Su Giriş Sıcaklıklarının Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi

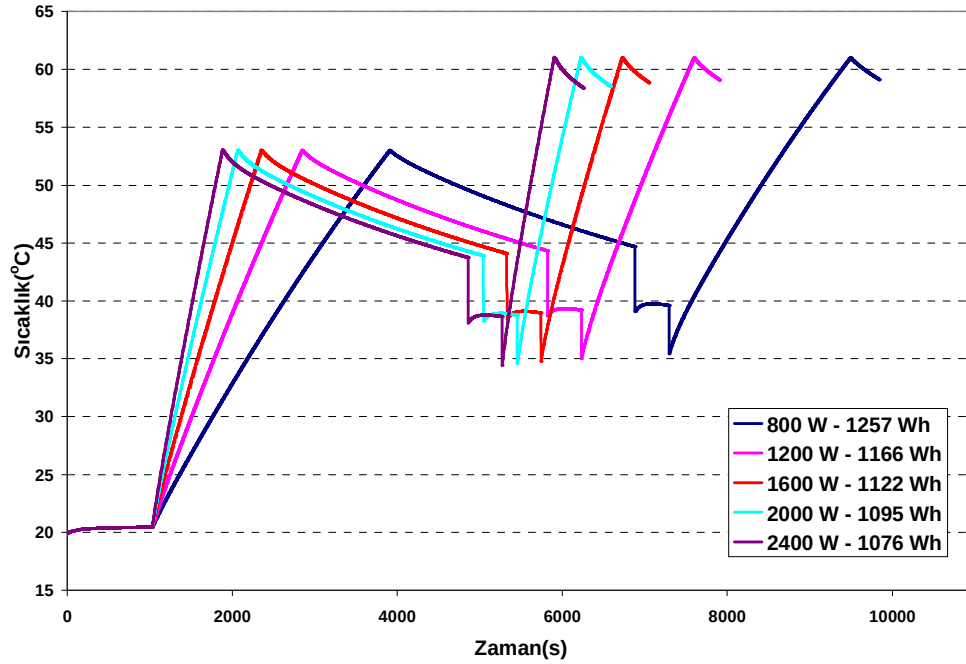
Tablo 4.2: Farklı Su Giriş Sıcaklıklarının Ana Yıkama Isıtma Süresi, Ana Yıkama Başlangıç Sıcaklığına ve Enerji Tüketimine Etkisi

Su giriş sıcaklığı (°C)	Ana yıkama ısıtma süresi (dakika)	Makine ana yıkama başlangıç sıcaklığı (°C)	Enerji tüketimi (Wh)
5	20,5	17,94	1196
10	19,8	19,17	1155
15	18,9	20,48	1115
20	18,3	21,68	1074
25	18,1	23,01	1033

Tablo 4.2’de sunulduğu üzere sisteme alınan su sıcaklıklarının artırılması ile enerji tüketiminde bir azalma gerçekleşmektedir. En iyi sonuç, su sıcaklığının ek yüksek olduğu durumda elde edilmiştir. Su giriş sıcaklığında meydana gelebilecek 20°C’lik artış (5°C ile 25°C durumları) enerji tüketim değerinde 163 Wh’lık bir azalmaya neden olacaktır. Su giriş sıcaklıkları yükseldikçe makine ana yıkama başlangıç sıcaklığı ve ana yıkama ısıtma süresi düşmektedir.

Parametrik çalışmada ısıtıcı güçlerinin enerji tüketimine, ana yıkama ısıtma süresine etkisinin incelenmesi için bir deneme yapılmıştır. Isıtıcı güçleri 800-2400 W arasında

değiştirilerek su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.28’de, ana yıkama ısıtma süresi ve enerji tüketim değerleri Tablo 4.3’te sunulmuştur.



Şekil 4.28: Farklı Isıtıcı Güçlerinin Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi

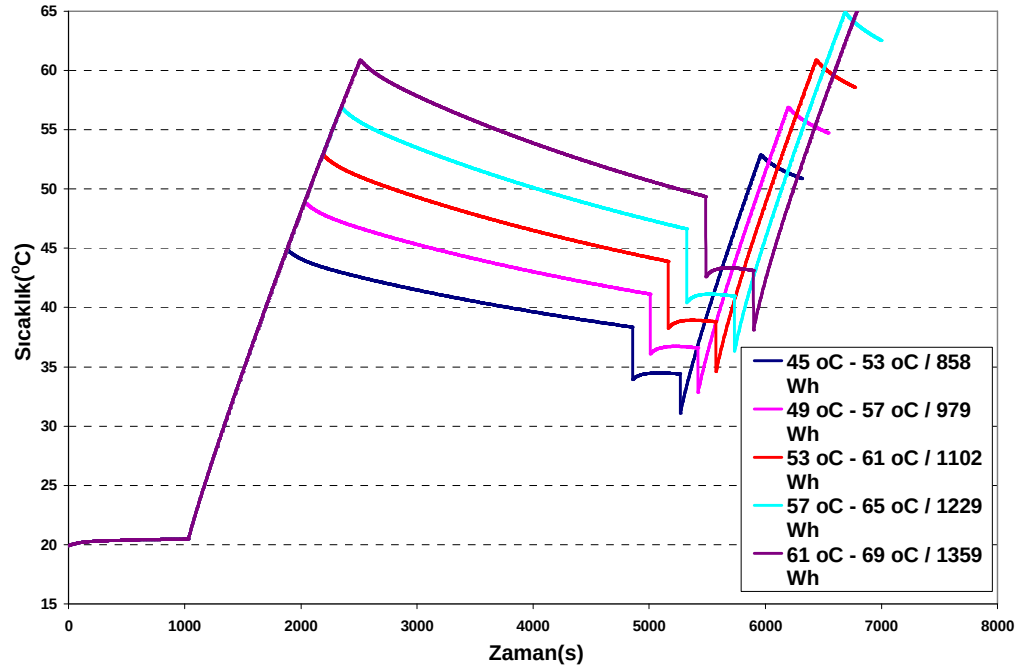
Tablo 4.3: Farklı Isıtıcı Güçlerinin Ana Yıkama Isıtma Süresine ve Enerji Tüketimine Etkisi

Isıtıcı Gücü (W)	Ana yıkama ısıtma süresi (dakika)	Enerji tüketimi (Wh)
800	48,5	1257
1200	30,6	1166
1600	22,4	1122
2000	17,6	1095
2400	14,4	1076

Tablo 4.3’te sunulduğu üzere, en düşük enerji tüketimi değeri 2400 W gücündeki ısıtıcı ile 1076 Wh olarak elde edilmiştir. Bu durumun sebebi, yüksek ısıtıcı güçlerinde su ısınma sürelerinin kısılması ve kısalan süre sebebiyle kazan kontrol hacminden dışarı doğru olan ısı transferinin azalmasıdır. Bununla birlikte ısıtıcı gücünün artması ile birlikte ısıtma süreleri de kısalmaktadır.

Parametrik çalışmada farklı sıcaklık ayar değerlerinin, enerji tüketimine, ana yıkama ve durulama ısıtma sürelerine etkisinin incelenmesi için bir deneme yapılmıştır. Sıcaklık ayar değerleri 45-53°C, 49-57°C, 53-61°C, 57-65°C, 61-69°C değerlerine

getirilerek su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.29’da, ana yıkama ısıtma süresi, sıcak durulama ısıtma süresi ve enerji tüketim değerleri Tablo 4.4’te sunulmuştur.



Şekil 4.29: Farklı Sıcaklık Ayar Değerlerinin Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi

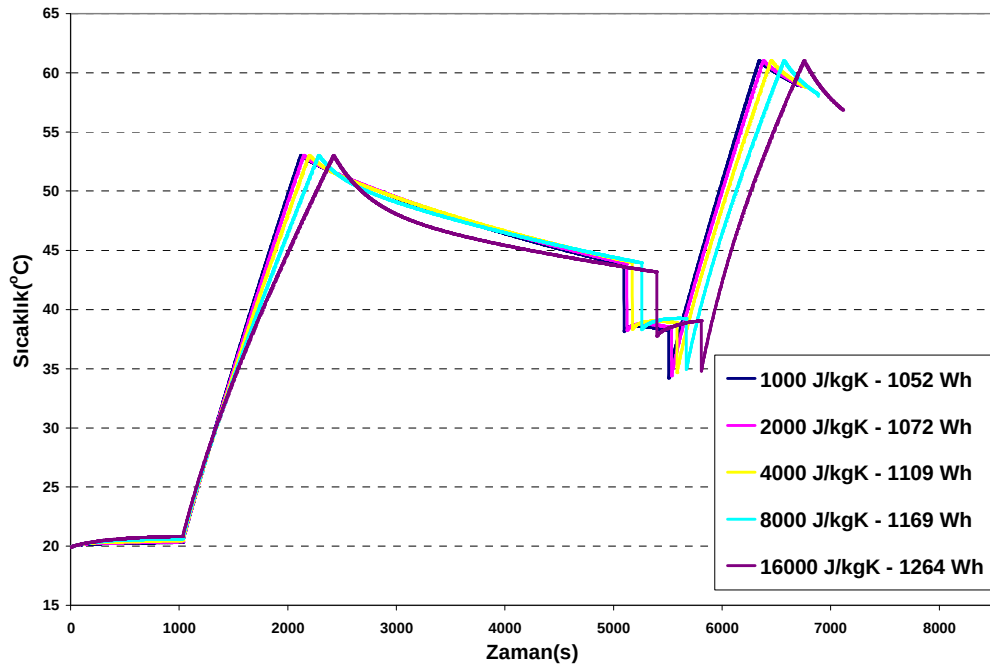
Tablo 4.4: Farklı Sıcaklık Ayar Değerlerinin Ana Yıkama-Sıcak Durulama Sürelerine ve Enerji Tüketimine Etkisi

Sıcaklık ayar değerleri (°C)	Ana yıkama ısıtma süresi (dakika)	Sıcak durulama ısıtma süresi (dakika)	Enerji tüketimi (Wh)
45-53	14,3	11,9	858
49-57	16,8	13,2	979
53-61	19,4	14,5	1102
57-65	22,1	16,1	1229
61-69	24,8	17,6	1359

Sıcaklık ayar değerlerinin değiştirilmesi ile edilen sonuçlar incelendiğinde 2 ayar değerinde meydana getirilen 6°C artış enerji tüketiminde 501 Wh’lik artışa neden olduğu görülmektedir. Bununla birlikte sıcaklık ayar değerleri yükseldikçe hem ana yıkama hem de sıcak durulama ısıtma süreleri artmaktadır.

Kazan etrafında ses yalıtımı amacıyla kullanılan malzemesinin özgül ısı ve ısı iletim katsayısı değerleri enerji tüketimini yoğun olarak etkilemektedir. Bu çerçevede

parametrik çalışmada farklı kazan ses yalıtımı özgül ısı ve ısı iletim katsayılarının, enerji tüketimine, ana yıkama ve sıcak durulama ısıtma sürelerine etkisinin incelenmesi için denemeler yapılmıştır. Özgül ısı değerleri 1000, 2000, 4000, 8000 ve 16000 J/kgK durumlarında, ısı iletim katsayısı ise 0,05, 0,1, 0,2, 0,4 ve 0,8 W/mK durumlarında incelenmiştir. Farklı kazan ses yalıtımı özgül ısı değerleri durumunda su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.30'da, ana yıkama ısıtma süresi, sıcak durulama ısıtma süresi ve enerji tüketim değerleri Tablo 4.5'te sunulmuştur.



Şekil 4.30: Farklı Kazan Ses Yalıtımı Özgül Isı Değerlerinin Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi

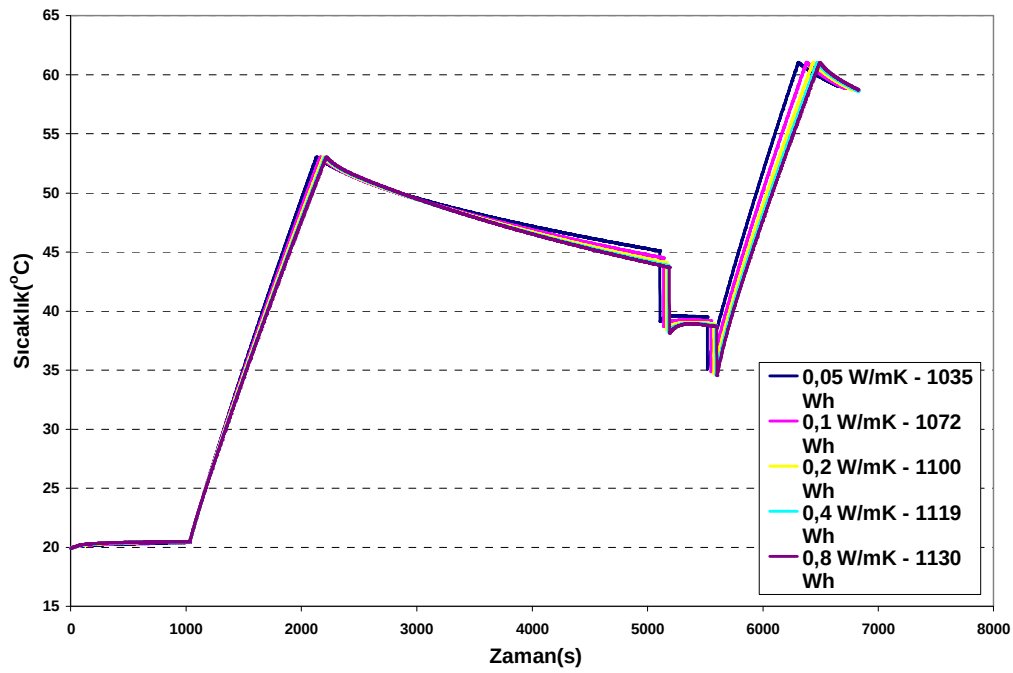
Farklı kazan ses yalıtımı özgül ısılarının denenmesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kazan ses yalıtımı özgül ısındaki artışın önemli bir enerji tüketimi artışına neden olduğu görülmektedir. Bununla birlikte artan kazan ses yalıtımı özgül ısıları sıcak yıkama ve sıcak durulama adımlarındaki ısınma sürelerini de artırmaktadır.

Tablo 4.5: Farklı Kazan Ses Yalıtımı Özgül Isı Değerlerinin Ana Yıkama-Sıcak Durulama Sürelerine ve Enerji Tüketime Etkisi

Özgül ısı değerleri (J/kgK)	Ana yıkama ısıtma süresi (dakika)	Sıcak durulama ısıtma süresi (dakika)	Enerji tüketimi (Wh)
--------------------------------	---	--	----------------------------

1000	18,6	13,7	1052
2000	18,9	14,4	1072
4000	19,7	14,7	1109
8000	21,1	15,1	1169
16000	23,3	15,9	1264

Farklı kazan ses yalıtımı ısı iletim katsayısı değerleri durumunda su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.31’de, sıcak durulama ısıtma süresi ve enerji tüketim değerleri Tablo 4.6’da sunulmuştur.



Şekil 4.31: Farklı Kazan Ses Yalıtımı Isı İletim Katsayısı Değerlerinin Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi

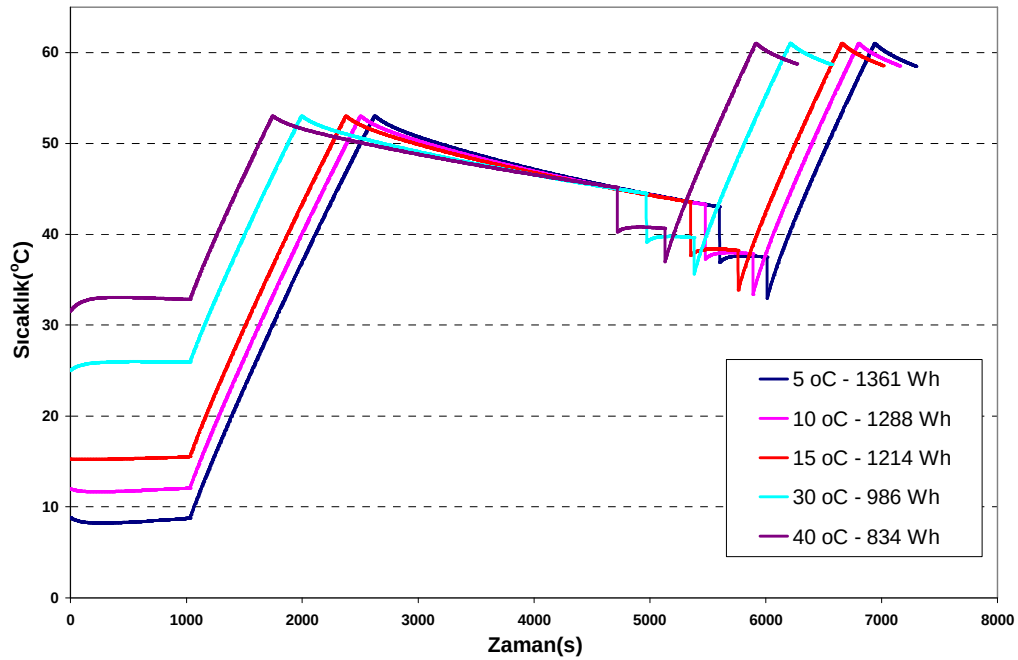
Tablo 4.6: Farklı Kazan Ses Yalıtımı Isı İletim Katsayısı Değerlerinin Sıcak Durulama Isıtma Süresine ve Enerji Tüketimine Etkisi

Isı iletim katsayısı değerleri (W/mK)	Sıcak durulama ısıtma süresi (dakika)	Enerji tüketimi (Wh)
0,05	13,4	1035
0,1	13,6	1072
0,2	14,4	1100
0,4	14,9	1119
0,8	15,0	1130

Tablo 4.6’da sunulan farklı kazan ses yalıtımı ısı iletim katsayılarının denenmesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kazan ses yalıtımı ısı iletim katsayısındaki

artışın önemli bir enerji tüketimi artışına neden olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte düşük artış miktarı sıcak durulama ısıtma süresinde de görülmektedir. Bu durumun sebebi, yaklaşık rejim halinde ısı iletim katsayısı değerinin çok önemli olmamasıdır.

Parametrik çalışmada sistem/yük başlangıç sıcaklık değerlerinin, enerji tüketimine, ana yıkama başlangıç sıcaklığına ve ana yıkama ısıtma süresine etkisinin incelenmesi için denemeler yapılmıştır. Farklı sistem/yük başlangıç sıcaklık değerlerinin su sıcaklığının zamanla değişimine etkisi Şekil 4.32’de, ana yıkama başlangıç sıcaklığına, ana yıkama ısıtma süresine ve enerji tüketimine etkisi Tablo 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4.32: Farklı Sistem/Yük Başlangıç Sıcaklıklarının Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi

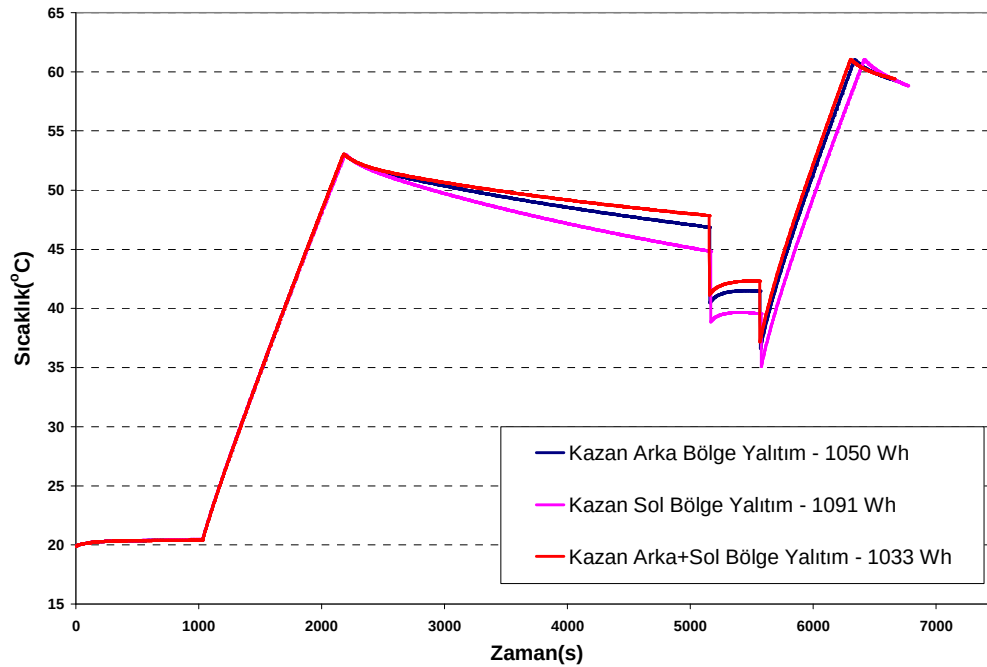
Tablo 4.7: Farklı Sistem/Yük Başlangıç Sıcaklıklarının Ana Yıkama Başlangıç Sıcaklığına-Isıtma Süresine ve Enerji Tüketimine Etkisi

Farklı sistem/yük başlangıç sıcaklıkları (°C)	Ana yıkama başlangıç sıcaklığı(°C)	Ana yıkama ısıtma süresi (dakika)	Enerji tüketimi (Wh)
5	9,0	27,0	1361
10	12,4	24,6	1288
15	15,8	22,6	1214

30	26,2	16,2	986
40	33,1	12,1	834

Tablo 4.7’de sunulan farklı sistem/yük başlangıç sıcaklıklarının denenmesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sistem ve yük başlangıç sıcaklıklarındaki artışın enerji tüketiminde düşüşe sebep olduğu görülmektedir. Sistem ve yükteki 5°C’lik artış (5-10°C) 73 Wh’lik bir enerji kazancına sebep olmaktadır. Bununla birlikte artan sistem ve yük başlangıç sıcaklıkları ana yıkama başlangıç sıcaklığında artışa dolayısı ile ana yıkama ısıtma süresinde düşüşe neden olmaktadır.

Parametrik çalışmada bulaşık makinesine uygulanacak yalıtımın, enerji tüketimine, ve ana yıkama sonu sıcaklığa etkisinin incelenmesi için denemeler yapılmıştır. Denemelerde kazan kontrol hacmi arka, kazan kontrol hacmi sol ve kazan kontrol hacmi arka+sol yalıtımı durumları benzetilmiştir. Benzeşimde sabit 4.5 cm cam yünü yalıtım kabulü yapılmıştır. Çeşitli yalıtım uygulamalarının su sıcaklığının zamanla değişimine etkisi Şekil 4.33’te, ana yıkama sonu sıcaklığına ve enerji tüketimine etkisi Tablo 4.8’de sunulmuştur.



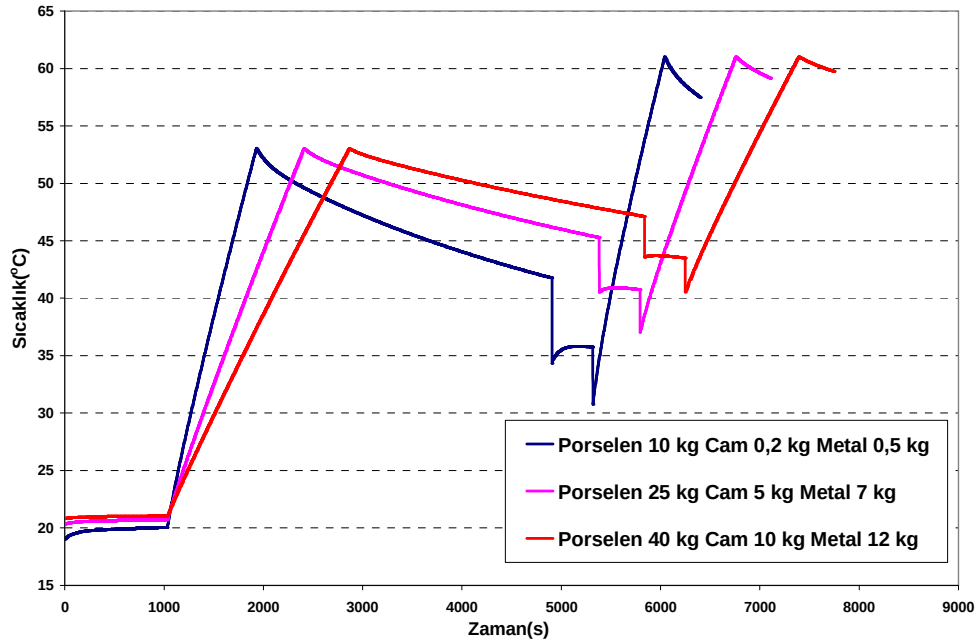
Şekil 4.33: Farklı Bölgelerdeki Yalıtım Uygulamasının Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi

Tablo 4.8: Farklı Bölgelerdeki Yalıtım Uygulamasının Ana Yıkama Sonu Sıcaklığına ve Enerji Tüketimine Etkisi

Farklı bölge yalıtım uygulamaları	Ana yıkama sonu sıcaklığı(°C)	Enerji tüketimi (Wh)
Kazan Arka Bölge	46,9	1050
Kazan Sol Bölge	44,8	1091
Kazan Arka+Sol Bölge	47,8	1033

Tablo 4.8’de sunulan farklı bölgelerde yalıtım kullanılması ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sisteme uygulanan yalıtım alanı arttıkça enerji tüketim değerlerinde düşüş, ana yıkama sonu su sıcaklıklarında yükselme sağlanmaktadır. Bu durum ana yıkama boyunca meydana gelen ısı kaybının azalması sebebiyledir.

Parametrik çalışmada bulaşık makinesindeki yüklerin(Porselen, metal, cam) miktarlarının enerji tüketimine ve ana yıkama ısıtma süresine olan etkisinin incelenmesi için denemeler yapılmıştır (Normal şartlarda metal ağırlığı 2,37 kg, porselen ağırlığı 19,81 kg, cam ağırlığı 1,30 kg). Farklı yük miktarlarının su sıcaklığının zamanla değişimine etkisi Şekil 4.34’te, ana yıkama ısıtma süresine, ana yıkama sonu sıcaklığına ve enerji tüketimine etkisi Tablo 4.9’da sunulmuştur.



Şekil 4.34: Farklı Yük Miktarlarının Su Sıcaklığının Zamanla Değişimine Etkisi

Tablo 4.9: Farklı Yük Miktarlarının Ana Yıkama Isıtma Süresine, Ana Yıkama Sonu Su Sıcaklığına ve Enerji Tüketimine Etkisi

Farklı yük ağırlıkları (kg)	Ana yıkama ısıtma süresi(dakika)	Ana yıkama sonu sıcaklığı (°C)	Enerji tüketimi (Wh)
Porselen 10 kg, Cam 0,2 kg, Metal 0,5 kg	15,1	41,7	900
Porselen 25 kg, Cam 5 kg, Metal 7 kg	23,5	45,2	1266
Porselen 40 kg, Cam 10 kg, Metal 12 kg	31,1	47,1	1591

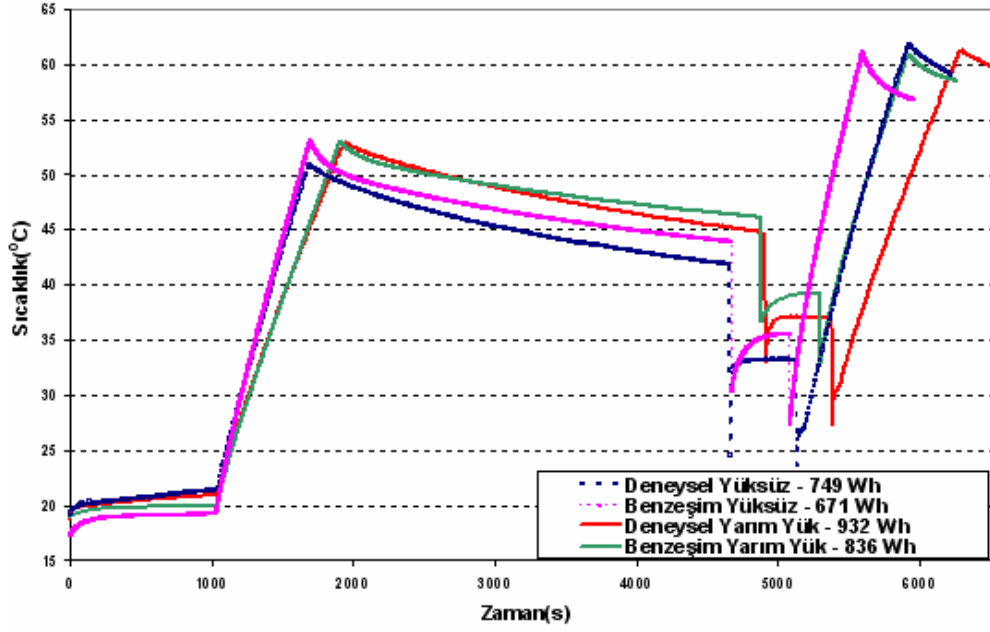
Farklı yük ağırlıkları durumunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kazan kontrol hacmi içerisindeki yük miktarındaki artış enerji tüketiminde de artışa neden olmaktadır. Bununla birlikte ana yıkama ısıtma süresi ve ana yıkama sonu sıcaklığı da artmaktadır. Ana yıkama sonu sıcaklığındaki artış, fazla yükün daha fazla ısı yük depolaması sebebiyledir.

4.18.2 Isıl Model Doğrulama

Gerçekleştirilen parametrik analizlerde, bulaşık makinesi için oluşturulan ısı modelin, değiştirilen giriş değerleri karşısındaki davranışı incelenmeye çalışılmıştır. Bu sayede kurulan ısı modelin beklenen yönde çalışıp çalışmadığı tespit edilmiş olunacaktır. Bununla birlikte, modelin doğruluğu da kritik öneme sahiptir. Bu sebeple, modele ait doğrulama da deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel doğrulama birçok farklı durum için gerçekleştirilmiş olup, belli şartlardaki karşılaştırmalar sunulmuştur.

Yük Doğrulaması

Yük doğrulamasında, farklı yük ağırlığı durumlarında deneysel ve teorik olarak elde edilen değerlerin karşılaştırması amaçlanmıştır. Yük doğrulaması yarım yük ve yüksüz durumlar için gerçekleştirilmiştir. Yük doğrulaması sırasında bulaşık makinesi üzerine yalıtım uygulanmıştır (Arka ve Sol Bölge Yalıtımları). Yarım yük ve yüksüz durumların doğrulamasında elde edilen su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.35'te, enerji tüketimi değeri ise Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.35: Yarım Yük/Yüksüz Durumda Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi DeneySEL-Benzeşim Karşılaştırması

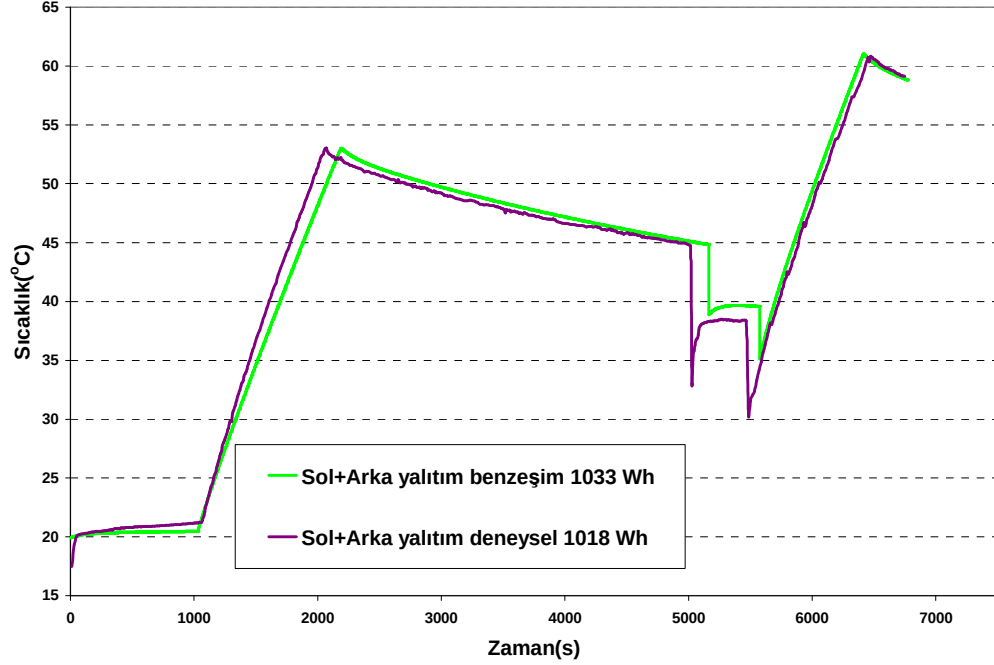
Tablo 4.10: Yarım Yük/Yüksüz Durumda Enerji Tüketimi DeneySEL-Benzeşim Karşılaştırması

Yük Durumu (kg)	Enerji tüketimi (Wh)	Fark (%)
Yüksüz DeneySEL	749	-
Yüksüz Benzeşim	671	-10,4
Yarım Yük DeneySEL	932	-
Yarım Yük Benzeşim	836	-10,3

DeneySEL ve benzeşim su sıcaklığı ve enerji tüketimleri arasındaki farkın nedeni, yüksüz durumda su ile kazan kontrol hacmi arasındaki ısı taşınım katsayısının değişmesidir. Bu değişimin nedeni, yüklü durumda ike suyun yük ile büyük, kazan kontrol hacmi ile ise düşük oranda temaslı, yüksüz ve/veya yarı yüklü durumda ise büyük oranda kazan kontrol hacmi ile temaslı olması sebebiyledir. Suyun, kazan kontrol hacmi ile yüksek oranda temaslı olması, kazan kontrol hacmi dışına doğru olan ısı transferini artırmakta bu durumda su sıcaklıklarının daha hızlı düşmesi ve enerji tüketiminde artış olarak karşımıza çıkmaktadır. Ek olarak, yüksüz durumda ana yıkama ısıtma süreleri de oldukça kısalmaktadır. Bununla birlikte, hatanın yüksüz ve yarı/yüklü durumda birbirine yakın olması benzeşimin doğru yönde çalıştığının bir göstergesidir.

4.18.2.1 Yalıtım Doğrulaması

Yalıtım doğrulamasında, farklı bölgelere uygulanan yalıtım durumlarında deneysel ve teorik olarak elde edilen değerlerin karşılaştırması amaçlanmıştır. Yalıtım doğrulaması sol+arka bölge yalıtımlı durum için gerçekleştirilmiştir. Yalıtım doğrulamasında elde edilen su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.36'da, enerji tüketimi değerleri ise Tablo 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.36: Yalıtım Durumunda Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel-Benzeşim Karşılaştırması

Tablo 4.11: Yalıtım Durumunda Enerji Tüketimi Deneysel-Benzeşim Karşılaştırması

Yalıtım durumu	Enerji tüketimi (Wh)	Fark (%)
Sol+arka yalıtım deneysel	1018	-
Sol+arka yalıtım benzeşim	1033	1,4

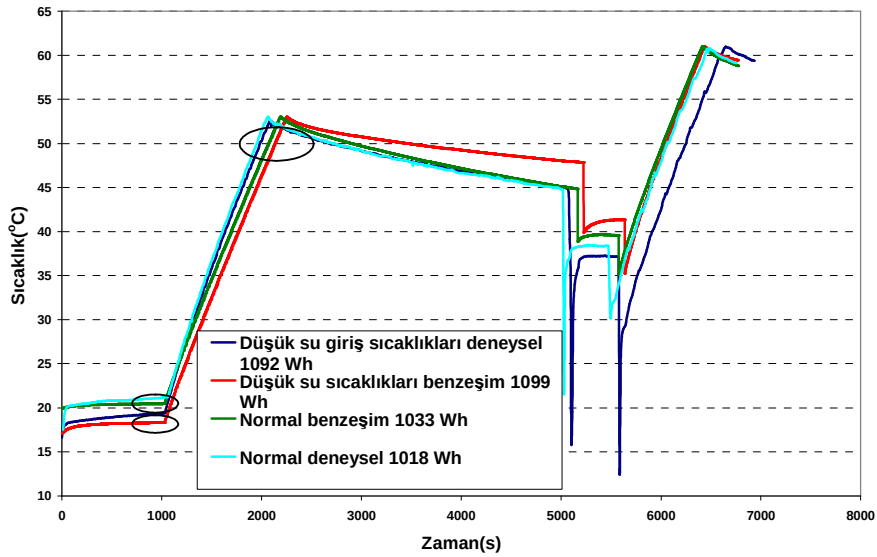
Mevcut bulaşık makinesi üzerinde çeşitli ısı yalıtımları mevcuttur. Bu ısı yalıtımları, sadece bulaşık makinesi kazan sol ve kazan sağ kontrol hacimlerine uygulanmamıştır. Bu sebeple kazan sol+arka kontrol hacimlerine yalıtım uygulanmış aynı zamanda uygulanan yalıtıma ait benzeşim de gerçekleştirilmiştir. Benzeşim ile deneysel çalışma arasında enerji tüketimi açısından %1,4 oranında bir fark mevcuttur.

Benzer durumun yalıtımsız uygulamalarda görülmemesi ise aşağıdaki sebebe bağlanabilir.

Yalıtım uygulanmadığı durumda deneysel çalışmada bulaşık makinesi kazan arka bölgesi dış ortama açıktır. Bu fiziksel durum benzeşim programında kazan arka bölgesi ile dış ortam arasında ışıınım ve taşınım ile ısı transferi şeklinde tanımlanmıştır. Bununla birlikte deney şartlarında ışıınım ısı transferi kazan arka bölgesi ile deneysel çalışma düzeneği arasındadır. Buna ek olarak taşınım ısı transferi direkt olarak ortam havası ile değil, ısınan kazan arka bölgesi arasındadır. Yalıtım durumunda ise bu şartlar değişmektedir.

4.18.2.2 Su Giriş Sıcaklığı Doğrulaması

Bulaşık makinesi standart deney durumunda şebeke su sıcaklığı $15 \pm 2^\circ\text{C}$ 'dir. Su giriş sıcaklığı doğrulamasında standart değerden farklı değerdeki benzeşim ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hem deneysel hem de benzeşim çalışmalarında bulaşık makinesi düşük su giriş sıcaklığı giriş şartlarında başlangıç sıcaklıklarının düşmesi, ısıtma adımlarında ısınma sürelerinin ve toplam enerji tüketiminin artması beklenmektedir. Su giriş sıcaklığı doğrulaması sol+arka yalıtım/düşük-yüksek su giriş sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiştir ($8-34^\circ\text{C}$). Düşük su sıcaklığı doğrulamasında elde edilen su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.37'de, enerji tüketimi değerleri ise Tablo 4.12'de verilmiştir.



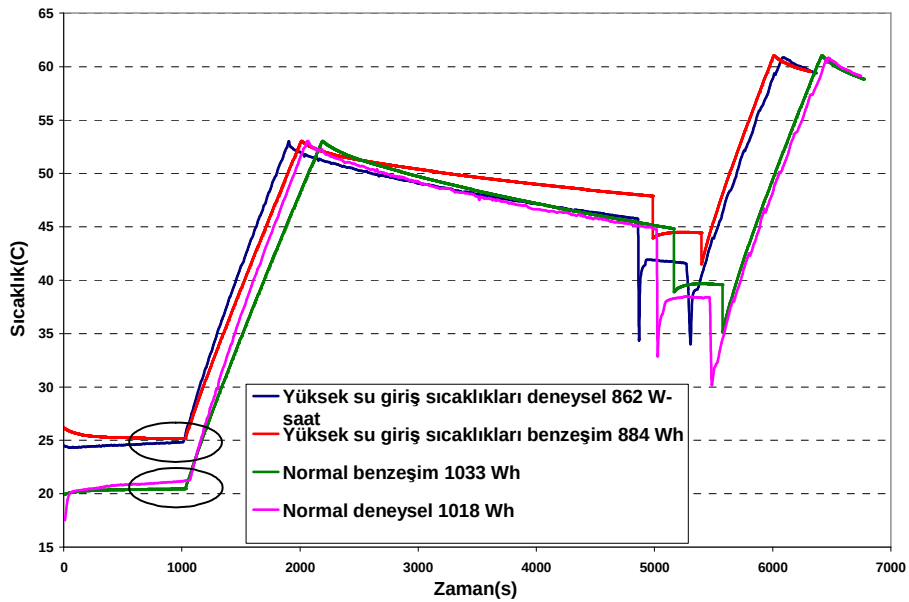
Şekil 4.37: Düşük Şebeke Su Sıcaklığı Durumunda Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel/Benzeşim Karşılaştırması

Su giriş sıcaklığında meydana getirilen sıcaklık düşüşü beklendiği üzere makine su alımlarında sıcaklıklarda düşüşe, ısınma sürelerinde ve enerji tüketiminde artışa neden olmuştur. Düşük şebeke su sıcaklığı durumunda hem deneysel hem de benzeşim çalışmalarında toplam enerji tüketimindeki artışın benzer düzeylerde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.12: Düşük Şebeke Su Sıcaklığı Durumunda Enerji Tüketimi Deneysel/Benzeşim Karşılaştırması

Şebeke su sıcaklığı (°C)	Enerji tüketimi (Wh)	Fark (%)
Düşük su sıcaklığı deneysel	1092	-
Düşük su sıcaklığı benzeşim	1099	0,6
Normal su sıcaklığı deneysel	1018	-
Normal su sıcaklığı benzeşim	1033	1,4

Benzer bir çalışma yüksek şebeke su sıcaklığı durumu için gerçekleştirilmiştir. Bu durumda şebeke su sıcaklığı 34°C'dir ve hem deneysel hem de benzeşim çalışmalarında yüksek su giriş sıcaklığı ile başlangıç sıcaklıklarının yükselmesi, ısıtma adımlarında ısınma sürelerinin ve toplam enerji tüketiminin azalması beklenmektedir. Yüksek su sıcaklığı doğrulamasında elde edilen su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.38'de, enerji tüketimi değerleri ise Tablo 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.38: Yüksek Şebeke Su Sıcaklığı Durumunda Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel/Benzeşim Karşılaştırması

Su giriş sıcaklığında meydana getirilen sıcaklık yükselişi beklendiği üzere makine su alımlarında sıcaklıklarda yükselişe, ısınma sürelerinde ve enerji tüketiminde düşüşe neden olmuştur. Yüksek şebeke su sıcaklığı durumunda hem deneysel hem de benzeşim çalışmalarında toplam enerji tüketimindeki azalmanın benzer düzeylerde olduğu tespit edilmiştir.

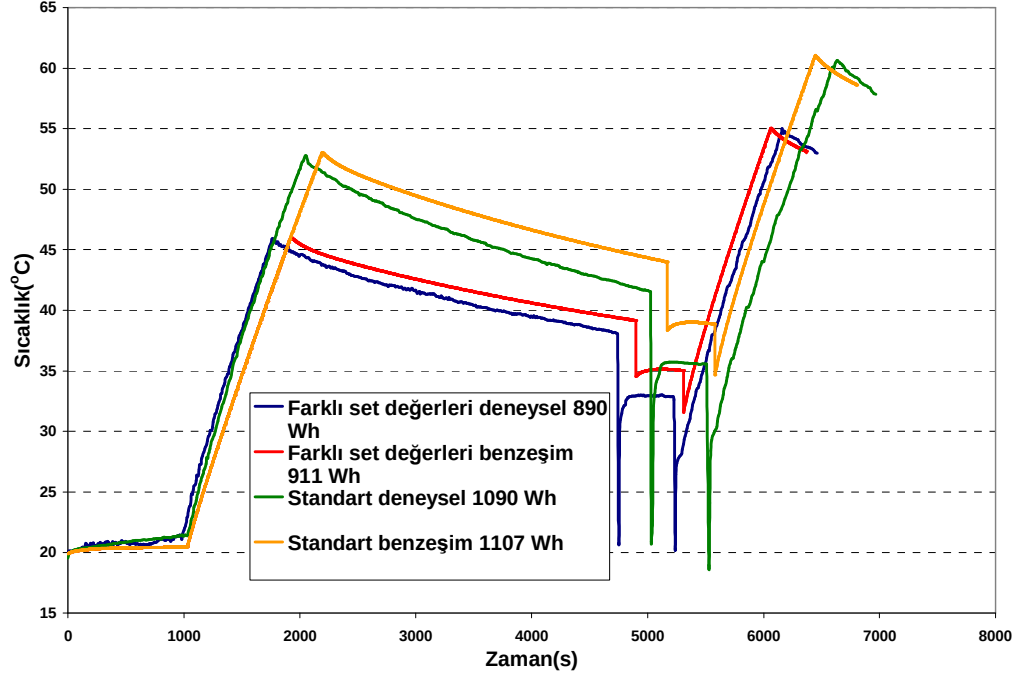
Tablo 4.13: Yüksek Şebeke Su Sıcaklığı Deneysel/Benzeşim Karşılaştırması

Şebeke su sıcaklığı (°C)	Enerji tüketimi (Wh)	Fark (%)
Yüksek su sıcaklığı deneysel	862	-
Yüksek su sıcaklığı benzeşim	884	2,48
Normal su sıcaklığı deneysel	1018	-
Normal su sıcaklığı benzeşim	1033	1,45

4.18.2.3 Farklı Sıcaklık Ayarları Doğrulaması

Bulaşık makinesinde birçok farklı yıkama profili mevcuttur. Bu yıkama profillerindeki farklılıklar su miktarları, sıcaklık ayar değerleri ve yıkama süreleridir. Bu fonksiyonların çeşitli kombinasyonları sonucu farklı yıkama profilleri oluşmakta ve farklı kir seviyesindeki ve çeşitteki (malzeme) yüklerin temizlenmesinde kullanılmaktadır.

Gerçekleştirilen doğrulamada farklı sıcaklık ayarlarının etkisi incelenmiştir. 50°C yıkama profilinde 2 adet sıcaklık ayar değeri vardır. Bu değerler ana yıkama adımı için 53°C, sıcak durulama adımı için ise 61°C'dir. Farklı sıcaklık ayar değerleri doğrulamasında ise ana yıkama adımı için 46°C, sıcak durulama adımı için ise 55°C'dir. Bu şartlarda hem deneysel hem de benzeşim çalışmalarında sıcak yıkama adımları süresinin ve toplam enerji tüketimin azalması beklenmektedir. Farklı sıcaklık ayar durumu doğrulamasında elde edilen su sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.39'da, enerji tüketimi değerleri ise Tablo 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.39: Farklı Sıcaklık Ayarları Su Sıcaklığının Zamanla Değişimi Deneysel/Benzeşim Doğrulaması

Sıcaklık ayar değerlerinde meydana getirilen değişiklik(düşüş) beklendiği üzere ısınma sürelerinde ve enerji tüketiminde düşüşe neden olmuştur. Farklı sıcaklık ayar değerleri durumunda hem deneysel hem de benzeşim çalışmalarında toplam enerji tüketimindeki azalışın benzer düzeylerde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.14: Farklı Sıcaklık Ayarları Enerji Tüketimi Deneysel/Benzeşim Doğrulaması

Ayar değerleri (°C)	Enerji tüketimi (Wh)	Fark (%)
Farklı ayar değerleri deneysel	890	-
Farklı ayar değerleri benzeşim	911	2,4
Standart deneysel	1090	-
Standart benzeşim	1107	1,5

5. SONUÇ

- Bu tez çalışmasının amacı, bulaşık makinesi ısı analizinin gerçekleştirilmesi, elde edilen sonuçlar ışığında uygulanabilecek iyileştirme alternatiflerinin belirlenmesi ve bulaşık makinesi ısı modelinin oluşturularak bulaşık makinesi tasarım sürecini hızlandırmaktır.
- Bu sebeple gerçekleştirilen çalışmalarda;
 - Bulaşık makinesi ısı/enerji bilançosu deney düzeneği kurulmuş,
 - Bulaşık makinesi ısı/enerji bilançosu, ısı akısı ve termal kamera ölçümleri gerçekleştirilmiş,
 - İyileştirme alternatifleri oluşturularak bazıları deneysel olarak çalışılmış,
 - Bulaşık makinesi ısı modeli kurularak benzeşim programı oluşturulmuş,
 - Benzeşim programı parametrik ve deneysel olarak irdelenmiştir.
- Gerçekleştirilen ısı/enerji bilançosu çalışmasında elde edilen bilgilere göre;
 - Bulaşık makinesinde incelenen 50°C ekonomik yıkama programı deney sonuçlarına göre, sistem içerisinde en çok enerji depolayan bileşen yüküdür. Yükün en çok enerji depolayan bileşen olması en yüksek kütle değerine sahip olması nedeniyledir.
 - Bulaşık makinesi enerji tüketimini etkileyen ana parametrenin ısıtıcının çalışma süresi olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler incelendiğinde 50°C'lik ekonomik yıkama programı için toplam enerji tüketiminde ısıtıcının çalışma süresinin etkisi %91,3 olarak belirlenmiştir.
 - Bulaşık makinesi deneyinde mutlaka yapılması gereken aktiviteler suyun ve yükün ısıtılması ve suyun devirdaim edilmesidir. Çalışma esnasında, 50°C ekonomik yıkama programı için mecburi işlemler toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak %47'lik bölümünü oluşturmaktadır. Geri kalan miktarlar ise enerji tüketiminin iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilecek potansiyel olarak göze çarpmaktadır.

- Bulaşık makinesine ait ayrıntılı enerji bilançosu incelendiğinde, enerji tüketimini etkileyen önemli bir parametre olarak yalıtım sisteminde kullanılan kazan ses yalıtımı görülmektedir. Kazan ses yalıtımı sistemi 50°C ekonomik yıkama programı için toplam enerji tüketiminin %9'luk kısmını üzerinde depolamaktadır. Özgül ısı değeri daha düşük bir malzeme kullanılması durumunda enerji tüketimini azaltmak mümkün olabilecektir.
- 50°C ekonomik yıkama programı için gerçekleştirilen ısı geçişi ölçümlerinden elde edilen bilgilere göre;
 - Makine kazanından makine iç hacmine doğru olan net kaçakların %44'lük bölümü yalıtım uygulanmamış olan kazan sol bölgesinden, dış ortama doğru olan net kaçakların %47,3'lük kısmı ise yine yalıtım uygulanmamış olan kazan arka bölgesinden meydana gelmektedir. Bu durum yalıtım uygulamasını gerekli kılmaktadır.
- 50°C ekonomik yıkama programı için gerçekleştirilen termal görüntüleme çalışmasından elde edilen bilgilere göre;
 - Bulaşık makinesi ön bölgesinden alınan termal kamera görüntülerine göre soğuk yıkama adımlarında bulaşık makinesi dış sac bölgesi genel olarak soğumaktadır. Sıcak yıkama periyodunda ısıtma ile birlikte sistemin genel olarak ısındığı, en sıcak bölgelerin dış sac üst bölgeleri olduğu görülmüştür. Özellikle yan panel üst panel birleşme noktası ile kapı üst bölgesinin sistemde en sıcak bölgeler olduğu gözlemlenmiştir. Sıcak yıkama periyodunda dış kabin yüzeyinde ulaşılan maksimum sıcaklıklar 34°C seviyesinde olmuştur. Soğuk durulama periyodunun başlangıcı ile birlikte sistem sıcaklıkları azalmış ve 30°C seviyelerine inmiştir.
 - Bulaşık makinesi arka bölgesinden alınan termal kamera görüntülerine göre sıcak durulama adımı en yüksek sıcaklık değerlerine kazan arka bölgesinde ulaşılmıştır. En yüksek sıcaklık değerinin kazan arka bölgesinde tespit edilmesi bu bölgelerde yalıtım v.b uygulamaların bulunmaması sebebiyledir. Bu bölgede arka duvara göre daha düşük sıcaklıklara ulaşılmasının temel sebebi, arka duvarın ortam ile direkt temasta, termal görüntüleme yapılan bu bölgelerde ise kazanın keçe ve yan panellerin içerisinde yer almasıdır. Son olarak sistem kurutma periyodunu tamamlamış ve kurutma sonunda sıcaklıklar 30°C seviyesine inmiştir.

- 50°C ekonomik yıkama programında gerçekleştirilen yalıtım uygulaması sonucu elde edilen bilgilere göre (Arka+Sol Bölge 25 mm cam yünü yalıtımı);
 - Benzeşim programında yalıtımsız kazan enerji tüketim değeri 1107 Wh, sıcak yıkama sonu su sıcaklığı 41,9°C, kazan arka bölgesi yalıtım uygulamasında enerji tüketim değeri 1050 Wh, sıcak yıkama sonu su sıcaklığı 46,9°C, kazan sol bölgesi yalıtım uygulamasında enerji tüketim değeri 1091 Wh, sıcak yıkama sonu su sıcaklığı 44,8°C, kazan arka+sol bölgesi yalıtım uygulamasında enerji tüketim değeri 1033 Wh, sıcak yıkama sonu su sıcaklığı 47,8°C olarak belirlenmiştir. Bu durum uygun yalıtım durumunda enerji tüketiminde %6,7'lik düşüş, yıkama sıcaklıklarında da 5,9°C elde etmek mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] **GEA-vH&K**, 2000. Washing machines: Long term efficiency targets, a technical and economical analysis
- [2] **AEA Technologies.**, 2001. Revision of the EU ecolabel criteria for dishwashers
- [3] **Paepe M. De.**, 2003. Heat recovery system for dishwashers, *Applied Thermal Engineering*, **23**, 743-756.
- [4] **Graf, R., Koos, Dietrich**, 1986. Dishwasher with condensation surface for precipitating the steam occurring in the washing compartment, *Germany Patent*, No: 3515592 dated 11.06.1986.
- [5] **Enner, G, Windt, J.**, 1992. Dishwasher, refrigerator, or freezer domestic appts. - uses one-piece or multi-piece moulded foam inserts to insulate walls, *Germany Patent*, No: 4110292 dated 10.01.1992
- [6] **Konrad, H.**, 2004. Dishwasher has closable washing chamber whose outer wall can be cooled with air from exterior, thermal and/or sound insulation with cooling air channels arranged and/or cut out, *Germany Patent*, No: 10347244 dated 26.02.2004
- [7] **Ennen, G., Hettenhausen, U**, 2004. Bitumen covering for insulating against noise and heat in a metal rinsing reservoir on a dishwasher includes a sheet metal material partly covered with bitumen matting as a thermal insulating barrier layer on the sheet metal, *Germany Patent*, No: 19858002 dated 21.06.2000
- [8] **Muzino, T.**, 1999. Dishwasher, *Japan Patent*, No: 11299719 dated 11.02.1999
- [9] **Nelson, T.**, 1990. Sealing and insulation device for the space between spaced apart surfaces, *United States Patent*, No: 4901676 dated 20.02.1990
- [10] **Juerg, W.**, 2000. Dishwashing and drying machine with a condenser to extract moisture from the hot exhaust air containing a phase change material which is cooled by fresh water input for the next washing cycle, *Swedish Patent*, No: 690354 dated 15.08.2000
- [11] **Huber, W., Kahlich, D.**, 1967. Vorrichtung Zur Rueckgewinnung Von Abwaerme Bei Haushaltsmaschinen, *German Patent*, No: 2501165 dated 15.07.1967
- [12] **Moschuetz, H.**, 1995. Washing machine or dishwasher has heat exchanger, *German Patent*, No: 4403737 dated 10.08.1995
- [13] **Oettl, S.**, 2002. Domestic appliance system has useful heat provided by latent heat storage device supplied with solar and/or geothermal heat energy, *German Patent*, No: 10045074 dated 28.03.2002
- [14] **Stickel, E., Eiermann, R.**, 2001. Water-carrying domestic appliance, *European Patent*, No: 1111118 dated 27.06.2001

- [15] **Jung, T., Hur, G.**, 2004. Dishwasher having air generator, *United States Patent*, No: 2004200508 dated 14.10.2004
- [16] **Kulbach, E.**, 2004 Energy saving dishwasher, *European Patent*, No: 1382288 dated 21.01.2004
- [17] **Young, R.**, 1995 Method for operating a low energy domestic dishwasher, *United States Patent*, No: 5429679 dated 04.07.1995
- [18] **Çengel, Yusuf A. ve Boles, M.**, 2001. Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, McGraw Hill-Literatür, İstanbul.
- [19] **Genceli, Osman F.**, 2000. Çözümlü ısı iletimi problemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [20] **Genceli, Osman F.**, 2002. Çözümlü ısı taşınımı problemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.

EKLER

Tablo A.1: Sıcaklık kalibrasyonu uygulanan ve ölçülen sıcaklık değerleri

	İlk Aşama		İkinci Aşama	
Uygulanan Sıcaklık [°C]	Ölçülen Sıcaklık [°C]	Bağlı Fark %	Ölçülen Sıcaklık [°C]	Bağlı Fark %
10	7,90	21,00	10,00	0,00
15	12,90	14,00	14,99	0,07
20	17,90	10,50	20,00	0,00
25	23,10	7,60	25,00	0,00
30	28,00	6,67	30,00	0,00
35	33,10	5,43	35,00	0,00
40	38,10	4,75	40,00	0,00
45	43,10	4,22	44,80	0,44
50	48,10	3,80	50,00	0,00
55	53,10	3,45	55,00	0,00
60	58,20	3,00	60,00	0,00
65	63,20	2,77	65,00	0,00
70	68,20	2,57	70,00	0,00
75	73,20	2,40	74,90	0,13
80	78,20	2,25	79,90	0,12
85	83,20	2,12	85,00	0,00
90	88,20	2,00	90,00	0,00
95	93,30	1,79	95,00	0,00
100	98,30	1,70	100,00	0,00
105	103,30	1,62	105,00	0,00
110	108,30	1,55	110,00	0,00

Tablo A.2: Enerji tüketim kalibrasyonu uygulanan ve ölçülen sıcaklık değerleri

İlk Aşama			İlk Aşama		
Uygulanan Güç [°C]	Ölçülen Güç [°C]	Bağlı Fark %	Uygulanan Güç [°C]	Ölçülen Güç [°C]	Bağlı Fark %
4,00	3,85	3,75	689,14	690	-0,12
5,00	4,84	3,20	789,48	791	-0,19
7,00	6,15	12,14	903,25	904,8	-0,17
8,00	7,36	8,00	1016,98	1018,8	-0,18
9,00	8,34	7,33	1131,08	1133	-0,17
11,50	10,79	6,17	1244,95	1247,4	-0,20
17,25	16,76	2,84	1359,19	1362	-0,21
23,00	22,48	2,26	1475,4	1476,8	-0,09
28,75	28,29	1,60	1590,19	1591,8	-0,10
34,50	34,03	1,36	1707,32	1707	0,02
40,25	39,75	1,24	1731,62	1731,28	0,02
46,00	45,54	1,00	1756,22	1755,6	0,04
51,75	51,26	0,95	1780,81	1779,96	0,05
57,50	57,11	0,68	1805,41	1804,36	0,06
63,25	62,81	0,70	1829,96	1828,8	0,06
69,00	68,48	0,75	1856,02	1854,9	0,06
80,50	79,92	0,72	1880,64	1879,44	0,06
92,00	91,37	0,68	1905,28	1904,02	0,07
103,50	102,82	0,66	1931,41	1930,32	0,06
115,00	114,46	0,47	1957,58	1956,7	0,04
126,50	125,82	0,54	1982,15	1981,44	0,04
149,50	148,82	0,45	2007,01	2006,22	0,04
184,00	183,20	0,43	2031,83	2031,04	0,04
230,00	228,85	0,50	2056,65	2055,9	0,04
345,00	344,34	0,19	2081,55	2080,8	0,04
460,00	458,47	0,33	2140,79	2140,45	0,02
575,00	574,21	0,14	2200,38	2200,2	0,01

ÖZGEÇMİŞ

Tuğrul KODAZ, 1982 yılında Malatya’da doğdu. Orta öğrenimini 1997 yılında Malatya Anadolu Lisesinde, lise öğrenimini ise 2000 yılında Malatya Fen Lisesinde tamamladı. 2000 yılında girmiş olduğu İ.T.Ü. Makina Fakültesi’nden 2005 yılında yüksek onur derecesiyle Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Fen Bilimleri Enstitüsü Isı-akışkan programında yüksek lisans öğrenimine başladı. İ.T.Ü. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı ısı-akışkan programında sürdürdüğü yüksek lisans eğitimi esnasında yüksek lisans tez çalışmalarını İ.T.Ü. ve Arçelik A.Ş. arasında imzalanmış özel bir anlaşma çerçevesinde Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi’nde tamamladı. Çalışmalarına halen Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi Termodinamik Teknolojileri Laboratuvarında Ar-Ge mühendisi olarak devam etmektedir. İngilizce bilmektedir.