

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR YIKAMA MAKİNESİNDE
ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASINA
YÖNELİK MODELLEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. C. Murat DORA**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ISI-AKIŞKAN

HAZİRAN 2007

**BİR YIKAMA MAKİNESİNDE
ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASINA
YÖNELİK MODELLEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. C. Murat DORA
503041105**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Seyhan Uygur ONBAŞIOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Oktay ÖZCAN (Yıldız Teknik Üniv.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasının gerçekleşmesinde büyük katkısı bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Seyhan Uygur ONBAŞIOĞLU başta olmak üzere, Arçelik Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi'nden, Sn. Fatih ÖZKADI, Sn. Gökhan ÖZGÜREL, Sn. Yalçın GÜLDALI ve çalışma boyunca yol göstericiliği, fikirleri ve desteği ile her zaman yanımda bulunan Sn. Bekir ÖZYURT'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmanın deneysel aşamalarındaki katkılarından dolayı Sn. Fikri ÇAVUŞOĞLU, Sn. Ercan KURTULDU, Sn. Emine BİRCİ ve Sn. Mehmet KAYA olmak üzere tüm ATGM Termodinamik Teknolojileri Laboratuvarı ve ATGM Temizleme Teknolojileri Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında her anlamda sonsuz desteği bulunan dostlarım Sn. Burak AŞURECİLER ve Sn. Yavuz ŞAHİN olmak üzere tüm ATGM Yüksek Lisans Öğrencileri' ne en içten teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Son olarak, hep yanımda ve bana destek olan AİLEME ve tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Mayıs 2007

C. Murat DORA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1 GİRİŞ	14
1.1 Giriş	14
1.2 Çalışmanın Amacı	16
1.3 Çamaşır Makinesinin Tanıtılması	18
1.3.1 Isıtıcı eleman ve NTC sensörü	20
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	23
2.1 Çamaşır Makinesi İçin Enerji Kazanımı Ölçütleri	23
2.1.1 Su ve enerji tüketimi ilişkisi	23
2.1.2 Isıl yöntemlerle enerji kazanımı	24
2.1.3 Diğer yöntemler	37
3 ÇAMAŞIR MAKİNESİ ENERJİ BİLANÇOSU	39
3.1 Deney Düzenekinin Tanıtılması	40
3.1.1 Termokupllar	40
3.1.2 Isı akısı sensörleri	41
3.1.3 Debimetre	42
3.1.4 Hassas tartı	44
3.1.5 Veri toplama panosu	44
3.1.6 Deney makinesi	46
3.2 Ölçümler	47
3.2.1 Sıcaklık ölçümleri	48
3.2.2 Isı akısı ölçümleri	60
3.2.3 Görselleme	67
3.3 Pamuklu Program Enerji Bilançolarının Hesabı	76
3.3.1 Termodinamiğin birinci yasası	77
3.3.2 Pamuklu program enerji bilançoları	78
3.3.3 Enerji bilançosu mekanik tüketim belirsizlik analizi	99
4 ISIL MODEL ÇALIŞMALARI	101
4.1 Isıtıcı	102
4.2 Yıkama Suyu	104
4.3 Kazan	109
4.4 Gövde İç Havası	111
4.5 Motor	112
4.6 Dış Gövde	114
4.7 Cam Kapak	115

4.8 Yük ve Tambur	116
4.9 Denge Ağırlıkları	116
4.10 Diğer Elemanlar	118
4.11 Model Veri Girişleri	118
4.12 Isıl Modelin Validasyonu ve Uygulamalar	123
4.12.1 Validasyon	123
4.12.2 Uygulama alışmaları	125
4.12.3 Isıl model parametrik analizi	129
5 SONUÇ	135
KAYNAKLAR	137
ÖZGEÇMİş	140

KISALTMALAR

ECCP	: European Climate Change Programme
UNFCCC	: The United Nations Framework Convention on Climate Change
EU	: Avrupa Birliği
GEA	: Group of Efficient Appliances
vH&K	: Van Holsteijn en Kemna
CTTN-IREN	: Household Cleaning, Industrial Laundry, Dry-cleaning Cleaning Institute
NTC	: Negative Thermal Coefficient Thermistor
PCM	: Phase Change Material
RTD	: Resistance Temperature Detector
ATGM	: Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi
LED	: Light Emitting Diode
TS	: Trk Standardı
EN	: Avrupa Standardı
VDC	: Volts Direct Current
Cr-Ni	: Krom-Nikel

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Deney makinesi etiket değerleri	47
Tablo 3.2 Termokupl yerleşim yerleri	48
Tablo 3.3 Pamuklu programına ilişkin ısıtma ve yıkama adımları boyunca kazan- gövde iç havası arası ortalama ısı geçişi.....	66
Tablo 3.4 Pamuklu-60 programı sistemde depolanan ve su ile giren-çıkan enerji ...	81
Tablo 3.5 Pamuklu-40 programı sistemde depolanan ve su ile giren-çıkan enerji ...	87
Tablo 3.6 Pamuklu-95 programı sistemde depolanan ve su ile giren-çıkan enerji ...	91
Tablo 3.7 Pamuklu-60 programı ısıtma adımı sistemde depolanan enerji.....	95
Tablo 3.8 Pamuklu-60 programı ısıtma sonrası yıkamada sistemde depolanan enerji	98
Tablo 4.1 Kazan-tambur-izolasyon veri grubu açıklamaları.....	119
Tablo 4.2 Isıtıcı veri grubu açıklamaları.....	120
Tablo 4.3 Dış kabin ve cam kapak veri grubu açıklamaları.....	121
Tablo 4.4 Denge ağırlıkları-motor ve diğer veri grubu açıklamaları.....	122
Tablo 4.5 Ana yıkama su miktarı-enerji tüketimi.....	130
Tablo 4.6 Isıtıcı gücü-enerji tüketimi	130
Tablo 4.7 Ortam sıcaklığı-enerji tüketimi.....	131
Tablo 4.8 Kazan ağırlığı-enerji tüketimi.....	131
Tablo 4.9 Su giriş sıcaklığı-enerji tüketimi.....	132
Tablo 4.10 Yük miktarı-enerji tüketimi	132
Tablo 4.11 Isıtıcı kapama sıcaklığı-enerji tüketimi	132
Tablo 4.12 Kazan malzemesi-enerji tüketimi.....	133
Tablo 4.13 Kazan yalıtım malzemesi-enerji tüketimi.....	133
Tablo 4.14 Ortam ve su sıcaklığının değişiminin enerji tüketimine etkisi	134

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Tahrik grubu patlatılmış resmi.....	19
Şekil 2.2 Ön kapak-gövde-su sistemi patlatılmış resmi.....	19
Şekil 2.3 Ön panel modülü patlatılmış resmi	20
Şekil 2.4 Isıtıcı eleman.....	21
Şekil 2.5 Isıtıcı üzerinde NTC ve thermofuse yerleşimi	21
Şekil 2.6 Pasif ve aktif su sistemi	24
Şekil 2.7 Profil destekli kazan yalıtımı	26
Şekil 2.8 Çift duvarlı kazanda ısı yalıtım.....	27
Şekil 2.9 Kazan ve cam kapak yalıtımı.....	27
Şekil 2.10 Dış kasa yalıtımı.....	28
Şekil 2.11 Isı değiştiricili çamaşır makinesi.....	29
Şekil 2.12 Ön ısıtma amaçlı ısı değiştiricisi	30
Şekil 2.13 Isı değiştirici kazan yapısı	31
Şekil 2.14 Faz değiştirici malzeme ile atık ısı kazanımı	31
Şekil 2.15 Depolu akış içi ısıtıcı	33
Şekil 2.16 Türbülanslı akış içi ısıtıcı	34
Şekil 2.17 Pervaneli akış içi ısıtıcı.....	34
Şekil 2.18 Blok biçimli akış içi ısıtıcı.....	35
Şekil 2.19 Pompaya entegre edilmiş akış içi ısıtıcı - 1	36
Şekil 2.20 Pompaya entegre edilmiş akış içi ısıtıcı – 2.....	36
Şekil 2.21 Yıkama sıcaklığı –süre ilişkisi.....	38
Şekil 3.1 Deney düzeneği şeması	39
Şekil 3.2 Termokupl bağlantısı.....	40
Şekil 3.3 Isı akısı sensörü enine kesidi	41
Şekil 3.4 Isı akısı sensörü kalibrasyonu	42
Şekil 3.5 Debimetre	43
Şekil 3.6 Okunan hız değerine göre yüzde hata	43
Şekil 3.7 Hassas tartı.....	44
Şekil 3.8 Datalogger ve multiplexer	45
Şekil 3.9 Enerji analizörü	45
Şekil 3.10 Enerji bilançosu deney düzeneği ve denek makine.....	46
Şekil 3.11 60°C pamuklu programı güç profili	50
Şekil 3.12 60°C pamuklu programı NTC-su-kazan sıcaklıkları.....	51
Şekil 3.13 60°C pamuklu programı motor-denge ağırlığı sıcaklıkları	52
Şekil 3.14 60°C pamuklu programı çeşitli sıcaklıklar	53
Şekil 3.15 60°C pamuklu programı hava sıcaklıkları	54
Şekil 3.16 60°C pamuklu programı kapak sıcaklıkları	55
Şekil 3.17 95°C pamuklu programı güç profili	56
Şekil 3.18 95°C pamuklu programı NTC-su-kazan sıcaklıkları.....	56
Şekil 3.19 95°C pamuklu programı tahrik grubu sıcaklıkları	57
Şekil 3.20 40°C pamuklu programı güç profili	58

Şekil 3.21	40°C pamuklu programı NTC-su sıcaklıkları.....	59
Şekil 3.22	40°C pamuklu programı tahrik grubu sıcaklıkları	60
Şekil 3.23	Kazan üst yüzey ısı akısı sensörü.....	60
Şekil 3.24	Kazan alt yüzey ısı akısı sensörleri	61
Şekil 3.25	Kazan yan yüzeyinden ısıtım-taşıyım ile toplam ısı geçişi (pamuklu-60)	62
Şekil 3.26	Kazan yüzeyi-gövde iç havası ısı geçişi (pamuklu-60).....	64
Şekil 3.27	Kazan yüzeyi-gövde iç havası ısı geçişi (pamuklu-40).....	65
Şekil 3.28	Kazan yüzeyi-gövde iç havası ısı geçişi (pamuklu-95).....	66
Şekil 3.29	Çekim için arkadan görünüş	67
Şekil 3.30	Çekim için üstten görünüş	67
Şekil 3.31	Soğuk yıkama arka çekim.....	68
Şekil 3.32	Soğuk yıkama üst çekim.....	69
Şekil 3.33	Isıtma arka çekim	69
Şekil 3.34	Isıtma üst çekim	70
Şekil 3.35	Isıtma sonu arka çekim.....	71
Şekil 3.36	Isıtma sonu üstten çekim	71
Şekil 3.37	Sürekli rejim yıkama arka çekim	72
Şekil 3.38	Sürekli rejim yıkama üst çekim	72
Şekil 3.39	Ana yıkama sonu arka çekim.....	73
Şekil 3.40	Durulama arka çekim	74
Şekil 3.41	Durulama üst çekim	74
Şekil 3.42	Sıkma arka çekim.....	75
Şekil 3.43	Sıkma üst çekim	76
Şekil 3.44	Çamaşır makinesi kontrol hacmi.....	76
Şekil 3.45	Pamuklu-60 kazan içi ortalama su sıcaklığı	78
Şekil 3.46	Pamuklu-60 komponentsel enerji tüketimi yüzdeleri	80
Şekil 3.47	Pamuklu-60 adımsal enerji tüketimleri	81
Şekil 3.48	Pamuklu-60 enerji bilanço yüzdeleri.....	83
Şekil 3.49	Pamuklu-40 kazan içi ortalama su sıcaklığı	84
Şekil 3.50	Pamuklu-40 komponentsel enerji tüketimi yüzdeleri	85
Şekil 3.51	Pamuklu-40 adımsal enerji tüketimleri	86
Şekil 3.52	Pamuklu-40 enerji bilanço yüzdeleri.....	88
Şekil 3.53	Pamuklu-95 kazan içi ortalama su sıcaklığı	89
Şekil 3.54	Pamuklu-95 komponentsel enerji tüketimi yüzdeleri	90
Şekil 3.55	Pamuklu-95 adımsal enerji tüketimleri	91
Şekil 3.56	Pamuklu-95 enerji bilanço yüzdeleri.....	92
Şekil 3.57	Pamuklu-60 ısıtma adımı komponentsel enerji tüketimi yüzdeleri	94
Şekil 3.58	Pamuklu-60 ısıtma adımı enerji bilanço yüzdeleri	96
Şekil 3.60	Pamuklu-60 ısıtma sonrası yıkama adımı ısı enerji bilançosu	99
Şekil 4.1	Çamaşır makinesi fiziksel modeli.....	101
Şekil 4.2	Çamaşır makinesi ısı akış şeması.....	102
Şekil 4.3	Yıkama suyu kontrol hacmi ısı akış şeması.....	105
Şekil 4.4	Kazan ıslak temas alanı - su seviyesi ilişkisi.....	106
Şekil 4.5	NTC ve ortalama yıkama suyu sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi.	108
Şekil 4.6	Model ısıtıcı kontrol sıcaklığı ortalama su sıcaklığı ve deney NTC bölgesi sıcaklıkları.....	109
Şekil 4.7	Kazan kontrol hacmi ısı akış şeması	109
Şekil 4.8	Gövde içi hava kontrol hacmi ısı akış şeması.....	111
Şekil 4.9	Gövde kontrol hacmi ısı akış şeması.....	114

Şekil 4.10 Cam kapak kontrol hacmi ısı akış şeması.....	115
Şekil 4.11 Kazan, tambur ve izolasyon veri girişleri.....	119
Şekil 4.12 Isıtıcı veri giriş ekranı.....	120
Şekil 4.13 Dış gövde ve cam kapak veri giriş ekranı.....	121
Şekil 4.14 Pamuklu-60 programı çalışma şartları veri giriş ekranı	123
Şekil 4.15 Pamuklu-60 programı analiz sonuç ekranı	124
Şekil 4.16 Kazan sıcaklığı model-deney validasyonu	125
Şekil 4.17 Cam yünü izolasyon uygulaması – yalıtımsız durum su sıcaklığı profili karşılaştırması	126
Şekil 4.18 Cam yünü izolasyon uygulaması durumunda ısıtma süresi değişimi	127
Şekil 4.19 Soğuk yıkama süresi - ısıtma başlangıcı su sıcaklığı ilişkisi.....	127
Şekil 4.20 Kazan malzemesi özgül ısısı su sıcaklığı profili ilişkisi.....	128
Şekil 4.21 Farklı cam yünü yalıtım kalınlıklarında ısıtma sonrası yıkama suyu sıcaklığı düşüşü	129

SEMBOL LİSTESİ

T_{set}	: Isıtıcı kapatma sıcaklığı, °C
Nu	: Nusselt sayısı
Ra	: Rayleigh sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
Re	: Reynolds sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi, m/s^2
T_s	: Yüzey sıcaklığı, K
T_f	: Film sıcaklığı, K
T_{∞}	: Serbest akış sıcaklığı, K
ν	: Kinematik viskozite, m/s^2
β	: Hacimsel ısı genleşme katsayısı, K^{-1}
h	: Taşınım katsayısı, W/m^2
k	: Isı iletim katsayısı, $W/m.K$
D, d	: Çap, m
A	: Alan, m^2
Q_t	: Taşınım ile ısı geçişi, W
Q	: Isı enerjisi, kJ
W	: Toplam iş, kJ
ΣE_g	: Kontrol hacmine giren toplam enerji, kJ
ΣE_{χ}	: Kontrol hacminden çıkan toplam enerji, kJ
ΔE_{KH}	: Kontrol hacmindeki toplam enerji değişimi, kJ
m_g	: Giren kütle, kg
m_{χ}	: Çıkan kütle, kg
h_g	: Giriş özgül entalpisi, kJ/kg
h_{χ}	: Çıkış özgül entalpisi, kJ/kg
c_p	: Sabit basınçta özgül ısı, kJ/kg.K
Q_{net}	: Sistemin net ısı enerjisi kaybı, kJ
Q_{in}	: Çevreden sisteme giren ısı enerjisi, kJ
Q_{out}	: Sistemden çevreye çıkan ısı enerjisi, kJ
E_{mass_in}	: Sisteme giren kütle enerjisi, kJ
E_{mass_out}	: Sistemden çıkan kütle enerjisi, kJ
N	: Devir sayısı, devir/dak
δt	: zaman adımı, s
P	:Güç, W
ϵ	:Yayma oranı
V	: Hacim, m^3
m	: Kütle, kg
ρ	: Kütle yoğunluğu, kg/m^3
η	: Verim
L	: Uzunluk, m
σ	: Stefan-Boltzman sabiti

BİR YIKAMA MAKİNESİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASINA YÖNELİK MODELLEME

ÖZET

1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü çerçevesince Avrupa Birliği'nde yapılan çalışmalarda, "European Climate Change Programme" adı altında açıklanan direktiflere uyum konusunda görüş birliğine varılmıştır. Söz konusu direktifler içerisinde enerji tüketen cihazlara yönelik minimum performans standartlarının belirlenmesi konusuna ilişkin düzenlemeler de yer almaktadır. Diğer tüm evsel cihazlarda da uygulandığı üzere çamaşır makineleri de enerji etiketi ile pazara çıkmaktadır. Enerji etiketi üzerinde üreticinin deklare ettiği enerji tüketimi, yıkama ve sıkma performans indeksi değerleri, yük kapasitesi, su tüketimi ve sıkma devir hızı değerleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada çamaşır makinesinin enerji veriminin artırılmasına yönelik modelleme çalışmaları ele alınmaktadır. Bu amaçla, öncelikle, çamaşır makinesinde ısı enerjisinin kullanımı, enerji tüketimi-yıkama etkinliği ilişkisi ile ilgili kapsamlı bir literatür çalışması yapılmıştır. Sonrasında bir makine deney numunesi olarak seçilmiş ve en sık kullanılan farklı üç sıcaklıktaki pamuklu programlarında çamaşır makinesi sisteminin ayrıntılı sıcaklık profili çıkarılarak ısı geçiş miktarları merteye olarak belirlenmiştir. Bu amaçla bir de ısıl görselleme çalışması yürütülmüş ve ısı kayıpları azaltmaya yönelik atak edilecek noktalar belirlenmiştir. İlerleyen aşamada, üç farklı sıcaklıktaki pamuklu program için "Termodinamiğin Birinci Yasası" çerçevesince enerji bilançoları çıkarılmış ve mevcut durum ayrıntılı olarak ortaya konmuştur. Çamaşır makinesinin pamuklu-60 programı için basit bir ısıl model yaratılmış ve model üzerinden enerji tüketimini değiştirecek çeşitli parametrelerin tüketime ne yönde etki yapacağı incelenmiştir. Sonuç kısmında ise, enerji tüketiminin iyileştirilmesine yönelik öneriler ve enerji kazanımı yönünden gelişmeye açık alanlar ele alınmıştır.

MODELLING OF FACTORS DECREASING THE ENERGY CONSUMPTION OF A WASHING MACHINE

SUMMARY

After Kyoto Protocol was signed in 1997, European Union members agreed on all directives included in the “European Climate Change Programme” . There are some amendments in these directives regarding energy labelling and performance measurement of household appliances such as clothes washing machines. A typical energy label of a washing machine is a declaration of the manufacturer about energy and water consumption, washing and spinning performance, spin speed and nominal capacity.

This study investigates different ways and applications for increasing the energy efficiency of a washing machine. First part of this study includes the overview of a washing machine, its components and function. Second part gives general information about the literature on energy recovery and energy consumption-washing performance relations in washing machines. In this part there's also experimental data of typical temperature and heat transfer profile of a 6kg capacity sample washing machine including the thermal camera visualization of cotton-60 programme. Thermal visualization enables quick assessment of proper parts and areas of a washing machines which can be useful for thermal energy recovery. Third part of this study is full of theoretical analysis on “Energy Conservation Principle” of Thermodynamics which is used to calculate the heat balance of the washing machine in cotton programmes of three different temperature options. A simple thermal model of a washing machine in cotton-60 programme is introduced in fourth section of this study. Some applications and validations are carried out using the washing machine thermal model to predict some factors' impact and effect on energy consumption and recovery. And finally, the fifth part makes a general statement about possible ways for improving the energy efficiency and energy recovery of a washer.

1 GİRİŞ

1.1 Giriş

Çamaşır temizleme, tarihin en eski dönemlerinden beri zahmetli bir iş olarak kabul edilmiştir. Eski zamanlarda deniz yolculuğuna çıkan insanlar, kirli çamaşırlarını sağlam ve büyük bezlerin içerisine koyup denize salarak temizlemiştir. Bu ve benzeri uygulamalardan da anlaşılabileceği gibi, çamaşır yıkamadaki en eski ve en temel prensip, çamaşırlardaki kirin mekanik etki ile çıkarılması olmuştur. Su tesisatı, gaz, elektrik vs hizmetlerin bulunmadığı zamanlarda çamaşır yıkama işi büyük oranda insan gücü ile yapılmaktaydı. Araştırmacıların yüzyıllar boyu süregelen çamaşır yıkama problemine çözümü, mekanik araçlar yolu ile olmuştur.

Dönen tamburlu çamaşır makinesine ait ilk İngiliz patenti 1782 yılında Henry Sidgier'e verilmiştir. Çamaşır yıkamaya ilişkin ilk Amerikan patenti ise 1797 yılında alınmış olup Nathaniel Briggs'e aittir. Söz konusu patentin içeriği tam olarak bilinmemektedir [2].

Motor tarafından döndürülen kazana sahip elektrikli çamaşır makineleri ilk olarak 1900'lü yıllarda ABD'de ortaya çıkmıştır. Bu ilk makinelerde motor, kazan altında korumasız olarak durduğu için, su sızıntısı nedeni ile sıkça motorda kısa devre meydana gelmiştir . 1911 yılına gelindiğinde, metal çerçeveye oturtulmuş kazanı içinde delikli tambur bulunan, motor tahrikli ve titreşimli çamaşır makineleri ortaya çıkmıştır [1].

Beatty Brothers of Fergus şirketi (Kanada), dönel karıştırma hareketi yapan krom nikel kaplamalı bakır kazanlı ilk makineyi üretmiştir. Maytag şirketi sonrasında bu teknolojiyi ABD'de uygulamıştır. Söz konusu uygulamalar dikey eksenli makinelerin ilk örnekleridir. 1940'lı yılların başında sağlık açısından daha uygun, kolay temizlenebilen ve uzun ömürlü çelik kazanlı çamaşır makinelerinin üretimi başlamıştır. 1920'lerde Kanada'da üretilen bazı çamaşır makinelerinin elektrikli veya

gazlı su ısıtıcıları ile donatıldığı bilinmektedir. 1930'larda motor tahrikli su tahliye pompalarının da makinelere eklenmesi ile otomatikleşmeye bir adım daha yaklaşmıştır. 1937 yılında Bendix şirketi ilk otomatik çamaşır makinesini piyasaya sürmüştür. 1950'li yılların başında birçok Amerikan üretici, çeşitli kazalara neden olan merdaneli sıkma sistemini ortadan kaldıran yeni bir sistem uygulamaya başlamıştır. 1957 yılında General Electrics şirketi, yıkama-durulama sıcaklığı ile yıkama ve sıkma devirlerini kullanıcının kontrol edebileceği bir çamaşır makinesi üretmiştir [2].

Tipik bir çamaşır makinesi çevrimi, ana yıkama, durulama ve sıkma adımlarından meydana gelmektedir. Ana yıkama, soğuk yıkama, ısıtma ve sonrasında ilk tahliyeye kadar süren sürekli rejim yıkama adımlarından oluşmaktadır. Ara sıkmalarla sonlandırılan iki ya da üç adet durulama adımından sonra, çamaşır makinesi, en büyük sıkma devrine çıkılan son sıkma adımı ile çevrimini tamamlar.

Günümüzde çamaşır makineleri, üstten ve önden yüklemeli olmak üzere iki ayrı şekilde üretilmektedir. Üstten yüklemeli tasarım daha çok ABD, Avustralya ve Uzakdoğu'da, önden yüklemeli tasarım ise Avrupa ve Ortadoğu'da tercih edilmektedir.

Çamaşır makinesi, mekanik enerji, kimyasal etki ve ısı enerjisi olmak üzere üç temel kaynağı kullanarak çamaşırı temizler. Mekanik etki, üstten yüklemeli makinelerde tamburdaki karıştırıcılarla, önden yüklemeli makinelerde ise tamburun dönme hareketi ile sağlanmaktadır. Isıl etki, yıkama suyu sıcaklığının ısıtıcı eleman kullanılarak artırılması ile sağlanır. Kimyasal etki ise deterjan ve buna benzer kimyevi temizlik maddeleri yardımıyla oluşturulur.

Düşük maliyetleri ve yükleme kolaylığı avantajları dışında, üstten yüklemeli çamaşır makineleri, önden yüklemeli tiplere göre su ve enerji tüketimi ile yıkama etkinliği bakımından daha dezavantajlı durumdadır. Önden yüklemeli tipte, kullanılan su miktarı az olmasına rağmen çamaşır, tamburun dönme hareketi ve yerçekimi etkisi ile yeterli miktarda ıslatılmaktadır. Sonuç olarak daha az su, deterjan ve enerji kullanılarak istenen yıkama performansı elde edilebilir [6].

1.2 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 azaltılmasını öngören ve yasal bağlayıcılığı bulunan uluslararası bir antlaşmadır [3,4]. 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 [4]. Enerji etiketlemesi ve çevresel etiketleme, küresel ısınma ve benzeri çevresel sorunlara ilişkin duyarlılığı artırma konusunda bir araç olarak kullanılmaktadır.

Avrupa Birliği direktifleri uyarınca, üretilen çamaşır makineleri, diğer tüm evsel cihazlarda da uygulandığı üzere enerji etiketi ile piyasaya sürülmektedir. Tüketiciyi 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 [5]. Etiket üzerinde ayrıca yıkama çevrimi başına tüketilen elektrik enerjisi, su tüketimi, maksimum sıkma devri ve gürültü değerleri de bulunmaktadır. Çamaşır makinesinin enerji etiketlemesi EN-60456 standardı uyarınca yapılmaktadır [23].

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 çamaşır yıkayan çamaşır makineleri için hedef sürekli olarak büyümektedir.

Bu çalışmanın amacı, standart kapasiteli ev tipi çamaşır 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 kısmında incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan 6 kg kapasiteli çamaşır makinesinde, üç ana yıkama programı için sıcaklık ve ısı akısı ölçümleri yürütülmüş ve makinede bulunan komponentler için çevrim boyunca ayrıntılı sıcaklık haritaları çıkarılmıştır. Isı akısı ölçümlerinde, üç farklı sıcaklıktaki çevrim için, kazandan makine iç ortamına ışıınım ve taşınım ile kaybedilen ısı miktarları belirlenmiştir. Bu çalışmalara ek olarak, makinedeki ısı geçişleri ve sıcaklık dağılımı, Pamuklu-60 yıkama programı süresince ısı kamera ile görsellenmiştir.

Tüketilen elektrik enerjisinin ısı enerjiye dönüşmüş durumda çamaşır 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 çamaşır makinesinin enerji tüketiminin azaltılması konusunda hangi noktalara yoğunlaşılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

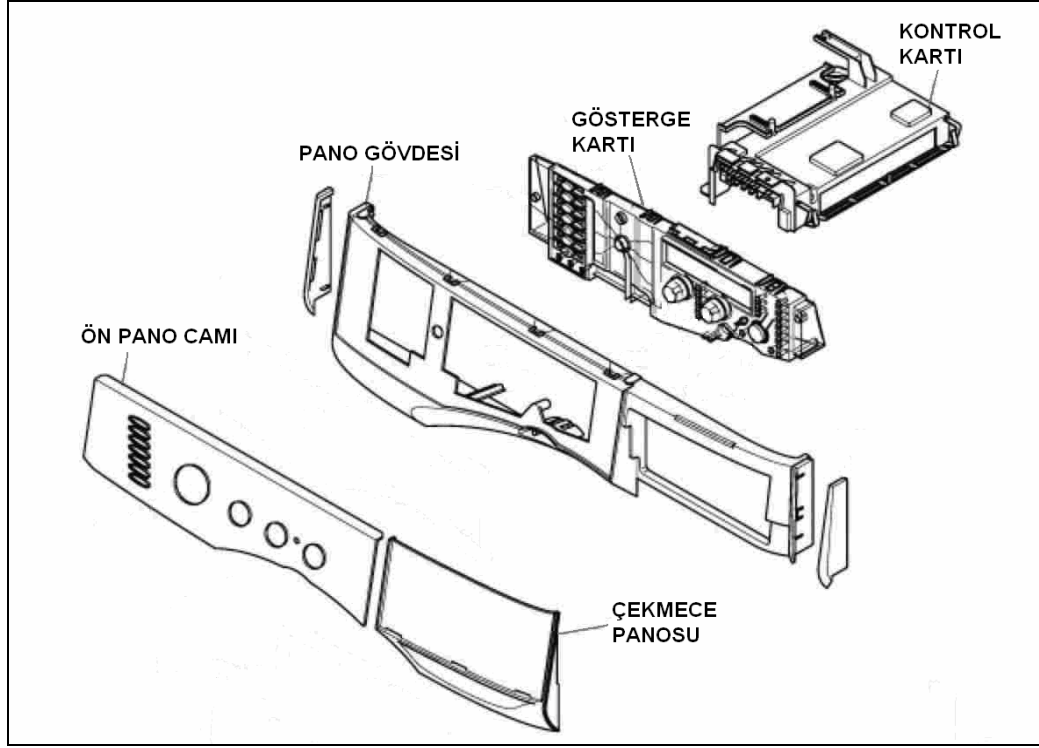
Çamaşır makinesi ile ilgili olarak bir ısı modelleme çalışması yapılmıştır. Söz konusu model için çamaşır makinesi içinde ısı transferlerinin gerçekleştiği temel kontrol hacimleri belirlenmiş ve bu hacimlerdeki elemanlar için zamana bağlı ısı dengesi denklemleri yazılarak explicit olarak çözdürülmüştür. Böylelikle, fiziksel ve yapısal özellikleri ile çevrim parametreleri belirlenen bir çamaşır makinesi için, elemanların çevrim boyunca değişen sıcaklık profilleri simüle edilmiştir. Modelden elde edilen veriler, deneysel verilerle de karşılaştırılmıştır.

Sonuç kısmında, ısı modelde elde edilen sonuçlar kullanılarak enerji tüketiminin iyileştirilmesine yönelik öneriler ve enerji kazanımı yönünden gelişmeye açık alanlar ele alınmıştır.

1.3 Çamaşır Makinesinin Tanıtılması

Çamaşır makinesi başlıca şu ana bölümlerden oluşmaktadır:

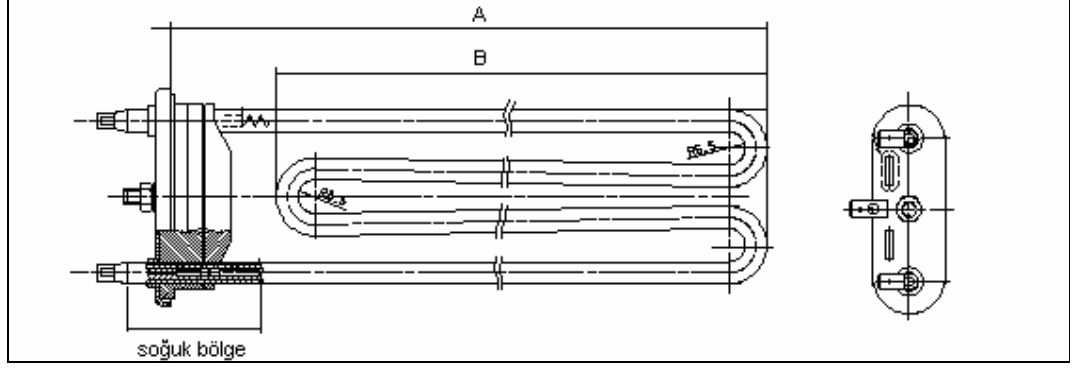
- n panel modülü : Gösterge kartı, gösterge kart tutucusu, st tabla, tekmelik, program tuş ve düğmelerinden meydana gelmektedir. (Bkz. şekil 2.3)
- Su sistemi : Makine içerisinde suyun dolaşımını sağlayan sistemdir. şebeke suyu giriş hortumu, su giriş ventili, deterjan su giriş hortumu, deterjan kutusu, deterjan çekmecesi, buhar çıkış hortumu, kazan çıkış hortumu, pompa ve tahliye hortumundan oluşmaktadır. Bu yapılara ek olarak su seviye sensörüne bağlı olan havalık ve havalık hortumu da su sistemine dahil edilmektedir. (Bkz. şekil 2.2)
- n kapak modülü : n kapak camı, n kapak erevesi ve menteşeden meydana gelmektedir. (Bkz. şekil 2.2)
- Gövde modülü : Gövdeyi oluşturan kısımlar alt şase, yan duvar sacı, n duvar sacı, arka duvar sacı ve takviye saclarıdır. (Bkz. şekil 2.2)
- Tahrik sistemi modülü : Kazan ve kazana doğrudan bağlı olan parçalar tahrik modülünü oluşturur. Kazan, tambur, tambur mili, tambur flanşı, rulmanlar, rulman yuvası, kasnak, kayış, ısıtıcı, krk, denge ağırlıkları, amortisörler ve askı yayları bu sisteme dahil edilmiştir. (Bkz. şekil 2.1)
- Kontrol sistemi : Kablo grubu ile elektronik kartlar bu gruba dahildir. Elektronik kartlar, kontrol kartı, gösterge kartı ve röle kartı olarak üç tipte bulunmaktadır.
- Komponentler : Başta NTC ve su seviye sensörü olmak üzere makine içinde bulunan tüm sensörler komponent grubuna dahildir. Sensörler dışında komponent grubunda şebeke kablosu, parazit filtresi ve motor da bulunmaktadır.



Şekil 2.3 Ön panel modülü patlatılmış resmi

1.3.1 Isıtıcı eleman ve NTC sensörü

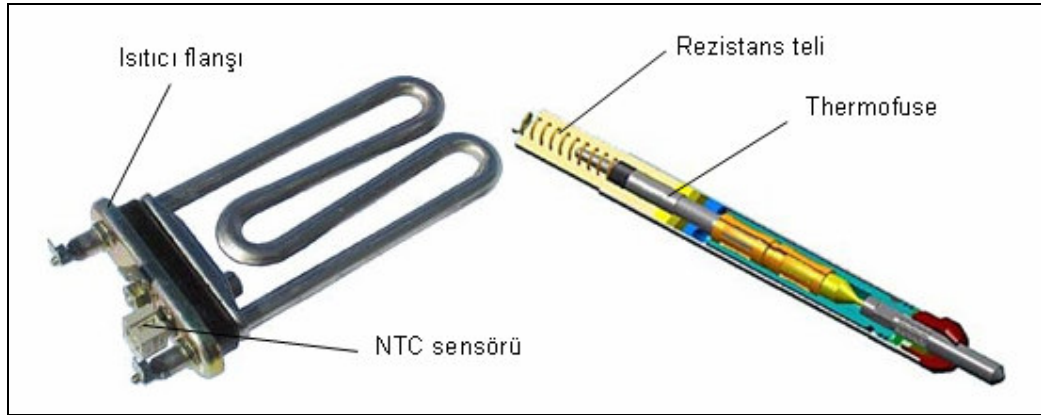
Rezistans adı da verilen ısıtıcı eleman, kazanın alt kısmında bir cep içerisine oturtulmuştur. Isıtıcılar kullanıldıkları uygulamalara göre çeşitli şekillerde imal edilebilir. Çamaşır makinesi uygulamalarında genel olarak U tipi ve W tipi olarak isimlendirilen ısıtıcılar kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de W tipinde bir çamaşır makinesi rezistansı görülmektedir. Rezistans, A ve B şeklinde gösterilen iki ana boyutla ifade edilmektedir. Bu boyutlara ek olarak sarım dönme yarıçapları ve tüp çapı da belirtilir. Isıtıcı eleman, elektriksel olarak yalıtkan MgO içine batırılmış spiral şekilli rezistans tellerinden meydana gelmiştir. MgO tabakasının üzerine korozyona dayanıklı koruyucu bir metal tabakası sarılmıştır. Bu tabaka, karbon çeliği, titanyum veya bakır olarak uygulanabilir.



Şekil 2.4 Isıtıcı eleman

Rezistans, elektronik kartta belirtilmiş bir soğuk yıkama süresinden sonra devreye girer ve yıkama suyu seçilmiş programda belirtilen değere ulaştığı zaman karttan gelen sinyalle kapanır. Isıtıcının elektronik kartla arasındaki bu ilişki, su sıcaklığını algılayan NTC sensörü ile sağlanmaktadır. Sensör, sıcaklık artışına karşı direnç düşümü esasına göre çalışmaktadır. NTC sensörü yapısal olarak ısıtıcıya entegre veya ayrı durumda bulunabilir. Şekil 2.3'te ısıtıcı flanşına entegre durumda bir NTC sensörü görülmektedir.

Isıtıcı eleman içinde rezistans telleri ile direkt olarak bağlantılı olan thermofuse sigortaları bulunmaktadır. Rezistans çalışma sırasında herhangi bir nedenle arızalandığında bu emniyet sigortaları akımı keserek cihazı kapatır. Thermofuse, ısıtıcının tek ya da her iki tarafında da bulunabilir. Şekil 2.3'te rezistans teli ve thermofuse arasındaki bağlantı gösterilmektedir. Thermofuse sigortalarının bulunduğu kısım, Şekil 2.2'de belirtildiği üzere soğuk bölge olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.5 Isıtıcı üzerinde NTC ve thermofuse yerleşimi

Isıtıcının gerilim, güç değeri ve thermofuse tipi ile ilgili bilgiler flanş üzerindeki etikette bulunmaktadır. Isıtıcı üzerinde ısı geçişinin gerçekleştiği yüzey alanı efektif alan olarak adlandırılır. Efektif alan, tüm yüzey alanından soğuk bölge alanının çıkarılmasıyla bulunur. Güç değerinin efektif alana bölünmesi ile W/cm^2 cinsinden güç yoğunluğu elde edilir. Güç yoğunluğu ısıtıcılar için tanımlayıcı bir özelliktir, kazan malzeme çeşitlerine göre herhangi bir ısıtıcının uygun olup olmayacağını belirtmektedir.

2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Çamaşır Makinesi İçin Enerji Kazanımı Ölçütleri

Çamaşır makinelerinin enerji veriminin iyileştirilmesi konusunda, enerji tasarrufu potansiyeli gösteren çeşitli tasarım opsiyonları bulunmaktadır. 14 Kasım 1994 tarihinde Amerikan Ev Eşyası Üreticileri Birliği'nin Amerikan Enerji bakanlığı ile yaptığı ortak bir çalışma sonucu temel bir opsiyon listesi hazırlanmıştır. Enerji kazanımı için uygulanabilir görülenler, Ekim 1996'da Lawrence Berkeley National Laboratory tarafından "Design Options For Clothes Washers" adı altında bir rapor halinde enerji bakanlığına sunulmuştur [6].

Çamaşır makinesinde enerji kazanımı ölçütlerinin belirlenmesi amacı ile yapılan çalışmalardan bir diğeri ise Mayıs 1995'te Avrupa'da, "Washing Machines: Long Term Efficiency Targets, a technical and economic analysis" adı altında yayınlanmıştır. GEA (Group of Efficient Appliances) ve vH&K'nın (van Holsteijn en Kemna) yayınladığı bu rapor, gelecek süreçte teknik fizibiliteye sahip, tüketici açısından ekonomik olarak uygun enerji kazanımı tasarım opsiyonlarını ortaya koymaktadır. CTTN-IREN araştırma enstitüsü ile yürütülen çalışmalar sonucu temel bir opsiyon listesi oluşturulmuştur [7].

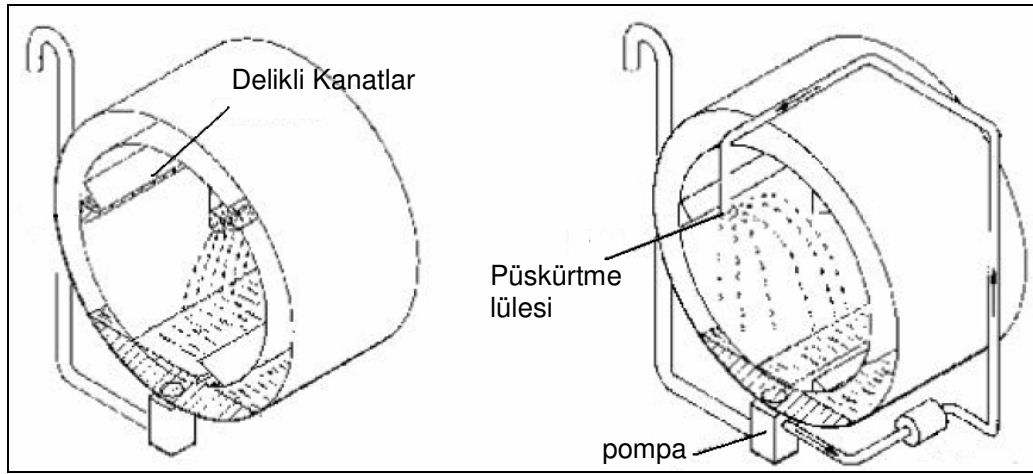
Bu çalışmada, çamaşır makinesinde enerji kazanımı ile ilgili olan ölçütler, su tüketimi, ısıt yöntemler ve diğer çalışmalar olmak üzere üç temel grup altında incelenmiştir.

2.1.1 Su ve enerji tüketimi ilişkisi

Çamaşır makinesinin su ve enerji tüketimi arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Isıtılan su miktarı, enerji tüketimini de büyük oranda etkiler. Su seviye sensörleri ve su sistemleri ile ilgili tüm tasarım çalışmaları, optimum su ile en az enerjiyi tüketme ve en etkin yıkamayı yapma amacına sahiptir. Önden yüklemeli çamaşır

makinelere eklenen pasif ve aktif su sistemleri de bu amaca yöneliktir (Bkz. Şekil 2.6). Bu sistemler suyun dolaşımını sağlamaktadır.

Pasif su sistemi, kazanın alt kısmında kalan suyu, tamburun her dönüşünde kepçe benzeri yapılarla tamburdaki kanatların içine alan sistemdir. Bu kanatların üzerinde bulunan delikler, suyu çamaşırın üzerine püskürterek mekanik etkiyle az miktarda su kullanarak efektif yıkama sağlamaktadır. Aktif su sisteminin fonksiyonu da pasif sistemle benzerdir. Burada bir pompa vasıtasıyla sürekli olarak kazan karterinden çekilen su, kapağın üstünde bulunan bir lüle ile yükün üzerine püskürtülür. Kazanın ve tambur arasında kalan az miktarda su, bu yolla yıkamaya katılmaktadır [7].



Şekil 2.6 Pasif ve aktif su sistemi

Çamaşır makinesinde su dolum kontrolü için su seviye sensörü ve hava hortumu kullanılmaktadır. Hava hortumunun bir ucu kazanın alt kısmına, diğer ucu ise su seviye sensörüne bağlıdır. Su, kazan içine dolduğunda, hortumdaki havanın hacmi azalır ve basıncı artar. Bu basınç artışı, basınç sensörünü aktive ederek su giriş valfini kapatır. Daha hassas bir su seviye sistemi, kazanın aşırı dolumunu engellediği için su ve buna bağlı olarak enerji tasarrufu sağlamaktadır [6].

2.1.2 Isıl yöntemlerle enerji kazanımı

Çamaşır makinesi için ısı verim, ısıtıcının yükü ve suyu ısıtmak için kullandığı enerjinin, ısıtıcının toplamda tükettiği enerjiye oranıdır. Bu iki tüketim değeri arasındaki fark, makinenin ısı geçişi ve ısınma ile kaybettiği enerjidir. Makinenin tükettiği elektrik enerjisinin büyük bir kısmı ısı enerjisi olarak, kalan kısmı ise

yıkama ve sıkma mekanik işi olarak harcanmaktadır. Isıya dönüşen enerjinin bir kısmı ana yıkama ve durulama suları üzerinden sistemi terketmektedir. Geri kalan ısı enerjisi de makine komponentleri üzerinde depolanır ve ısı geçiş mekanizmaları ile sistemden kaybedilir [6].

Çamaşır makinesinde enerji kazancı ile ilgili literatür incelendiğinde, çalışmaların genel olarak yalıtım uygulamaları, ısı değiştiriciler ve ısıtıcı eleman yeri ve tipi ile ilgili olduğu görülmüştür. Bu çalışmadaki ısıl yöntemler de söz konusu başlıklarla incelenmiştir.

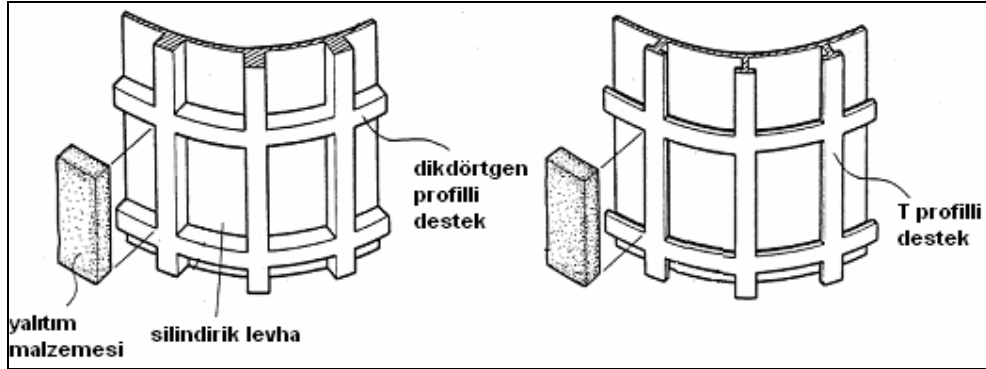
2.1.2.1 Yalıtım uygulamaları

Tipik bir çamaşır makinesi çevriminde, ısıtma fazı sonrasında sürekli rejim yıkama fazı başlar ve durulamaya kadar sürer. Tepe sıcaklığına ulaşılmasını takip eden ilk dakikalar içinde yıkama suyu, yaklaşık 1 °C/dak hızla 2-3 °C kadar soğumaktadır. Bu ilk soğuma, yıkama suyu ile çamaşırın sıcaklık dağılımı homojen bir hal alana kadar devam etmektedir. Söz konusu soğumanın miktarı, tamburun dönme sıklığı ve yönü şeklinde açıklanan mekanik etkiye bağlıdır. Ticari çamaşır makinelerinde homojen soğuma hızı genel olarak 0,15-0,3 °C/dak değerindedir. Bu soğuma hızı, makineden dış ortama olan ışınlım ve taşınımı temsil etmektedir. Suyun ısınması ile birlikte kazan, cam kapak, dış kabin ve denge ağırlıkları da birer ısı kuyusu gibi davranarak ısı kaybına neden olur [7].

Çalışmalar genel olarak kazanın dış kısmına yalıtım uygulanmasıyla ilgilidir. Çevrim süresince makine gövdesinden ısı kaybı olduğu için kazana yalıtım uygulamak, ana yıkama için gerekli su sıcaklığını azaltabilir. Fakat suyun ısıl sığası büyük olduğu ve kazan sıcaklığı bağıl olarak düşük kaldığı için yıkama sırasındaki düşüş 1-2 derece ile sınırlı kalmaktadır. Kazana uygulanan yalıtımın etkisini belirlemek amacıyla bir üretici tarafından bilgisayar simülasyonları yapılmıştır. 60°C’de 20 dk süren yıkama simülasyonu sonucunda, 25 mm kalınlığındaki bir cam yünü yalıtımın yalıtımsız duruma göre, ısıtma sonrası yıkama sıcaklık eğrisinde 1-2 °C’lık bir artış sağladığı gözlemlenmiştir [6].

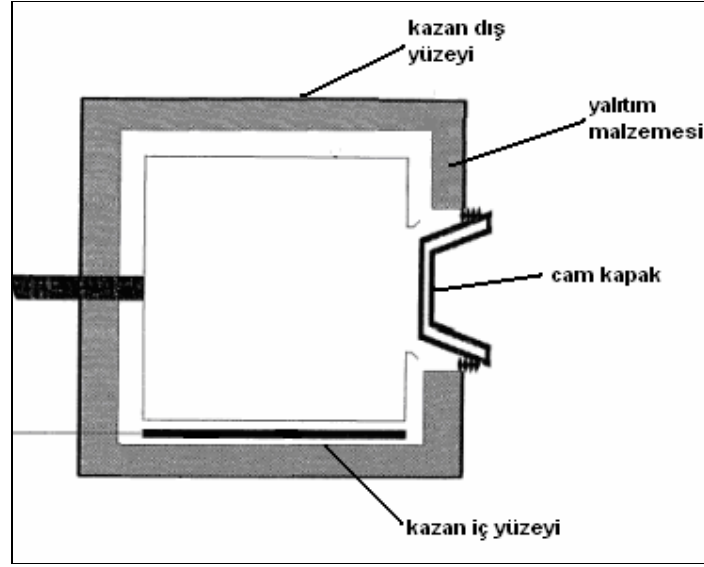
Çamaşır makinelerinde yalıtım konusunda yapılmış patent çalışmaları da mevcuttur. “Insulating structure of a washing machine having a water container cover” başlıklı

bir patent çalışmasında, dikey eksenli bir çamaşır makinesinin kazanına uygulanan ısı ve ses yalıtımından bahsedilmiştir. Bu amaçla kazanının dış kısmı, çubuklarla desteklenen silindirik bir yalıtım duvarı ile kaplanmıştır ve çubukların arasına yalıtım malzemesi yerleştirilmiştir [8]. Şekil 2.7’de gösterildiği üzere destek çubukları, dikdörtgen veya T profilli olarak uygulanabilmektedir. Patentte yalıtım malzemesi konusunda bir bilgi verilmemiştir.

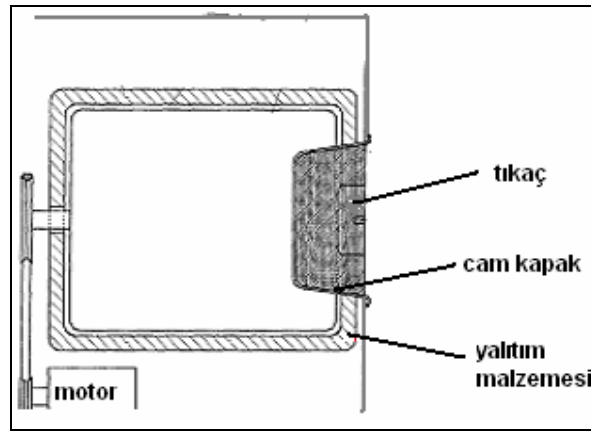


Şekil 2.7 Profil destekli kazan yalıtımı

Kazan yalıtımı ile ilgili bir diğer patent çalışması “Washing Machine” başlığı ile yayınlanmıştır. Patente konu olan çamaşır makinesi kazanı çift duvarlı olup iki duvar arasına toz şeklinde yüksek kaliteli silicic asit bazlı yalıtım kütlesi yerleştirilmiştir [9]. Yalıtımlı kazanın profili Şekil 2.8’de görülmektedir. “Washing machines, driers, dishwashers also freezers and similar machines equipped with heatable or coolable containers” adlı diğer bir çalışmada ise, kazan yalıtımı cam kapak yalıtımı ile desteklenmiştir. Kazan yalıtımına ek olarak cam kapak, yalıtım malzemesiyle oluşturulan çıkartılabilir bir tıkaçla kapatılmıştır (Bkz. Şekil 2.9) [10].

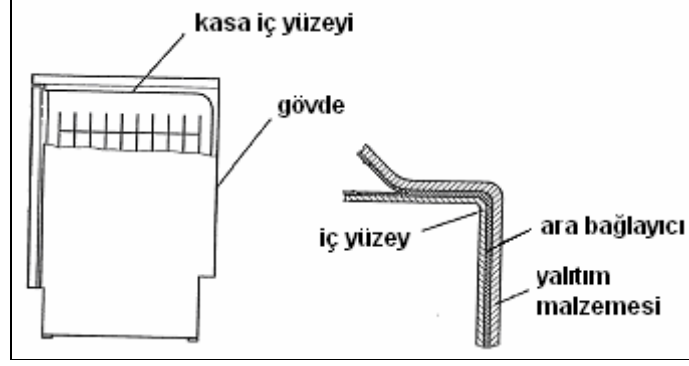


Şekil 2.8 Çift duvarlı kazanda ısı yalıtım



Şekil 2.9 Kazan ve cam kapak yalıtımı

Isıl yalıtım konusuna ilişkin bir patent çalışmasında da kazan ve dış kasaya uygulanan yalıtımdan bahsedilmektedir. Bükülebilen bitüm, plastik veya mineral liflerinden imal edilen yalıtkan keçe, makine kasasının iç yüzeyine ya da kazanın dış kısmına sıkıca yapıştırılır veya eritilerek uygulanır. Yalıtım malzemesi ile bağlandığı yüzey arasında ara bağlayıcı bir madde bulunmaktadır (Bkz. Şekil 2.10). Ara bağlayıcı, kağıt veya termoplastik türevli bir malzemedir [11].



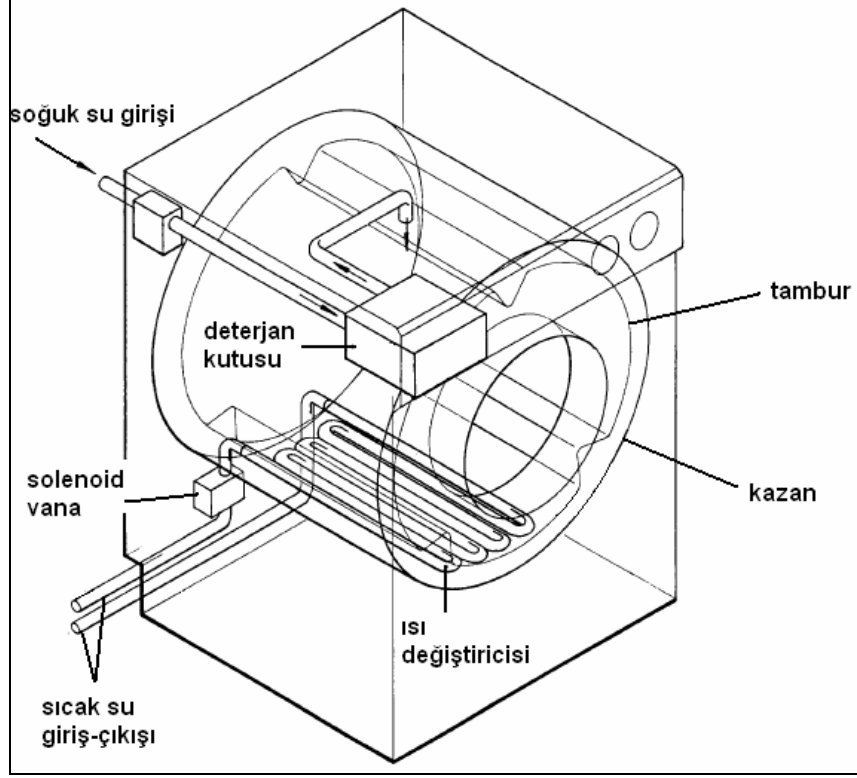
Şekil 2.10 Dış kasa yalıtımı

2.1.2.2 Isı değıştiricisi uygulamaları

Çamaşır makinelerinde ısı değıştiricilerinin kullanımı teknikte bilinen bir konudur. Isı değıştiricileri, elektrik enerjisinden farklı olan ısı kaynakları kullanarak yıkama suyunu ısıtmaktadır. Söz konusu ısı kaynaklarına, fosil yakıtlı bir merkezi bir ısıtma sistemi, güneş enerjisi, jeoısıl bir kaynak veya faz değıştiren bir malzeme örnek gösterilebilir.

Herhangi bir ısı kaynağından doğrudan faydalanmak için sıcak su girişli çamaşır makineleri kullanılmaktadır. Bu makinelerde istenen yıkama sıcaklığına göre su girişı, belli oranlardaki sıcak ve soğuk suyu karıştırmak sağlanmaktadır. Yıkama suyu sıcaklığının daha hassas olarak kontrolü için termostatik kontrollü valfler kullanılır. Termostatik kontrollü bir karışım valfi, su sıcaklığını okuyarak gerekli yıkama sıcaklığına göre sıcak ve soğuk su giriş miktarlarını ayarlar [6].

Elektrik dışındaki ısıl enerji kaynaklarından dolaylı olarak yararlanmak için ısı değıştiricileri kullanılmaktadır. Bölgesel jeoısıl sıcak su ile ısı değıştiricisi kullanarak yıkama suyu ısıtılmasına ilişkin, Ecofys enerji şirketi tarafından 2000 yılında Hollanda’da yayınlanmış deneysel bir çalışma bulunmaktadır [12]. Çalışma için kullanılan çamaşır makinelerine ısı değıştiricisi eklenmiştir. Isı değıştiricisi, kazan ve tambur arasında rezistansın bulunduğu bölgeye konulmuştur. Modifiye edilmiş makinedeki ısı değıştiricisi yerleşimi ve bağlantıları Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



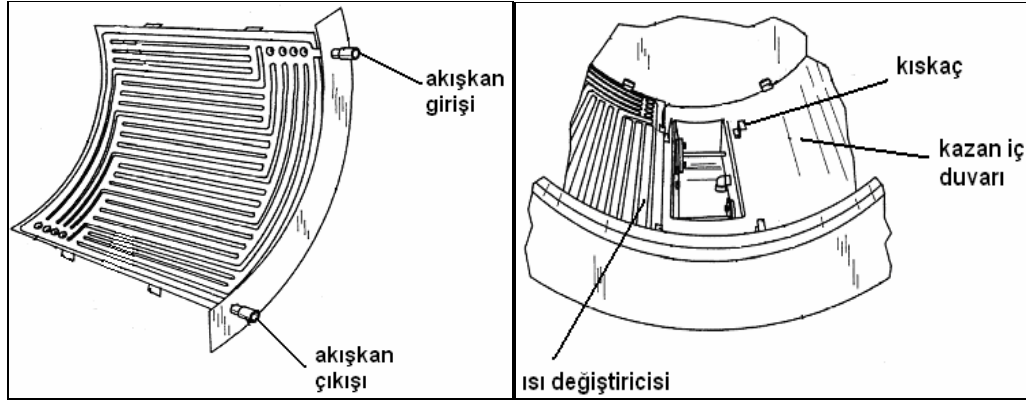
şekil 2.11 Isı değiştiricili çamaşır makinesi

Deney makinelerinin kontrol kartında da yıkama sıcaklığı kontrolü için değişiklik yapılmıştır. Isı değiştiricisi, istenen yıkama sıcaklığına çıkmakta yetersiz kalıyorsa yardımcı elektrikli ısıtıcı devreye girerek suyu istenen sıcaklığa kadar ısıtır. Bu da örnek olarak 70°C'lik bir bölge suyu sıcaklığında 95°C'lik yıkamayı mümkün kılmaktadır.

Laboratuvarda yürütülen deneyler, 5 kg çamaşır yükü ile 60°C pamuklu programında yapılmıştır. Sonuç olarak, geleneksel rezistanslı ısıtma yapan makinenin ortalama elektrik enerjisi tüketimi 1050 Wh olurken, aynı şartlar altında, ısı değiştiricisi eklenmiş makinenin ortalama elektrik tüketimi 216 Wh değerini almıştır. Isı beslemeli makine ile mevcut elektrik enerjisi tüketiminin % 80 oranında azaltıldığı görülmüştür. Sahada yürütülen deneylerin sonucunda ise kazan % 78 olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu kazan düşüşünün nedeni, saha deneylerindeki ana yıkama suyu miktarlarının daha fazla olmasıdır.

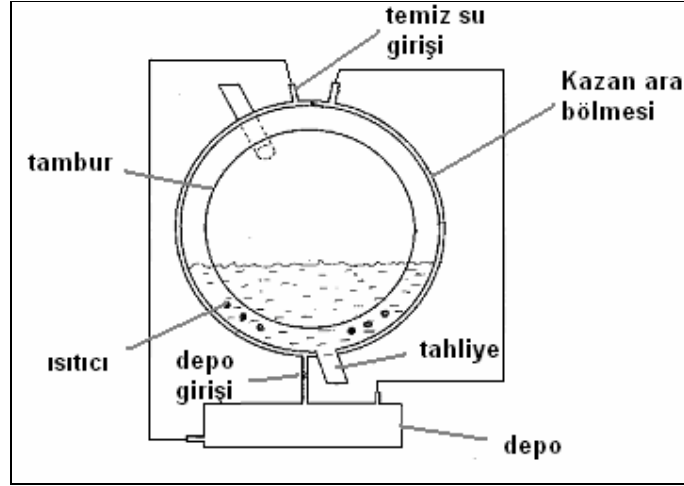
Çamaşır makinesinde ısı değiştiricisi kullanımına ilişkin patent çalışmaları da mevcuttur. Bu konuda alınmış bir patent, takılıp çıkarılabilen tipte ısı değiştiricisiyle

ilgilidir [13]. Isı değiştiricisi, büyük miktarda yıkama suyu kullanan endüstriyel çamaşır yıkama makinelerinde suya ön ısıtma yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Kazan ve tambur arasına yerleştirilen ısı değiştiricisi, kazanın iç yüzeyine kılavuz kıskaçlar yardımıyla tutturulmakta ve kazan iç duvarından belli bir mesafede bulunmaktadır. Isı değiştiricisinin kazan iç yüzeyi ile aralıklı olarak yerleştirilmesi, yıkama sıvısının ısı değiştiricisinin her iki yüzeyine de temas etmesini ve böylece ısı geçişinin artmasını sağlamaktadır. Isı değiştiricileri plaka veya levha tipinde olabilir (şekil 2.12).



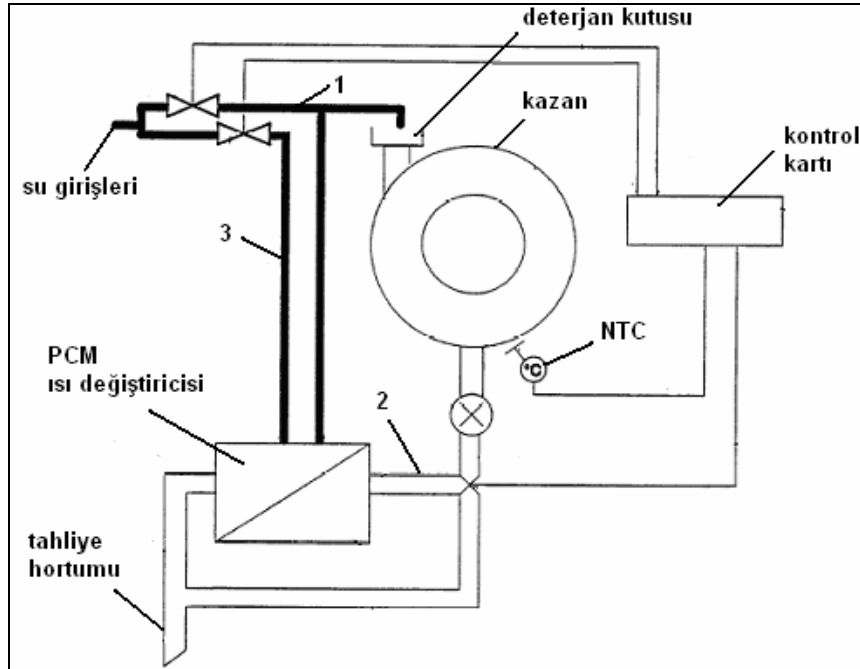
şekil 2.12 Ön ısıtma amaçlı ısı değiştiricisi

Çamaşır makinesinde ısı değiştirici kullanımı ile ilgili bir diğer patentte ise atık ısı geri kazanımından bahsedilmektedir [14]. Çamaşır makinesinde ısı değiştirici olarak çift bölmeli kazan kullanılmıştır. Kazanın bu yapısı sayesinde, kullanılmış su tahliye edilmeden önce temiz suyun ısıtılmasını sağlamıştır. Suyun takip ettiği yollar şekil 2.13'te gösterilmiştir. Soğuk su girişinden gelen temiz su, kazandaki bölmelerin arasından geçerek kullanılmış suyun ısını alıp ısıtılmış ve temiz su çıkışından depoya gönderilmiştir. Bu sırada ısı alınan kullanılmış su ise atık sistemine boşaltılmıştır. Çamaşır makinesi çevriminde sadece tek bir ısıtma adımı olduğu düşünülürse, söz konusu ısı geri kazanımının arka arkaya yapılan yıkama çevrimleri için enerji tüketimi açısından yararlı olabileceği görülmektedir.



Şekil 2.13 Isı değiştirici kazan yapısı

Isı değiştiricilerin çamaşır makinesi uygulamalarının bir kısmı da faz değiştiren malzemelerle ilgilidir. Faz değiştirici malzeme ile ısı geri kazanımı konusundaki bir patentte, çamaşır makinesi örneği üzerine durulmuştur [15]. Şekil 2.14'te patente konu olan çamaşır makinesinin genel görünümü verilmiştir. Çamaşır makinesine giren temiz yıkama suyu, 1 no'lu hortumdan önce deterjan kutusuna ve sonra kazana gönderilmiştir. Kazanda ısıtılan su, yıkama bitiminde 2 no'lu boru ile PCM ısı değiştiricisine girer ve burada atık ısı depolanarak tahliye edilir.



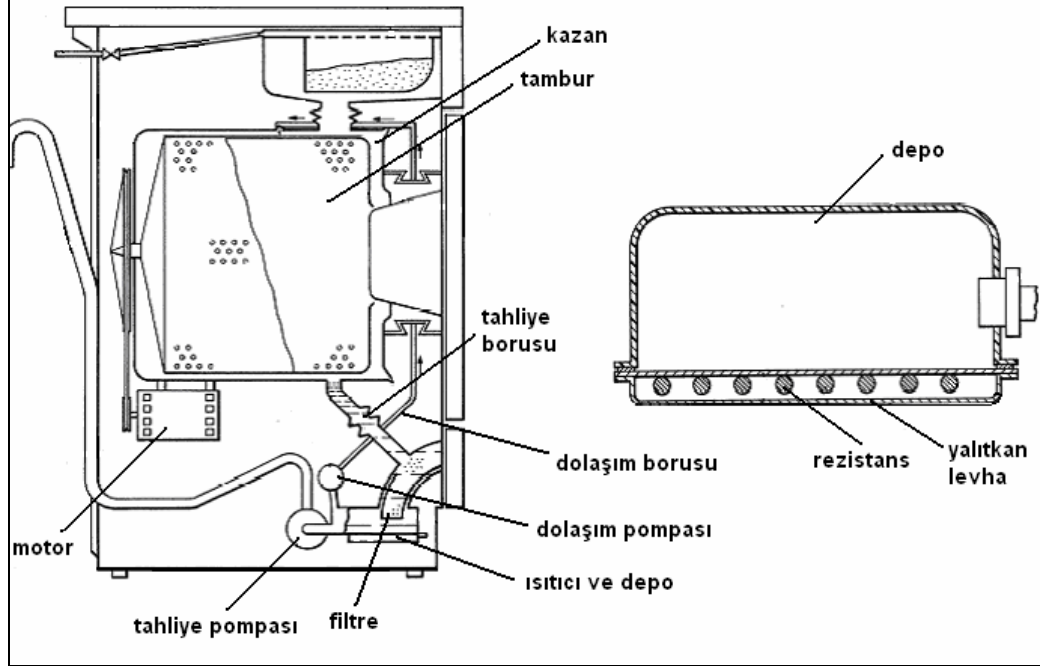
Şekil 2.14 Faz değiştirici malzeme ile atık ısı kazanımı

İki girişı ve çıkışı olan, çevresi ısıya karşı yalıtılmış ısı değiştiricinin ortasında atık ısıyı emince faz değiştiren bir madde bulunmaktadır. Bir sonraki yıkama çevriminde makineye 3 no'lu hortumdan giren soğuk su, ısı değiştiricisine gönderilir. Burada depolanmış ısıyı üzerine alır ve sonrasında yıkama için kazana gönderilir. Bu ısı değişimi sırasında PCM, tekrar eski fazına dönmektedir. Patentte anlatılan uygulama kullanılarak, arka arkaya yapılan yıkama çevrimleri için enerji kazancı sağlanmaktadır.

2.1.2.3 Isıtıcı eleman yeri ve tipi ile ilgili uygulamalar

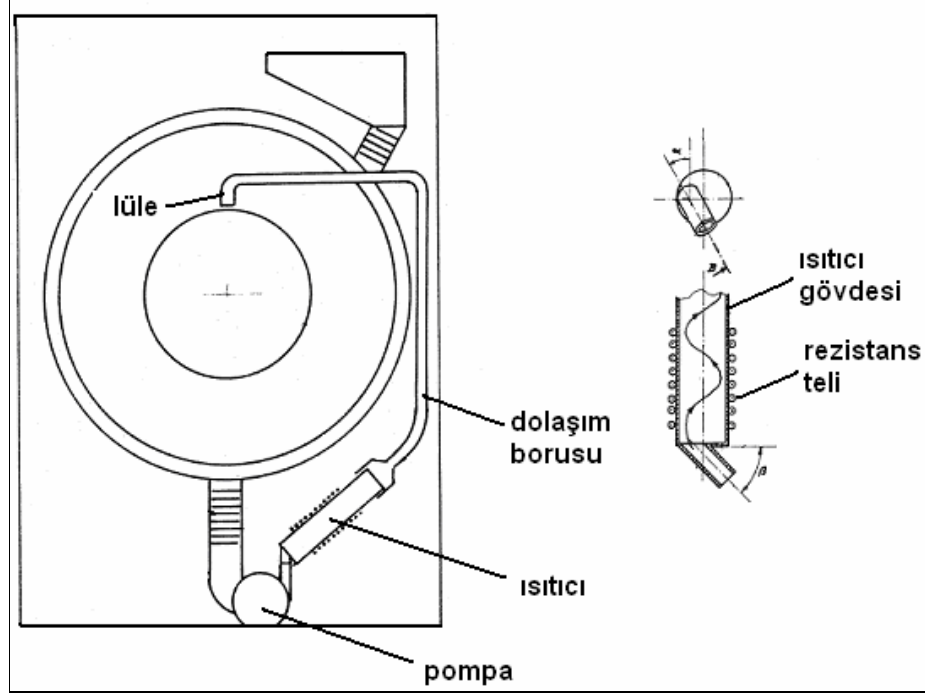
Çamaşıır makinesinde kullanılan ısıtıcı eleman genellikle kazan ile tambur arasında, kazanın alt kısmındaki bir cep içerisinde bulunmaktadır. Yıkama sırasında ısıtıcının yüzeyine, çamaşıır lifleri, kir ve deterjan tanecikleri yapışır. Isı transferinin olduğu yüzey alanının azalması ısı geçişini olumsuz etkiler ve zamanla aynı miktardaki suyu ısıtmak için daha fazla elektrik enerjisi tüketilmeye başlar. Bu teknik problemin ortadan kaldırılması için, alternatif akış içi ısıtıcı konstrüksiyonları ve konumları ile ilgili çalışmalar yürütölmüştür.

Isıtıcı yeri ve tipi ile ilgili bir patentte, ısıtıcı kazan dışında bir haznede bulunmaktadır [16]. Patente konu olan çamaşıır makinesi, kazan, kazanın içinde motor tahriği ile dönen tambur, kazanın altında yer alan ve içinde ısıtıcı bulunan bir depo, suyun dolaşımını ve tahliyesini sağlayan pompa ve boru bağlantılarını içermektedir. Makine ve ısıtıcının genel görünümü şekil 2.15'te sunulmuştur. Kazan, alt kısmında bulunan tahliye borusu ile ısıtıcı ve depoya bağlanır. Tahliye borusundan gelen su ısıtıcıya gelmeden filtreden geçerek çamaşıır artıklarından ve pislikten arındırılır. Yıkama suyu depoya ulaştıktan sonra tekrar yıkamanın olduğu tambura dolaşım pompası ve borusu ile gönderilir. Termoset malzemeden yapılan deponun alt kısmında metal levha ile kapatılan bir açıklık bulunmaktadır. Elektrik rezistansı bu levhanın alt kısmına yerleştirilmiştir. Rezistansın oluşturduğu ısı, iletim ve ışıınım ile levhaya ulaşır ve yıkama suyunun ısınması sağlanır. Rezistans yalıtım zarfıyla kaplanmışır böylece depo dışına ısı kaçağı engellenmeye çalışılmışır.



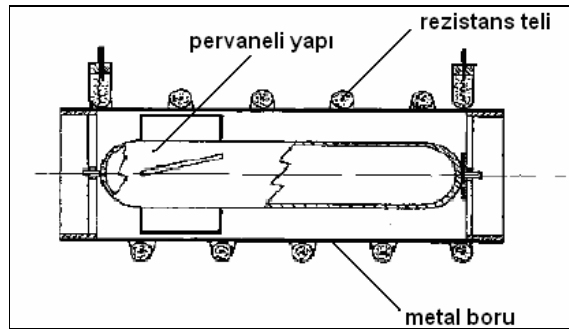
Şekil 2.15 Depolu akış içi ısıtıcı

Çamaşır makinesinde alternatif ısıtıcı konusundaki diğer bir patent çalışmasında, akış içi ısıtıcıdan bahsedilmiştir [17]. Isıtıcı, içi boş silindir şeklinde bir gövde ve bunun dışına sarılmış rezistans telinden ibarettir. Isıtıcı, çamaşır makinesinin kazanının dışında makinenin alt kısmında bulunmaktadır. Bu şekilde yıkama suyu içindeki artıklar ısıtıcının yüzeyine yapışmaz ve ısı geçişinin yapıldığı yüzey alanı daralmaz. Isıtıcı ve su arasında doğrudan bir temas bulunmamaktadır. Bu yüzden suya türbülanslı bir akış sağlanarak ısı transfer etkinliğinin azalması engellenmiştir. Yıkama suyu, kazanın altında bulunan tahliye borusundan dolaşım pompasına gönderilir. Dolaşım pompasından ısıtıcıya giden besleme borusunda kesit daraltılarak ısıtıcı girişindeki akış hızı artırılmıştır. Besleme borusundan çıkan su, ısıtıcı gövdesine belli bir açı ile gönderilir. Burada amaç, su akışının türbülanslı olmasını sağlayarak ısı geçiş etkinliğini arttırmaktır. Isıtıcıyı terkeden su, dolaşım kanalından geçerek bir lüle vasıtası ile tekrar kazana girmektedir. Şekil 2.16’da ısıtıcı ve makine içindeki yerleşimi gösterilmiştir.



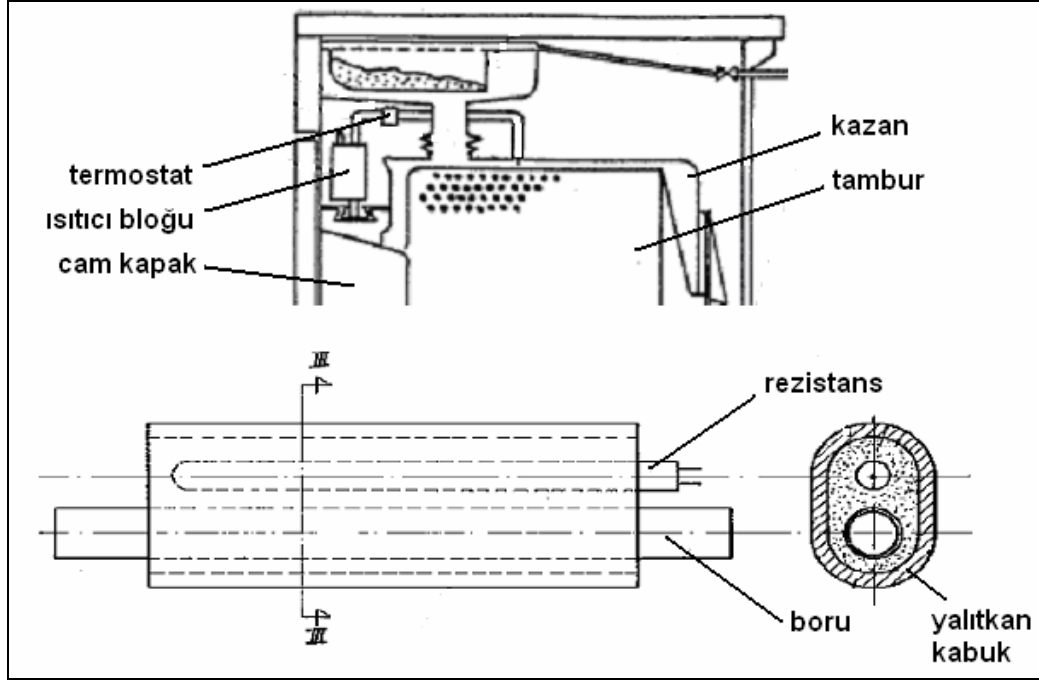
Şekil 2.16 Türlölanslı akış içi ısıtıcı

Çamaşır makinesi için alternatif durumdaki akış içi ısıtıcılarla ilgili başka bir patentte ise türlölanslı akışı sağlamak için pervaneli yapı kullanılmıştır [18]. Bahsi geçen ısıtıcı, iletken metal boru üzerine bobin şeklinde sarılmış bir rezistanstır (Bkz Şekil 2.17) ve diğler akış içi ısıtıcılarda olduğı gibi yıkama suyunun devridaim yaptığı bir hat üzerindedir. Isıtıcının bulunduğı kısma, çamaşır artıklarının ve pisliğın boru iç yüzeyine yapışmasını engellemek amacıyla boru ile eş merkezli pervaneli bir yapı yerleştirilmiştir. Pervaneli yapının bulunduğı kısımda kesit alanı daraldığı için akış hızı artar. Akışın döndürdüğü kanatlar, bu kısımdaki çökeltileri santrifüj etkisiyle süpürür. Bu yapı ayrıca, türlölans etkisiyle ısı geçişini etkinleştirmektedir.



Şekil 2.17 Pervaneli akış içi ısıtıcı

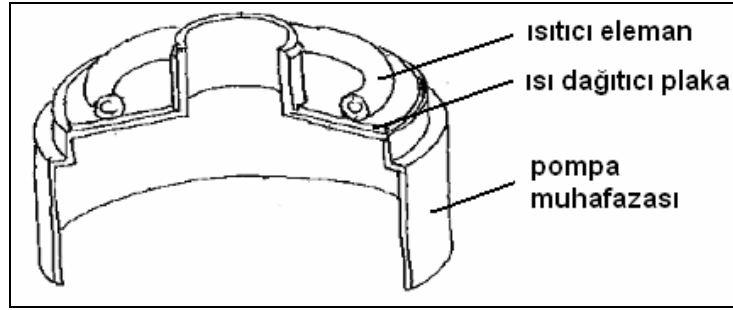
Akış içi ısıtıcı konusunda alınmış diğer bir patentte ise ısıtıcı, iletken blok içine gömülmüş rezistans biçimindedir ve yine yıkama suyunun dolaşım yaptığı, sirkülasyon pompalı bir kanal üzerinde bulunmaktadır [19]. Isıtıcı ile kazan girişi arasına yıkama suyu sıcaklığına göre kontrolü sağlayan bir termostat konulmuştur. Kazan, alt kısmından filtreli bir depoya bağlıdır. Filtre, yıkama suyunu pislik ve çamaşır artıklarından arındırarak ısıtıcıya temiz bir akış gönderir. Isıtıcı, alüminyum gibi yüksek ısı iletkenliğe sahip maddeden yapılmış bir bloktur. İletken bloğun içinden rezistans ve su borusu geçmektedir. Blok, ısının dağılmasını engelleyen yalıtkan bir kabukla kaplanmıştır. Isıtıcının genel görünüşü ve makine içindeki yerleşimi Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Blok biçimli akış içi ısıtıcı

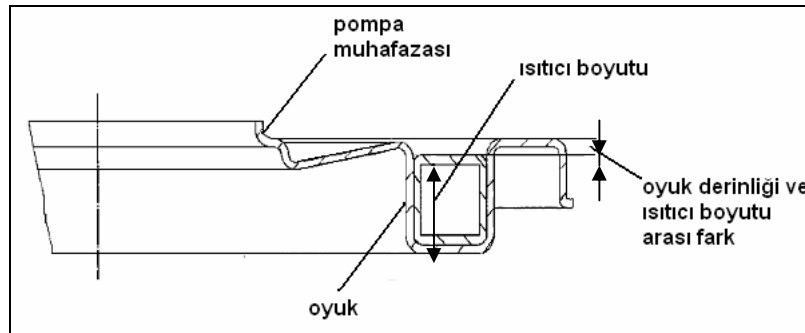
Akış içi ısıtıcı konusundaki bir patent çalışmasında, muhafazasında ısı dağıtıcı plaka bulunan bir çamaşır makinesi pompasından bahsedilmektedir [20]. Burada, kazan ve pompa arasında bir su dolaşım hattı söz konusudur. Pompanın muhafazasının üzerinde ısıtıcı eleman bulunmaktadır (Bkz. Şekil 2.19). Isıtıcı eleman ve pompa muhafazası arasında, ısının homojen ve çabuk dağıtılmasını sağlayan yüksek iletkenlikli ve geniş yüzeyli bir plaka vardır. Pompa muhafazası yüksek kalitede paslanmaz çelikten, dağıtıcı plaka ise alüminyumdan imal edilmiştir. Isıtıcı eleman, dairesel bir tüp şeklindedir ve dağıtıcı plakanın üzerine yerleştirilmiştir. Dağıtıcı

plaka, pompa muhafazasına lehimle tutturulmuştur. Buluşun amacı, yıkama suyunun ucuz ve basit bir konstrüksiyon kullanılarak pompa içinde sürekli biçimde ısıtılmasıdır. Burada yıkama suyu ve çamaşır artıkları, ısıtıcı ile doğrudan temas etmediği için, suyun ısıtıcı üzerindeki ısı geçişini kötüleştiren olumsuz etkileri de ortadan kaldırılmış olur.



Şekil 2.19 Pompaya entegre edilmiş akış içi ısıtıcı - 1

Çamaşır makinesi pompasına entegre edilmiş ısıtıcı konusundaki bir başka patent çalışmasında ısıtıcı, pompa muhafazasının dış kısmında açılan bir oyuğa yerleştirilmiştir [21]. Konstrüksiyonun yapısı, ısıtıcı ve muhafaza arasındaki ısı geçiş yüzeyini arttıracak şekilde tasarlanmıştır. Isıtıcının yerleştiği oyuk, muhafazanın iç kısmında bir girinti oluşturmuştur. Bu şekilde, aynı zamanda pompa içindeki sıvı ile muhafaza arasındaki temas alanı da genişletilmiş olur. Muhafazadaki oyuk derinliğinin ısıtıcı boyutundan fazla olması, ısıtıcıdan olan ısı kayıplarını en aza indirmiştir ve sıvıya geçen ısı maksimize edilmiştir (Bkz. Şekil 2.20). Isıtıcı eleman ve muhafaza duvarı arasında ısı iletkeni bir dolgu bulunmaktadır. Isıl teması iyileştiren dolgu, aynı zamanda yine ısı etkileri nedeniyle meydana gelen boyut değişikliklerinin ısı geçişini olumsuz etkilemesini engellemektedir.



Şekil 2.20 Pompaya entegre edilmiş akış içi ısıtıcı - 2

2.1.3 Diğer yöntemler

Çamaşır makinesinde enerji tüketiminin azaltılması konusunda yapılan çalışmalar su tüketiminin azaltılması ve ısı verimin artırılması ile sınırlı kalmamıştır. Diğer yöntemler adı altında incelenen enerji kazanımı çalışmaları, motor veriminin iyileştirilmesi ve yıkama sıcaklığı kontrolü olarak iki grup altında toplanmıştır.

2.1.3.1 Motor verimi

Çamaşır makinesinde ısıtıcıdan sonra en fazla enerji tüketen ikinci eleman motordur. Bu yüzden enerji tüketimi azaltılması konusunda, motor verimi ile ilgili çalışmalar da yürütülmüştür. Motorun tükettiği enerji, mekanik güç gereksinimi, motor verimi ve bu gücün çekildiği süreye bağlıdır. Motorun güç gereksinimi şu faktörlere bağlıdır:

- Sürtünme ve tahrik zinciri kaybı (yatak, kayış vs.)
- Tamburun dönme kinetik enerjisi (tambur ataleti, kütle dağılımı)
- Hidrodinamik direnci yenmek için gerekli kinetik enerji (suda dönen tambur)
- Su hareketi için gerekli kinetik enerji (su kaldırıcı kanatlar dahil)
- Yükün dönmesi ve yer değiştirmesi için gerekli olan kinetik enerji

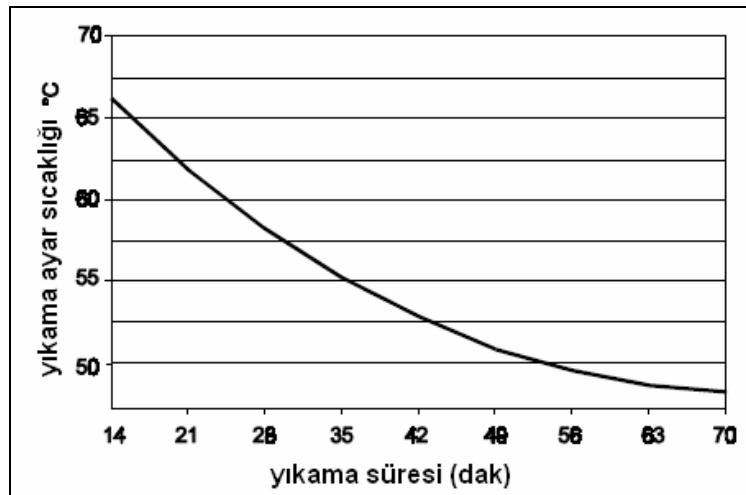
Bahsi geçen beş faktör de sıkma hızı, tambur çapı, kaldırıcı kanatlar, kayış tipi ve yatak kalitesi gibi konstrüktif yapılarla ilgilidir. Zaman faktörü, motorun çalışır durumda olduğu toplam çevrim süresi ile mekanik etki yüzdesine bağlıdır. Mekanik etki yüzdesi, motorun hareketli olduğu sürenin toplam çevrim süresine oranıdır. Motor verimi ise, motor kapasitesine, yüke, motor tipine ve tasarımdan kaynaklanan iç kayıplara bağlıdır [7].

Çamaşır makinesi motorunun verimi, standart koşullar altında ve motor verilen işi yaptığı durumda % 50'ye varan bir farklılık göstermektedir. Ucuz bir alternatif akım motorunun nominal verimi % 55-60 arasındadır. Bu motorun verimi, çamaşır makinesinde çalıştığı durumda % 25-28 arasında değişmektedir. Motor tipinin de verim konusunda etkili olduğu belirtilmiştir. Ucuz alternatif akım motorlarının çalışma verimi % 25'tir. Bu tiplerin daha gelişmiş versiyonlarının verimleri % 32'ye kadar çıkabilmektedir. Pazardaki en iyi çamaşır makinelerinde bulunan doğru akım

motorları % 35 verime sahiptir. Uzun vadede, % 50 çalışma verimine sahip anahtarlama relüktans motorlarının kullanımı söz konusudur [7].

2.1.3.2 Yıkama sıcaklığı kontrolü

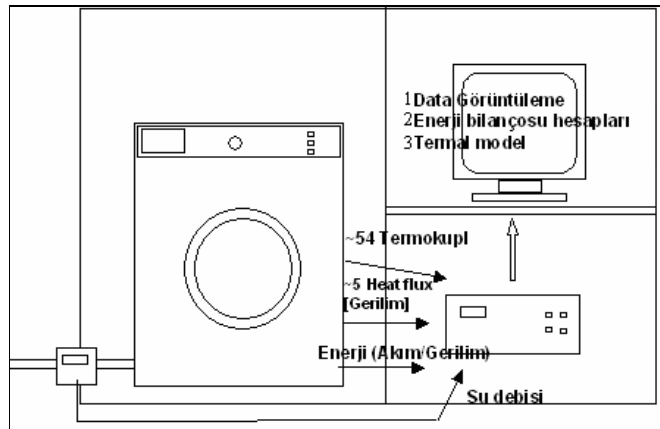
Yıkama sıcaklığı ve süresi arasında, belli bir yıkama performansı için, ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Isıtma sonrasında çıkılan maksimum su sıcaklığı ne kadar yüksekse, ardından gelen sürekli rejim yıkamanın süresi de optimum bir yıkama performansı sağlayacak şekilde o kadar azaltılabilir. Tersine yıkama süresi arttırılırsa, daha düşük bir sıcaklıkta yıkama yaparak aynı yıkama performansı elde edilebilir. Bu durum, büyük makine üreticilerinin de kullandığı bir durumdur. Programların gerektirdiği yıkama ayar sıcaklıkları normalden bir kaç derece daha düşük seçilmektedir. 60 °C için 53-58 °C, 40 °C için ise 36 °C'lik ısıtıcı kapama sıcaklıkları kullanılması bu uygulamaya örnektir. Bu durum, enerji kazanımı sağlarken yıkama performansını da korumaktadır. Şekil 2.21'de belli bir yıkama performansı için yıkama süresi ve ayar sıcaklığı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Burada süre, ısıtma sonu ile durulama başlangıcı arasındaki sürekli rejim yıkama süresidir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, 60 °C'lik bir ayar sıcaklığının 11°C kadar azaltıldığı takdirde aynı yıkama performansını sağlaması için yıkama süresinin yaklaşık olarak 25 dakikadan 70 dakikaya çıkarılması uygun olacaktır. Bu durumda toplam program süresi de 45 dakika kadar artmış olacaktır [7].



Şekil 2.21 Yıkama sıcaklığı –süre ilişkisi

3 ÇAMAŞIR MAKİNESİ ENERJİ BİLANÇOSU

Enerji bilançosu, çamaşır makinesine giren elektrik enerjisinin sistemdeki dağılımının sayısal olarak belirlenmesidir. Enerji bilançosunu belirlemek için çamaşır makinesinin sıcaklık haritasının ayrıntılı olarak çıkarılması gerekmektedir. Ayrıca, çevrim süresince kazan ve makine iç ortamı arasındaki ısı geçişi profilinin belirlenmesi için ısı akısı ölçümleri de yürütülmelidir. Bu amaçla sıcaklık ölçümleri için termokupllar, ısı akısı ölçümleri için ise ısı akısı sensörleri çamaşır makinesi üzerinde uygun noktalara yerleştirilmektedir. Sıcaklık ve ısı akısı dışında deney düzeneğinde ölçülecek büyüklükler enerji tüketimi, yıkama adımlarına göre su tüketimi ve yıkama adımlarına göre tahliye suyu miktarıdır. Enerji tüketimi, akım ve gerilimin ölçülerek gücün hesaplanması ve zaman adımı ile çarpılması sonucunda elde edilmektedir. Çamaşır makinesi ölçüm sistemine bağlandıktan sonra yük ve deterjan konularak standart koşullarda ölçümlere başlanmaktadır. Bölüm 3.1’de enerji bilançosu deney düzeneği tanıtılacak, kalibrasyon ve ölçüm hassasiyeti ile ilgili bilgiler sunulacaktır. Bölüm 3.2’de sıcaklık ve ısı akısı ölçümlerine ilişkin çalışmalar hakkında bilgi verilecek ve deney makinesinin pamuklu-60 programında ısı kamera ile görsellenmesi üzerinde durulacaktır. Son olarak Bölüm 3.3’te üç sıcaklık derecesindeki pamuklu programlarının enerji bilançolarının çıkarılması çalışmaları özetlenecektir.



Şekil 3.1 Deney düzeneği şeması

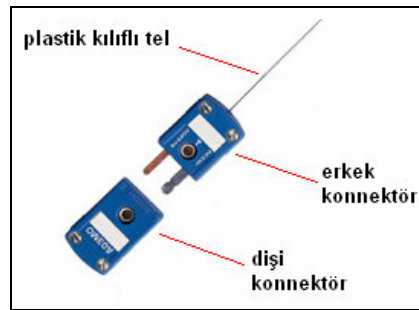
3.1 Deney Düzeneginin Tanıtılması

Enerji bilançosu deney düzeneği temel olarak şu elemanlardan oluşmaktadır (Bkz. Şekil 3.1):

- Termokupllar
- Isı akısı sensörleri
- Debimetre
- Hassas tartı
- Veri toplama panosu
- Deney makinesi

3.1.1 Termokupllar

Termokupl sıcaklık ölçen termoelektrik bir sensördür. Uçları lehimle ya da mekanik olarak birleştirilmiş iki metalden oluşmaktadır. Metal tellerin üzerinde plastik bir kılıf bulunur. Termokuplun bir ucu, ölçüm sistemine bağlamak için kullanılan bir konnektör ile kapatılmıştır. Ölçüm sistemi bağlantısı dişi konnektörle sağlanır (Bkz. Şekil 3.2). Metallerin birleşim yerleri ısıtıldığında ya da soğutulduğunda, sonradan sıcaklığa çevrilebilen bir gerilim sinyali oluşmaktadır. Farklı koşullarda kalibre edilmiş ve farklı metal kombinasyonlarına sahip termokupllar bulunmaktadır. En sık kullanılan tipler, J, K, T ve E tipleridir. Termokupl seçiminde temel olarak ölçüm yapılacak sıcaklık aralığı ile aşınma, titreşim vs olumsuz koşullara göre dayanım rol oynar.

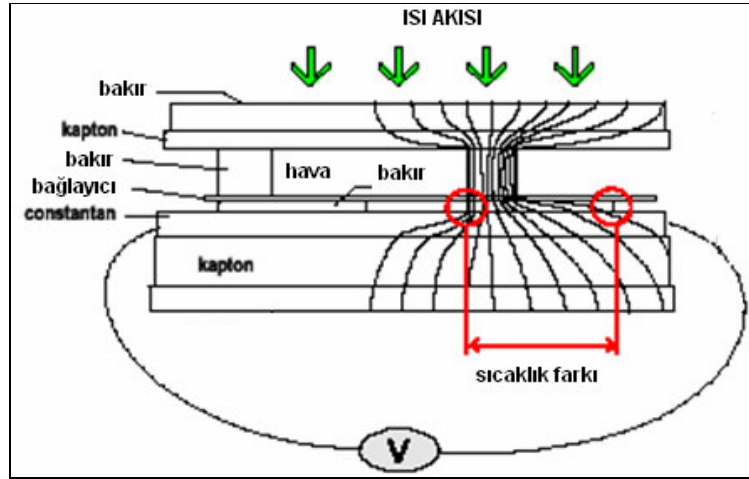


Şekil 3.2 Termokupl bağlantısı

Enerji bilançosu deneylerinde kullanılan termokupllar Omega firmasına aittir ve T tipindedir. Termokupllar ölçülecek yüzeylere temas edecek şekilde alüminyum bantla yapıştırılmış ve yalıtım amacıyla bunların üzerine polistren parçalar yerleştirilmiştir. Termokuplların ölçüm belirsizliği, ölçülecek yüzeye tespit şeklinden, termokuplların kendisinden ve bağlı oldukları veri toplama sisteminden kaynaklanmaktadır. Tüm bu etkiler göz önüne alındığında, çalışmada kullanılan termokuplların mutlak olarak 0,29 °C belirsizliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Maksimum nominal ölçüm sıcaklığı 220 °C değerindedir.

3.1.2 Isı akısı sensörleri

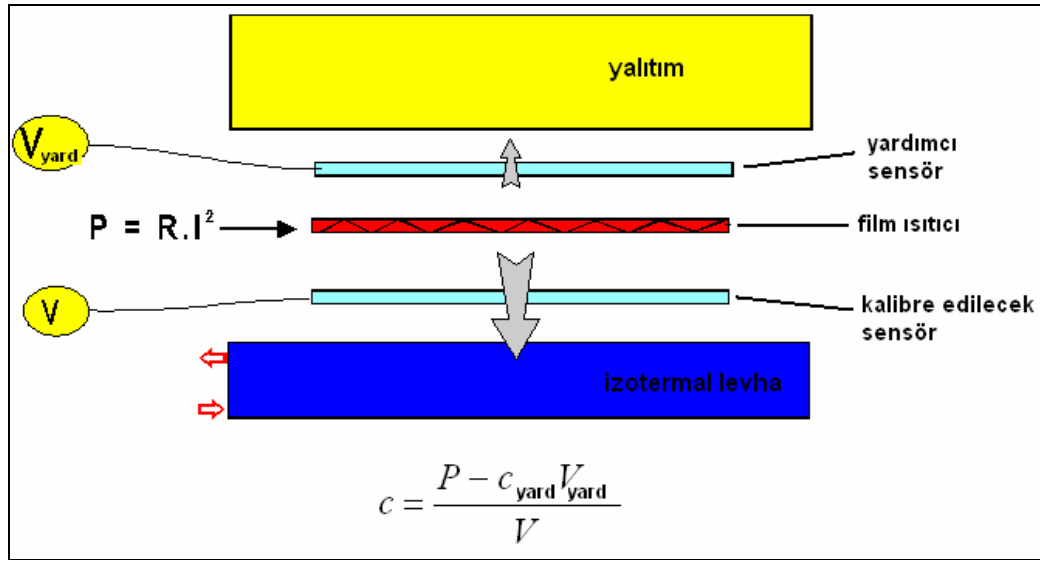
Isı akısı sensörleri, ısı geçişinin olduğu iki tabaka arasındaki sıcaklık farkı yardımıyla ısı akısını ölçmektedir. Sensör içinde, konstantan üzerine dağılmış bakır parçaları bulunmaktadır. Bakır parçaları, bir plaka üzerine art arda dizilmiş çoklu termopil bağlantıları ile birleşmiştir. Isı akısı akış çizgileri, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, bakır parçaları tarafından saptırılır ve ısı geçişinin bulunduğu düzlemin teğeti yönünde bir sıcaklık gradyeni oluşturulur. Bu sıcaklık gradyeni, iki tabaka arasındaki ısı geçişiyle orantılıdır. Termopil bağlantıları, sıcaklık farkını Seebeck etkisi ile potansiyel farkına çevirir [22]. Isı akısı sensörleri, yüzeye epoksi yapıştırıcı ile tutturulmaktadır.



Şekil 3.3 Isı akısı sensörü enine kesidi

Isı akısı sensörlerinde μV DC 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. Kalibrasyon metodu Şekil 3.4’te görülmektedir. Burada ısıtıcıda üretilen ısı, kalibre edilecek sensör ve yardımcı sensör üzerinden geçmektedir. Yardımcı sensörün kalibrasyon katsayısı ve her iki sensörde okunan gerilim değerleri kullanılarak, kalibre edilen sensörün “c” katsayısı belirlenir. Enerji bilançosu deneylerinde kullanılan sensörler, Brezilya Santa Catarina Üniversitesi’nde üretilmiştir. Üreticinin deklare ettiği ölçüm belirsizliği %5 olarak belirtilmiştir.



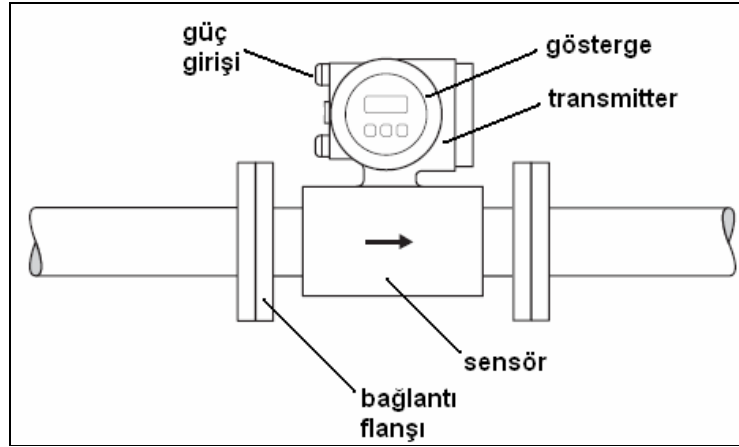
Şekil 3.4 Isı akısı sensörü kalibrasyonu

3.1.3 Debimetre

Deney düzeneğinde su tüketimi ölçümleri için kullanılan cihaz, “Endress+Hauser” firmasına ait “Proline Promag 50” elektromanyetik debimetredir. Debimetre, kapalı boru içindeki içme suyu, atık su, asit, alkali, süt, boya ve sulu çamur akışlarının debi ölçümünde kullanılmaktadır. Cihazın çalışma prensibi, Faraday Kanunu’na dayanan elektromanyetik akış ölçümüdür. Buna göre, bir 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.

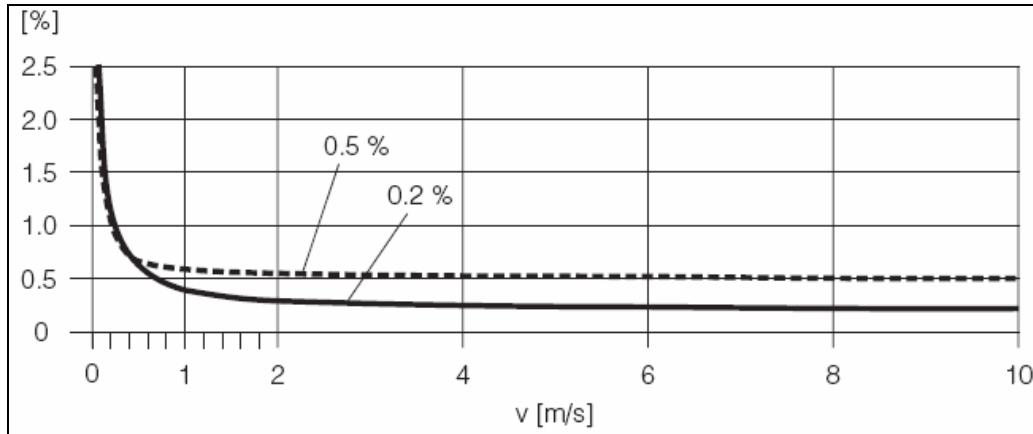
“Promag 50” ölçüm sistemi, aynı mekanik birim içindeki bir sensör ve göstergeli transmitterden oluşmaktadır. Sensörün nominal çapı, kullanılacak borunun çapına ve akışkan debisine göre belirlenir. Debimetre sensörü, Şekil 3.5’te gösterildiği gibi iki adet flanşlı boru arasına bağlanmaktadır. Bilanço deneylerindeki su tüketimi

değerleri, gösterge ekranından iki hane hassasiyetle okunarak elle kaydedilmektedir. Cihazın bilgisayar bağlantısı yoktur.



Şekil 3.5 Debimetre

Cihaz, 20-60 °C ortam sıcaklığında çalışmaktadır. Maksimum akışkan sıcaklığı limiti 150°C'dir. Ölçülebilen akış hızı aralığı 0.01-10 m/s, optimum akış hızı aralığı 2-3 m/s arasında değişmektedir. Ölçülecek sıvının fiziksel özelliklerine göre, hız değeri bu aralığın dışında da ayarlanabilir. Ölçüm hassasiyeti, okunan hız değerinin +/- % 0.5'i kadardır. Yüzde hata eğrisi Şekil 3.6'da kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Tekrarlanabilirlik ise okunan hız değerinin maksimum +/- % 0.1'i kadardır.



Şekil 3.6 Okunan hız değerine göre yüzde hata

3.1.4 Hassas tartı

Ağırlık ölçümlerinde kullanılan cihaz, “Mettler Toledo” firmasına ait, “ID1 Plus” modeli LED göstergeli hassas tartıdır. Tartı, ağırlık ölçümü yapılan bir platform ve göstergeden oluşmaktadır (Bkz. Şekil 3.7) . Ölçümler için uygun sıcaklık aralığı $-10^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ ’dir. Ağırlık ölçümü, strain gage kuvvet sensörleri ve elektromanyetik güç kompanzasyonu esasına dayanarak yapılmaktadır.



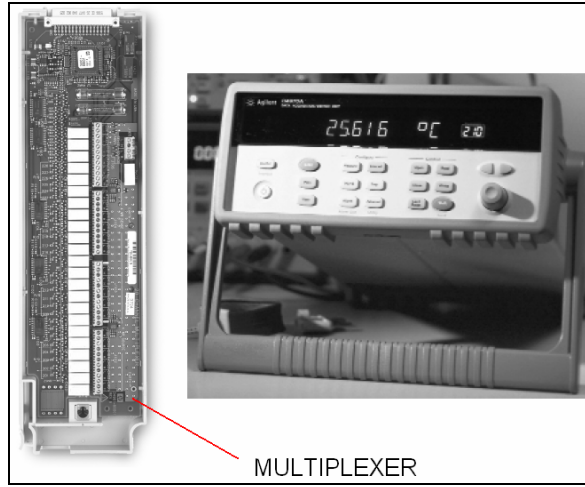
Şekil 3.7 Hassas tartı

3.1.5 Veri toplama panosu

Ölçümlerde kullanılan veri toplama panosunda, sıcaklık ve ısı akısı ölçümleri için kullanılan “Agilent Technologies” firmasına ait bir datalogger, enerji ölçümleri için kullanılan bir analizör ve ölçüm kanalları bulunmaktadır. Sıcaklık için 54, ısı akısı için 5 adet ölçüm kanalı mevcuttur. Veri toplama panosu bilgisayar bağlantısına sahiptir.

Sıcaklık ölçümleri için kullanılan “Agilent 34970A” marka dataloggerda, 20 ölçüm kanallı 3 adet multiplexer bulunmaktadır (Bkz. Şekil 3.8). Cihaz sıcaklık, gerilim, akım, frekans ve direnç ölçümleri için kullanılabilir. Sıcaklık ölçümleri termokupl, termistör veya RTD ile yapılabilir. Cihazın T tipi termokupllar için $-100^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ aralığındaki ölçüm hatası 1°C ’dir. Toplam ölçüm hatasının bulunması için termokupl sensörü hatasının da bu değere eklenmesi gerekir.

Veri toplama panosunda enerji ölçümleri için kullanılan cihaz, Schneider Electric firmasına ait “ION 6200” model tüketim sayacıdır (Bkz. Şekil 3.9). Sayaç, LED göstergeye sahip olup, gerilim, akım, güç, enerji ve frekans ölçümleri almaktadır. Gerilim ölçüm hassasiyeti, okuma değerinin % 0,5’idir. Frekans ölçüm hassasiyeti +/- 0,1 Hz değerindedir. Okunan değer % 0,3’ü hassasiyetle akım ölçülmektedir. Güç ve enerji ölçümlerindeki hassasiyet % 0,5 mertebesindedir. Sayaç, -20 °C - 70°C çalışma sıcaklık aralığına sahiptir.



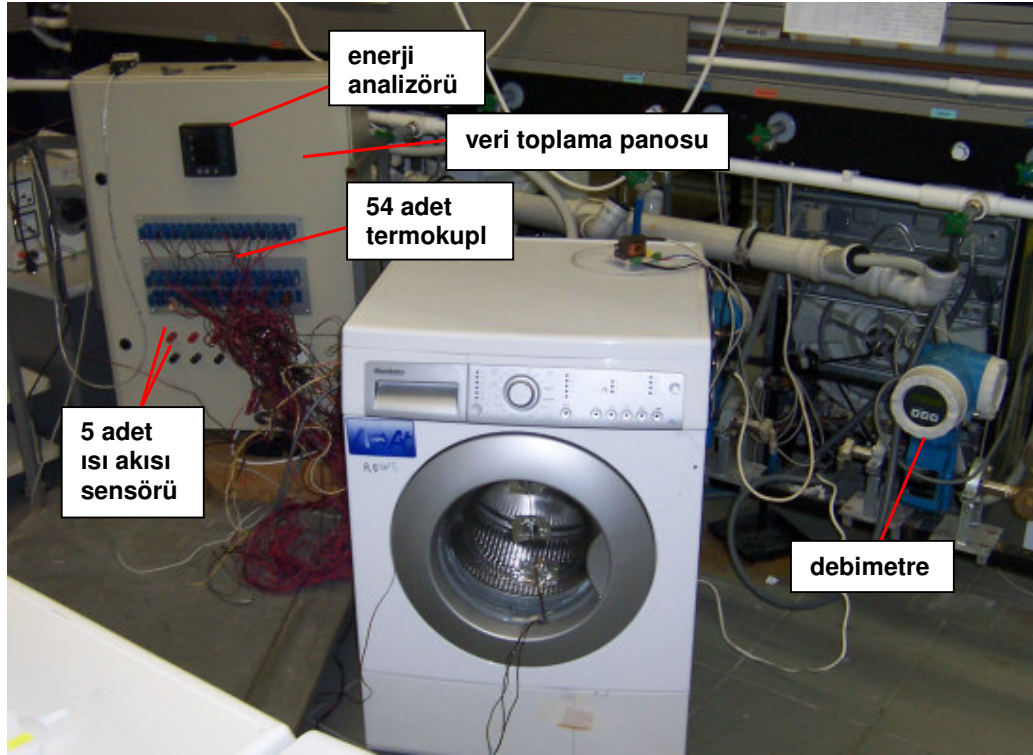
Şekil 3.8 Datalogger ve multiplexer



Şekil 3.9 Enerji analizörü

3.1.6 Deney makinesi

Enerji bilançosu deney düzeneği ve deney makinesi, Şekil 3.10’da toplu halde görülmektedir. Deneylerde kullanılan çamaşır makinesi, 6 kg yük kapasiteli ve 1600 rpm sıkma devirli, “Blomberg” markasına ait “WAF 1260 A” modelidir. Makinenin teknik özellikleri ve etiket değerleri Tablo 1.1’de verilmiştir.



Şekil 3.10 Enerji bilançosu deney düzeneği ve denek makine

Tablo 3.1 Deney makinesi etiket değerleri

Yük kapasitesi (kuru ağırlık)	6.0 kg maks.		
Maksimum sıkma devri (sıcak yıkama/renkli)	1600 rpm		
Boyutlar			
Yükseklik	85.0 cm / 82.0 cm		
Genişlik	60.0 cm		
Derinlik	59.0 cm		
Boş ağırlık	71 kg (yaklaşık değer)		
Elektrik bağlantısı			
Gerilim	230 V ~ 50 Hz		
Bağlı yük-ısıtıcı gücü	2350 W-1950 W		
Sigorta	10 A		
Su giriş basıncı	0,11,0 MPa = 1.....10 bar		
Tüketim değerleri	Enerji (kWh)	Su (lt)	Süre (dak)
Sıcak yıkama/renkli 95°C	2.05	55	136
Sıcak yıkama/renkli 60°C	1.02	49	130
Sıcak yıkama/renkli 40°C	0.55	49	133

3.2 Ölçümler

Deney çalışmalarının ve ölçümlerin tümü, TS 290 EN 60456 standardına uygun olarak düzenlenmiş laboratuvarlarda yürütülmüştür. EN 60456 standardı, ev ve benzeri yerlerde kullanılan, ısıtma düzenleri bulunan veya bulunmayan, elektrikli çamaşır makinelerinin, sıkma makinelerinin, müşterek çamaşır yıkama ve sıkma makinelerinin performanslarının ölçülmesi metotlarını kapsamaktadır [23]. Burada söz konusu olan performans değerleri, çamaşır makinesinin 60°C pamuklu programına ait su ve enerji tüketimi, yıkama, sıkma ve durulama performansları ile ilgilidir. Standartta göre, performans değerleri ölçülecek makinenin bulunacağı ortam sıcaklığı 23+/-2°C, makineye giren suyun sıcaklığı ise 15+/-2°C aralığında olmalıdır. Sıcaklık kriteri dışında ayrıca su sertliği, su giriş basıncı, çamaşır yükü ve deterjan da standartlaştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan tüm deney ve ölçümlerde 6 kg standart çamaşır yükü kullanılmıştır. 6 kg standart çamaşır yükü, 2 adet çarşaf, 8 adet yastık kılıfı ve gerekli yükü tamamlayacak kadar el havlusundan oluşmaktadır. Standart çamaşır yükü, makine içine, yine standartta belirtilmiş bir sıraya göre katlanarak yerleştirilmektedir. 6 kg çamaşır yükü için gerekli olan standart deterjan miktarı 150 gr olarak belirtilmiştir [23].

Ölçümler kısmında ilk olarak, makinenin 40-60-95°C pamuklu programlarındaki sıcaklık haritasının çıkarılması ele alınacaktır. Daha sonra, yine bu üç program süresince kazandan makine iç ortamına olan ısı akısı ölçümleri incelenecek ve ısı ile taşınımın ısı geçiş sürecinde ne oranda etkili olduğu hesaplanacaktır.

3.2.1 Sıcaklık ölçümleri

Çamaşır makinesinin sıcaklık haritasının çıkarılması için çeşitli komponentler üzerine termokupl yerleştirilmiştir. Sıcaklık haritası, makine komponentlerinin yıkama çevrimi süresince depoladığı ısıların belirlenmesi açısından önemlidir. Sıcaklık dağılımı için su, kazan, denge ağırlıkları, motor, cam kapak, amortisör, yay, dış gövde, kabin içi hava, kazan içi hava ve NTC sensörü üzerinden çevrim boyunca sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Çevrim boyunca sıcaklık değişimi yüksek olan su ve kazan için, ortalama sıcaklığın daha hassas belirlenebilmesi amacı ile 10’ar noktadan sıcaklık ölçümü alınmıştır. Makine üzerindeki termokuplların yerleşim yerleri ve adetleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Termokupl yerleşim yerleri

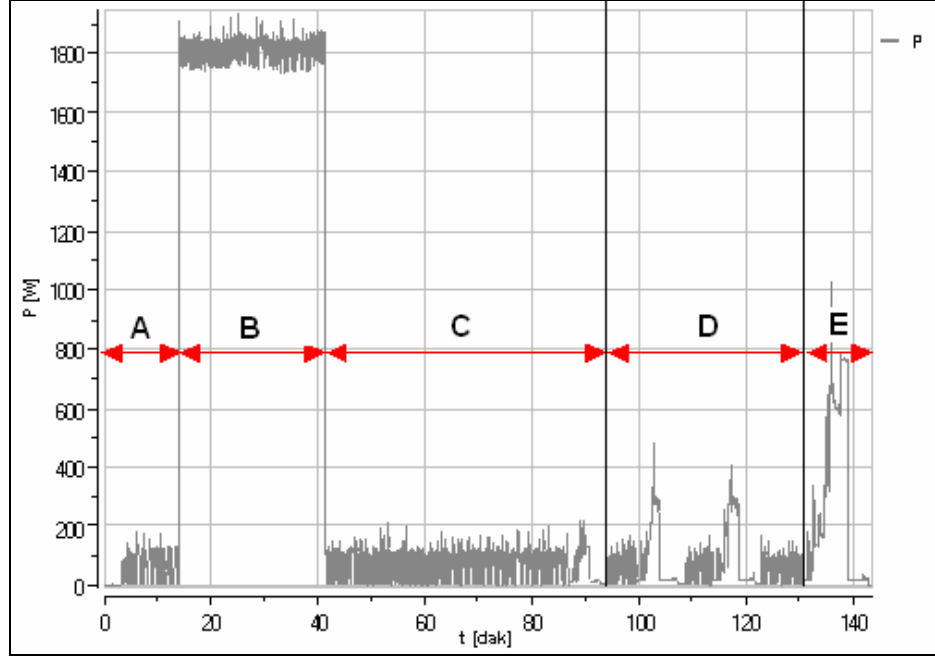
Ölçüm noktası	Adet	Ölçüm noktası	Adet
Kazan içi su	10	Kabin içi hava (alt-üst-sağ-sol)	4
NTC	1	Üst denge ağırlığı	3
Kazan içi hava	1	Ön denge ağırlığı	3
Dış gövde yüzey	4	Cam kapak	3
Deterjan kutusu	2	Kazan alt	2
Motor (sargı+ayak)	2	Kazan sağ	2
Deterjan kutusu altı	1	Kazan sol	2
Gösterge kartı	1	Kazan arka	2
Amortisör	1	Kazan ön	2
Yay	1	Toplam	47

Herhangi bir komponent için sıcaklık dağılımının belirlenmesinde, o komponent üzerinden ölçülen belli sayıdaki sıcaklığın ortalaması alınarak “lumped model” yaklaşımı kullanılmıştır. Söz konusu komponentin sıcaklık değişiminin her noktasında aynı olduğu kabulü yapılmıştır.

Termokupllar, komponentlerin 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 köpük 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.

3.2.1.1 60°C pamuklu programı sıcaklık haritası

60°C pamuklu programı, EN 60456 standardına göre enerji ve performans etiketlemesinin yapıldığı programdır, normal kirli ısıya dayanıklı pamuklu ve keten çamaşırlar için önerilmektedir. Bu program genel olarak tüm çamaşır makinelerinde benzer karaktere sahiptir ve sırasıyla soğuk yıkama (A), ısıtma (B), sürekli rejim yıkama (C), durulama (D) ve sıkma (E) adımlarından oluşmaktadır. Programın güç profili Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Program süresi, deney makinesi için yaklaşık 140 dakikadır.



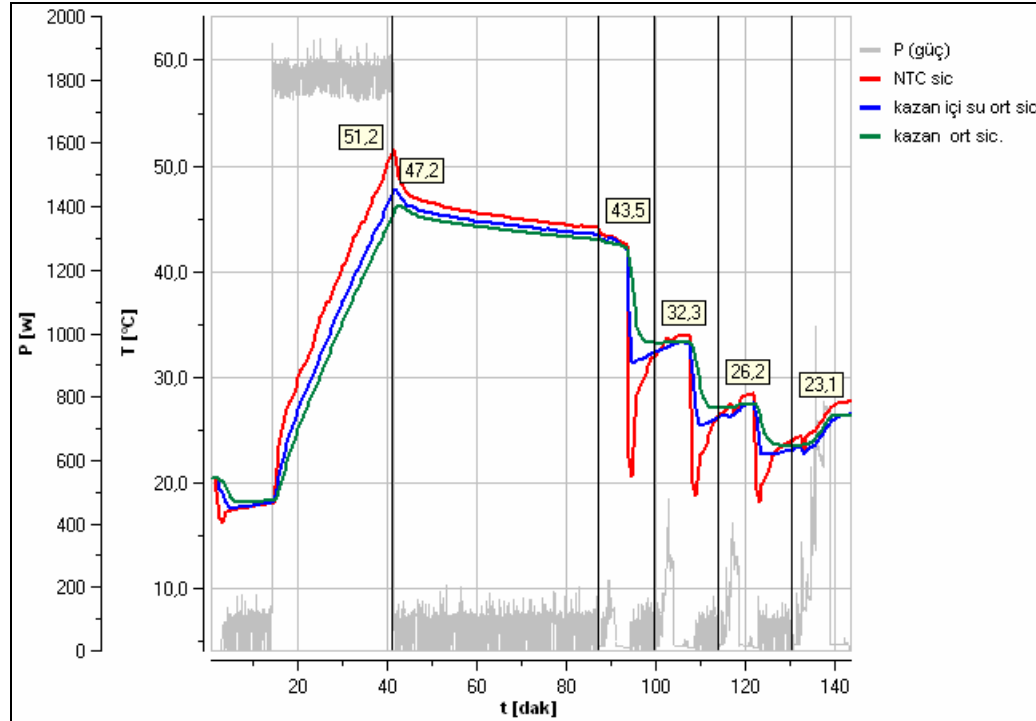
Şekil 3.11 60°C pamuklu programı güç profili

60°C pamuklu programı 13 dk süren bir soğuk yıkama fazından sonra yerini değişken süreli ısıtma fazına bırakır. Isıtma süresi, makineye giren su miktarına ve su giriş sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. İstenen yıkama sıcaklığına çıkıldıktan sonra ısıtıcı kapanır ve 45 dakika süresince ana yıkama devam ederek bir tahliye ve ara sıkma ile son bulur. Sonrasında iki ara sıkmalı üç adet durulama yapılır ve son olarak ana sıkma fazı ile birlikte çevrim son bulur.

60°C pamuklu programı su, kazan ve NTC sıcaklıklarının çevrim boyunca değişimi Şekil 3.12'de görülmektedir. Burada su sıcaklığı, kazan içindeki 10 noktadan alınan su sıcaklığı ölçümlerinin ortalaması olarak gösterilmiştir. Buna göre, deney makinesinin 60°C pamuklu programında gördüğü en yüksek su sıcaklığı 47,2°C olmaktadır. Yaklaşık 45 dakika süren sürekli rejim yıkama fazından sonra ana yıkama tahliye suyu sıcaklığı 43,5°C değerindedir. Isıtıcı kapama sıcaklığı deney makinesinin elektronik kartında $T_{set} = 55^{\circ}\text{C}$ olarak tanımlanmıştır, kapatma anında NTC sensörünün yanından ölçülen su sıcaklığı 51,2°C'dir. Sürekli rejim yıkama süresince yıkama suyu, başta taşınım olmak üzere tüm ısı geçiş mekanizmalarının etkisi ile 0,08 °C/dak'lık bir hızla ısı kaybetmektedir. Bu süre zarfında, 10 yüzey noktasından alınan ölçümlerin ortalaması olarak belirtilen kazan sıcaklığı, su sıcaklığını 0,5-1,0°C'lik bir farkla izlemektedir. Kazan malzemesi cam elyafı katkılı

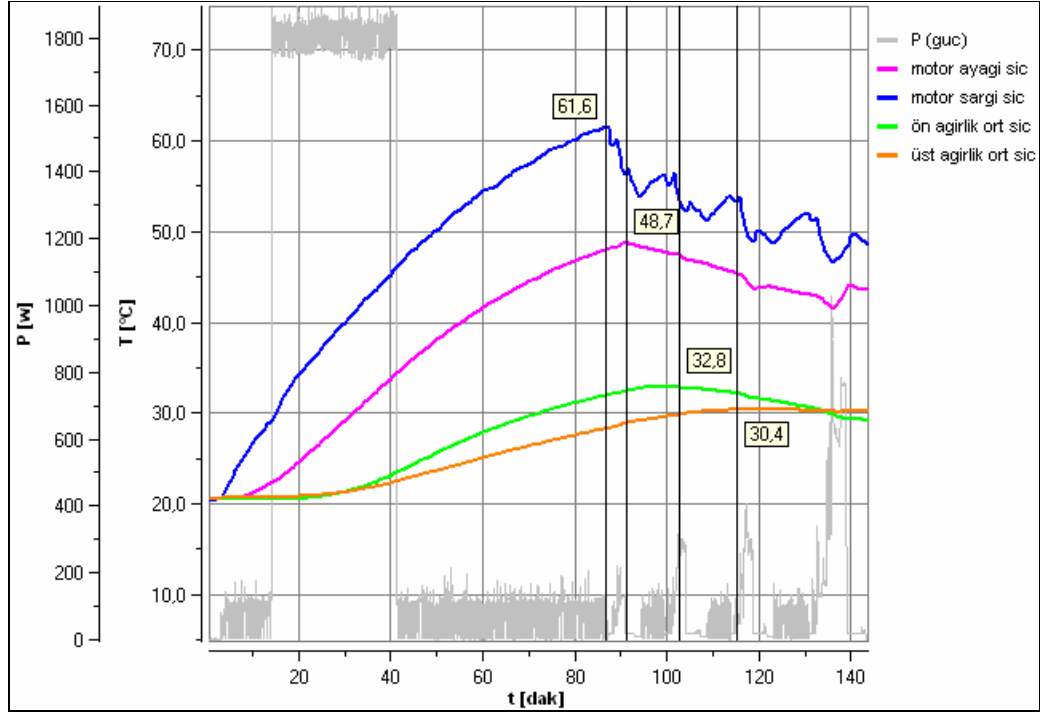
polipropilendir. Çevrim başında 21°C ortam sıcaklığında bulunan kazan, çevrim sonunda 26-27°C sıcaklık değerine ulaşmıştır.

Durulama sularının alınmasını izleyen ilk bir kaç dakika içinde yıkama banyosu sıcaklığı homojenleşmektedir. Durulama tahliyelerinde su sıcaklığı sırası ile 32,3, 26,2 ve 23,1°C olmaktadır. Isınma süresince ve durulama sularının alındığı anlarda NTC sıcaklığında görülen hızlı değişimler, ısıtıcıya çok yakın olduğu için bu bölgenin yerel olarak hızlı ısınıp soğumasındandır (Bkz Şekil 3.12).



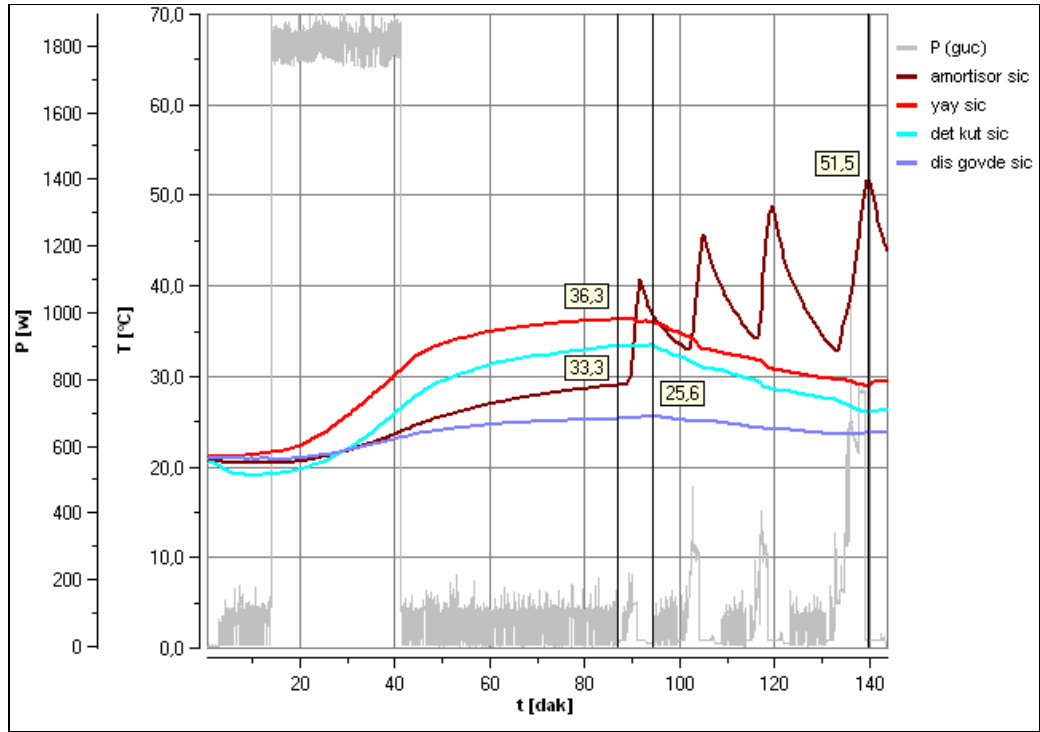
Şekil 3.12 60°C pamuklu programı NTC-su-kazan sıcaklıkları

Kazan dışında tahrik modülünün motor ve beton denge ağırlığı gibi diğer önemli elemanlarının çevrim boyunca sıcaklık değişimi Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Motor üzerinden iki sıcak değeri ölçülmüştür. Stator sargısı üzerinden alınan ölçüme göre en yüksek sargı sıcaklığı ana yıkama sonunda 61,6°C olarak ölçülmüştür. Sonrasında sıkmalarda motor hızının ve motor çevresindeki taşınım etkisinin artması sonucu sıcaklığın düştüğü ve durulamalar sırasında tekrar bir miktar arttığı görülmektedir. Motorla ilişkili olan ikinci sıcaklık, motorun kazana tespit edildiği taşıyıcı ayaklar üzerinden ölçülmüştür. Bu noktadan ölçülen maksimum sıcaklık ana yıkama sonunda yaklaşık 49°C'dir.



Şekil 3.13 60°C pamuklu programı motor-denge ağırlığı sıcaklıkları

Statik ve dinamik dengeleme sağlayan ağırlıklar, deney makinesinde kazanın üstünde ve önünde olmak üzere iki adettir. Denge ağırlıkları kazana civatarla bağlanmıştır. Şekil 3.13'te denge ağırlıklarının kazandan iletimle çektiği ısı ile ısıtma başlangıcından ana yıkama sonuna kadar ısındığı görülmektedir. Denge ağırlıklarının yüzeyinden ikişer, iç kısımlarından birer adet sıcaklık ölçülmüş ve bunların ortalamaları alınmıştır. Buna göre ön ve üst ağırlık için en yüksek ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 32,8°C ve 30,4°C olarak ölçülmüştür. Çevrim başında 21°C ortam sıcaklığında bulunan denge ağırlıkları, çevrim sonunda 30°C sıcaklık değerine sahiptir. Denge ağırlıklarının malzemesi betondur.



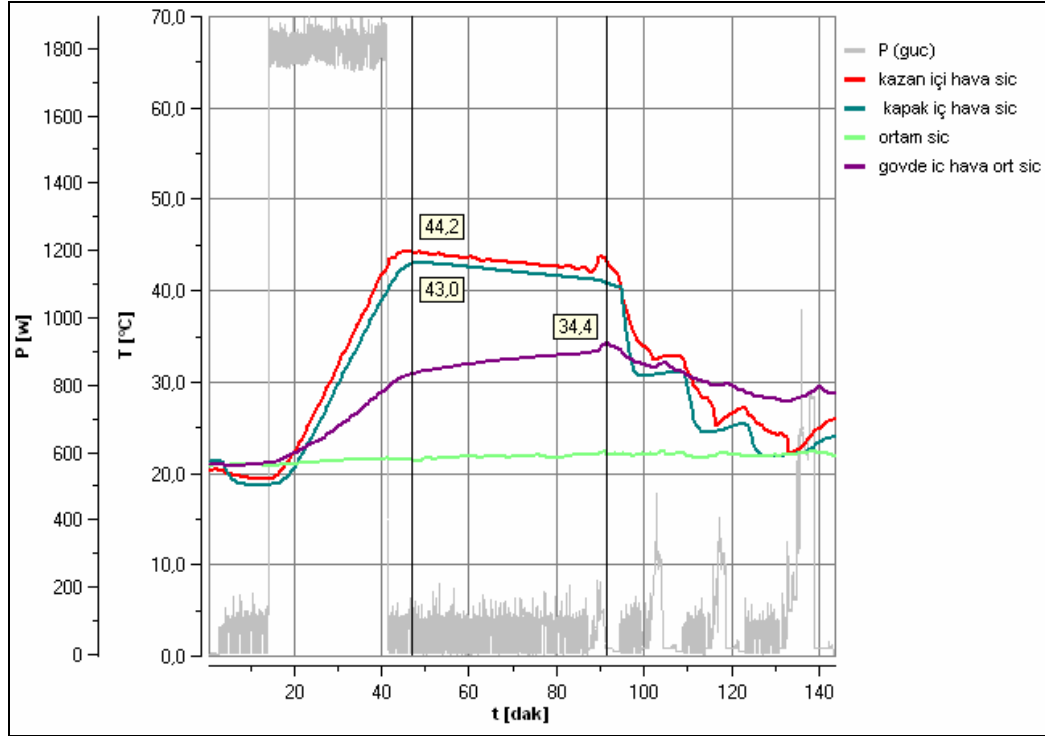
Şekil 3.14 60°C pamuklu programı çeşitli sıcaklıklar

Şekil 3.14'te amortisör, yay, deterjan kutusu komponentlerinin ve dış gövdenin 60°C pamuklu programı süresince sıcaklık değişimleri görülmektedir. Amortisörler, kazanın çevrim sırasındaki hareketini, kendisine ve dış gövdeye zarar vermeyecek şekilde yapmasını sağlayan sönümleme elemanıdır. Şekil 3.14'te görüldüğü üzere, ana yıkama süresince iletim ve taşınım ile ısınan amortisörler, sıkımlar sırasında en yüksek sıcaklık değerlerine ulaşmaktadır. Bu sıcaklık değerleri, sıkımlar sırasında çıkılan maksimum devir sayısına bağlı olarak artmakta ve ana sıkma fazında 1600 rpm civarında yaklaşık 52°C olmaktadır.

Yay ve deterjan kutusu, kazandan ve makine iç ortamından çektikleri ısı ile ana yıkama sonunda sırasıyla yaklaşık 36°C ve 33°C sıcaklık değerine ulaşmakta ve durulamalar sırasında soğumaktadır. Dış gövde sıcaklığı, makine gövdesinin sağ ve sol yan panel sacları üzerindeki dört yüzey noktasından ölçülen sıcaklıkların ortalamasıdır. Söz konusu sıcaklık, maksimum değerini ana yıkama sonunda 25,6°C ile görmekte ve çevrim sonunda 23-24°C'de kalmaktadır.

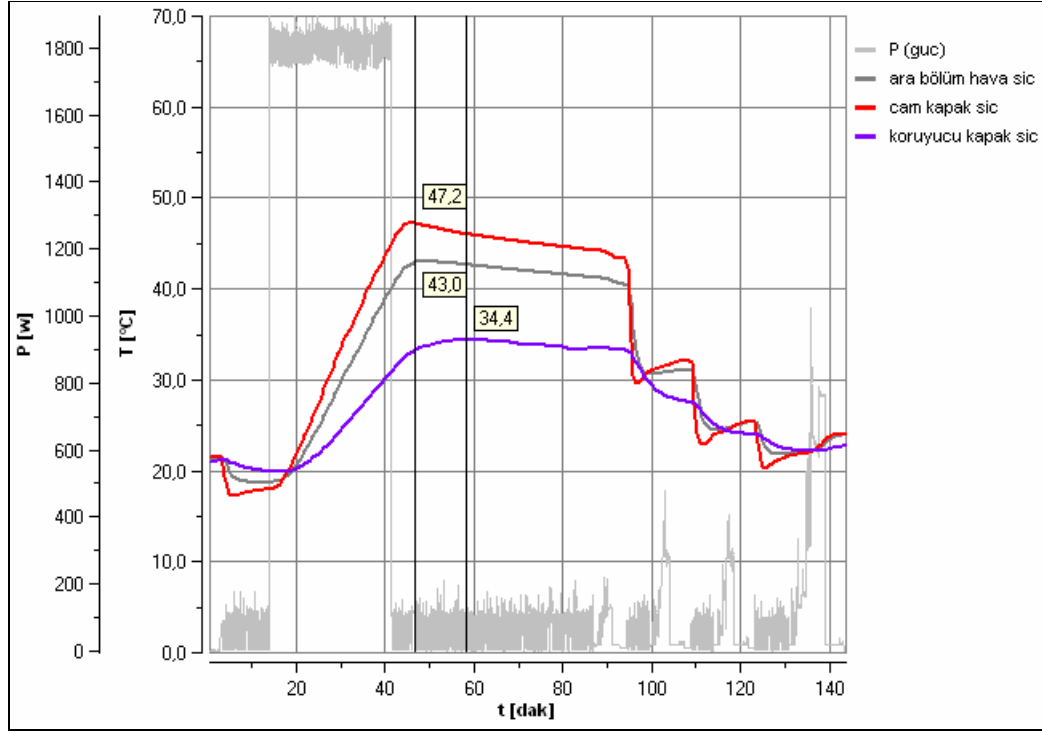
Şekil 3.15'te çeşitli hava sıcaklıklarının 60°C pamuklu çevrimi boyunca izlediği seyir gösterilmiştir. Çamaşır yükü ve yıkama suyu ile doğrudan temas halinde

olduğu için kazan içi hava sıcaklığı, su sıcaklığının karakterindedir. Sıkma anlarında artan mekanik hareket ile çamaşır-su karışımı ve hava arasındaki ısı geçişinin artması sonucu kazan içi hava sıcaklığının artış gösterdiği görülmektedir. Kabin içinde alt, üst, sağ ve sol olmak üzere dört noktadan ölçülen iç ortam havası ise sürekli rejim yıkama süresince kazandan kendisine olan ısı geçişi ile yaklaşık 34°C'ye kadar ısınmakta ve durulamalarla birlikte soğumaktadır (Bkz Şekil 3.15).



Şekil 3.15 60°C pamuklu programı hava sıcaklıkları

Deney makinesinde alışılmış cam kapağa ek olarak koruyucu plastik bir dış kapak da bulunmaktadır. Koruyucu kapak, yıkama suyu ile temasta olan cam kapaktan çevreye olan ısı kaybını da azaltarak yalıtım görevi görmektedir. Şekil 3.16'da kapak ile ilgili sıcaklık ölçümleri gösterilmiştir. Burada ara bölüm hava sıcaklığı olarak gösterilmiş sıcaklık, koruyucu kapak ile esas cam kapak arasına hapsedilmiş havanın sıcaklığıdır. Koruyucu plastik ve cam kapak yüzeyinden ölçülmüş sıcaklıklar göz önüne alındığında, koruyucu kapağın, ısı kaybının oluşacağı cam-ortam hava sıcaklık farkını en az 10°C kadar azalttığı ortaya çıkmıştır.



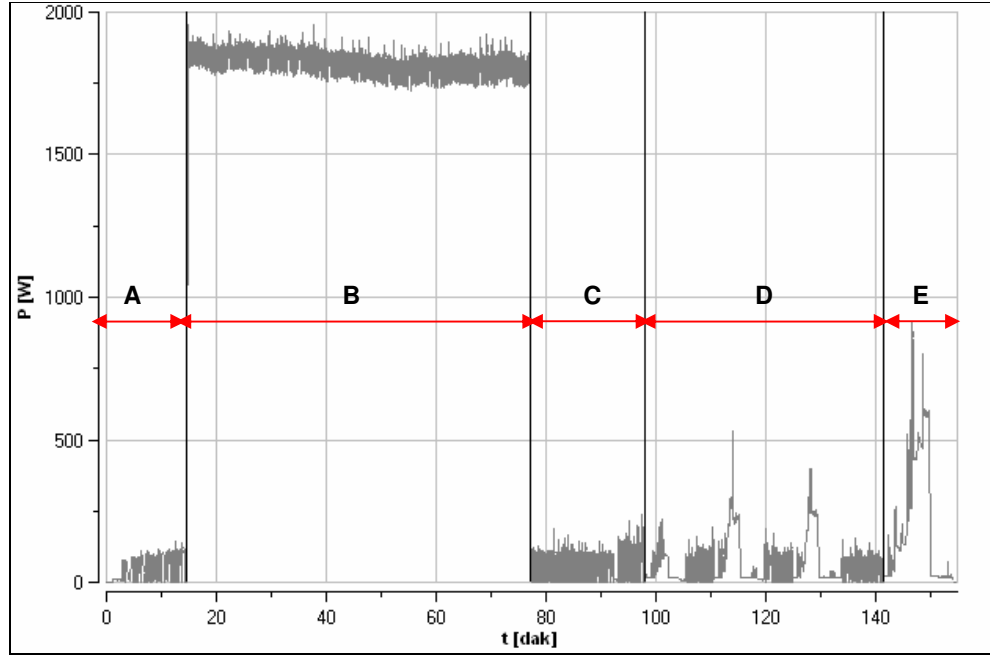
Şekil 3.16 60°C pamuklu programı kapak sıcaklıkları

3.2.1.2 95°C pamuklu programı sıcaklık haritası

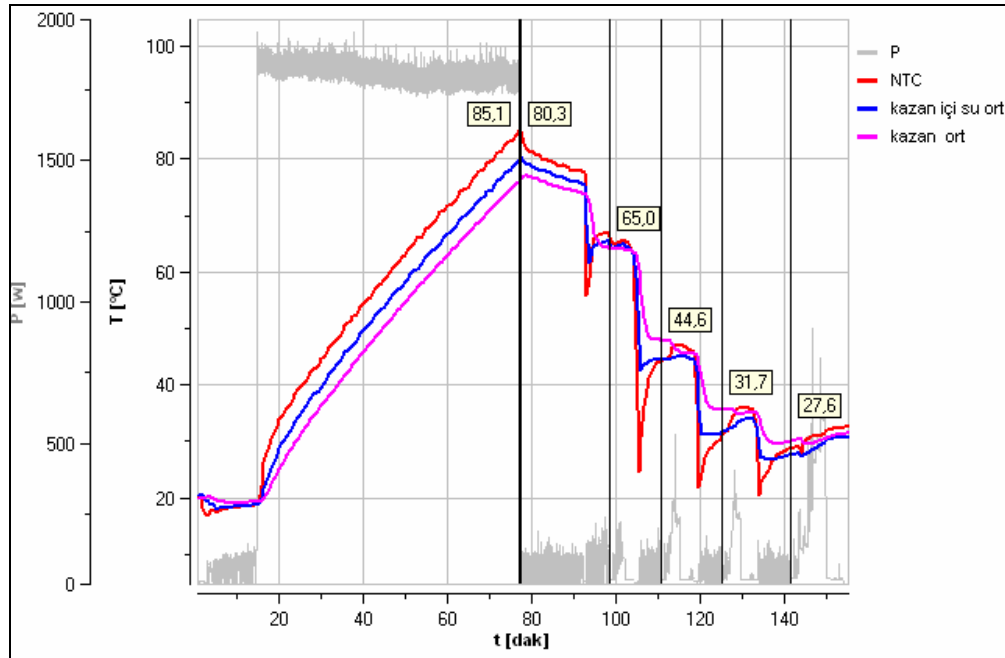
95°C pamuklu programı, çok kirli ve ısıya dayanıklı pamuklu, keten çamaşırlar için önerilmektedir. Program, 60°C pamuklu programına benzer olarak ana yıkama, 3 durulama, 3 ara sıkma ve bir son sıkma adımından meydana gelmektedir. Ana yıkama adımı, soğuk yıkama (A), ısıtma (B) ve sürekli rejim yıkama (C) fazlarından oluşmaktadır (Bkz Şekil 3.17). Isıtma fazı, yıkama suyu sıcaklığı T_{set} : 85°C değerine (Bkz Şekil 3.18) çıkana kadar devam etmektedir. Isıtıcı kapandıktan sonra 15 dakika süren bir yıkama yapılmaktadır. Sonrasında, alınan 2,5-3,0 lt miktar soğuk su ile 5 dakika süren bir ıltma yapılır. ıltmanın amacı, tahliye sıcaklığını kullanıcı açısından daha güvenli olacak şekilde azaltmaktır. Ayrıca, ıltma yapılarak sıcak çamaşırın durulamada soğuk su ile ani teması engellenerek kırışma da önlenmektedir. ıltma adımı ile ana yıkama sona ermektedir, ana yıkama sonu ortalama yıkama suyu sıcaklığı 65°C değerini almaktadır (Bkz Şekil 3.18).

95°C pamuklu programı ana yıkama adımı düşük devirli bir ara sıkma ile son bulur. Sonrasında geçilen durulama fazı (D) üç adet durulamadan oluşur, her bir durulama sonunda tahliye edilen su sıcaklıkları sırası ile 44,6°C, 31,7°C ve 27,6°C olmaktadır.

Durulama sonrasında, 1600 rpm ile yaklaşık 15 dak süren bir ana sıkma yapılarak çevrim tamamlanır. 95°C pamuklu programının güç ve program adımı profili Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Program süresi, deney makinesi için yaklaşık 150 dakikadır.

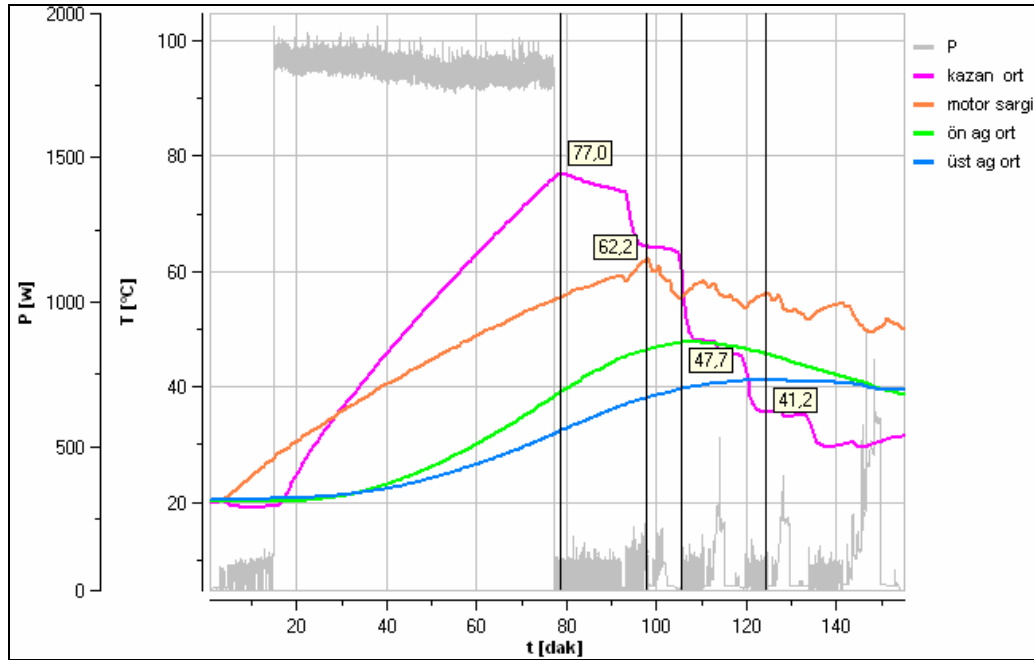


Şekil 3.17 95°C pamuklu programı güç profili



Şekil 3.18 95°C pamuklu programı NTC-su-kazan sıcaklıkları

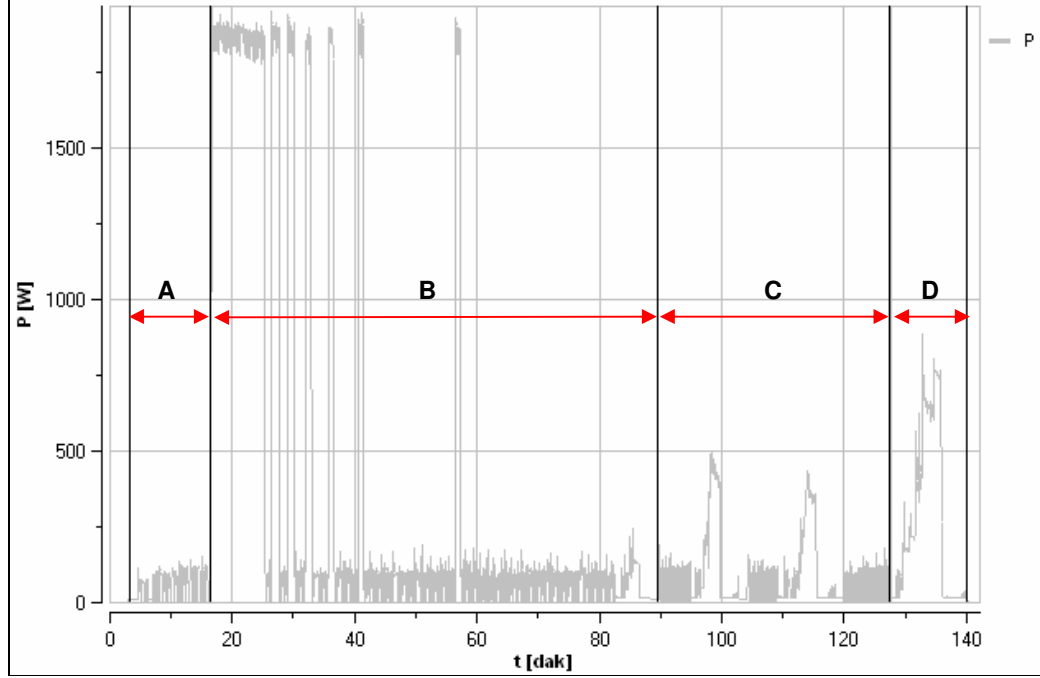
95°C pamuklu programı süresince makine tahrik grubunun bazı temel elemanlarındaki sıcaklık değişimi Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Kazan sıcaklığı ısıtma sonunda 77°C ile maksimum sıcaklığına ulaşmıştır, ısıtma sonrasında 0,2°C /dak’lık bir soğuma hızı ile yaklaşık 74°C’ye kadar inmiştir. Motorun stator sargısından ölçülen sıcaklık ana yıkama sonundaki tahliyenin hemen öncesinde 62°C ile en yüksek değerini almıştır. Ön ve üst beton denge ağırlıkları, yıkama sırasında kazandan dışarıya kaçan ısıнын bir kısmını iletim mekanizması ile üzerinde depolayarak durulama fazı sırasında sırası ile maksimumda 48°C ve 41°C sıcaklık değerine ulaşmıştır.



Şekil 3.19 95°C pamuklu programı tahrik grubu sıcaklıkları

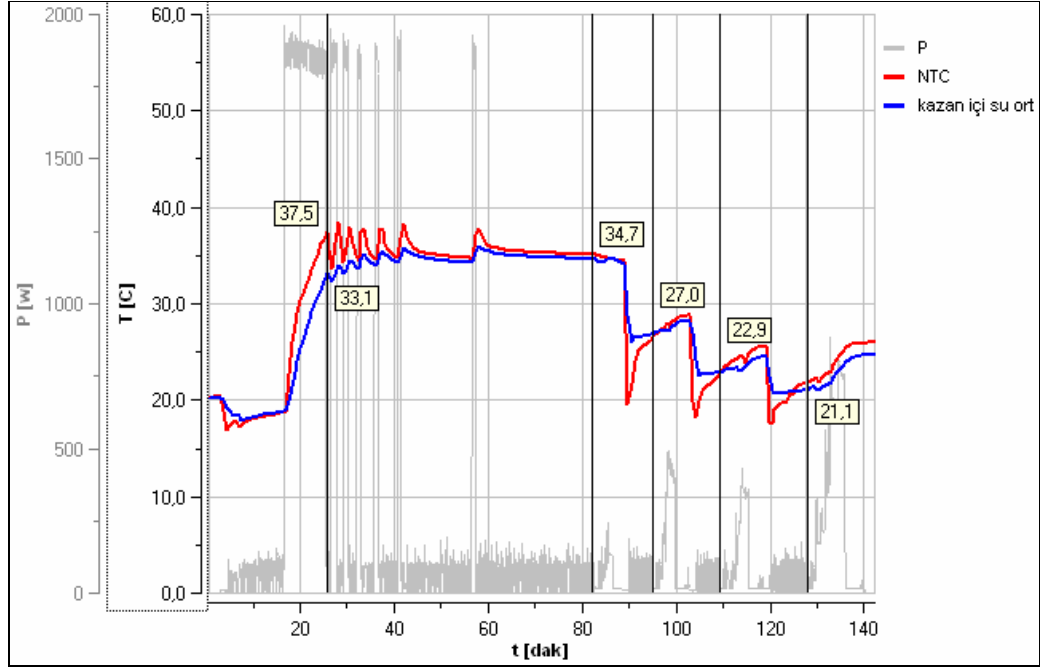
3.2.1.3 40°C pamuklu programı sıcaklık haritası

Pamuklu-40 programı, az kirli veya ısıya hassas pamuklu çamaşırlar için önerilmektedir. Program, pamuklu-60 ve pamuklu-95’te olduğu gibi ana yıkama, 3 durulama/ 3 ara sıkma ve son sıkma adımları ile tanımlanmıştır. Bu program, Şekil 3.20’de de gösterildiği gibi sırasıyla soğuk yıkama (A), ısıtma ve yıkama (B), durulama (C) ve sıkma (D) adımlarından oluşmaktadır. Isıtma ve yıkama adımı ısıtıcı parçalı olarak bir kaç kere devreye girip çıkmaktadır. Program süresi, deney makinesi için yaklaşık 140 dakikadır.



Şekil 3.20 40°C pamuklu programı güç profili

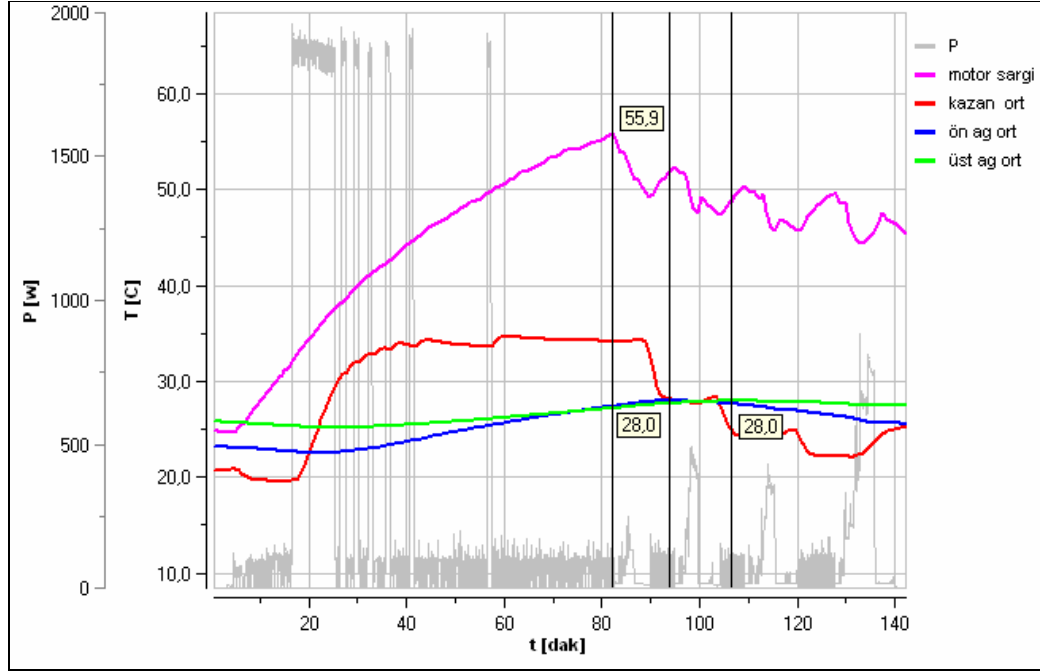
Diğer pamuklu programlarında da olduğu gibi soğuk yıkama süresi 12-13 kadardır. Bu süre içinde ana yıkama suyu tamamlanır ve önceden belirlenmiş su emniyet seviyesi aşıldıktan sonra ısıtıcı devreye girer. Pamuklu programında ısıtma ve yıkama adımları (B) iç içe geçmiştir. Yaklaşık 10 dak süren bir ilk ısıtma sonunda su sıcaklığı 33°C'ye, ısıtıcı kapatma sıcaklığı $T_{set} : 38^{\circ}\text{C}$ değerine çıkmaktadır (Bkz Şekil 3.21). Bu ilk ısıtmadan sonra yıkama suyu sıcaklığı, $T_{set} : 38^{\circ}\text{C}$ değerinin düştüğü anda ısıtıcı tekrar devreye girmektedir, bu durum ısı kaybına bağlı olarak birkaç kez gerçekleşir (Bkz Şekil 3.21). Bu şekilde yapılan parçalı ısıtmaya histerezisli ısıtma adı verilmektedir ve suyun ısıl ataletinin arttırılarak yıkama performansının arttırılması amaçlanmıştır. Ana yıkama sonunda yıkama suyu yaklaşık 35°C sıcaklığındadır. Şekil 3.20'de (C) ile belirtilen üç adet durulama adımı sonrasında su tahliye sıcaklıkları yaklaşık olarak 27°C, 23°C ve 21°C değerini almaktadır (Bkz Şekil 3.21). Pamuklu-40 programı 1600 rpm'lik bir sıkma adımı ile son bulmaktadır.



Şekil 3.21 40°C pamuklu programı NTC-su sıcaklıkları

40°C pamuklu programı süresince makine tahrik grubunun bazı temel elemanlarındaki sıcaklık değişimi Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Kazan sıcaklığı histerezisli ısıtma sonunda ortalama olarak 35°C sıcaklığa ulaşmıştır. Motorun stator sargısından ölçülen sıcaklık ana yıkama sonundaki tahliyenin hemen öncesinde 56°C ile maksimum değerini almıştır. Ön ve üst beton denge ağırlıkları, yıkama sırasında kazandan makine iç ortamına yayılan ısıнын bir kısmını üzerinde depolayarak durulama fazı sırasında sırası ile maksimumda 28°C sıcaklık değerine ulaşmıştır.

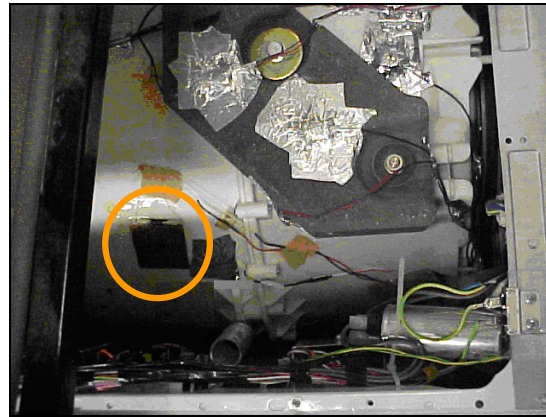
Pamuklu-95 ve Pamuklu-40 programları enerji etiketi standardı içinde yer almayan programlar olduğu için sıcaklık haritaları Pamuklu-60 programından daha basit ve ayrıntısız olarak incelenmiştir. Tüm programlar için, su tüketimleri, ayrıntılı komponent sıcaklıkları, tahliye suyu miktarları, komponentlere ait ve toplam enerji tüketimleri ve çeşitli komponent özellikleri ayrıntılı olarak enerji bilançosu hesaplarında (Bkz. Bölüm 3.2.3.4) ele alınacaktır.



Şekil 3.22 40°C pamuklu programı tahrik grubu sıcaklıkları

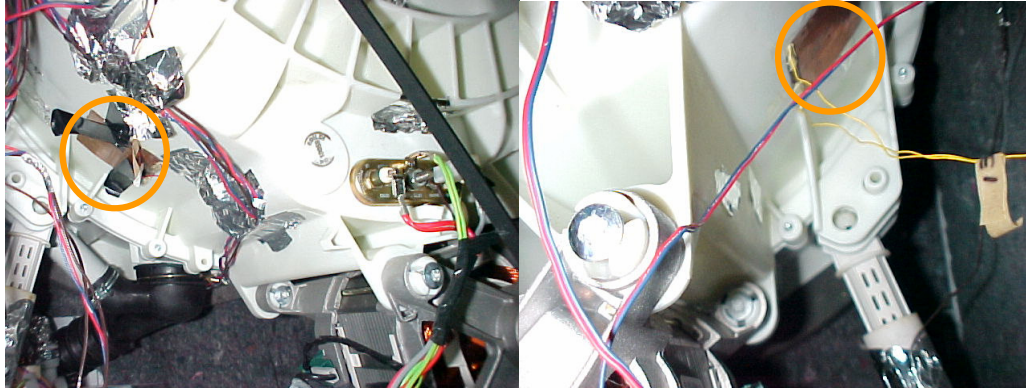
3.2.2 Isı akısı ölçümleri

Pamuklu programları boyunca kazandan makine iç ortamına ısıtım ve taşıma ile olan ısı geçişlerinin mertebesini belirlemek amacıyla kazan yan yüzeyine 3 adet ısı akısı sensörü yerleştirilmiştir. Bu sensörlerin iki tanesi kazan alt yüzeyinde, biri ise üst yüzeyinde bulunmaktadır. Şekil 3.23'te üst yüzeydeki sensör daire içine alınmış olarak üst denge ağırlığının sol alt kısmında gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Kazan üst yüzey ısı akısı sensörü

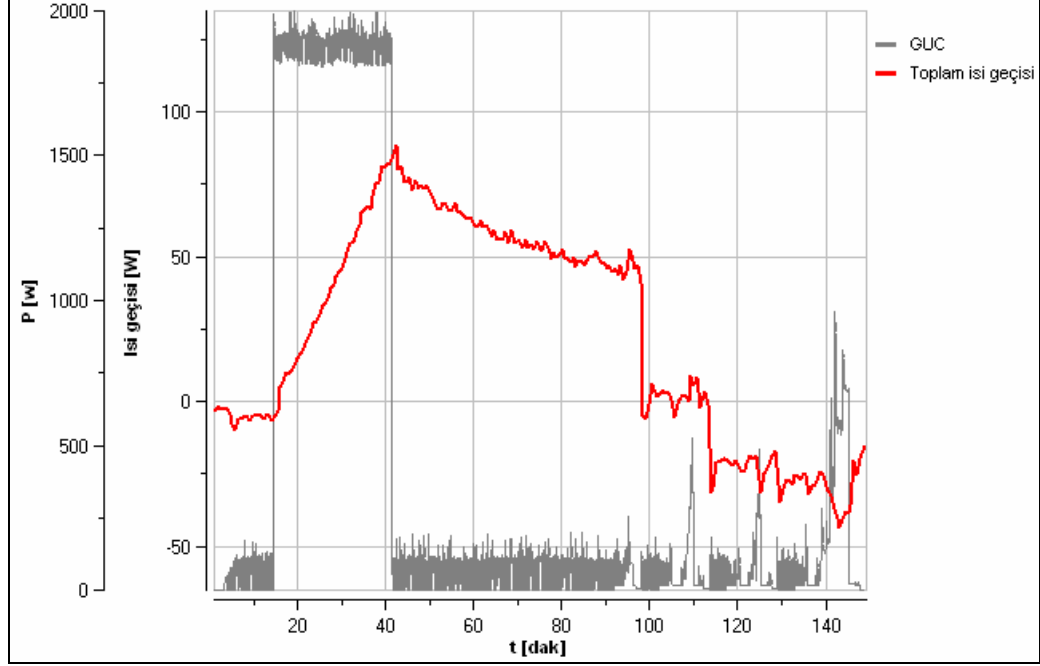
Kazanın alt yüzeyinden olan ısı geçişi, üst yüzeyden olan ısı geçişinden daha yüksektir çünkü ısıtıcı alt yüzeyde bulunmaktadır. Kazan alt yüzeyindeki ısı akısının daha yaklaşık olarak hesaplanabilmesi için bu bölgeye iki adet sensör yerleştirilmiştir. Biri solda diğeri sağda olmak üzere iki adet sensör, Şekil 3.24'te daire içine alınmış olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.24 Kazan alt yüzey ısı akısı sensörleri

Isı akısı sensörleri bulundukları yüzeylere ısı iletkenliği yüksek olan özel bir yapıştırıcı ile uygulanmaktadır. Sensörler datalogger'a bağlı olup, VDC cinsinden değerler ölçmektedir. 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 kalibrasyon ile belirlenmiştir. Kazan alt yüzeyindeki sensörlerin W/m^2 cinsinden ölçtüğü değerlerin ortalaması alınıp kazan alt yanal yüzey alanı ile çarpıldıktan sonra buradan olan taşınım ve ışıınım ısı geçişlerinin toplamı elde edilmiş olur. Aynı hesap kazan üst yanal yüzey alanı için de yapılarak bu kısımdan olan taşınım ve ışıınım ısı geçişlerinin toplamı elde edilmiş olur. Kazan yan yüzey alanı hesaplanırken yüzeydeki girinti ve çıkıntılar ihmal edilerek düz silindirik yüzey kabulü yapılmıştır. Bu kabul ile kazan yanal alanı yaklaşık $0,895 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yıkama fazına bağlı olarak kazan yanal yüzeyinden makine iç ortamına taşınım ve ışıınımla geçen toplam ısı, W cinsinden Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

Kazan yanal yüzeyinden olan ışıınım ve taşınım ısı geçişlerinin ayrı ayrı yaklaşık olarak belirlenmesi için bir dizi hesap yürütülmüştür. Buna göre, taşınımla olan ısı geçişi doğal taşınım kabulü yapılarak zamana bağlı olarak hesaplanmış ve toplam ısı geçişinden çıkarılarak ışıınımla olan ısı geçişi elde edilmiştir.



şekil 3.25 Kazan yan yüzeyinden ısınım-taşınım ile toplam ısı geçişi (pamuklu-60)

Sabit sıcaklıktaki uzun bir yatay silindir için, Churchill-Chu bağıntısı ile tanımlanan Nusselt sayısı (Nu_D), geniş bir Rayleigh sayısı aralığı için ($Ra_D < 10^{12}$),

$$\overline{Nu_D} = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0.559/Pr)^{1/6} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (3.1)$$

olarak önerilmiştir [24]. Ra_D sayısı silindir çapı temel alınarak,

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3 Pr}{\nu^2} \quad (3.2)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada β olarak belirtilen sayı,

$$\beta = T_f^{-1} \quad (3.3)$$

şeklindedir. Film sıcaklığı olarak belirtilen T_f ,

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (3.4)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda T_s , ısı akısı sensörlerine yakın kazan yüzey noktalarından ölçülen K cinsinden sıcaklıkların ortalamasıdır. T_{inf} ise ısı akısı sensörlerine yakın gövde içi hava noktalarından ölçülen K cinsinden sıcaklıkların ortalamasıdır.

(3.2) bağıntısında kullanılan havaya ilişkin Prandtl ve v sayıları film sıcaklığında tanımlanmıştır. Hava özellikleri tablosu kullanılarak, film sıcaklığına bağlı olarak Prandtl ve v sayılarının fonksiyonları çıkarılmıştır. “D” olarak belirtilen büyüklük, m cinsinden yaklaşık kazan çapı, g ise m/s^2 cinsinden yerçekimi ivmesidir. Kazan çapına ilişkin Ra_D ve Nu_D sayıları, program çevrimi boyunca tüm zaman aralıklarında yukarıda belirtilmiş olan 3.1-3.4 bağıntıları ile hesaplanmıştır [24].

Kazan yüzeyi ile gövde iç havası arası arasındaki taşınım katsayısı (h), tüm zaman aralıklarında,

$$h = \frac{\overline{Nu_D} \cdot k}{D} \quad (3.5)$$

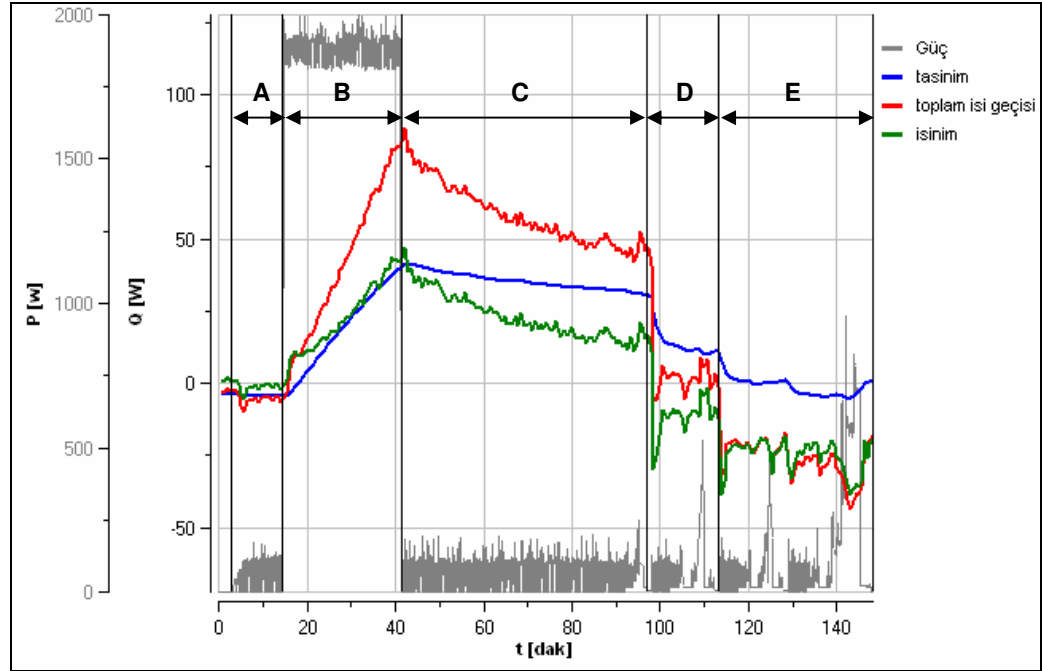
olarak hesaplanmaktadır. Burada k , havaya ait ısı iletim katsayısıdır ve film sıcaklığı için hava özellikleri tablosu kullanılarak sıcaklığın fonksiyonu olarak çevrimin tüm zaman aralıkları için hesaplanmıştır.

Son olarak kazan yüzeyi ile gövde iç havası arası arasındaki taşınım ısı geçişi,

$$q_t = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \quad (W) \quad (3.6)$$

şeklinde bulunmaktadır. Söz konusu ısı geçişi, kazanın alt ve üst yüzeyi için ayrı ayrı hesaplanarak toplanmıştır. Alt ve üst yanal yüzeylerin alanı yaklaşık $0,448 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Alt ve üst parçalara ait yüzey (T_s) ve hava (T_{inf}) sıcaklıkları, söz konusu noktalardan ölçülen sıcaklıkların ağırlıklı ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Isı akısı sensörleri ile ölçülen toplam ısı geçişinden, doğal taşınım kabulü ile hesaplanan taşınım çıkarıldığında, yıkama çevrimi boyunca zamana bağlı olarak kazan yüzeyinden gövdeye ışınlama olan ısı geçişi hesaplanmaktadır. Pamuklu -60 programı boyunca kazan yanal yüzeyinden yaklaşık olarak hesaplanmış

olan toplam, taşınım ve ısıtım ısı geçişleri Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Program adımlarına göre ısı geçişinin niteliği grafikten açıkça görülmektedir.

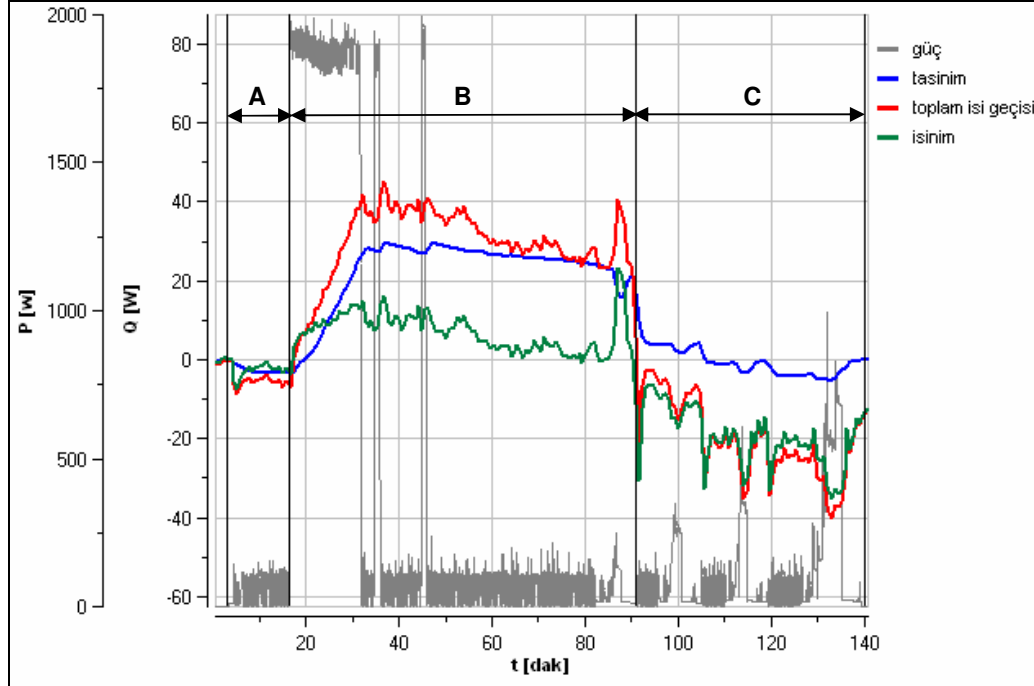


Şekil 3.26 Kazan yüzeyi-gövde iç havası ısı geçişi (pamuklu-60)

Şekil 3.26 incelenirse, programın yaklaşık ilk 10 dakikasındaki soğuk yıkamada (A) makineye soğuk su girişi ile birlikte ilk anda kazanın gövde iç havasından ısı çektiği, bu yüzden ısı geçişinin negatif yönde olduğu görülmektedir. Isınma adımı (B) ile birlikte kazan yüzeyi ile gövde iç havası arasındaki sıcaklık farkı ve buna bağlı olarak ısı geçişinin arttığı görülmektedir. Isıtma sonrası yıkamada (C), söz konusu ısı geçişi, azalan sıcaklık farkı nedeni ile azalmaktadır. Durulama ve sıkma fazlarında (D,E) makineye giren soğuk su ile birlikte ısı geçişinin yön değiştirerek gövde iç havasından kazana doğru olduğu görülmektedir. Sadece ilk durulamada (D), su alımı sonrası yıkama suyu sıcaklığı, gövde iç havası sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta homojenleştiği için ve kazan hala sıcak olduğu için, bu süre zarfında toplam ısı geçişi ve taşınım yer yer pozitif değerdedir.

Şekil 3.27'de pamuklu-40 programı boyunca kazan yanal yüzeyinden yaklaşık olarak hesaplanmış olan toplam, taşınım ve ısıtım ısı geçişleri görülmektedir. Soğuk yıkama fazında (A) makineye giren soğuk su nedeni ile ısı geçişi gövde iç havasından kazana doğrudur. Isıtma ve yıkama adımı (B), ısıtıcının histerezisli

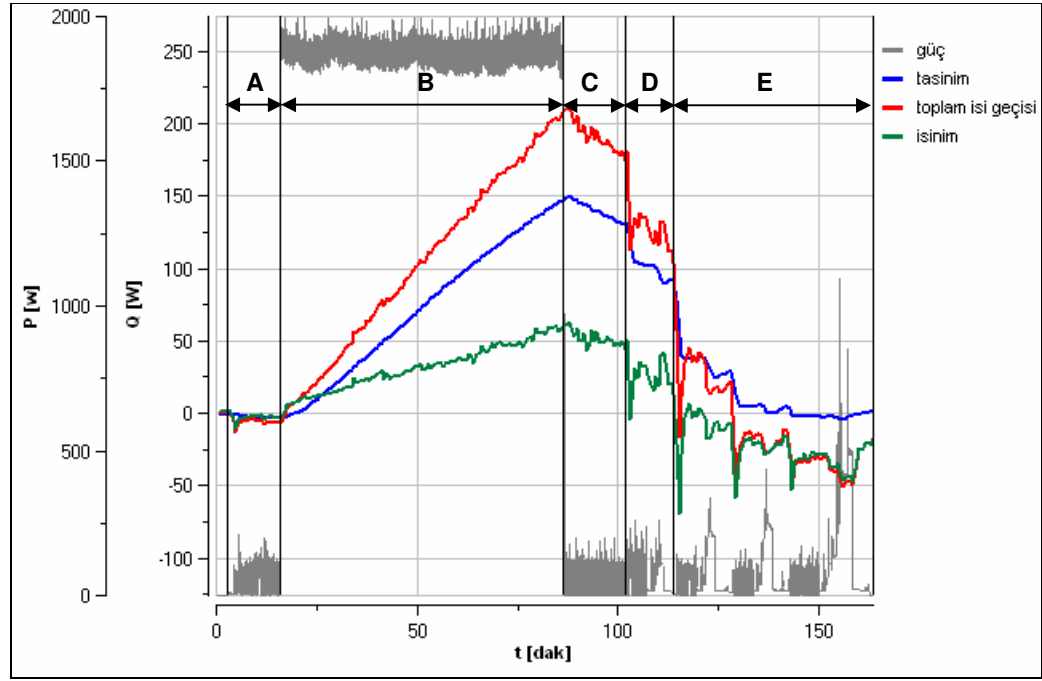
Çalışma profilinin ısı geçişlerini dalgalanma biçiminde etkilediğı gör÷lmektedir. Ana yıkama ve 1. durulamanın arasındaki tahliye sırasında, sıcak kazan içeriğı yüksek devirli sıkmaya maruz kalınca ısı geişı kısa süreli bir yükselme göstermektedir. Hemen sonrasında başlayan durulamalarla birlikte ısı geişı tekrar negatif yöne dönmekte ve kazana giren soğuk su makine iç ortamından ısı çekmeye başlamaktadır.



Şekil 3.27 Kazan yüzeyi-gövde iç havası ısı geişı (pamuklu-40)

Pamuklu-95 programındaki ısı geçiş karakteri Şekil 3.28’de gösterilmiştir. Buna göre soğuk yıkama (A), ısıtma (B) ve sonrasındaki yıkamada (C) ısı geişı yönleri, pamuklu-60 ve pamuklu-40 programlarına benzer biçimdedir. Ilıtma adımı (D) makineye soğuk su girişı olmasına rağmen, homojenleşen yıkama suyu sıcaklığı hala 70-80°C civarında olduğu için ısı geişı yönü pozitifdir. İlk durulama sonundan itibaren ısı geişı, sisteme giren soğuk durulama suları ile durulama ve sıkma fazı (E) boyunca negatif yöne dönmüştür.

Üç farklı sıcaklıktaki pamuklu programı için ısıtma ve yıkama adımlarındaki ortalama ısı geçişleri Tablo 3.3’te gör÷lmektedir.



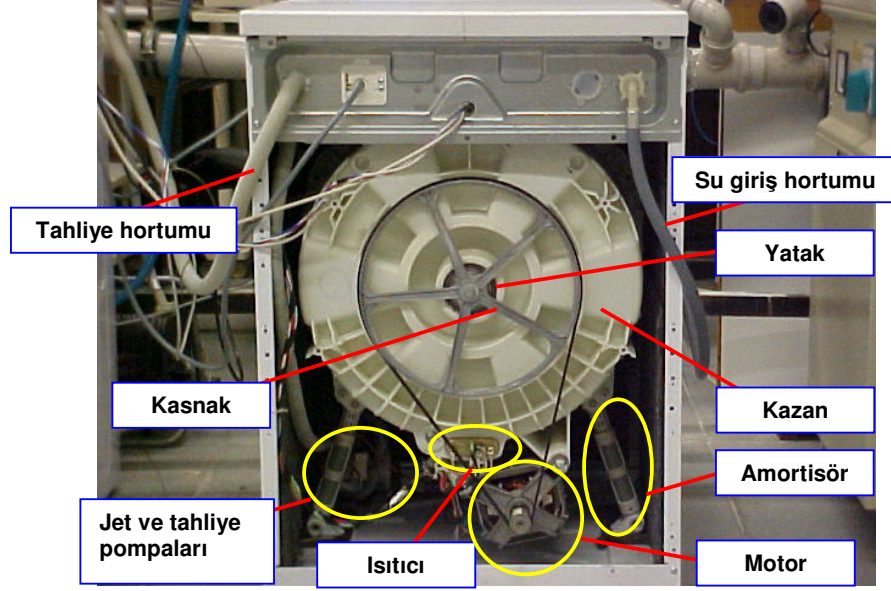
Şekil 3.28 Kazan yüzeyi-gövde iç havası ısı geçişi (pamuklu-95)

Tablo 3.3 Pamuklu programına ilişkin ısıtma ve yıkama adımları boyunca kazan-gövde iç havası arası ortalama ısı geçişi

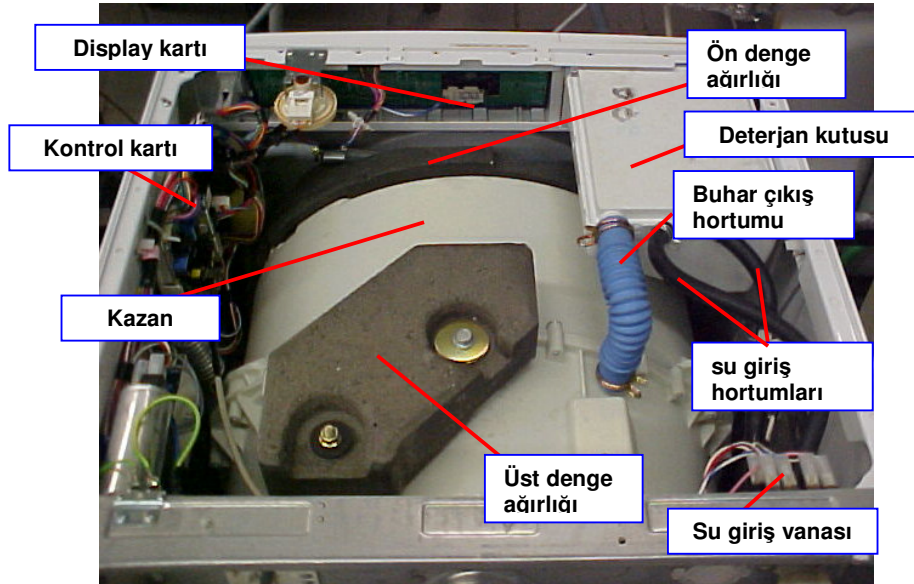
	Isı geçişi (W)-ısıtma		
	ışınım	taşınım	toplam
Pamuklu-40	9	9,3	18,3
Pamuklu-60	23,4	19,3	42,7
Pamuklu-95	30,4	74,7	105,1
	Isı geçişi (W)-yıkama		
	ışınım	taşınım	toplam
Pamuklu-40	6,1	26,8	32,9
Pamuklu-60	23,7	35,6	59,3
Pamuklu-95	50,3	139,1	189,4

3.2.3 Görselleme

60°C pamuklu programının ısı olarak daha iyi anlaşılabilmesi için, makine çevrim süresince iki açıdan (arkadan ve üstten) ısı kamera ile görüntülenmiştir. Makine içindeki ısı değişimlerin rahat gözlenebilmesi için gövdenin üst kapağı ile arka sac kapağı ve bağlantılar sökülüştür.



Şekil 3.29 Çekim için arkadan görünüş



Şekil 3.30 Çekim için üstten görünüş

Isı değişimi anlamında kritik görölen soğuk yıkama, ısıtma, sürekli rejim yıkama, durulama ve sıkma ayrı ayrı incelenmiştir. Durulama ve sıkma incelemesi, çevrimin belli bir sıkma ve durulama fazı temel alınarak yapılmıştır. Sıcaklık değişimleri gözlemlenen makine kısımları, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30’da ayrıntılı bir biçimde gösterilmiştir.

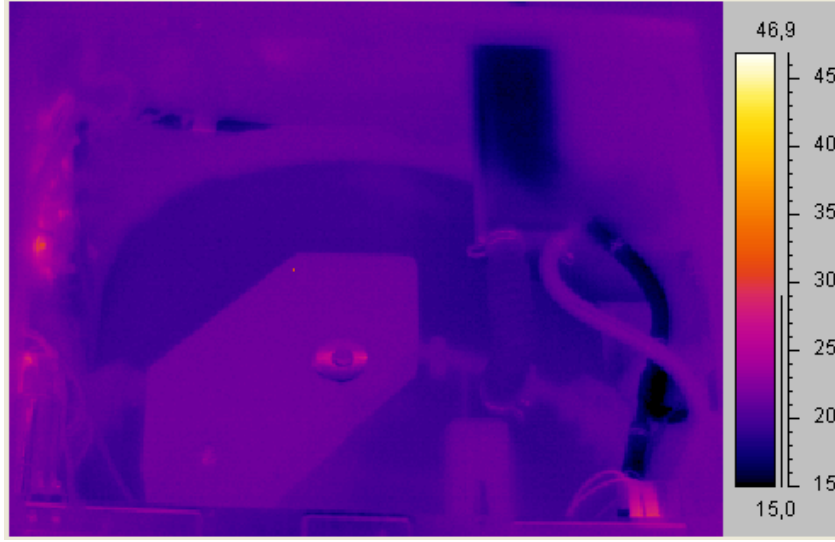
3.2.3.1 Soğuk yıkama adımı

Soğuk yıkama başlangıcında, arkadan çekilen resimde (Bkz. Şekil 3.31), giren su ile birlikte soğuyan giriş hortumu, sol alt kısımdaki jet pompası ve kazanın alt yarısı görölmektedir. Aynı süre içinde üstten çekilen resimde ise (Bkz. Şekil 3.32), su giriş vanasından deterjan kutusuna giren hortumun, ana yıkama deterjan gözünün soğuması görölmektedir. Soğuk yıkama devam ettikçe kazan sıcaklığı giderek azalır.



Şekil 3.31 Soğuk yıkama arka çekim

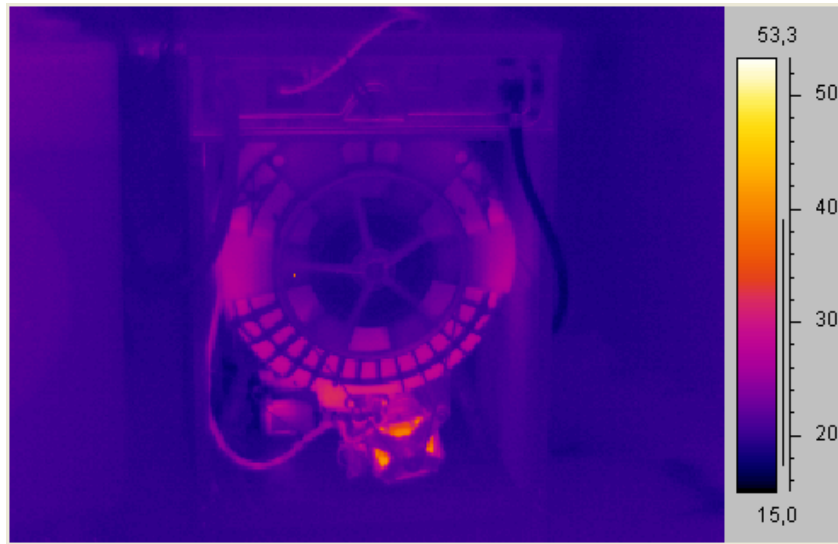
Arkadan çekilen resimde, kasnak ve motor sargısının kazana göre daha sıcak olduğu görölmektedir. Üstten çekilen resimde, sağ taraftaki bağıl olarak daha sıcak bölümler elektronik kartlar ve kablo gruplarıdır. Ayrıca kazanın üstündeki denge ağırlığı, ön ağırlık ve durulama suyu giriş hortumu da kazana oranla daha sıcaktır.



Şekil 3.32 Soğuk yıkama üst çekim

3.2.3.2 Isıtma adımı

Isıtıcı devreye girdiği andan itibaren kazan alt kısmından başlayarak ısınır ve ısıtıcı kapandığı anda, malzeme et kalınlığının düşük olduğu bölümlerde yaklaşık 50°C olan maksimum sıcaklığa erişir. Arkadan çekilen resimde (Bkz. Şekil 3.33), ısının kazanın alt yarısından başlayarak çeperler boyunca yayılımı görülmektedir. Resimde kazanın yanı sıra pompa ve bazı kabloların da ısındığı görülmektedir. Motor sargısı, çevresine oranla yine daha yüksek sıcaklıktadır. Buna karşın su giriş hortumu nispeten soğuk kalmıştır.



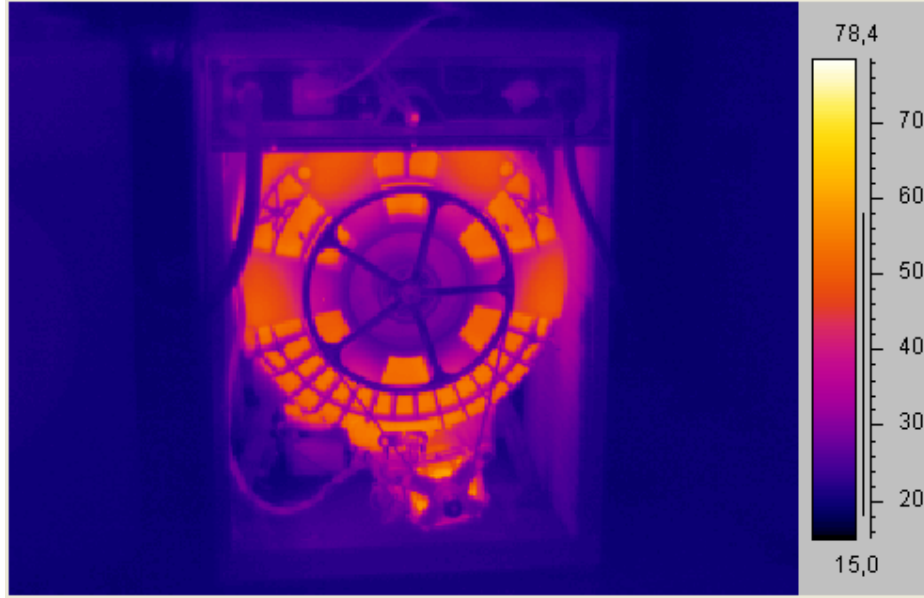
Şekil 3.33 Isıtma arka çekim

Üstten çekilen resimde (Bkz. Şekil 3.34), kazanın üst yüzeyinin ve kazanı deterjan kutusuna bağlayan buhar çıkış hortumunun ısındığı görülmektedir. Isıl ataleti yüksek olan beton üst ve ön ağırlıklar nispeten düşük sıcaklıkta kalmıştır. Resimdeki en yüksek sıcaklıklar, sol yan taraftaki elektronik kartlar ve kablo bağlantılarında gözlenmektedir.

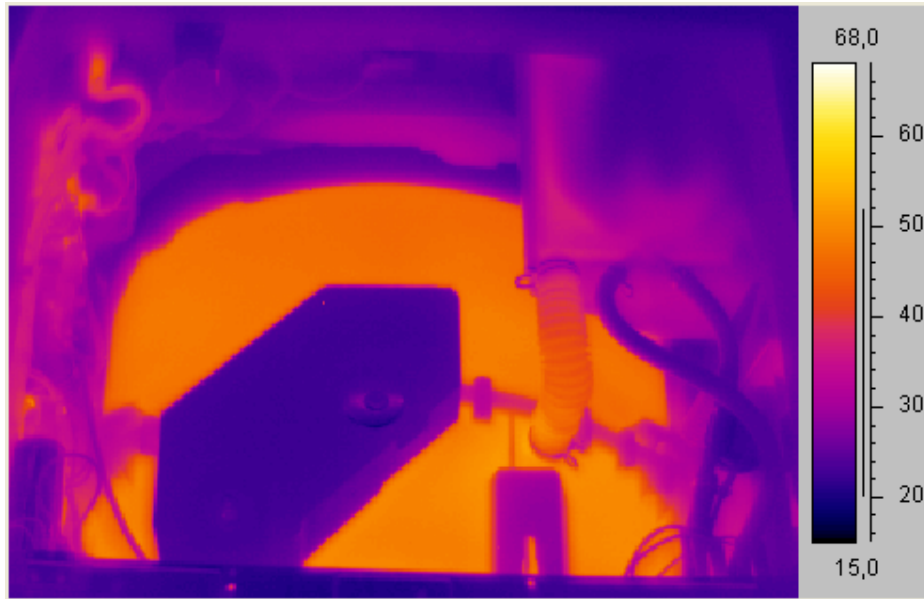


Şekil 3.34 Isıtma üst çekim

Isıtma sonunda, kazan sistemini oluşturan tüm elemanlar maksimum sıcaklığa çıkmaktadır. Kazanın doğrudan su ile temas eden et kalınlığı küçük kısımlarının sıcaklığı 40-50°C arasındadır. Kabin sağ yan duvarında ısıtım etkisi Şekil 3.35'te göze çarpmaktadır. Üstten çekilen resim (Bkz. Şekil 3.36) incelendiğinde, kazanın üst yarısının, buhar çıkış hortumunun ve deterjan kutusunun bir kısmının kazanın alt kısmından gelişen iletimle ısındığı görülmektedir. Denge ağırlıkları geç ısındığı için nispeten düşük sıcaklıkta kalmıştır. Elektronik kart ve çevresindeki aksam, kazandan birkaç derece düşük sıcaklıktadır.



Şekil 3.35 Isıtma sonu arka çekim

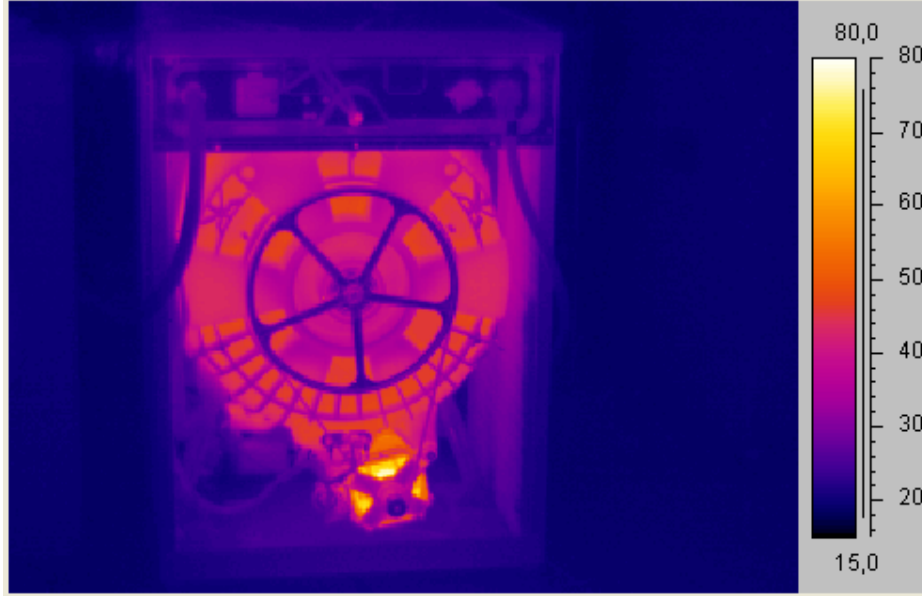


Şekil 3.36 Isıtma sonu üstten çekim

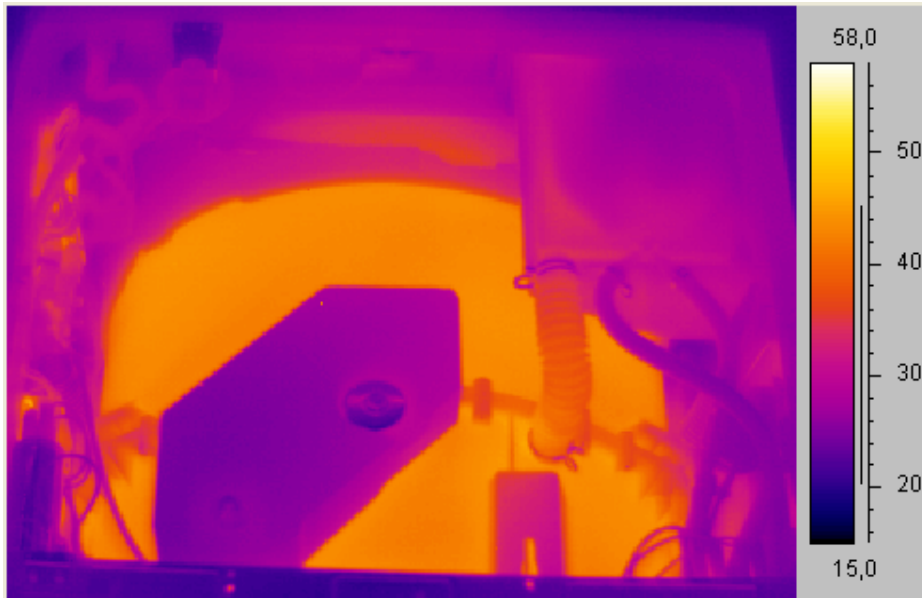
3.2.3.3 Sürekli rejim yıkama

Sürekli rejim yıkama, ana yıkamanın ısıtıcı kapandıktan sonra ilk tahliye kadar devam eden kısımdır. Isıtma sonunda maksimum sıcaklığa ulaşan kazan sistemi, sürekli rejim yıkama süresince iletim, taşınım ve ışıyım mekanizmaları ile sürekli olarak ısı kaybetmektedir. Şekil 3.37 ile gösterilen arkadan çekilen resimde, sağ yan

gövdenin iç yüzeyinin ısıtım ile ısındığı görülmektedir. Kazan yüzey sıcaklığı 40 - 50°C arasında bir dağılım göstermektedir. Motor, kasnak, tahliye ve su giriş hortumları sıcaklık farkı gözlenebilen komponentler arasındadır.



Şekil 3.37 Sürekli rejim yıkama arka çekim



Şekil 3.38 Sürekli rejim yıkama üst çekim

Sürekli rejim yıkama sırasında üstten alınan resme bakıldığında (Bkz Şekil 3.38) kazan sıcaklığı, arka resimdeki gibi 40 - 50°C arasında gözükmektedir. Üst ve ön

denge ağırlıkları, beton malzemenin yüksek ısıl ataleti nedeni ile kazana göre daha düşük sıcaklıkta kalmıştır. Kazan buhar çıkış hortumu ve deterjan kutusunun bir kısmının yaklaşık 40°C civarına kadar ısındığı görülmektedir. Şekil 3.39'da ana yıkama sonundaki tahliye anı gösterilmiştir. Şeklin sol kısmında sıcak su tahliyesi sonucu ısınan tahliye hortumu görülmektedir. Motor sargısı şekilde de görüldüğü üzere ana yıkama sonunda maksimumda yaklaşık 70-80°C sıcaklığa ulaşmaktadır.



Şekil 3.39 Ana yıkama sonu arka çekim

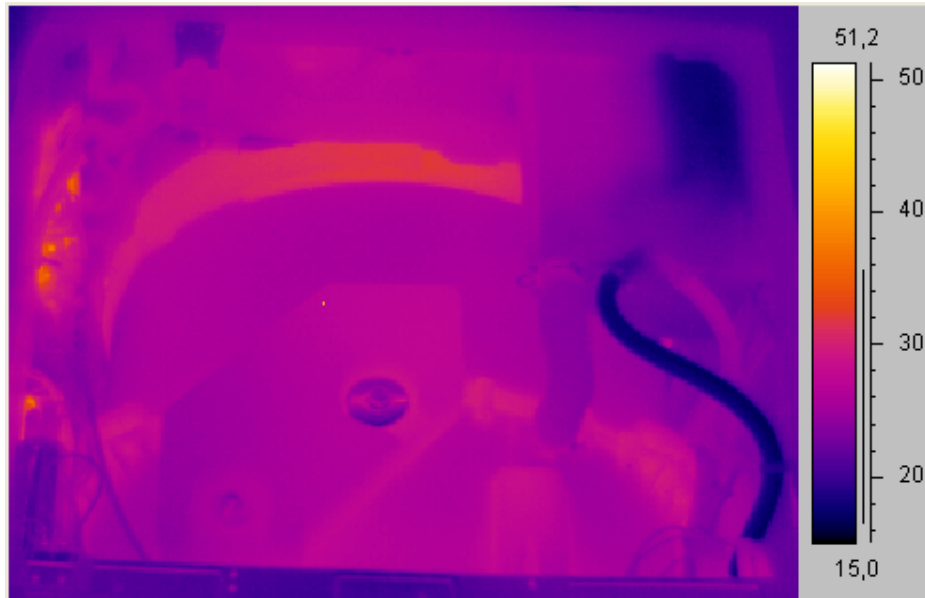
3.2.3.4 Durulama

Durulamalar sırasında kazan sistemi soğumaktadır. Bu başlık altında, arkadan çekilmiş resimde (Bkz Şekil 3.40) ilk durulamanın tüm işlemlerine ilişkin belirtiler gözlenebilmektedir. Buna göre, su giriş hortumu giren 15°C civarındaki su ile birlikte soğumuştur. Hemen sonrasındaki mekanik hareketle birlikte bir kaç dakika içinde kazan soğumuştur. Sürekli rejim yıkama sonunu gösteren Şekil 3.39 ile karşılaştırıldığında kazanın soğuduğu daha net gözlemlenebilir.



Şekil 3.40 Durulama arka çekim

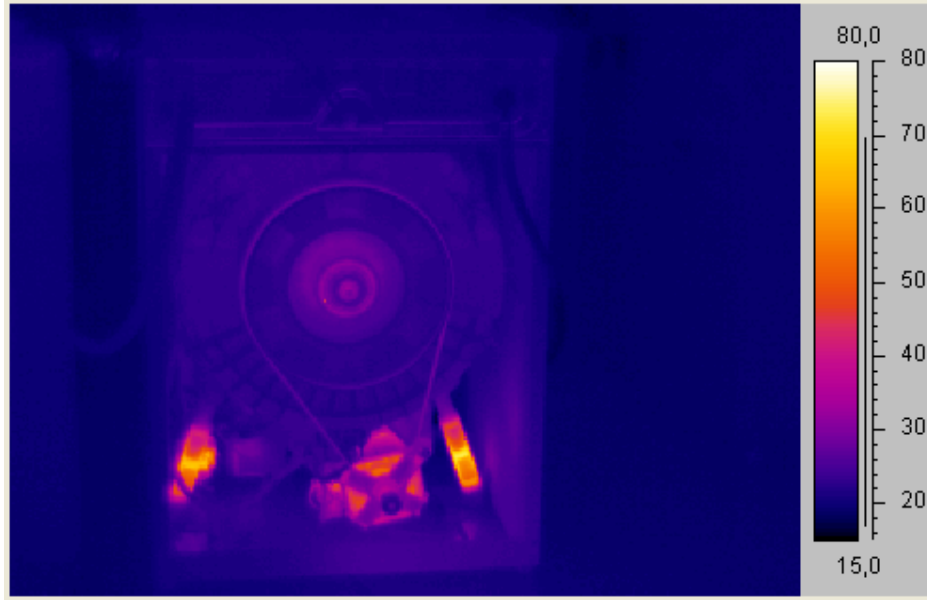
Durulamayı açıklayıcı olarak üstten çekilen resme (Bkz. Şekil 3.41) bakıldığında, su giriş vanasından deterjan çekmecesine giden durulama suyu hortumunun ve durulama gözünün, su girişi ile soğuduğu görülmektedir. Durulama süresince kazan soğumuştur, sol yan paneldeki elektronik kart ve ön denge ağırlığı ise göreceli olarak daha yüksek sıcaklığa sahip komponentler olarak gözükmemektedir.



Şekil 3.41 Durulama üst çekim

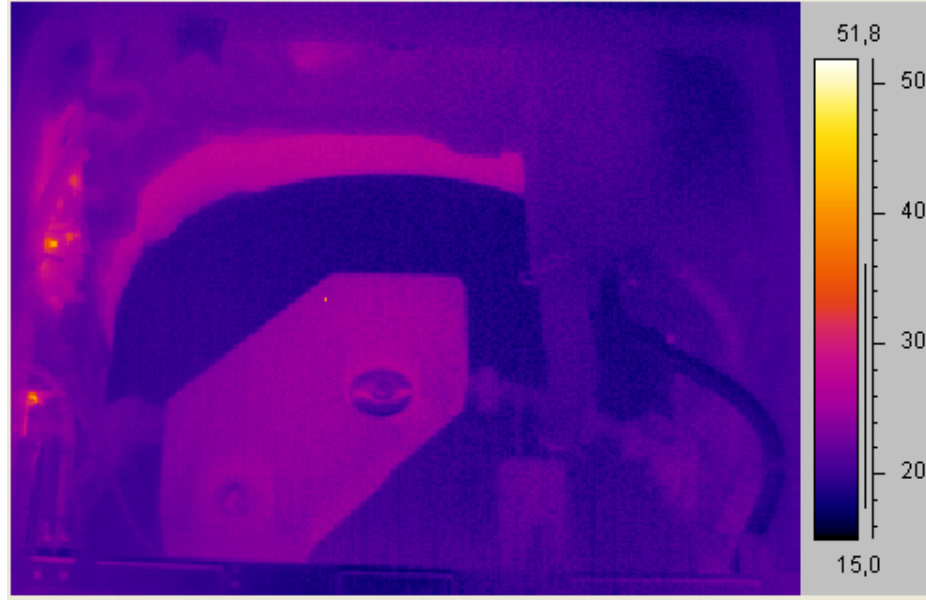
3.2.3.5 Sıkma

60°C pamuklu programı süresince üç adet ara, ve bir adet son sıkma işlemi yapılmaktadır. Şekil 3.42 ile gösterilen son sıkma sırasında arkadan çekilen görüntüde, maksimum sıkma devrine çıkıldığı süre içinde titreşim sönümleyici amortisörlerin 70-80°C civarında yüksek bir sıcaklığa eriştiği görülmektedir. Tamburun dönme ekseninde bulunan yatak kısmı, yüksek devirli hareket sırasındaki zorlanmadan dolayı ısınmış gözükmektedir.



Şekil 3.42 Sıkma arka çekim

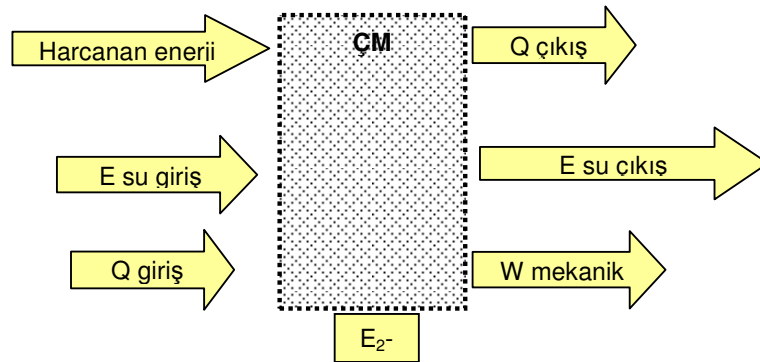
Şekil 3.43'teki görüntü çevrim sonlandığı anda alınmıştır. Kazanın üç durulama sonrası tamamen soğuduğu görülmektedir. Buna karşın ön ve üst denge ağırlıkları ısıl ataletleri nedeniyle kazandan daha uzun süre sonra maksimum sıcaklığa çıktığı için, yine aynı nedenle çevrim bittikten sonra yavaşça ısı yayarak soğumaya devam eder.



Şekil 3.43 Sıkma üst çekim

3.3 Pamuklu Program Enerji Bilançolarının Hesabı

Pamuklu program enerji bilançolarının belirlenmesi amacı ile Termodinamiğin Birinci Yasası, çamaşır makinesi kontrol hacmine uygulanmıştır (Bkz. Şekil 3.44). Sisteme giriş-çıkış yapan değerlerden “Harcanan enerji” toplam elektrik enerjisinden, “Mekanik enerji” motora harcanan enerjinin harekete dönüşen kısmından, “Su giriş ve çıkış enerji değerleri” su miktarı ve su sıcaklığından, “Depolanan enerji” çevrimin başlangıç ve bitiş noktaları arasında komponentlerin sıcaklık farklarından, “Giren ısı” ise soğuk suyun ortam sıcaklığına ısınmasından hesaplanmıştır. Dış kayıp ısı değeri ise hem enerji korunumundan hesaplanmıştır.



Şekil 3.44 Çamaşır makinesi kontrol hacmi

3.3.1 Termodinamiğin birinci yasası

“Termodinamiğin Birinci Yasası” veya diğer adı ile “Enerjinin Korunumu İlkesi”, enerjinin değişik biçimleri arasındaki ilişkileri incelemektedir. Termodinamiğin Birinci Yasası deneysel gözlemlere dayanarak, enerjinin var veya yok edilemeyeceğini, ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini vurgular [25]. Belirli sınırlar içinde bulunan sabit bir kütle için, sisteme veya sistemden ısı veya iş şeklindeki net enerji geçişi, sistemin toplam enerjisindeki net artış veya azalmaya eşittir. Genel bir kontrol hacmi için, enerjinin korunumu ilkesi matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir [25]:

$$Q - W + \Sigma E_g - \Sigma E_{\phi} = \Delta E_{KH} \text{ (kJ)} \quad (3.7)$$

Burada, Q sistem sınırlarından net ısı geçişini, W değişik biçimleri kapsayan net işi, ΣE_g kontrol hacmine giren toplam enerjiyi, ΣE_{ϕ} kontrol hacminden çıkan toplam enerjiyi, ΔE_{KH} ise kontrol hacmindeki toplam enerji değişimini göstermektedir. Çamaşır makinesi kontrol hacmi göz önüne alındığında, kontrol hacmi sınırlarından herhangi bir iş giriş-çıkışı söz konusu olmadığı için net iş terimi sıfıra ($W=0$) eşit olmaktadır. Denklem 3.7 çamaşır makinesi kontrol hacmi için daha da ayrıntılı olarak şu şekilde yazılabilir:

$$Q + [\Sigma m_g h_g + E_{elk}] - [\Sigma m_{\phi} h_{\phi} + E_{mek}] = \Delta E_{KH} = E_2 - E_1 \text{ (kJ)} \quad (3.8)$$

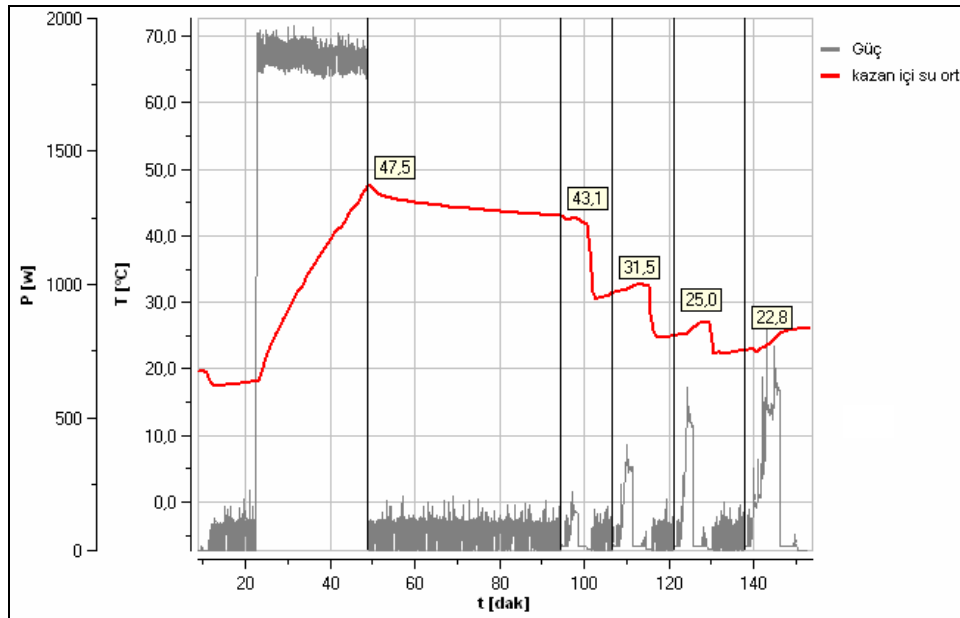
Burada, $\Sigma m_g h_g$ terimi kontrol hacmine giren temiz suyun toplam enerjisi, $\Sigma m_{\phi} h_{\phi}$ ise kontrol hacminden tahliye edilen yıkama suyunun toplam enerjisidir. Giren suyun kütlesi (m_g) debimetre ile, tahliye edilen suyun kütlesi (m_{ϕ}) ile hassas tartı ile ölçülmektedir. Giriş (h_g) ve çıkış (h_{ϕ}) entalpileri ise her adımda giren ve tahliye edilen suyun ortalama sıcaklıkları ölçülerek belirlenmiştir. E_{elk} terimi, çamaşır makinesi kontrol hacmine giren elektrik enerjisi miktarıdır, E_{mek} terimi ise motorun harcadığı enerjinin mekanik hareket için harcanan yararlı kısmıdır. Kontrol hacminin 1 ve 2 halleri arasındaki toplam enerji değişimi (ΔE_{KH}), makine komponentlerinin çevrim boyunca depoladığı enerjidir ve ayrıntılı sıcaklık haritası kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklem 3.8’in tüm bilinmeyenleri hesaplandıktan sonra, çamaşır makinesi kontrol hacmi ile çevre arasındaki net ısı geçişi Q bulunabilir.

3.3.2 Pamuklu program enerji bilançoları

Çamaşır makinesi sisteminde enerji tüketimini azaltmaya yönelik atak edilecek noktaların belirlenmesi için öncelikle genel enerji bilançosunun ortaya konması gerekmektedir. Öncelikle enerji harcamaları yüklere (ısıtıcı, motor, pompa, elektronik kart grubu, su giriş vanası) göre sınıflandırılmıştır. Daha sonra tüm çamaşır makinesi kontrol hacmi kabul edilerek Termodinamiğin Birinci Kanunu uygulanmıştır. Yapılan sıcaklık ölçümlerinden depolanan enerji, su ile sistemden çıkan ve sisteme giren enerji gibi değerler hesaplanmıştır. Deneyler üç sıcaklıktaki pamuklu programlar için yapılmıştır: 40°C, 60°C ve 95°C yıkama programları. Deneyler EN-60456 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.2.1 Pamuklu-60 programı

60°C pamuklu programı için 6 kg standart yük ve 150 g standart deterjan ile yapılan deneyde, giriş suyu 16,1 lt miktarında ve 15,5°C sıcaklığındadır. Yaklaşık 12 dak süren bir soğuk yıkama süresinden sonra makine iç ortamı ve çamaşır yükünden ısı çeken yıkama suyu 18°C civarına kadar ısınmıştır. Sonrasında ısıtıcı devreye girmiş ve 26 dak boyunca devrede kalarak $T_{set}=55^{\circ}\text{C}$ değerini aldığı anda kapanmıştır. Bu anda, 10 noktadan ölçümü alınan kazan içi su sıcaklıklarının ağırlıklı ortalaması 47,5°C civarındadır, NTC sensörü çevresinde ise ölçülen sıcaklık 51°C'dir.



Şekil 3.45 Pamuklu-60 kazan içi ortalama su sıcaklığı

45 dak süren ısıtma sonrası yıkama fazı sonundaki ara sıkmada 43,1°C’de 11,2 lt su tahliye edilmiştir. Ana yıkamadan sonraki ilk durulamada makineye 15,4°C’de 8,3 lt su girişi olmuş, 1. durulama ara sıkmasında ise makineden 31,5°C’de 9,8 lt su tahliyesi olmuştur. 2. durulamada makineye 15,5°C’de 9,4 lt su girişi olmuş, durulama sonundaki ara sıkmada ise makineden 25°C’de 9,2 lt su tahliyesi olmuştur. Yumuşatıcı adımı makineye 15,5°C’de 8,3 lt su girişi olmuş, son sıkma ile birlikte makineden 22,8°C’de 9,3 lt su tahliyesi olmuştur.

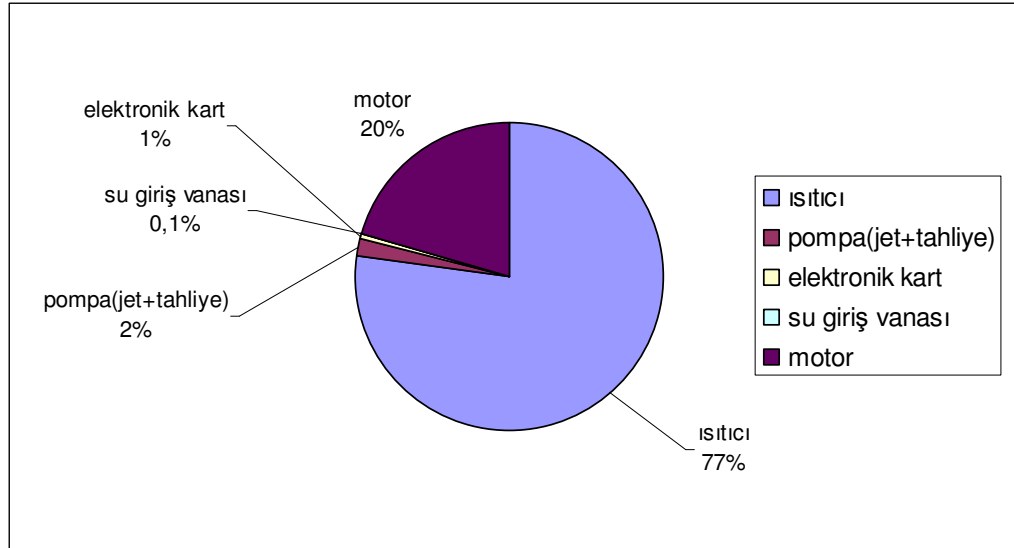
Söz konusu tahliye suyu sıcaklıkları ilk tahliye anlarında ölçülmüştür. Bu anlardan sonra, sıcaklıklarda küçük değişimlerle tahliye, sıkmalar boyunca devam etmektedir. Ortalama su çıkış entalpisinin (Bkz Tablo 3.4) bulunabilmesi için tahliye süresi boyunca değişen su sıcaklığının ağırlıklı ortalaması alınmıştır. 40°C ve 95°C programı enerji bilançosu hesapları için de aynı yöntem kullanılmıştır.

Yapılan deneyde 6,04 kg’lık pamuklu standart yük kullanılmıştır. Çevrim süresi 140 dak, toplam su tüketimi 42,1 lt, enerji tüketimi ise 1019 Wh değerindedir. Çevrim sonunda ölçülen tahliye suyunun toplam ağırlığı 39,5 kg’dır ve çamaşır yükünün üzerinde 2,6 kg su kalmıştır.

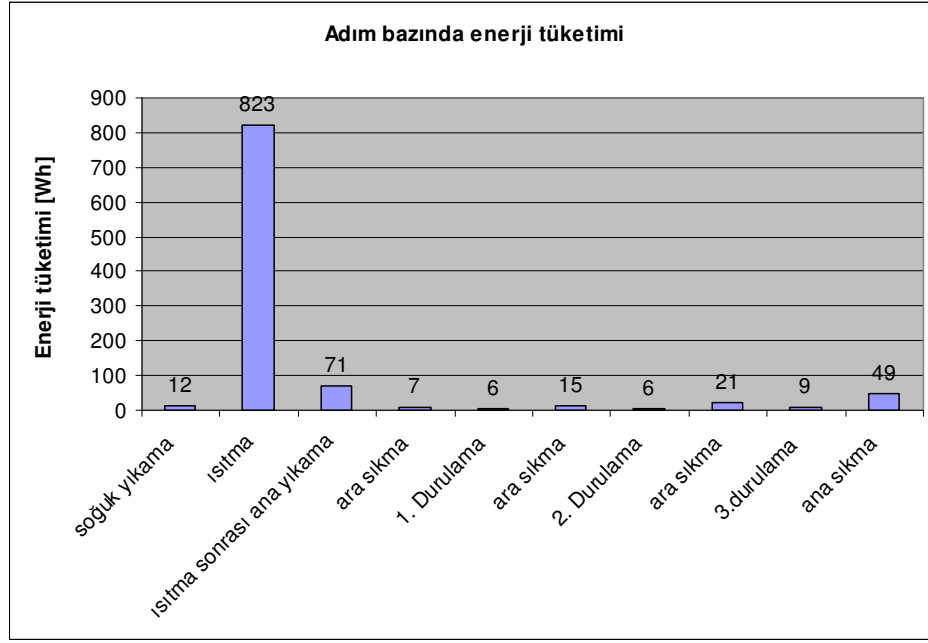
Komponentlerin enerji tüketimleri söz konusu olduğunda (Bkz. Şekil 3.46) en büyük tüketim % 77 ile ısıtıcıya aittir. Motor, toplam enerjinin %20’sini harcamaktadır, geri kalan kısımlar ise elektronik kart, iki adet pompa (jet ve tahliye pompaları) ve su giriş vanasının toplam harcamasına aittir. Yıkama adımlarının tükettiği enerjilere bakıldığında (Bkz. Şekil 3.47) en yüksek değer 823 Wh ile ısıtma işlemine aittir, bu değer toplam enerji tüketiminin % 80’ini oluşturmaktadır. Isıtma adımı takip eden önemli tüketim değerleri 71Wh (%7) ile ısıtma sonrası yıkama ve 40 Wh ile ana sıkma (%4) adımlarıdır.

Tablo 3.4’te yıkama çevriminin başlangıç ve bitişi arasındaki sürede çamaşır makinesi kontrol hacminde depolanan enerji ile su ile sisteme giriş-çıkış yapan enerji miktarları gösterilmektedir. Tablo, sıcaklık haritası yardımı ile oluşturulmuştur. Yük, tambur, kasnak ve diğer adı altında geçen tüm plastik ve metal parçalar için tabloda verilen sıcaklık değerleri, ölçülen diğer komponentlerin sıcaklıkları göz önüne alınarak yapılan kabullerle belirlenmiştir. Yük, yük üzerinde kalan suyun ve

tamburun yaklaşık olarak eşit sıcaklıkta olduğu ve bu sıcaklığın kazan içi su ve kazan içi hava sıcaklıklarının ortalaması olduğu kabulü yapılmıştır. Kasnak sıcaklığı için ise, kazan ve gövde içi hava sıcaklıklarının ortalaması şeklinde bir yaklaşım yapılmıştır. Kazan malzemesi propilendir ve bu malzemenin özgül ısı değeri yaklaşık 2,0 kJ/kg.K değerindedir [27]. Kazanın rulman yuvası adı verilen, tambur mili ve rulmanların içine monte edildiği kısmı ise çelikten imal edilmiştir. Kazan, polipropilen ve çeliğin heterojen bir karışımı şeklinde kabul edilirse (polipropilen : 8 kg, çelik : 4,8 kg) ağırlıklı ortalama olarak belirlenen özgül ısı 1,42 kJ/kg.K değerini almaktadır. Kazanda da diğer tüm komponentlerde olduğu gibi sıcaklık değişiminin tüm noktalarında eşit olduğu (lumped) kabulü yapılmıştır. Motor ve iki adet amortisör için özgül ısı belirlenmeye çalışılırken bu komponentlerin çok büyük oranda demir bazlı olduğu kabulü yapılmıştır. Denge ağırlıklarının malzemesi betondur. Tablo 3.4'te “Diğer” adı altında toplanan grup, hortumlar, pano, kart tutucular, deterjan kutusu, pompa gövdesi vs diğer tüm plastik bazlı komponentleri içermektedir, özgül ısı değeri 2,0 kJ/kg.K olarak kabul edilmiştir [27]. Bu komponentlerin sıcaklık değişiminin gövde içi hava ile paralel olduğu kabulü yapılmıştır, söz konusu komponentler gövde içi hava ile temas halindedir. Komponent malzemelerinin özgül ısıları ile ilgili bilgiler 28 no’lu kaynaktan sağlanmıştır.



Şekil 3.46 Pamuklu-60 komponentsel enerji tüketimi yüzdeleri



Şekil 3.47 Pamuklu-60 adımsal enerji tüketimleri

Tablo 3.4 Pamuklu-60 programı sistemde depolanan ve su ile giren-çıkan enerji

	Giren su kütlesi m (kg)	Giren su entalpisi (kJ/kg)	Çıkan su kütlesi (kg)	Çıkan su entalpisi (kJ/kg)	Su ile sistemden çıkan net enerji (kJ)
Ana yıkama	16,1	65,09	11,2	178,85	962
1. Durulama	8,3	64,79	9,8	135,40	789
2. Durulama	9,4	65,00	9,2	109,32	390
3. Durulama	8,3	65,13	9,3	96,98	363
Toplam					2500
	Kütle m (kg)	Özgül ısı cp (kJ/kgK)	İlk sıcaklık (°C)	Son sıcaklık (°C)	Sistemde depolanan enerji (kJ)
Yük (pamuklu)	6,04	1,30	19,9	25,9	47
Tambur (çelik)	5,4	0,45	19,9	25,9	15
Kazan	12,8	1,42	19,7	26,5	124
Denge ağırlıkları					
Üst denge ağırlığı	4,1	0,88	21,8	29,6	28
Ön denge ağırlığı	13,5	0,88	21,3	28,6	87
Motor	6,4	0,45	21,4	44,5	67
Kasnak (çelik)	0,34	0,45	20,0	27,2	1
Cam Kapak	3,0	0,84	20,3	23,3	8
Amortisörler	0,25	0,45	20,3	38,9	2
Kazan içi hava	0,09	1,008	20,2	25,7	0
Dış gövde içi hava	0,24	1,008	20,7	27,6	2
Dış gövde (çelik)	16,0	0,45	20,1	22,2	15
Diğer (plastik)	9,0	2,00	20,7	27,6	124
Yük üzerinde kalan su	2,6	4,18	19,9	25,9	65
Toplam					584

Sistemin enerji bilançosunun çıkarılabilmesi için Termodinamiğin Birinci Yasası uygulanmıştır. Buna göre sistem girişleri ana elektrik enerjisi kullanımı, giren suyun iç enerjisi ve ortamdan çekilen ısıdır. Sistem çıkışları ise mekanik hareket, ortama verilen ısı ve atık suyun iç enerjisidir. Bu giriş-çıkış değerleri ile sistemin başlangıç ve bitiş koşulları arasındaki enerji farkının dengede olması gereklidir.

Enerjinin Korunumu Prensibi sisteme uygulanırsa:

$$(Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass_in} - E_{mass_out}) = E_2 - E_1 \text{ (kJ)} \quad (3.8)$$

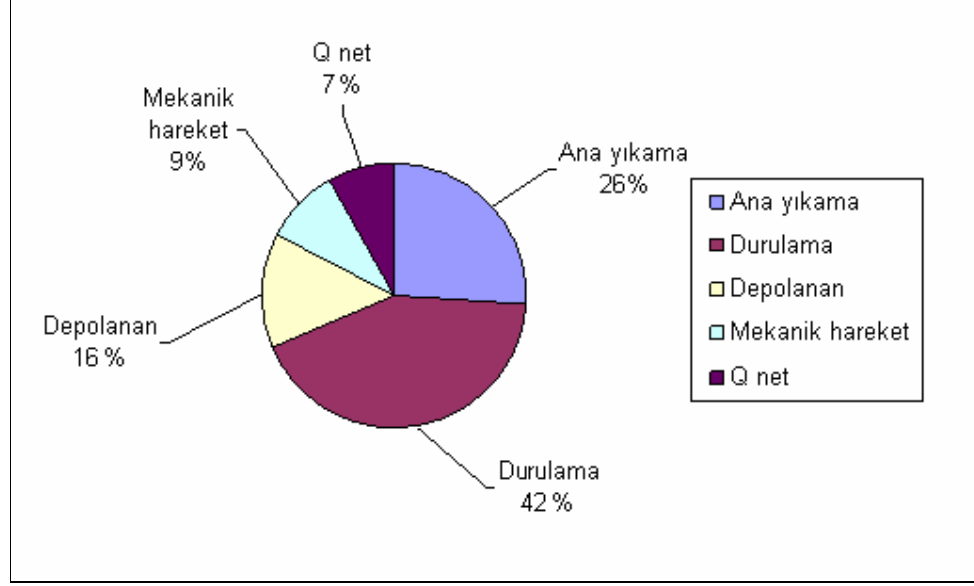
$W_{in} = 3668,4 \text{ kJ}$ (Harcanan toplam elektrik enerjisi)

$W_{out} = 340,6 \text{ kJ}$ (Motor tüketimi; ısıtıcı, pompa, kart ve vana komponentlerinin tüketimleri toplam tüketimden çıkarılarak elde edilmiştir. W_{out} , motorun elektrik tüketiminin mekanik işe (tambur hareketi) dönüşen kısmıdır ve motorun yıkamadaki mekanik verimi %25, sıkmadaki mekanik verimi %75 alınarak hesaplanmıştır.)

$E_{mass_out} - E_{mass_in} = 2500,4 \text{ kJ}$ (Ana yıkama ve durulama suları ile sistemden net olarak çıkan kütlenin enerjisi, Bkz. Tablo 3.4)

$E_2 - E_1 = 584,0 \text{ kJ}$ (Çamaşır makinesi kontrol hacminde çevrim süresince depolanan enerji, Bkz. Tablo 3.4)

Bulunan değerler Denklem 3.8'te yerlerine yerleştirilirse $Q_{net} = 256,8 \text{ kJ}$ olarak hesaplanır. Dış kayıp olarak belirtilen net ısı transferi $256,8 \text{ kJ}$ olarak elde edilmektedir.



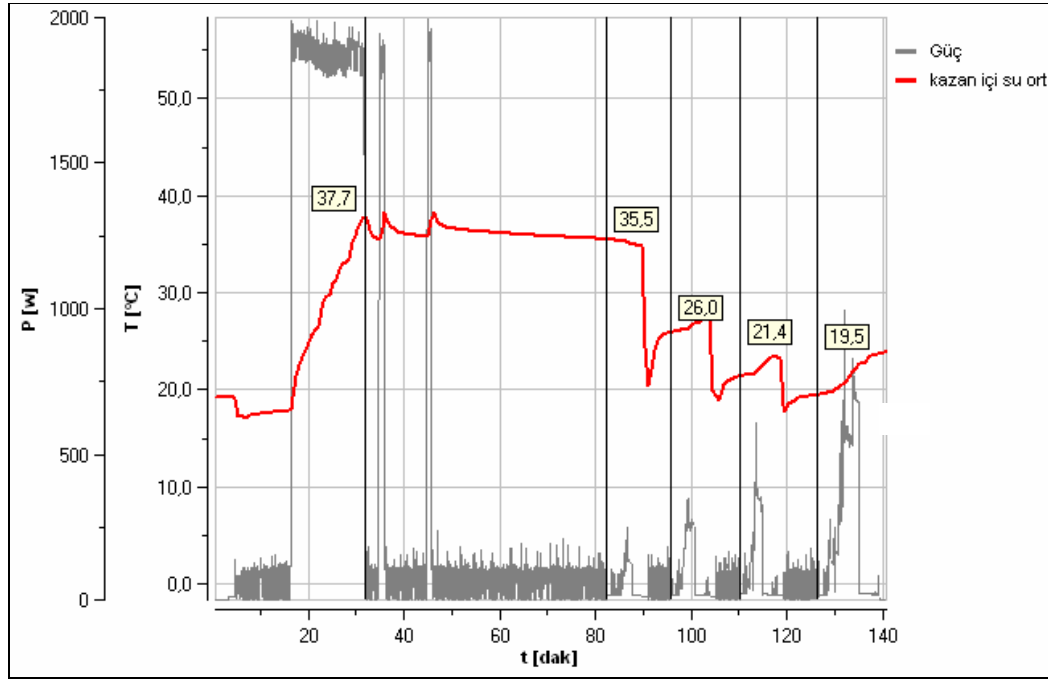
Şekil 3.48 Pamuklu-60 enerji bilanço yüzdeleri

Tüm çevrim boyunca sistem incelendiğinde (Bkz Şekil 3.48), toplam enerji tüketiminin % 26 kadarının ana yıkama, % 42 kadarının ise durulamalar sonunda tahliye edilen sular üzerinden sistemden çıktığı görülmektedir. Toplam tüketimin % 16'sı söz konusu süre boyunca çamaşır makinesinin parçaları üzerinde depolanmıştır. Mekanik hareket olarak adlandırılan yararlı motor enerjisi ise toplam pastanın %9'una eşittir. Taşınım, ısınım ve iletim gibi yollarla sistem dışına olan net ısı geçişi ise çevrimin toplam tüketiminin %7'si olarak hesaplanmıştır. Ana yıkama ve durulamalar sonucu atılan sulardan ısı değiştiricileri yardımı ile geri kazanım yapılması mümkündür. Dış kaybın azaltılması ile ilgili bir seçenek yalıtım ve ısı köprülerin azaltılmasıdır. Yalıtım sayesinde, ısıtma sırasında meydana gelen kayıplar azaltılırsa mevcut durumdan daha az elektrik enerjisi tüketilerek istenen su sıcaklığına çıkılmış olur. Isıtma sonrasındaki yıkama süreci için ise, yalıtımla daha az bir sıcaklık düşüşü sağlanarak yıkama performansı artırılabilir.

3.3.2.2 Pamuklu-40 programı

Pamuklu-40 programı ile 6 kg standart yük ve 150 g standart deterjan kullanarak yapılan enerji bilançosu deneyinde, giriş suyu 17,1 lt miktarında ve 15,6 °C sıcaklığındadır. Yaklaşık 12 dak süren bir soğuk yıkama süresinden sonra makine iç ortamı ve çamaşır yükünden ısı çeken yıkama suyu 18°C civarına kadar ısınmıştır. Isıtma adımına geçildiğinde ısıtıcı yaklaşık 16 dak boyunca devrede kalarak NTC

tarafından ölçülen su ayar sıcaklığı T_{set} : 40°C değerini aldığı anda kapanmıştır. Isıtıcının kapandığı anda , 10 noktadan ölçümü alınan kazan içi su sıcaklıklarının ağırlıklı ortalaması 37,7 °C civarındadır, NTC sensörü çevresinde ise ölçülen sıcaklık 39°C'dir. Pamuklu-40 programına özgü olarak, ısıtıcı su sıcaklığı belli bir değerin altına düştüğünde ısıtıcı tekrar devreye girerek T_{set} değerine kadar ek ısıtma yapmaktadır. Şekil 3.49'da da görüldüğü gibi söz konusu deneyde ısıtıcı ana ısıtmaya ek olarak iki kere devreye girip çıkmıştır. Yapılan ek ısıtma sayısı, su-yük karışımının ısı kayıp durumuna bağlı olarak deneyden deneye farklılık gösterebilir.



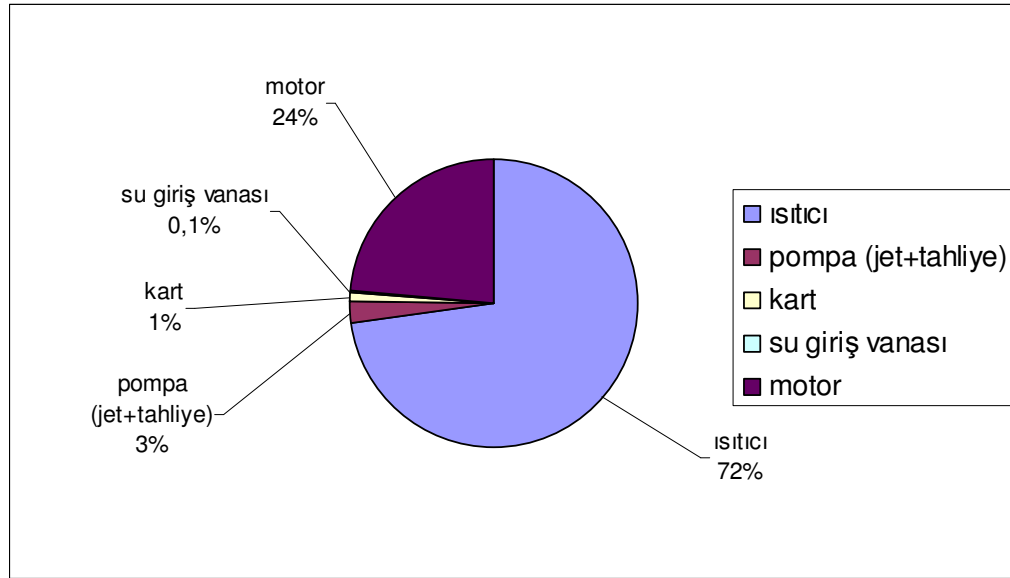
Şekil 3.49 Pamuklu-40 kazan içi ortalama su sıcaklığı

80 dak süren ana yıkama fazı sonundaki ara sıkmada 35,5 °C'de 12,2 lt su tahliye edilmiştir. Ana yıkamadan sonraki ilk durulamada makineye 15,8 °C'de 10,8 lt su girişi olmuş, 1. durulama ara sıkmasında ise makineden 26,0°C'de 12,4 lt su tahliyesi olmuştur. 2. durulamada makineye 15,8°C'de 10,3 lt su girişi olmuş, durulama sonundaki ara sıkmada ise makineden 21,4°C'de 10,1 lt su tahliyesi olmuştur. Yumuşatıcı adımında makineye 16,1°C'de 10,7 lt su girişi olmuş, son sıkma ile birlikte makineden 19,5 °C'de 11,6 lt su tahliyesi olmuştur.

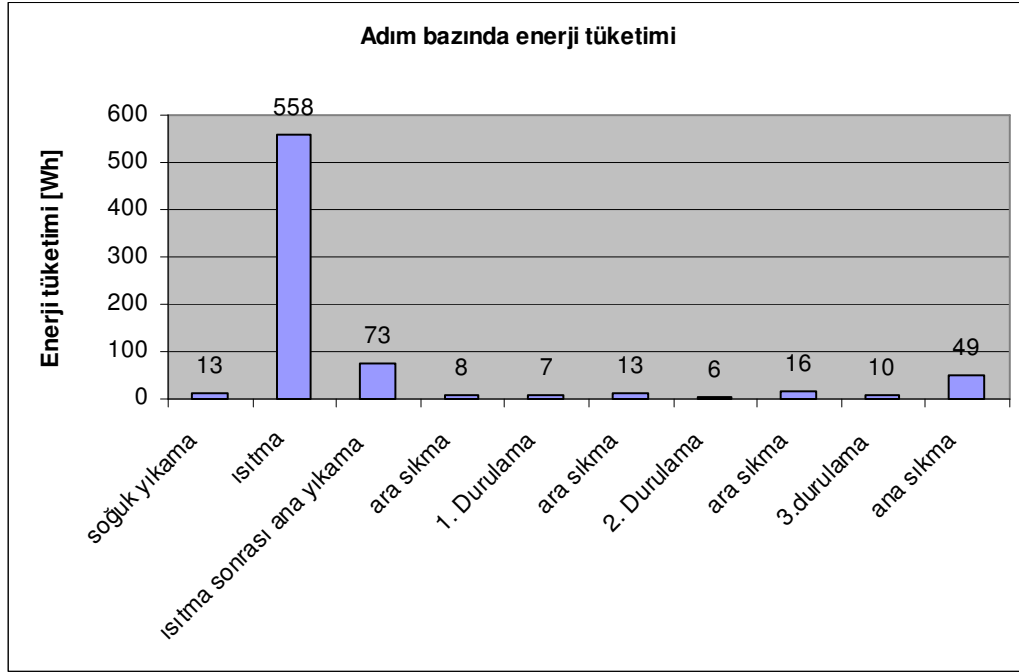
Tahliye anlarındaki ortalama su entalpileri, pamuklu-60 hesaplarındaki şekilde, tahliye süresi boyunca değişen su sıcaklığının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Yapılan deneyde 6,03 kg'lık pamuklu standart yük kullanılmıştır. Çevrim süresi 137 dak, toplam su tüketimi 48,9 lt, enerji tüketimi ise 753 Wh değerindedir. Çevrim sonunda ölçülen tahliye suyunun toplam ağırlığı 46,3 kg'dır ve çamaşır yükünün üzerinde 2,6 kg su kalmıştır.

Komponentlerin enerji tüketimleri incelendiğinde (Bkz. Şekil 3.50) en büyük tüketim % 72 ile ısıtıcıya aittir. Motor, toplam enerjinin %24'ünü harcamaktadır. Yıkama adımlarının tükettiği enerjiler Şekil 3.51'de görülmektedir. Isıtma adımı, 558 Wh'lik enerji tüketimi ile toplam enerji tüketiminin %74'ünü oluşturmaktadır. Isıtma adımını takip eden önemli tüketim değerleri 73 Wh (%10) ile ısıtma sonrası yıkama ve 49 Wh ile son sıkma (%7) adımlarıdır.



Şekil 3.50 Pamuklu-40 komponentsel enerji tüketimi yüzdeleri



Şekil 3.51 Pamuklu-40 adımsal enerji tüketimleri

Tablo 3.5 Pamuklu-40 programı sistemde depolanan ve su ile giren-çıkan enerji

	Giren su kütlesi m (kg)	Giren su entalpisi (kJ/kg)	Çıkan su kütlesi (kg)	Çıkan su entalpisi (kJ/kg)	Su ile sistemden çıkan net enerji (kJ)
Ana yıkama	17,1	65,51	12,2	147,43	678
1. Durulama	10,8	66,35	12,4	111,98	672
2. Durulama	10,3	66,35	10,1	93,88	265
3. Durulama	10,7	67,60	11,6	86,34	278
Toplam					1893
	Kütle m (kg)	Özgül ısı cp (kJ/kgK)	İlk sıcaklık (°C)	Son sıcaklık (°C)	Sistemde depolanan enerji (kJ)
Yük (pamuklu)	6,03	1,30	19,35	23,30	31
Tambur (çelik)	5,4	0,45	19,35	23,30	10
Kazan	12,8	1,42	19,44	24,28	88
Denge ağırlıkları					
Üst denge ağırlığı	4,1	0,88	19,99	25,24	19
Ön denge ağırlığı	13,5	0,88	19,43	24,57	61
Motor	6,4	0,45	19,49	41,09	62
Kasnak (çelik)	0,34	0,45	19,65	23,82	1
Cam Kapak	3	0,84	20,48	21,83	3
Amortisörler	0,25	0,45	19,36	44,58	3
Kazan içi hava	0,09	1,008	19,52	22,94	0
Dış gövde içi hava	0,24	1,008	19,86	23,35	1
Dış gövde (çelik)	16	0,45	19,71	21,53	13
Diğer (plastik)	9	2,00	19,86	23,35	63
Yük üzerinde kalan su	2,6	4,18	19,35	23,30	43
Toplam					398

Enerjinin Korunumu Prensibi sisteme uygulanırsa:

Enerji Dengesi Denklemi için Bkz. Denklem 3.8

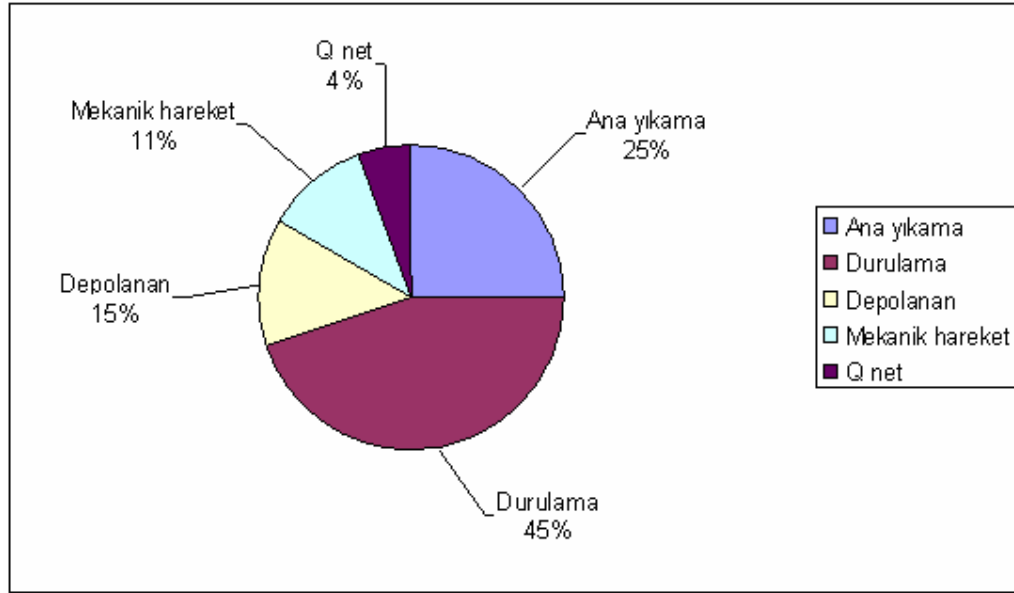
$W_{in} = 2710,8$ kJ (Harcanan toplam elektrik enerjisi)

$W_{out} = 299,5$ kJ (Faydalı mekanik iş-tambur işi)

$E_{mass_out} - E_{mass_in} = 1893,0$ kJ (Ana yıkama ve durulama suları ile sistemden net olarak çıkan kütlenin enerjisi, Bkz. Tablo 3.5)

$E_2 - E_1 = 398,0$ kJ (Çamaşır makinesi kontrol hacminde çevrim süresince depolanan enerji, Bkz. Tablo 3.5)

Bulunan değerler enerjinin korunumu denkleminde yerlerine yerleştirilirse dış evre ile olan net ısı kaybı $Q_{net}=108,4$ kJ olarak hesaplanmaktadır.



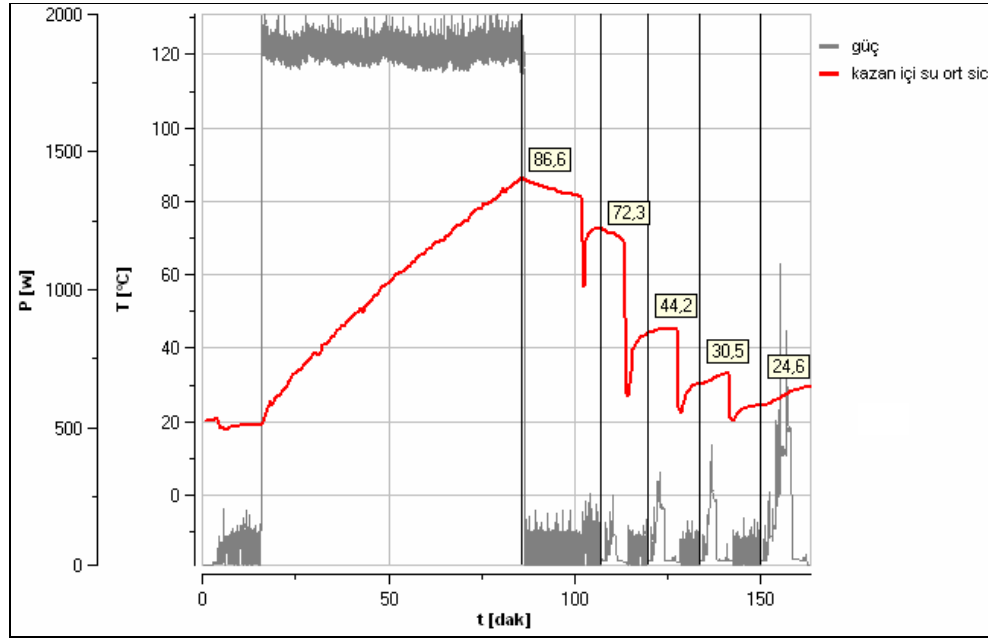
Şekil 3.52 Pamuklu-40 enerji bilanço yüzdeleri

Şekil 3.52 ile de ifade edilebilen bilançoya göre, Pamuklu-40 programında net ısı transferinin Pamuklu-60 programında olduğu gibi sistemden dışarı doğru olduğu, fakat değer ve yüzde olarak daha küçük kaldığı görülmektedir. Bunun sebebi çevrim içi sıcaklıkların daha düşük düzeyde olmasıdır. 40°C programı için sistem enerji bilançosu incelendiğinde verilen enerjinin büyük kısmının tahliye edilen yıkama ve durulama suları üstünde depolandığı görülmektedir (yıkama: % 25, durulamalar: % 45). Mekanik hareket için harcanan enerji % 11 oranındadır, komponentlerde depolanan ısı enerjisi % 15 oranı ile pamuklu-60 programındaki yüzde değerinden biraz düşüktür. Sistemden evreye olan net ısı kaybı oranı % 4 olarak belirlenmiştir.

3.3.2.3 Pamuklu-95 programı

Pamuklu-95 programı için 6 kg standart yük ve 150 g standart deterjan ile yapılan enerji bilançosu deneyinde, ana yıkama başlangıcında makineye 18,2 lt miktarında ve 16,0 °C sıcaklığında su girişi olmuştur. Yaklaşık 13 dak süren soğuk yıkama fazı sonunda makine i ortamı ve çamaşır yükünden ısı çeken yıkama suyu 19,0°C civarına kadar ısınmıştır. Isıtma adımına ısıtıcı 70 dak süresinde devrede kalmış ve

NTC tarafından ölçülen su ayar sıcaklığı T_{set} : 88°C değerini aldığı anda kapanmıştır. Isıtıcının kapandığı anda , kazan içi su sıcaklıklarının ağırlıklı ortalaması 86,6 °C civarındadır. T_{set} sonrası yıkama süresi 16 dak olarak belirlenmiştir, bu süre sonunda makineye 3,1 lt'lik bir su girişi olmuştur. ıltma adı verilen bu adımın amacı, ana yıkama sonunda tahliye edilen suyun sıcaklığını kullanıcı güvenliği gerekçesi ile bir miktar azaltmaktır. Ek olarak ıltma, sıcak çamaşırı durulama fazına hazırlayarak soğuk su ile ani temastan dolayı kırışma, çekme vs olumsuz etkileri de en aza indirmektedir.



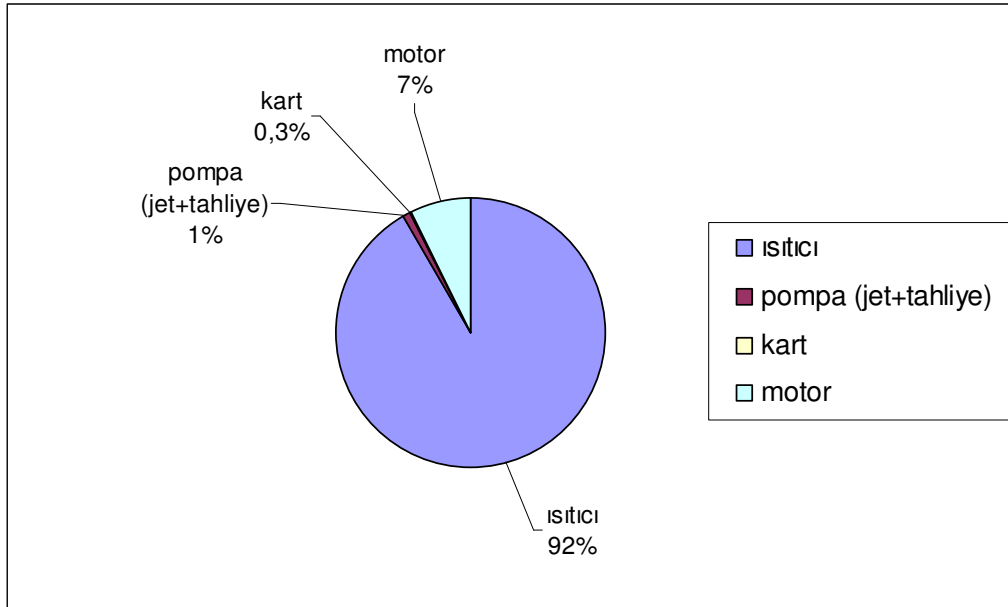
Şekil 3.53 Pamuklu-95 kazan içi ortalama su sıcaklığı

ıltma suyu girişi sonrasında ana yıkama adımı 5 dak daha sürmüş ve ara sıkımda 72,3°C'de 16,1 lt su tahliye edilmiştir. Ana yıkamadan sonraki ilk durulamada makineye 15,9°C'de 10,4 lt su girişi olmuş, 1. durulama ara sıkımasında ise makineden 44,2°C'de 11,7 lt su tahliyesi olmuştur. 2. durulamada makineye 16,0 °C'de 9,8 lt su girişi olmuş, durulama sonundaki ara sıkımda ise makineden 30,5 °C'de 9,5 lt su tahliyesi olmuştur. Yumuşatıcı adımında makineye 16,6 °C'de 10,3 lt su girişi olmuş, son sıkma ile birlikte makineden 24,6°C'de 11,4 lt su tahliyesi olmuştur. Şekil 3.53'te Pamuklu-95 programının yıkama suyu ortalama sıcaklığının profili gösterilmiştir.

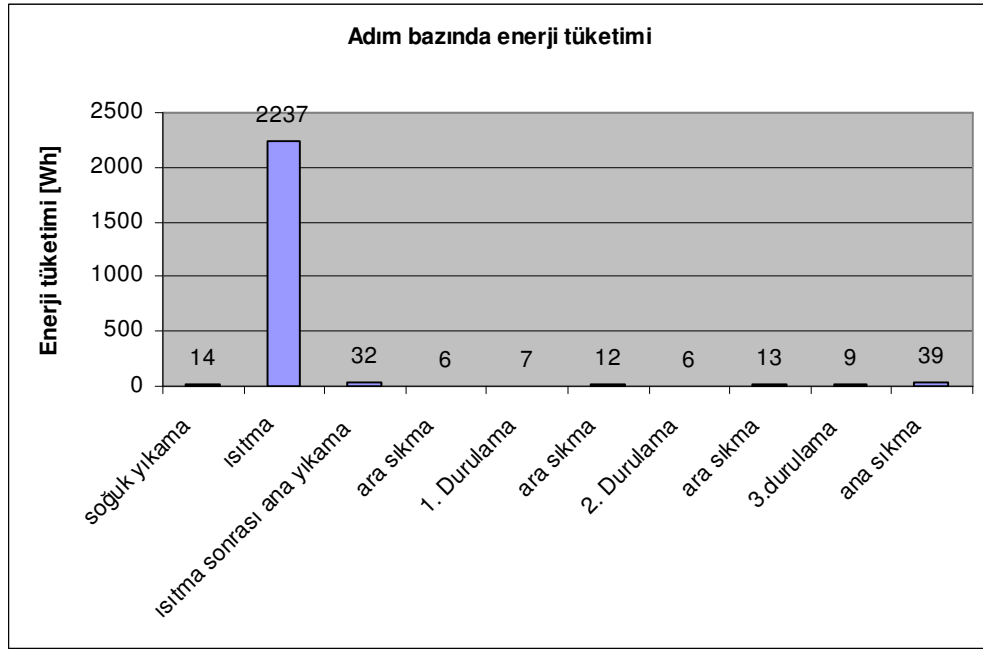
Tahliye anlarındaki ortalama su entalpileri, pamuklu-60 ve pamuklu-40 hesaplarındaki şekilde, tahliye süresi boyunca değişen su sıcaklığının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Yapılan deneyde 6,00 kg'lık pamuklu standart yük kullanılmıştır. Çevrim süresi 160 dak, toplam su tüketimi 51,8 lt, enerji tüketimi ise 2375 Wh değerindedir. Çevrim sonunda ölçülen tahliye suyunun toplam ağırlığı 48,7 kg'dır ve çamaşır yükünün üzerinde 3,1 kg su kalmıştır.

Komponentlerin enerji tüketimleri incelendiğinde (Bkz. Şekil 3.54) en büyük tüketim % 92 ile ısıtıcıya aittir. Motor, toplam elektrik enerjisinin %7'sini harcamaktadır. Su giriş vanasının enerji tüketimi oransal olarak ihmal edilebilecek kadar küçük kaldığı için grafik üzerinde gösterilmemiştir. Yıkama adımlarının tükettiği enerjiler Şekil 3.55'te gösterilmiştir. Isıtma adımı, 2237 Wh'lik enerji tüketimi ile toplam enerji tüketiminin %94'ünü oluşturmaktadır. Isıtma adımını takip eden önemli tüketim değerleri 32 Wh (%1,3) ile ısıtma sonrası yıkama ve 39 Wh ile son sıkma (%1,6) adımlarıdır.



Şekil 3.54 Pamuklu-95 komponentsel enerji tüketimi yüzdeleri



Şekil 3.55 Pamuklu-95 adımsal enerji tüketimleri

Tablo 3.6 Pamuklu-95 programı sistemde depolanan ve su ile giren-çıkan enerji

	Giren su kütlesi m (kg)	Giren su entalpisi (kJ/kg)	Çıkan su kütlesi (kg)	Çıkan su entalpisi (kJ/kg)	Su ile sistemden çıkan net enerji (kJ)
Ana yıkama	21,3	67,18	16,1	296,75	3347
1. Durulama	10,4	66,76	11,7	188,45	1511
2. Durulama	9,8	67,18	9,5	133,73	612
3. Durulama	10,3	69,70	11,4	108,65	521
Toplam					5990
	Kütle m (kg)	Özgül ısı cp (kJ/kgK)	İlk sıcaklık (°C)	Son sıcaklık (°C)	Sistemde depolanan enerji (kJ)
Yük (pamuklu)	6,00	1,3	21,09	29,97	69
Tambur (çelik)	5,4	0,45	21,09	29,97	22
Kazan	12,8	1,42	21,47	30,34	161
Denge ağırlıkları					
Üst denge ağırlığı	4,1	0,88	21,31	39,65	66
Ön denge ağırlığı	13,5	0,88	20,94	38,87	213
Motor	6,4	0,45	20,47	46,58	75
Kasnak (çelik)	0,34	0,45	21,51	29,20	1
Cam Kapak	3	0,84	23,08	27,74	12
Amortisörler	0,25	0,45	20,74	37,46	2
Kazan içi hava	0,09	1,008	22,05	29,32	1
Dış gövde içi hava	0,24	1,008	21,54	28,05	2
Dış gövde (çelik)	16	0,45	21,33	24,27	21
Diğer (plastik)	9	2,00	21,54	28,05	117
Yük üzerinde kalan su	3,1	4,18	21,09	29,97	115
Toplam					877

Enerjinin Korunumu Prensibi sisteme uygulanırsa:

Enerji Dengesi Denklemi için Bkz. Denklem 3.8

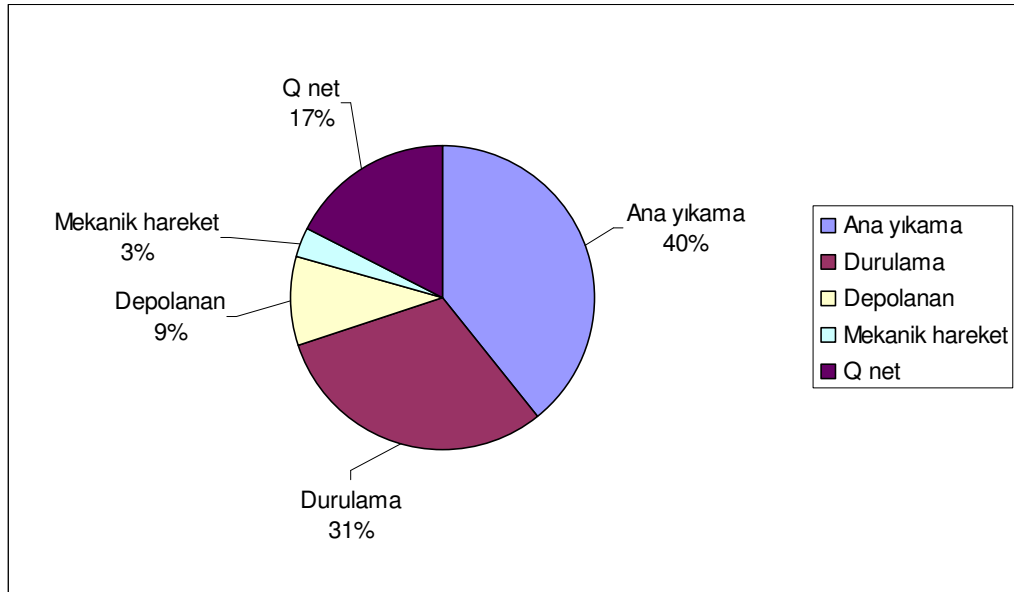
$W_{in}=8550,0$ kJ (Harcanan toplam elektrik enerjisi)

$W_{out}=269,5$ kJ (Faydalı mekanik iş-tambur işi)

$E_{mass_out} - E_{mass_in} = 5989,9$ kJ (Ana yıkama ve durulama suları ile sistemden net olarak çıkan kütlenin enerjisi, Bkz. Tablo 3.6)

$E_2 - E_1 = 876,8$ kJ (Çamaşır makinesi kontrol hacminde çevrim süresince depolanan enerji, Bkz. Tablo 3.6)

Bulunan değerler enerjinin korunumu denkleminde yerlerine yerleştirilirse dış çevre ile olan net ısı kaybı $Q_{net}=1453,5$ kJ olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.56 Pamuklu-95 enerji bilanço yüzdeleri

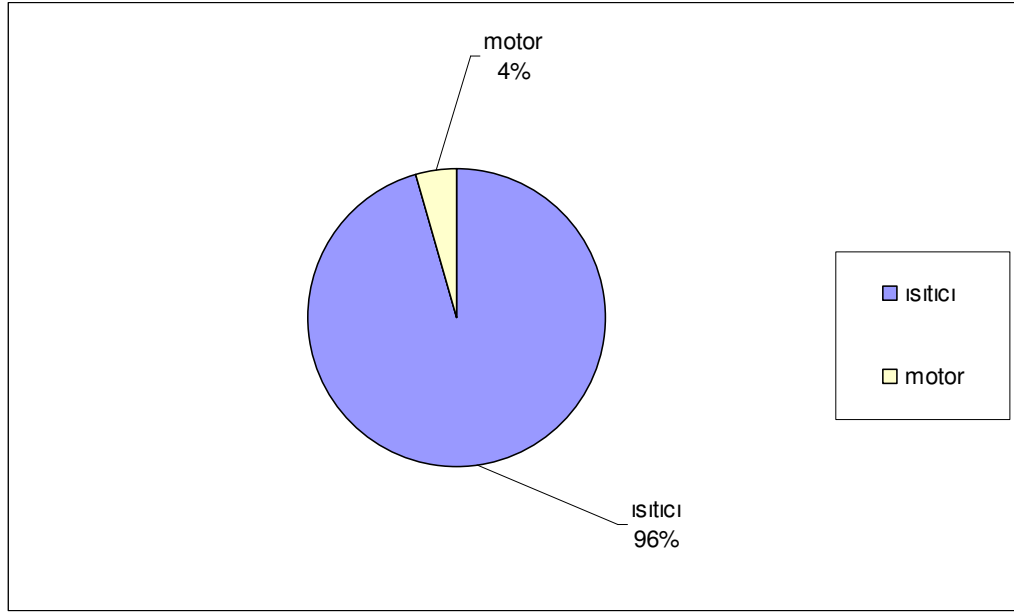
Şekil 3.56’da dilimleri gösterilen bilançoya göre, Pamuklu-95 programında net ısı transferinin diğer pamuklu programlarına göre değer ve yüzde olarak oldukça büyük olduğu görülmektedir. Pamuklu-60 programına oranla net kayıp ısı, yüzde olarak yaklaşık iki katına çıkmıştır. Çevrim içi sıcaklıklar oldukça yüksek olduğu için bu durum normal bir sonuçtur. Enerji bilanço yüzdelerine bakıldığında ana yıkama suyu ile sistemden çıkan enerjinin diğer pamuklu programlara göre %15 oranında artarak

%40'a çıktığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni ısıtma nedeniyle tahliye suyu miktarının artması ve program yıkama profiline özgü olarak yüksek sıcaklıkta yapılan tahliyedir. Motorun tükettiği enerji, toplama oranla düşük kaldığı için mekanik iş yüzdesi de diğer pamuklu programların yaklaşık %25-30'u oranında kalmıştır.

3.3.2.4 Pamuklu-60 ısıtma ve ısıtma sonrası yıkama bilançosu

Pamuklu-60 programına özel olarak ısı kayıpları, ısıtma ve ısıtma sonrası yıkama adımlarında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Isı kaybının hangi adımda ne boyutta olduğu ayrıntılı bilançolar ile daha net olarak anlaşılacaktır. Yine bu hesaplamanın ortaya konması ile birlikte, yapılması gereken ısı kayıp önleyici çalışmaların ana hatları da çizilmiş olacaktır.

İlk olarak ısıtma adımı incelenmiştir. Bölüm 3.3.2.1'de bütün halde ele alınmış olan Pamuklu-60 programının ısıtma adımı için hesap yürütülmüştür. Isıtma adımı ısıtıcı yaklaşık olarak 26 dak boyunca devrede kalmıştır, bu süre zarfında tüketilen toplam elektrik enerjisi 823 Wh (2963 kJ) kadardır. Isıtıcı gücünün 1800 W, elektronik kartların 2,5 W kadar güç tükettiği dikkate alınarak, toplam tüketimden motorun tükettiği enerji hesaplanmıştır. Komponent sel bazdaki enerji tüketimi Şekil 3.57'de gösterilmiştir. Buna göre en büyük tüketim payı % 96 ile ısıtıcıya aittir. Motor, adımsal enerji tüketiminin %4'ünü oluşturmaktadır. Elektronik kartların tüketimi ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu için Şekil 3.57'de gösterilmemiştir.



Şekil 3.57 Pamuklu-60 ısıtma adımı komponentsel enerji tüketimi yüzdeleri

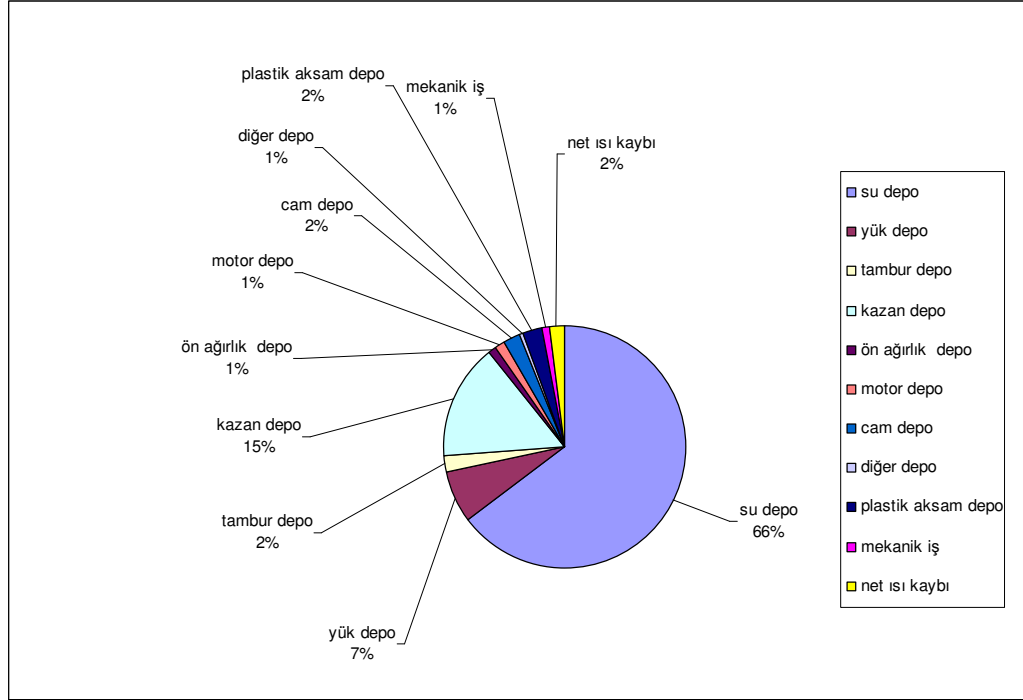
Isıtma adımı boyunca su, çamaşır yükü ve diğer makine komponentlerinde depolanan ısı miktarları ayrıntılı olarak Tablo 3.7’de görülmektedir. Tabloda sıcaklığı doğrudan ölçülemeyen bazı elemanlar (tambur, yük, kasnak vs) için çeşitli kabuller yapılmıştır. Tambur sıcaklığının su sıcaklığı ile aynı olduğu, yük sıcaklığının su ve kazan içi hava sıcaklığının ortalaması olduğu, kasnak sıcaklığının ise kazan ve gövde içi hava sıcaklıklarının ortalaması olduğu kabulleri ile hesap yapılmıştır. Isıtma adımı içindeki mekanik iş hesaplanırken motorun tükettiği elektrik enerjisinin ısıtma süresince % 25’inin yararlı mekanik işe dönüştüğü kabulü yapılmıştır.

Isıtma adımı boyunca su, yük, tambur ve kazan, çevrim içerisinde çıkacakları maksimum sıcaklıklara kadar ısıtılarak tüketilen toplam enerjinin %90’ını üzerinde depolamaktadır. Bunun yanı sıra diğer makine komponentlerinin de depoladığı ısılar ve ısıtma süresi içindeki mekanik iş (32,0 kJ) göz önüne alındığında, net ısı kaybı 59,0 kJ ile %2’lik bir değere sahip olmaktadır. Isıtma süresinin kısa olmasından dolayı mekanik tüketimin düşük kalması ve verilen ısının % 97’sinin depolanması sonucunda dışarı olan net ısı kaybı % 2 gibi düşük bir oranda kalmıştır. Isıtma adımı enerji bilançosu yüzdeleri Şekil 3.58’de ayrıntılı olarak görülmektedir. “Diğer” adı altında toplanan elemanların tümü tekil olarak % 1’den daha düşük enerji depolamıştır. Plastik aksam adı altında verilen kısım ise Tablo 3.7’de Diğer (plastik) adı altında verilen elemandır.

Tablo 3.7 Pamuklu-60 programı ısıtma adımı sistemde depolanan enerji

	Kütle m (kg)	Özgül ısı cp (kJ/kgK)	İlk sıcaklık (°C)	Son sıcaklık (°C)	Sistemde depolanan enerji (kJ)
Yıkama suyu	16,1	4,18	18,16	46,69	1920
Yük (pamuklu)	6,04	1,30	18,66	44,59	204
Tambur (çelik)	5,4	0,45	18,16	46,69	69
Kazan	12,8	1,42	18,38	43,05	448
Denge ağırlıkları					
Üst denge ağırlığı	4,1	0,88	21,73	23,12	5
Ön denge ağırlığı	13,5	0,88	21,09	23,63	30
Motor	6,4	0,45	26,21	40,58	41
Kasnak (çelik)	0,34	0,45	19,56	35,95	3
Cam Kapak	3,0	0,84	18,03	44,95	68
Amortisörler	0,25	0,45	20,09	23,3	0
Kazan içi hava	0,09	1,008	19,16	42,49	2
Dış gövde içi hava	0,24	1,008	20,74	28,84	2
Dış gövde (çelik)	16,0	0,45	19,91	20,79	6
Diğer (plastik)	9,0	2,00	20,74	28,84	73
Toplam					2871

Yıkama performansının belli bir değerde tutulması açısından çamaşır yükü ve yıkama suyuna belli miktardaki enerji, ki bu enerji ısıtma adımındaki tüketimin yaklaşık % 75'ini oluşturmaktadır, mutlaka aktarılmalıdır. Mekanik iş kısmı da tambur hareketi nedeniyle yıkama performansını doğrudan etkilemektedir, bu yüzden mekanik hareket yüzdesi belli bir değerin altına düşmemelidir. Isıtma adımı içerisinde enerji kazanımı açısından tek uygulanabilir yol, ısıl sığaları daha düşük komponentlerin kullanılmasıdır. Bu konuda da en önemli kısıtlar, malzeme teknolojisi, malzeme maliyetleri ve mekanik dayanım konusudur. Isıtma adımı çamaşır makinesi kontrol hacminden dış ortama olan net ısı kaybının %2 gibi düşük bir değerde kalması yalıtım uygulamasının enerji kazanımı açısından düşük bir etkiye sahip olacağını göstermiştir.



Şekil 3.58 Pamuklu-60 ısıtma adımı enerji bilanço yüzdeleri

Isıtma sonrası yıkama fazı, ısıtma sonundan ilk tahliye başlangıcına kadar olan kısımdır. Bu adım boyunca ısıtıcı ve pompa componentleri devrede olmadığı için motor % 97 ile en yüksek tüketim yüzdesine sahiptir (Bkz. Şekil 3.59). Yıkama suyu, ısıtmanın sona ermesi ile birlikte ilk 10 dakika içinde 0,23 °C/dak soğuma hızı ile ısı kaybeder. Bu süre zarfında yük ve yıkama suyu homojen bir sıcaklık dağılımına sahip hale gelmektedir. Sonrasındaki 35 dakika içinde, homojen bir sıcaklık dağılımına sahip su-yük karışımı için çok daha düşük bir soğuma hızı söz konusudur, yıkama suyunun sıcaklık düşüş hızı 0,06 °C/dak değerini almaktadır. Kazan sistemi tüm ısı geçiş mekanizmaları ile ısı kaybederken, bunun yanında motor, denge ağırlıkları ve dış gövde ise söz konusu faz içerisinde kayıp ısının bir kısmını depolamaktadır. Isıtma sonrası yıkama adımı boyunca su, çamaşır yükü ve diğer makine componentlerinde depolanan ısı miktarları ayrıntılı olarak Tablo 3.8’de görülmektedir. Motor, hem ısınan gövde içi havadan ısı çekmekte, hem de yıkama süresince olan mekanik kayıpları nedeni ile sargı sıcaklığı artmaktadır. Isıtma sonrası ana yıkama süresi içerisinde 71 Wh değerinde elektrik enerjisi tüketilmiştir. Mekanik harekete ayrılan kısım 62,2 kJ (ısıtma sonrası yıkama toplam tüketiminin % 24’ü) değerindedir. Bu süre içerisinde çamaşır makinesi kontrol hacmine Enerjinin Korunumu Prensibi uygulanırsa:

Enerji Dengesi Denklemi için Bkz. Denklem 3.8

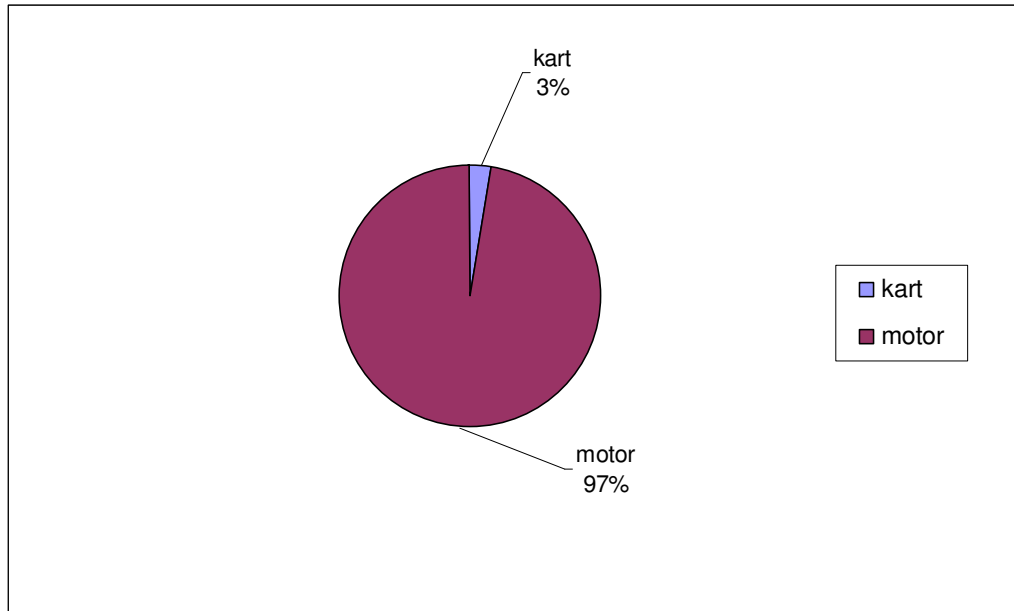
$W_{in}=256,0$ kJ (Harcanan toplam elektrik enerjisi)

$W_{out}=62,2$ kJ (Faydalı mekanik iş-tambur işi)

$E_{mass_out} - E_{mass_in} = 0$ (Adım boyunca kütle giriş çıkışı yoktur.)

$E_2 - E_1 = -53.0$ kJ (Çamaşır makinesi kontrol hacminde çevrim süresince depolanan enerji, Bkz. Tablo 3.8)

Bulunan değerler enerjinin korunumu denkleminde yerlerine yerleştirilirse dış çevre ile olan net ısı kaybı $Q_{out} - Q_{in} = Q_{net}=246,8$ kJ olarak hesaplanmaktadır.

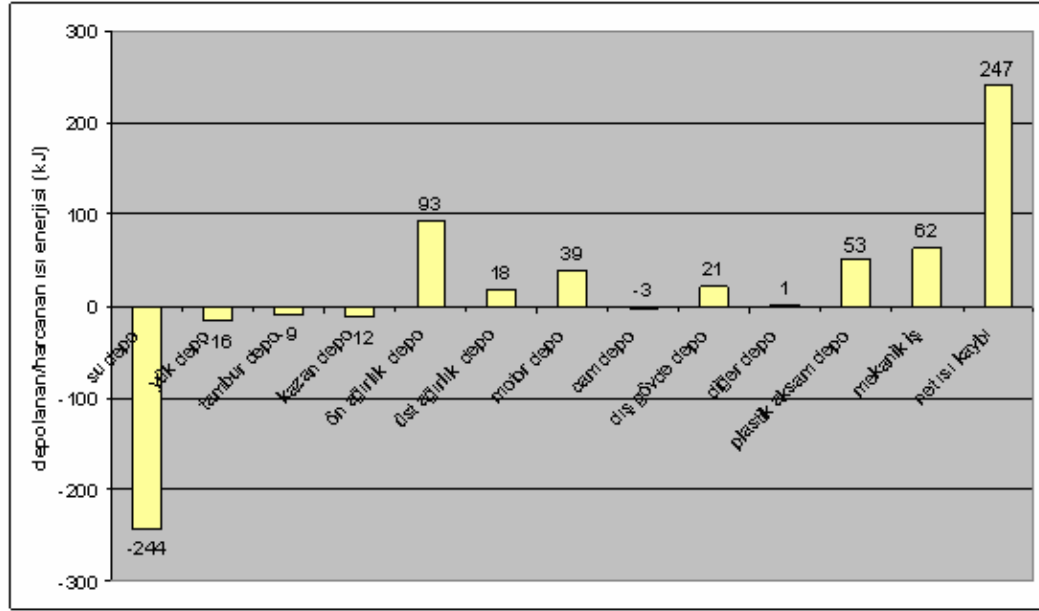


Şekil 3.59 Pamuklu-60 ısıtma sonrası yıkama komponent enerji tüketimi yüzdeleri

Tablo 3.8 Pamuklu-60 programı ısıtma sonrası yıkamada sistemde depolanan enerji

	Kütle m (kg)	Özgül ısı cp (kJ/kgK)	İlk sıcaklık (°C)	Son sıcaklık (°C)	Sistemde depolanan enerji (kJ)
Yıkama suyu	16,1	4,18	46,69	43,06	-244
Yük (pamuklu)	6,04	1,30	44,59	42,52	-16
Tambur (çelik)	5,4	0,45	46,69	43,06	-9
Kazan	12,8	1,42	43,05	42,41	-12
Denge ağırlıkları					
Üst denge ağırlığı	4,1	0,88	23,12	28,24	18
Ön denge ağırlığı	13,5	0,88	23,63	31,46	93
Motor	6,4	0,45	40,58	54,09	39
Kasnak (çelik)	0,34	0,45	35,95	37,23	0
Cam Kapak	3,0	0,84	44,95	43,81	-3
Amortisörler	0,25	0,45	23,3	27,89	1
Kazan içi hava	0,09	1,008	42,49	41,98	0
Dış gövde içi hava	0,24	1,008	28,84	32,05	1
Dış gövde (çelik)	16,0	0,45	20,79	23,64	21
Diğer (plastik)	9,0	2,00	28,84	32,05	58
Toplam					-53

Isıtma sonrası yıkama adımının ısı enerji bilançosu şekil 3.60'ta gösterilmiştir. Bu adımın ısı kaybı önemli miktardadır, bu sebeple doğru bir yalıtım uygulamasının ısı kazanımı açısından önemli bir etkiye sahip olacağı öngörülebilir. Isı kazanımının bir anlamda mevcut yıkama performansının iyileştirilmesi şeklinde bir etki yapması da muhtemeldir. Aynı muhtemel etki, ısınlımla ısı kaybını azaltıcı uygulamalarla da elde edilebilir.



Şekil 3.60 Pamuklu-60 ısıtma sonrası yıkama adımı ısıl enerji bilançosu

3.3.3 Enerji bilançosu mekanik tüketim belirsizlik analizi

Bir R fonksiyonunun her bir bağımsız değişkenine ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve fonksiyon değerinin hata oranı w_R ise,

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır [29]. Bu bölümde, Denklem 3.9 yardımı ile çamaşır makinesi enerji bilançosunun mekanik tüketim hesabındaki belirsizlik analizi ele alınmıştır.

Mekanik tüketim belirsizlik analizi için, komponentsel olarak motorun yıkama ve sıkma sırasında enerji tüketimindeki belirsizlikler elde edilmiş ve yıkama ve sıkma sırasındaki motor mekanik verim değerleri kullanılarak toplam mekanik tüketim belirsizliği hesaplanmıştır. Ölçüm sistemindeki enerji analizörünün güç ve enerji ölçümlerindeki ölçüm belirsizliği % 0.5 mertebesindedir.

$$s_{i_g} = 3,6,0,75 \cdot [(s_1) + (s_2) + (s_3) + (s_4)] \quad (3.10)$$

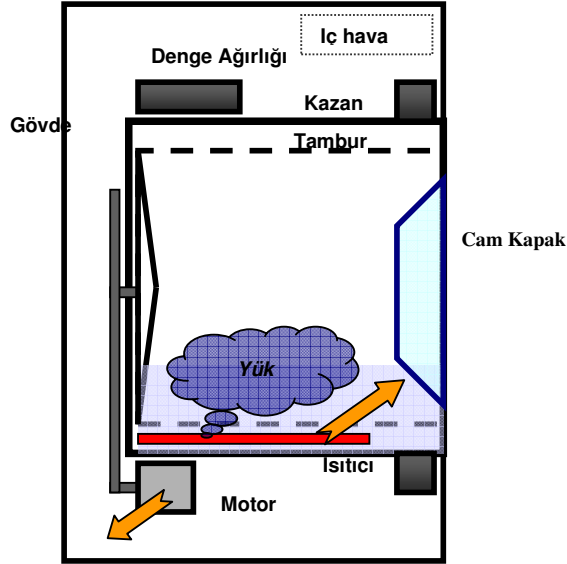
Denklem 3.10 ile verilen, motora ait sıkma mekanik işi, $s_{i\dot{s}}$, program çevrimindeki tüm sıkma fazlarının (s_1, s_2, s_3, s_4) tükettiği enerjinin kJ cinsinden toplamının, sıkma motor verimi olan 0,75 ile çarpımı ile elde edilmektedir. Sıkma fazlarının enerji tüketimleri, Bölüm 3.3.2.1’de ele alınan pamuklu-60 çevrimi için sırası ile 6, 14, 19 ve 46 Wh olduğuna göre, Denklem 3.9 ve enerji tüketimi ölçüm belirsizliği kullanılarak $s_{i\dot{s}}$ terimindeki belirsizlik 0,7026 kJ olarak elde edilir.

$$y_{i\dot{s}} = 0,25 \left[3,6 E_t - 0,06 (I_g I_s + P_g P_s + K_g K_s + V_g V_s) - 3,6 (s_1 + s_2 + s_3 + s_4) \right] \quad (3.11)$$

Denklem 3.11’de kJ cinsinden motora ait yıkama mekanik işi, $y_{i\dot{s}}$ hesaplanmıştır. Bu denklemde, program çevriminin toplam elektrik enerjisi tüketiminden motor komponentinin yıkama ve durulama fazındaki enerji tüketimi elde edilmiş ve motorun yıkama mekanik verimi olan 0,25 değeri ile çarpılarak yıkama mekanik işi elde edilmiştir. Burada E_t program çevriminin toplam elektrik enerjisi tüketimi (1019 Wh), I_g ısıtıcı gücü (1800 W), I_s ısıtıcı açık kalma süresi (26 dak), P_g pompa gücü (18W), P_s tahliye ve jet pompaları çalışma süresi (60 dak), K_g elektronik kontrol kartı gücü (2,5 W), K_s kontrol kartı devrede kalma süresi (140 dak), V_g su giriş vanası gücü (8 W) ve V_s su giriş vanasının çevrimdeki toplam açık kalma süresi (5 dak) olarak verilmiştir. Denklem 3.9 ve Bölüm 3.3.2.1’de ele alınan pamuklu-60 çevriminin Denklem 3.11’deki gerekli değerleri kullanılırsa $y_{i\dot{s}}$ terimindeki belirsizlik 5,851 kJ olarak elde edilir. Yıkama ve sıkma mekanik işindeki toplam belirsizlik 5,893 kJ olarak hesaplanır. Bu değer, Bölüm 3.3.2.1’deki Pamuklu-60 mekanik tüketim değerinin (340,6 kJ) % 1,7’sine karşılık gelmektedir.

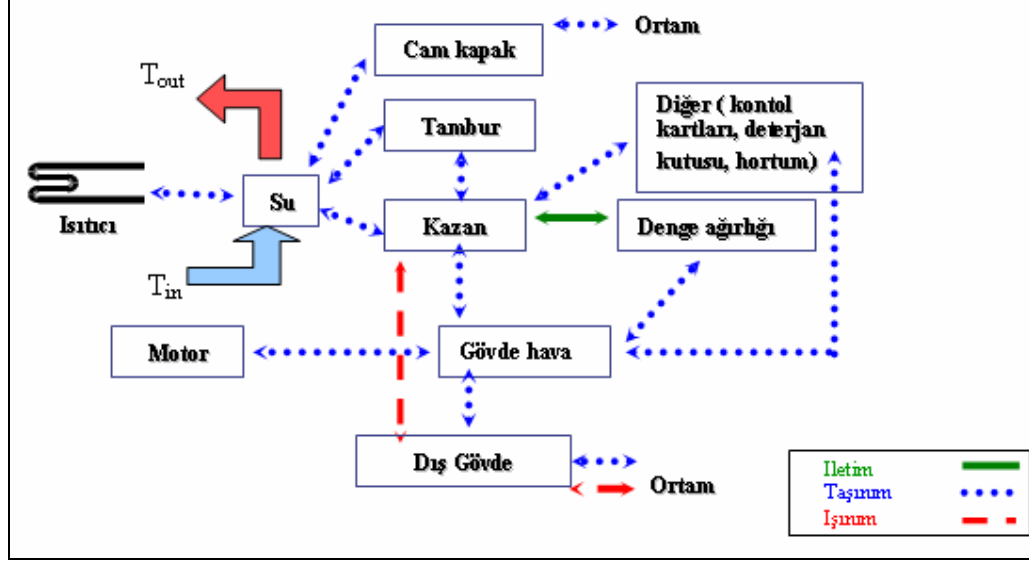
4 ISIL MODEL ÇALIŞMALARI

Çamaşır makinesinin ilk olarak basitleştirilmiş fiziksel modeli oluşturularak bu model üstünden belirlenen kontrol hacimlerinin ısı alışverişleri tanımlanmıştır. Bu kontrol hacimleri, zaman bağlı enerji dengeleri yazılarak bir araya getirilmişlerdir. Basitleştirilmiş fiziksel model Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Fiziksel model üzerinden belirlenen kontrol hacimleri ısıtıcı, yıkama suyu, kazan, gövde içi hava, motor, gövde, cam, tambur, çamaşır yükü ve denge ağırlıklarıdır.



Şekil 4.1 Çamaşır makinesi fiziksel modeli

Her bir kontrol hacmi için ısı akış şeması belirlenmiştir. Isı akışı şeması temel olarak Şekil 4.2’de görülmektedir. Buradaki ilişkiler kullanılarak giren ve çıkan ısı miktarları ve depolanan ısıнын dengesiyle zaman adımlarında sıcaklıklar hesaplanmaktadır. Şekil 4.1’de de görüldüğü üzere ısıtıcı ve motor ısı üreten elemanlar olarak ele alınmıştır. Motor, yıkama sırasındaki mekanik kayıpların ısı olarak sisteme girmesi nedeni ile ısı üretici şeklinde kabul edilmiştir.



Şekil 4.2 Çamaşır makinesi ısı akış şeması

Çamaşır makinesi ısıl modelini oluşturan kontrol hacimleri (Bkz Şekil 4.2) ayrıntılı olarak incelenerek zamana göre ısı geçiş denklemleri oluşturulmuştur.

4.1 Isıtıcı

Isıtıcı çamaşır makinesi sisteminde temel ısı kaynağıdır. Elektriksel iç kaynağında (rezistans teli) üretilen ısı, iletimle dış yüzeyindeki Cr-Ni kaplamaya, zorlanmış ve doğal taşınım ile de yıkama suyuna transfer edilmektedir. Model için taşınım katsayısı belirlenirken silindir üzerinden dik akış kabulü yapılmıştır. Hesaplamalarda su ve ısıtıcı yüzey sıcaklığının ortalaması kabul edilen film sıcaklığı değerleri dikkate alınmıştır.

$$T_f = \left(\frac{T_{isi(i)} + T_{su(i)}}{2} \right) + 273 \quad (4.1)$$

Zorlanmış taşınım durumunda öncelikle tambur devrine bağlı olarak açısal hız hesaplanmakta ve bu hız değerinin kazan tambur arasında yaklaşık olarak doğrusal şekilde değiştiği kabul edilerek ortalama hız olarak yarısı alınmaktadır.

$$v_{su_ısıtıcı} = \frac{\pi DN}{2.60} \quad (4.2)$$

Daha sonra hız değerine göre ısıtıcı silindir yüzeyi üzerinde Reynolds sayısı:

$$Re_d = \frac{v_{su_ısıtıcı} d}{\nu} \quad (4.3)$$

Zorlanmış taşınım halinde Churchill-Bernstein korelasyonu:

$$h_{su-ısı} = \frac{k}{d} \left[0,3 + \frac{0,62 Re_d^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,4}{Pr} \right)^{2/3} \right]^{1/4}} \right] \left[1 + \left(\frac{Re_d}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (4.4)$$

olarak belirlenmektedir [26].

Kazanın durduğu durumlarda durgun su kabulü yapılmıştır. Bu kabulün tam olarak doğru olduğu bilinmemekle beraber, daha önce yapılan ısıtıcı sıcaklık ölçümlerinde durma anlarında taşınım katsayısının düştüğü bilinmektedir. Bir ara-hız tahmini yapmak doğru olmayacağından durgun kabulü yapılmıştır. Bu durumda Churchill-Chu korelasyonu ile Denklem 4.5 ve Denklem 4.6 yazılabilir [24].

$$Ra_d = \frac{g(T_0 - T_\infty)d^3 Pr}{T_f \nu^2} \quad (4.5)$$

$$h_{su-ısı} = \frac{k}{d} \left[0,6 + \frac{0,387 Ra_d^{0.1666}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{0.5625} \right]^{0.2962}} \right]^2 \quad (4.6)$$

Söz konusu denklemlerde,

T_f = Film sıcaklığı (K)

T_0 = Yüzey (ısıtıcı) sıcaklığı (K)

T_∞ = Akışkan (su) sıcaklığı (K)

$v_{su-ısıtıcı}$ = Isıtıcı eksenine dik su akış hızı (m/s)

D = Tambur çapı (m)

N = Tambur dönüş hızı (rpm)

d = ısıtıcı çapı (m)

$h_{su-ısı}$ = Isıtıcı yüzeyindeki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)

k = Akışkanın (su) ısı iletim katsayısı (W/m.K)

olarak açıklanmaktadır.

Bu değerlere göre ısıtıcı için enerji dengesi denklemi şu şekilde gerçekleşmektedir :

$$m_{isi} C_{p-isi} \frac{(T_{isi(i+1)} - T_{isi(i)})}{\delta t} = P_{isi} - q_{isi-su} \quad (4.7)$$

$$q_{isi-su} = h_{su-ısı} A_{isi} (T_{isi(i)} - T_{su(i)}) \quad (4.8)$$

Denge denklemlerindeki elemanlar şu şekilde açıklanmıştır:

P_{isi} = Isıtıcı gücü (W)

δt = Zaman adımı (s)

m_{isi} = Isıtıcı kütlesi (kg)

C_{p-isi} = Isıtıcının özgül ısı (kJ/kg.K)

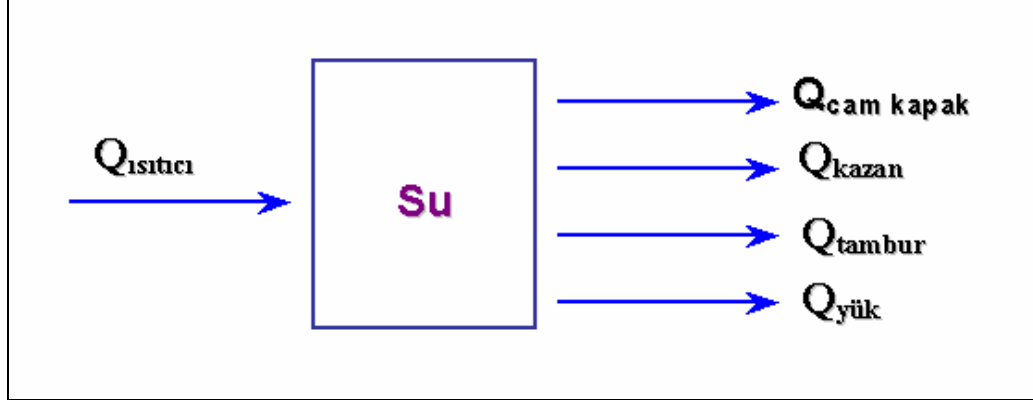
q_{isi-su} = Isıtıcı-su arasındaki ısı geçişi (W)

$h_{su-ısı}$ = Isıtıcı yüzeyindeki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)

A_{isi} = Isıtıcının suya temas eden yüzey alanı (m²)

4.2 Yıkama Suyu

Kazan içindeki yıkama suyu kütlesi öncelikli olarak ısıtıcı ile taşınım ilişkisi içindedir. Daha sonra kazan, tambur, cam kapak ve çamaşır yüküne de yine taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Çamaşır yükü ile olan ısı geçiş ilişkisi tam olarak taşınım şeklinde ifade edilemese de, modelin genel yapısı açısından en uygun durumdur. Şekil 4.3'te yıkama suyu kontrol hacmi ısı geçişleri görülmektedir.



Şekil 4.3 Yıkama suyu kontrol hacmi ısı akış şeması

Yıkama suyu kontrol hacmi için enerji dengesi, Denklem 4.9-4.13 ile verilmiştir. Bu denklemlerde yıkama suyu ile ısıl temasta bulunan kazan, tambur, cam kapak ve çamaşır yükü için aynı ısı geçiş katsayısı kullanılmıştır.

$$m_{su} C_{p-su} \frac{(T_{su(i+1)} - T_{su(i)})}{\Delta t} = q_{isi-su} + q_{kaz-su} + q_{su-tam} - q_{su-kap} - q_{su-yük} \quad (4.9)$$

$$q_{kaz-su} = h_{kaz-su} A_{kaz} (T_{kaz(i)} - T_{su(i)}) \quad (4.10)$$

$$q_{su-tam} = h_{kaz-su} A_{tam} (T_{tam(i)} - T_{su(i)}) \quad (4.11)$$

$$q_{su-kap} = h_{kaz-su} A_{cam} (T_{su(i)} - T_{cam(i)}) \quad (4.12)$$

$$q_{su-yük} = h_{kaz-su} A_{yük} (T_{su(i)} - T_{yük(i)}) \quad (4.13)$$

4.9-4.13 denklemlerdeki elemanlar şöyle açıklanmıştır:

m_{su} = Su kütlesi (kg)

C_{p-su} = Suyun özgül ısısı (kJ/kg.K)

Δt = Zaman adımı (s)

q_{isi-su} = Isıtıcı-su arasındaki ısı geçişi (W)

q_{kaz-su} = Kazan-su arasındaki ısı geçişi (W)

$q_{su-tambur}$ = Su-tambur arasındaki ısı geçişi (W)

q_{su-kap} = Su-cam kapak arasındaki ısı geçişi (W)

$q_{su-yük}$ = Su-yük arasındaki ısı geçişi (W)

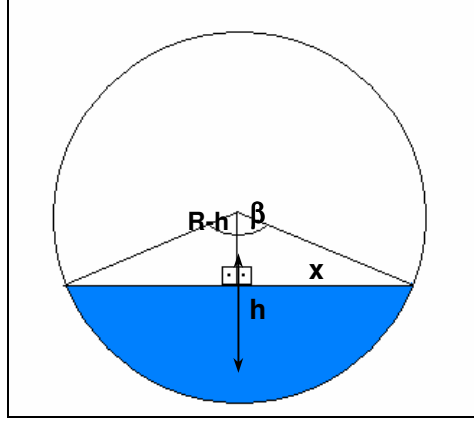
h_{kaz-su} = Kazan iç yüzeyindeki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)

A_{kaz} = Kazanın suya temas eden yüzey alanı (m²)

A_{tam} = Tamburun suya temas eden yüzey alanı (m²)

$A_{cam} = \text{Cam kapağın suya temas eden yüzey alanı (m}^2\text{)}$

$A_{yük} = \text{Çamaşır yükünün suya temas eden yüzey alanı (m}^2\text{)}$



Şekil 4.4 Kazan ıslak temas alanı - su seviyesi ilişkisi

Kazan ve su arasındaki ıslak temas alanının (A_{kaz}) bulunabilmesi için, su kütlesi ve yüksekliği arasında bir ilişki tanımlanması gereklidir. Bu ilişki tanımlanırken su seviyesinin çalkantılardan etkilenmeyecek biçimde sabit olduğu kabul edilmiştir. Islak temas alanı, “h” su yüksekliği, kazan çapı (D) ve kazan derinliğine (L) bağlıdır. Su yüksekliğinin artması, şekilde β ile gösterilen açıyı genişletir. Söz konusu açı ile su yüksekliği ve kazan çapı arasında geometrik olarak Denklem 4.14 ile belirtilen ilişki vardır.

$$\beta = \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right) \quad (4.14)$$

Kazan içindeki su hacmi, Şekil 4.4’te mavi renkle gösterilen su kesit alanının, kazan derinliği ile çarpımına eşittir. Burada su kesit alanı, 2β açısının gördüğü daire dilimi ve şekildeki su kesit alanının üst kısımda kalan üçgenin alanlarının farkı olarak hesaplanır. Buradan su kütlesi “m” ve su seviyesi “h” arasında aşağıda Denklem 4.15 ile belirtilen bağıntı elde edilmektedir, burada ρ suyun yoğunluğudur.

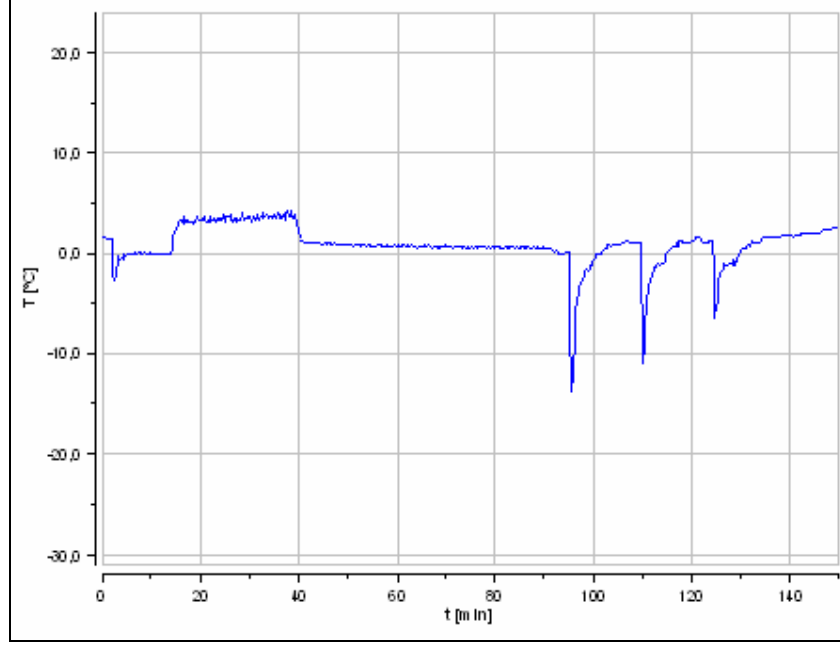
$$m = \left[\frac{\pi D^2}{4} \times \frac{\arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right)}{180} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \left(\frac{D}{2} - h\right)^2} \times \left(\frac{D}{2} - h\right) \right] \times \rho \times L \quad (4.15)$$

Kütleyle bağılı olarak değişen su yüksekliği $h(m)$ fonksiyonu tanımlandıktan sonra, yüksekliğe bağılı olan açının ilişkisi $\beta(h)$ da tanımlanmış olur. Buradan Denklem 4.16 ile, kazan ve yıkama suyu arasındaki ıslak temas alanı olan A_{kaz} hesaplanır.

$$A_{kaz} = \left[\frac{\pi D^2}{4} \times \frac{\arccos(1 - \frac{2h}{D})}{180} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \left(\frac{D}{2} - h\right)^2} \times \left(\frac{D}{2} - h\right) + \frac{\beta \pi D L}{180} \right] \quad (4.16)$$

Su için yıkama adımına bağılı olarak kütle değişimi tanımlanmıştır. Durulama su girişlerinde yıkama suyu kütlesi yeni su miktarı ve yeni başlangıç sıcaklığına dönmektedir. Bu durumlarda taşınım ile ısı transferi kazan ve kazan sistemindeki diğer elemanlardan suya doğru dönmektedir.

Deneyisel çalışmalarda kazan içi ortalama su sıcaklığının belirlenebilmesi amacıyla kazan içinde suyu eşit alanlara bölecek şekilde 10 adet termokupl yerleştirilerek farklı çalışma sıcaklıklarında deneylerler yapılmıştır. Bu ölçümlerde NTC sıcaklık sensörü yüzey sıcaklığını yaklaşık olarak gösterecek şekilde NTC yuvasından da bir adet termokupl yerleştirilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarına göre NTC bölgesinde ölçülmekte olan sıcaklık değerinin ortalama su sıcaklığından farklı bir karakter gösterdiği görülmüştür. Isıtma kontrolü NTC bölgesinden ölçülen sıcaklığa göre yapıldığından, ısıtma süresinin daha doğru olarak belirlebilmesi için modelde hesaplanan ortalama su sıcaklığı dışında ikinci bir sıcaklığa ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık NTC sıcaklığı olarak adlandırılacak ve ısıtıcı kontrolünde kullanılacaktır.



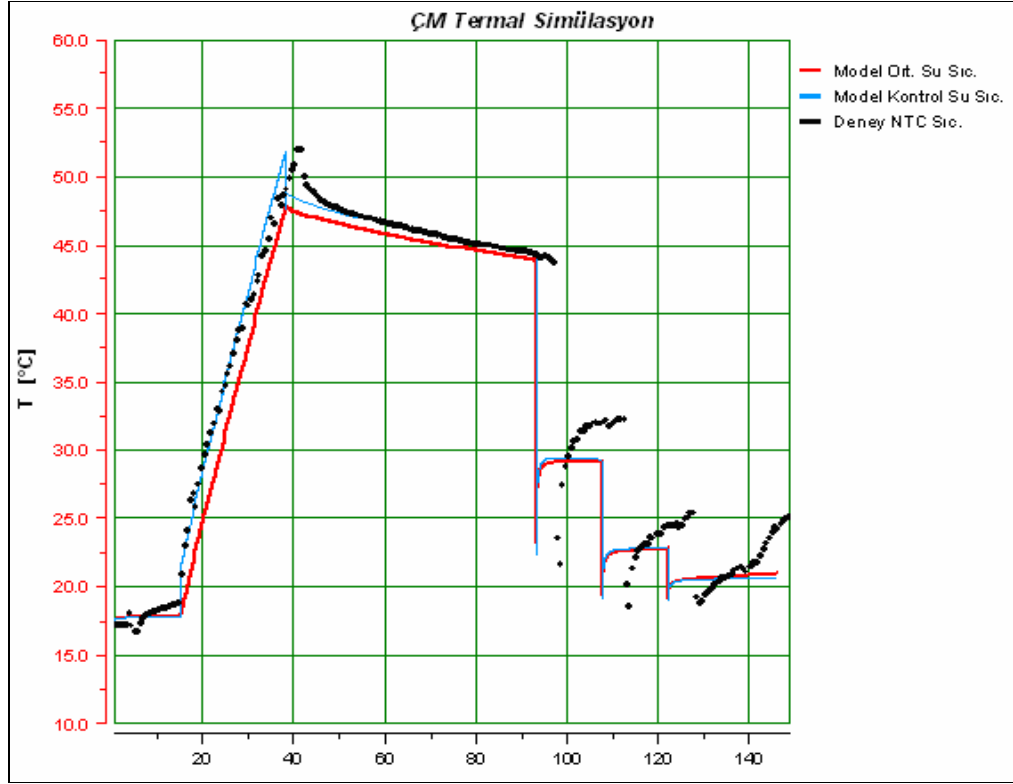
Şekil 4.5 NTC ve ortalama yıkama suyu sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi

Isıtma ve yıkama adımlarında, Şekil 4.5 ile gösterilen iki sıcaklık arası farkın lineer bir korelasyon ile ifade edilebileceği görülmektedir. Bu ifadeler ısıtma adımı için t zamanına bağlı olarak Denklem 4.17 ile ve yıkama adımı için t zamanına bağlı olarak Denklem 4.18 ile gösterilmektedir. Bu denklemlerde t , söz konusu adımın başından itibaren artmaya başlamaktadır.

$$T_{kont} = (0.0004 * (t) + 3.779) + T_{su}(0) \quad (4.17)$$

$$T_{kont} = (-0.0002 * (t) + 1.037) + T_{su}(0) \quad (4.18)$$

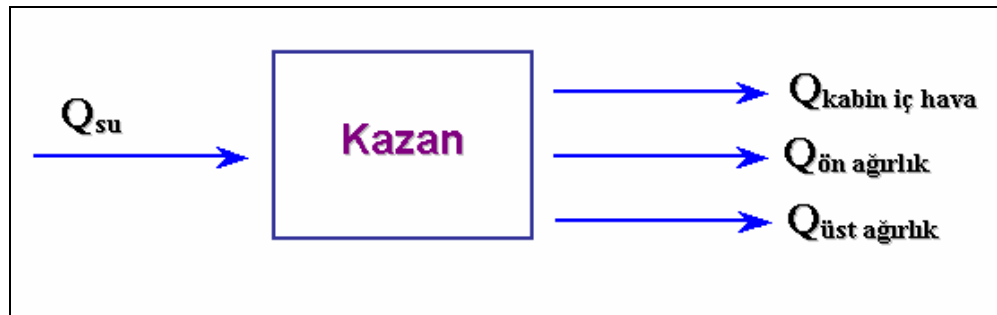
Bu durumda deneysel NTC bölgesi sıcaklık ölçümü ile modeldeki kontrol sıcaklığı ve modeldeki ortalama su sıcaklığı karşılaştırması Şekil 4.6'daki gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 4.6 Model ısıtıcı kontrol sıcaklığı ortalama su sıcaklığı ve deney NTC bölgesi sıcaklıkları

4.3 Kazan

Kazan kontrol hacmi sudan aldığı ısıyı taşınım ile gövde (kabin) içi havaya, iletim ile beton denge ağırlıklarına ve kısmen de ışıınım ile makine gövdesine geçirmektedir. Kazan, özgül ısı kapasitesine bağlı olarak yıkama suyundan aldığı ısıнын bir kısmını da kendi üzerinde depolamaktadır.



Şekil 4.7 Kazan kontrol hacmi ısı akış şeması

Bu durumda kazan elemanı için enerji dengesi denklemleri Denklem 4.19 - 4.23 ile gösterilmektedir.

$$m_{kaz} C_{p-kaz} \frac{(T_{kaz(i+1)} - T_{kaz(i)})}{\Delta t} = -q_{kaz-su} - q_{hava} - q_{betonüst} - q_{betonön} - q_{rad(kaz_göv)} \quad (4.19)$$

$$q_{rad(kaz_ort)} = \frac{A_{kaz-göv} \sigma (T_{kaz(i)}^4 - T_{göv(i)}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{kaz}} + \frac{1}{\epsilon_{göv}} - 1} \quad (4.20)$$

$$q_{hava} = h_{kaz_dış} A_{kaz} (T_{kaz(i)} - T_{hava(i)}) \quad (4.21)$$

$$q_{betonüst} = k_{bet-üst} A_{bet-üst} (T_{kaz(i)} - T_{bet-üst(i)}) \quad (4.22)$$

$$q_{betonön} = k_{bet-ön} A_{bet-ön} (T_{kaz(i)} - T_{bet-ön(i)}) \quad (4.23)$$

Kazan yüzeyinden gövde içi havaya ısı taşınım katsayısı, film sıcaklığındaki (T_f) hava özellikleri için, kabin geometrisine bağlı olarak yatay silindirden doğal ısı taşınımı kabulü kullanılarak Churchill-Chu korelasyonu ile hesap edilmektedir [24]. Karakteristik uzunluk olarak kazan çapı (D) kullanılmıştır. Kazan ve gövde iç havası arasındaki ısı geçiş bağıntıları Denklem 4.24-4.27 ile belirtilmektedir.

$$h_{kaz_dış} = \frac{k}{D} \left[0,6 + \frac{0,387 Ra_D^{0.1666}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{0.5625} \right]^{0.2962}} \right]^2 \quad (4.24)$$

$$Ra_D = \frac{g(T_0 - T_\infty) D^3 Pr}{T_f \nu^2} \quad (4.25)$$

$$T_f = \left(\frac{(T_{kaz(i)} + T_\infty)}{2} \right) + 273 \quad (4.26)$$

$$m_{kaz} C_{p-kaz} \frac{(T_{kaz(i+1)} - T_{kaz(i)})}{\Delta t} = -q_{kaz-su} - q_{betonüst} - q_{betonön} \quad (4.27)$$

Bölüm 4.3 içinde bulunan ısı geçişi denklemlerindeki elemanlar aşağıdaki gibi açıklanmaktadır:

$m_{kaz} = \text{Kazan kütlesi (kg)}$

$C_{p-kaz} = \text{Kazan özgül ısısı (kJ/kg.K)}$

$\delta t = \text{Zaman adımı (s)}$

$q_{kaz-su} = \text{Kazan-su arasındaki ısı geçişi (W)}$

$q_{dışhava} = \text{Kazan- gövde iç havası arasındaki ısı geçişi (W)}$

$q_{betonüst} = \text{Kazan-üst denge ağırlığı arasındaki ısı geçişi (W)}$

$q_{betonön} = \text{Kazan-ön denge ağırlığı arasındaki ısı geçişi (W)}$

$h_{kaz-dış} = \text{Kazan ve gövde iç havası arasındaki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)}$

$k_{bet-üst} = \text{Kazan-üst denge ağırlığı arasındaki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)}$

$k_{bet-ön} = \text{Kazan-ön denge ağırlığı arasındaki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)}$

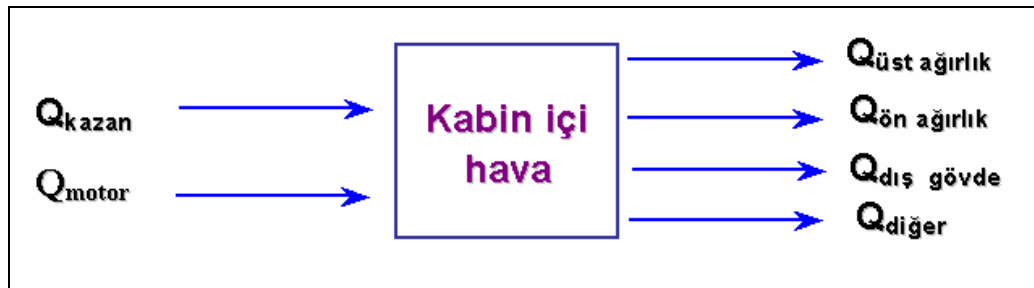
$A_{kaz} = \text{Kazanın gövde iç havasına temas eden yüzey alanı (m²)}$

$A_{bet-üst} = \text{Kazan-üst denge ağırlığı temas yüzey alanı (m²)}$

$A_{bet-ön} = \text{Kazan-ön denge ağırlığı temas yüzey alanı (m²)}$

4.4 Gövde İç Havası

Gövde (kabin) iç havası, kazan ile gövde arasında kalan hava hacmi olarak tanımlanmıştır. Temel olarak motor üstünden ve kazandan aldığı ısı ile sıcaklığı artmaktadır. Ana kayıpları arasında gövdeye olan kayıplar ve deterjan kutusu, hortum ve benzeri elemanların tanımlandığı diğer kontrol hacmi vardır. Kabin içi hava ile gövde arasındaki ısı geçişi için, dikey yüzeydeki doğal taşınım ile ısı transferi ile ilgili Churchill-Chu korelasyonu kullanılmıştır. Hava özellikleri için film sıcaklığındaki değerler alınmıştır. Rayleigh sayısı içindeki karakteristik uzunluk kabin yüksekliğidir.



Şekil 4.8 Gövde içi hava kontrol hacmi ısı akış şeması

Gövde içi hava kontrol hacmi ile ilgili ısı geçiş bağıntıları Denklem 4.28 ve 4.29 ile gösterilmektedir.

$$m_{hava} C_{p-hava} \frac{(T_{du(i+1)} - T_{du(i)})}{\delta t} = q_{dişhava} - q_{dis_govde} - q_{diğ_dis} + q_{betonüsthava} + q_{betonönhava} + q_{mot-dis}$$

$$q_{dis_govde} = h_{govde} A_{govde} (T_{du(i)} - T_{gov(i)}) \quad (4.28)$$

$$m_{hava} = V_{hava} \cdot \rho_{hava} \quad (4.29)$$

Denklem 4.28 ve Denklem 4.29’da bulunan büyüklükler şu şekilde açıklanmıştır:

V_{hava} = Gövde içi hava hacmi (derinlik*yükseklik*genişlik)-kazan hacmi (m^3)

C_{p-hava} = Hava özgül ısısı ($kJ/kg.K$)

δt = Zaman adımı (s)

$q_{dişhava}$ = Kazan- gövde iç havası arasındaki ısı geçişi (W)

$q_{betonüsthava}$ = Üst denge ağırlığı- gövde iç havası arasındaki ısı geçişi (W)

$q_{betonönhava}$ = Ön denge ağırlığı- gövde iç havası arasındaki ısı geçişi (W)

$q_{mot-dis}$ = Motor ve gövde iç havası arası ısı geçişi (W)

q_{dis_govde} = Gövde iç havası ve gövde arası ısı geçişi (W)

$q_{diğ-dis}$ = Gövde iç havası ve diğer elemanlar arası ısı geçişi (W)

h_{govde} = Gövde iç havası ve gövde arası ısı geçiş katsayısı ($W/m^2.K$)

A_{govde} = Gövde dış yüzey alanı (m^2)

4.5 Motor

Motor ısıtıcıdan sonra sistemdeki ikinci ısı kaynağıdır. Motorun ısı verim değerine bağlı olarak ısı oluşturduğu kabul edilmiştir. Motorun mekanik verim değeri yıkama ve durulama adımları için % 25, sıkma adımları için de yaklaşık % 75 olarak tanımlanmıştır. Bu değerler motorun güç-tork eğrilerine bağlı olarak daha kesin bir yaklaşım ile değiştirilebilir. Motor enerji dengesi, elektriksel güç girişi ve gövde iç havasına taşınım ile geçen ısı ile oluşturulmuştur. İlgili enerji dengeleri Denklem 4.30-4.32 arasında verilmiştir.

$$m_{mot} C_{p-mot} \frac{(T_{mot(i+1)} - T_{mot(i)})}{\delta t} = -q_{mot_dis} + q_{mot_kaynak} \quad (4.30)$$

$$q_{mot_kaynak} = p_{mot} \eta_{mot} \quad \begin{aligned} \eta_{mot_yikama} &= 0.25 \\ \eta_{mot_sıkma} &= 0.75 \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$q_{mot_dis} = h_{mot_dis} A_{mot} (T_{mot(i)} - T_{dis(i)}) \quad (4.32)$$

Motor kontrol hacmi enerji dengesi denklemlerinde yer alan büyüklükler şu şekilde açıklanmaktadır:

m_{mot} = Motor kütlesi (kg)

C_{p-mot} = Motor özgül ısısı (kJ/kg.K)

δt = Zaman adımı (s)

$q_{mot-dış}$ = Motor ve kabin(gövde) iç havası arası ısı geçişi (W)

P_{mot} = Motor gücü (W)

$h_{mot_dış}$ = Motor ve kabin iç havası arasındaki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)

A_{mot} = Motorun kabin iç havasına temas eden yüzey alanı (m²)

Motor ve gövde iç havası arasındaki ısı geçiş katsayısı hesaplanırken, yatay silindirden olan doğal ısı taşınımı ile ilgili Churchill – Chu korelasyonu kullanılmıştır (Bkz Denklem 4.33-Denklem 4.35) [24].

$$Ra_d = \frac{g(T_0 - T_\infty)d^3 \text{Pr}}{T_f \nu^2} \quad (4.33)$$

$$h_{mot_dış} = \frac{k}{d} \left[0,6 + \frac{0,387 Ra_d^{0.1666}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{\text{Pr}} \right)^{0.5625} \right]^{0.2962}} \right]^2 \quad (4.34)$$

$$T_f = \left(\frac{(T_{mot(i)} + T_\infty)}{2} \right) + 273 \quad (4.35)$$

Hava özellikleri için film sıcaklığındaki değerler kullanılmıştır. Motor enerji dengesi denklemlerindeki büyüklükler şu şekilde açıklanmıştır:

T_f = Film sıcaklığı (K)

$T_0 (T_{mot(i)})$ = Motor yüzey sıcaklığı (K)

T_∞ = Gövde içi hava sıcaklığı (K)

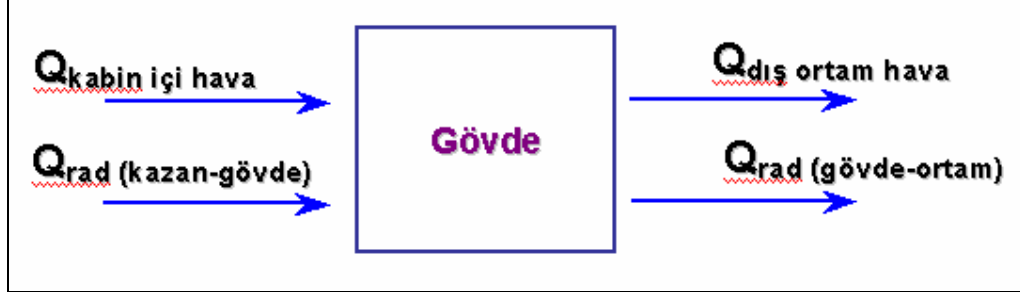
d = Motor çapı (m)

$h_{mot_dış}$ = Motor-gövde içi hava arası ısı geçiş katsayısı (W/m².K)

k = Gövde içi hava ısı iletim katsayısı (W/m.K)

4.6 Dış Gövde

Söz konusu kontrol hacmi içerisinde, gövde elemanı kabin içi havadan taşınım ile ve kazandan ışınlımla ısı almaktadır. Çektiği ısıyı kısmen üzerinde depolayarak taşınım ve ışınlımla dış ortam havasına atmaktadır. Gövde için enerji dengesi Şekil 4.9’da görülmektedir, denge denklemleri ise Denklem 4.36-4.38 arasında verilmiştir.



Şekil 4.9 Gövde kontrol hacmi ısı akış şeması

$$m_{göv} C_{p-göv} \frac{(T_{göv(i+1)} - T_{göv(i)})}{\delta t} = -q_{göv-ort} + q_{dis-göv} + q_{rad(kaz-göv)} - q_{rad(göv-ort)} \quad (4.36)$$

$$q_{göv-ort} = h_{yan} A_{göv} (T_{göv(i)} - T_{ort}) \quad (4.37)$$

$$q_{rad(göv-ort)} = \epsilon_{göv} \sigma (T_{göv(i)}^4 - T_{ort}^4) \quad (4.38)$$

Makina gövdesi ve dış ortam havası arasındaki ısı geçiş katsayısı hesaplanırken, düşey levha etrafında doğal ısı taşınımı ile ilgili Churchill – Chu korelasyonu kullanılmıştır (Bkz Denklem 4.39-4.41) [24].

$$h_{yan} = \frac{k}{L} \left[0,68 + \frac{0,67 Ra^{0.25}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{0.5625} \right]^{0,4444}} \right] \quad (4.39)$$

$$Ra_L = \frac{g(T_0 - T_{\infty}) L^3 Pr}{T_f v^2} \quad (4.40)$$

$$T_f = \left(\frac{(T_{göv(i)} + T_{\infty})}{2} \right) + 273 \quad (4.41)$$

Denge denklemlerindeki hava özellikleri için film sıcaklığındaki değerler kullanılmıştır. Denklemlerde kullanılan büyüklükler şu şekilde açıklanmıştır.

T_f = Film sıcaklığı (K)

$T_0 (T_{göv(i)})$ = Gövde yüzey sıcaklığı (K)

$T_\infty (T_{ort})$ = Hava sıcaklığı (K)

L = Düşey gövde uzunluğu (m)

$q_{göv_ort}$ = Gövde ile ortam arası taşınım ısı transferi (W)

$q_{rad(göv_ort)}$ = Gövde ile ortam arası ışıınım (W)

h_{yan} = Gövde-hava arası ısı geçiş katsayısı ($W/m^2.K$)

k = Hava ısı iletim katsayısı ($W/m.K$)

σ = Stefan Boltzmann katsayısı ($W/m^2.K^4$)

$\epsilon_{göv}$ = gövde yayma katsayısı

4.7 Cam Kapak

Cam kapak, tanımlandığı kontrol hacmi içerisinde yıkama suyundan taşınım ile ısı almakta, bu ısının bir kısmını üzerinde depolayarak yine taşınım ile dış ortam havasına atmaktadır. Cam kapak için enerji dengesi basit olarak Şekil 4.10 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Cam kapak kontrol hacmi ısı akış şeması

Cam kapak kontrol hacmi için enerji dengesi denklemleri Denklem 4.42 ve 4.43 ile gösterilmektedir.

$$m_{cam} C_{p-cam} \frac{(T_{cam(i+1)} - T_{cam(i)})}{\Delta t} = -q_{kap-dis} + q_{su-kap} \quad (4.42)$$

$$q_{kap-dis} = h_{yan} A_{cam} (T_{cam(i)} - T_{ort}) \quad (4.43)$$

Denklem 4.42 ve 4.43'ü oluşturan büyüklükler şöyle açıklanmıştır:

m_{cam} = Cam kapak kütlesi (kg)

C_{p-cam} = Camın özgül ısısı (kJ/kg.K)

δt = Zaman adımı (s)

$q_{kap-dis}$ = Cam kapak ve dış ortam havası arası ısı geçişi (W)

q_{su-kap} = Su ve cam kapak arası ısı geçişi (W)

h_{yan} = Cam kapak ve dış ortam havası arasındaki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)

A_{cam} = Camın dış ortam havasına temas eden yüzey alanı (m²)

4.8 Yük ve Tambur

Çamaşır yükü ve tambur elemanlarının sadece yıkama suyu ile taşınım biçiminde ısı alışveriş yaptığı kabul edilmiştir. Tambur için ısı enerji dengesi Denklem 4.44 ile verilmiştir.

$$m_{tam} C_{p-tam} \frac{(T_{tam(i+1)} - T_{tam(i)})}{\delta t} = -q_{su-tam} \quad (4.44)$$

Denklem 4.44 içerisindeki m_{tam} tambur kütlesi (kg), C_{p-tam} tamburun özgül ısısı (kJ/kg.K), δt zaman adımı (s) ve q_{su-tam} su-tambur arasındaki ısı geçişi (W) şeklinde açıklanmıştır. Çamaşır yükü için enerji dengesi Denklem 4.45 ile verilmiştir. Denklem 4.45'i oluşturan elemanlar, $m_{yük}$ çamaşır yükünün kütlesi (kg), $C_{p-yük}$ çamaşır yükünün özgül ısısı (kJ/kg.K), δt zaman adımı (s) ve $q_{su-yük}$ su-yük arasındaki ısı geçişi (W) şeklinde verilmiştir.

$$m_{yük} C_{p-yük} \frac{(T_{yük(i+1)} - T_{yük(i)})}{\delta t} = q_{su-yük} \quad (4.45)$$

4.9 Denge Ağırlıkları

Beton denge ağırlıkları kazandan iletimle ısı almakta ve bu ısının bir kısmını üzerinde depolayarak taşınım aracılığı ile kabin içi havaya atmaktadır. Ön denge ağırlığı (Bkz Şekil 2.1 ve Şekil 3.29) ve kabin içi hava arasındaki ısı transferi (Bkz

Denklem 4.46-4.47) modellenirken, ısı taşınım katsayısı hesabı için, düşey levha etrafındaki doğal ısı taşınımı ile ilgili Churchill-Chu korelasyonu kullanılmıştır. Korelasyon içindeki hava özellikleri, film sıcaklığına göre belirlenmiştir. Rayleigh ve Nusselt sayıları içindeki karakteristik uzunluk değeri olarak kazan dış çapı (D) kullanılmıştır. Sonuç olarak ön denge ağırlığı ve kabin iç havası arasındaki taşınım katsayısı hesaplanmıştır.

$$m_{\text{beto}} C_{p-\text{beto}} \frac{(T_{\text{beto}(i+1)} - T_{\text{beto}(i)})}{\delta t} = q_{\text{betonön}} - q_{\text{betonönhava}} \quad (4.46)$$

$$q_{\text{betonönhava}} = h_{\text{beto}} A_{\text{betonönhava}} (T_{\text{beto}(i)} - T_{\text{dis}(i)}) \quad (4.47)$$

Denklem 4.46 ve Denklem 4.47’de bulunan büyüklükler m_{beto} ön denge ağırlığı kütlesi (kg), $C_{p-\text{beto}}$ ön denge ağırlığı özgül ısısı (kJ/kg.K), δt zaman adımı (s), $q_{\text{betonön}}$ kazan-ön denge ağırlığı arasındaki ısı geçişi (W), $q_{\text{betonönhava}}$ ön denge ağırlığı- gövde iç havası arasındaki ısı geçişi (W), h_{beto} ön denge ağırlığı ve gövde iç havası arasındaki ısı geçiş katsayısı (W/m².K) ve $A_{\text{betonönhava}}$ ön denge ağırlığı ve gövde iç havası temas yüzey alanı (m²) olarak belirtilmiştir.

Üst denge ağırlığı (Bkz Şekil 3.29) ve kabin içi hava arasındaki yukarı yönlü ısı transferi modeli için, yatay levha etrafındaki doğal ısı taşınımı ile ilgili Fujii-Imura korelasyonları kullanılmıştır. Korelasyon içindeki hava özellikleri, film sıcaklığına göre belirlenmiştir. Rayleigh ve Nusselt sayıları içindeki karakteristik uzunluk değeri (L) olarak üst ağırlığın genişliği kullanılmıştır. Rayleigh sayısının değerine göre Nusselt sayısı korelasyonları Denklem 4.48 ve 4.49 ile verilmiştir.

$$2 \times 10^4 \leq Ra_L \leq 8 \times 10^6 \quad \text{için} \quad \overline{Nu}_L = 0,54 Ra_L^{0.25} \quad (4.48)$$

$$8 \times 10^6 \leq Ra_L \leq 10^{11} \quad \text{için} \quad \overline{Nu}_L = 0,15 Ra_L^{0.333} \quad (4.49)$$

Nusselt sayısı kullanılarak, Denklem 4.50 ve 4.51 üst denge ağırlığı enerji dengesi denklemlerinde kullanılan üst ağırlık ve kabin iç havası arasındaki ısı taşınım katsayısı) hesap edilir. Burada m_{betu} üst denge ağırlığı kütlesi (kg), $C_{p-\text{betu}}$ üst denge ağırlığı özgül ısısı (kJ/kg.K), δt zaman adımı (s), $q_{\text{betonüst}}$ kazan-üst denge ağırlığı arasındaki ısı geçişi (W), $q_{\text{betonüsthava}}$ üst denge ağırlığı- gövde iç havası arasındaki ısı geçişi (W), h_{betu} üst ağırlık ve gövde iç havası arasındaki ısı geçiş katsayısı (W/m².K)

ve $A_{\text{betonüsthava}}$ üst denge ağırlığı ve gövde iç havası temas yüzey alanı (m^2) olarak belirtilmiştir.

$$m_{\text{betu}} C_{p-\text{betu}} \frac{(T_{\text{betu}(i+1)} - T_{\text{betu}(i)})}{\delta t} = q_{\text{betonüst}} - q_{\text{betonüsthava}} \quad (4.50)$$

$$q_{\text{betonüsthava}} = h_{\text{betu}} A_{\text{betonüsthava}} (T_{\text{betu}(i)} - T_{\text{dis}(i)}) \quad (4.51)$$

4.10 Diğer Elemanlar

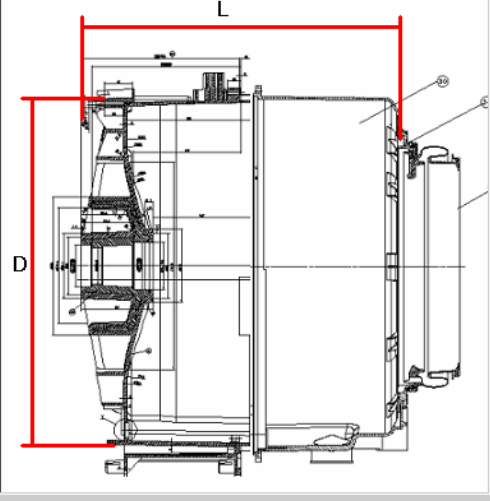
Diğer elemanlar adı altında deterjan kutusu, yaylar, amortisörler, bağlantı hortumları, bağlantı elemanları ve diğer tüm plastik aksamlar ele alınmıştır. Bu elemanların enerji dengeleri ısıl modele eklenirken sadece gövde iç havası ile taşınım yolu ile ısı ilişkide olduğu kabulü yapılmıştır. Gövde içi hava ile ısı geçişinin gerçekleştiği tüm temas yüzeyinin alanı 1m^2 olarak kabul edilmiştir. Enerji dengesi denklemleri Denklem 4.52 ve 4.53 ile verilmiştir. Burada m_{dig} diğer adı altındaki elemanların toplam kütlesi (kg), $C_{p-\text{dig}}$ bu elemanlar için belirlenen yaklaşık bir ortalama özgül ısı (kJ/kg.K), δt zaman adımı (s) ve $q_{\text{dig-dis}}$ diğer elemanlar ve gövde iç havası arasındaki ısı geçişi (W) olarak belirtilmiştir.

$$m_{\text{dig}} C_{p-\text{dig}} \frac{(T_{\text{dig}(i+1)} - T_{\text{dig}(i)})}{\delta t} = q_{\text{dig-dis}} \quad (4.52)$$

$$q_{\text{dig-dis}} = h_{\text{iç}} (T_{\text{dis}(i)} - T_{\text{dig}(i)}) \quad (4.53)$$

4.11 Model Veri Girişleri

Çamaşır makinesine ait ısıl modeli etkileyen geometrik bilgiler ve malzeme bilgileri dört ana veri grubu altında programa girilmektedir. Program çalışma şartlarına bağlı çeşitli zamanlar ve başlangıç bilgileri için de ayrı bir veri giriş ekranı düzenlenmiştir. Programa veri girişleri her seferinde yeniden girilebildiği gibi önceden girilmiş kütüphane verileri ile de analiz yapmak mümkündür. Bunun için ilgili gruplara ait kütüphane verilerinin seçilmesi gereklidir.

Kazan	Çap [m] (D)	0.5	
	Derinlik [m] (L)	0.42	
İstici	Ağırlık [kg]	12.8	☒ İzolasyon
	Özgül Isı Kapasitesi[kj/kgK]	0.7	
Diskabin- Kapak	Yüzey Emisivitesi	0.6	Kalınlık [m] 0.02 Isı iletim katsayısı [W/mK] 0.03 Özgül Isı Kapasitesi [kJ/kgK] 1.03 Yoğunluk [kg/m³] 32
Denge Ağırlıkları-Motor	Tambur		
	Ağırlık [kg]	5.4	
	Özgül Isı Kapasitesi[kj/kgK]	0.5	

Şekil 4.11 Kazan, tambur ve izolasyon veri girişleri

Birinci veri giriş grubu kazan tambur ve kazan yüzeyinin tamamına uygulanabilecek ısıl izolasyon verilerine aittir. Kazan ve tamburla ilgili çap ve derinlik gibi geometrik verilerin yanı sıra, malzemelere ait ısı iletim katsayısı, özgül ısı kapasitesi gibi verilerin girişi yapılmaktadır. Söz konusu veri giriş ekranı Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Eğer sistemde kazan çevresinde izolasyonun etkisinin görülmesi isteniyorsa “İzolasyon” kontrol kutucuğu seçilerek, kazanın etrafına tamamen sarılmış kabul edilen izolasyonun kalınlık, ısı iletim katsayısı, özgül ısı kapasitesi ve yoğunluk verileri girişi yapılabilir.

Tablo 4.1 Kazan-tambur-izolasyon veri grubu açıklamaları

İsim	Birim	Açıklama
Kazan		
Çap [D]	[m]	Kazanın iç çap değeri
Derinlik [L]	[m]	Kazanın derinlik değeri
Ağırlık	[Kg]	Kazan ağırlık değeri
Özgül ısı	[kJ/kgK]	Kazanın ortalama ısı kapasitesi değeri
Emisivite	-	Kazan malzemesi emisivite değeri

Isıtıcı Orta boy [B]	[m]	Isıtıcı orta kısım kısa boy
Thermofuse Sayısı	Adet	Isıtıcı modelindeki thermofuse sayısı
Dönme Çapı	[m]	Isıtıcı büküm çapları
Ağırlık	[kg]	Isıtıcı ağırlık değeri
Özgül Isı Kapasitesi	[kJ/kgK]	Isıtıcı ortalama (MgO ve çelik) c_p değeri

Kazan

Isıtıcı

Dış Kabin- Kapak

Denge Ağırlıkları-Motor

Alışveriş

Derinlik [m]

0.6

Genişlik [m]

0.6

Yükseklik [m]

1

Ağırlık [kg]

16

Cp - Özgül Isı [kJ/kgK]

0.5

Emisivite

0.7

Cam Kapak

Kapak Çapı [m]

0.2

Cam kalınlığı [m]

0.005

Isı iletim katsayısı [w/mK]

14

Cam kapak ağırlığı [kg]

3

Cam kapak Özgül Isı [kJ/kgK]

0.8

☐ Plastik koruyucu kapak

Şekil 4.13 Dış gövde ve cam kapak veri giriş ekranı

Dış kabin-kapak bölümüne, gövdenin ısı transfer alanı ve iç hacimde kalan hava hesabı için kullanılan geometrik büyüklükler ve gövde ağırlık dataları girilmektedir. Cam kapakla ilgili olarak çap ve kalınlık değeri dışında, cama ekli halde koruyucu plastik kapak olup olmadığı seçilebilmektedir. Tablo 4.3’de bu bölüme ait veri girişleri görülmektedir.

Tablo 4.3 Dış kabin ve cam kapak veri grubu açıklamaları

İsim	Birim	Açıklama
Kabin Derinlik	[m]	Dış kabin ölçüleri
Kabin Yükseklik	[m]	Dış kabin ölçüleri
Kabin Genişlik	[m]	Dış kabin ölçüleri

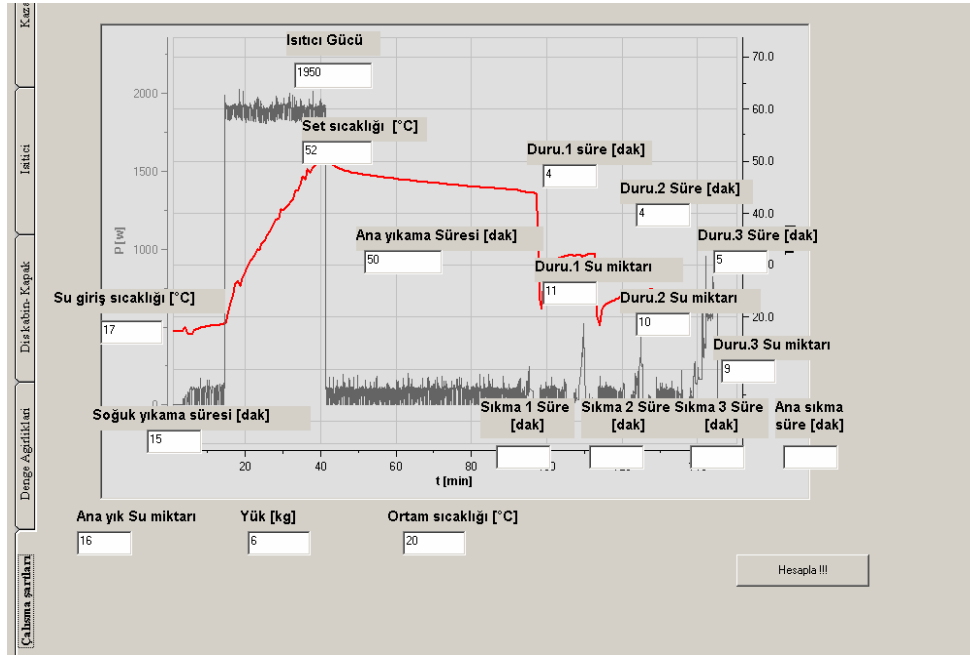
Kabin Ağırlık	[kg]	Dış kabin ağırlık değeri
Kabin özgül ısı	[kJ/kgK]	Dış kabin özgül ısı değeri
Kabin Emisivite	-	Dış kabin emisivite değeri
Kapak		
Kapak Çapı	[m]	Kapak dış çapı
Cam kalınlığı	[m]	
Cam ısı iletim katsayısı	[w/mK]	Cam malzeme ısı iletim katsayısı
Cam Ağırlık	[kg]	Cam ağırlık değeri
Cam Özgül ısı	[kJ/kgK]	Cam malzemesi özgül ısı kapasitesi

Denge ağırlıkları-motor bölümüne, sistemde kullanılmakta olan denge ağırlıklarının ağırlık ve özgül ısı kapasitesi değeri, motorun ağırlık bilgisi ve diğer adı altında belirtilen tüm elemanlar için toplam bir ağırlık ve yaklaşık bir özgül ısı değeri girilmektedir. Bu bölüm içerisinde girilen veriler Tablo 4.4'te gösterilmektedir.

Tablo 4.4 Denge ağırlıkları-motor ve diğer veri grubu açıklamaları

İsim	Birim	Açıklama
Ön denge ağırlığı	[kg]	Ön denge ağırlık değeri
Üst denge ağırlığı	[kg]	Üst denge ağırlık değeri
Ön denge Cp	[kJ/kgK]	Ön denge ağırlığı özgül ısı değeri
Üst denge Cp	[kJ/kgK]	Ön denge ağırlığı özgül ısı değeri
Motor Ağırlık	[kg]	Motor ağırlık değeri
Diğer (Ağırlık)	[kg]	Det. Kut. Hortum vb.. diğer malzeme ağırlığı
Diğer (cp)	[kJ/kgK]	Det. Kut. hortum vb.. diğer malzeme özgül ısı

EN-60456 standardına göre tüketim deklarasyonu için kullanılan pamuklu-60 programı ve bu programın çalışma profilini oluşturacak veriler Şekil 4.14'te görülmektedir. Bu kısımda tüketim değerlerini etkileyecek su giriş sıcaklığı, ortam sıcaklığı (aynı zamanda makine elemanları için t_0 başlangıç sıcaklığı), çamaşır yükü miktarı, ısıtıcı gücü (230V için), ısıtıcı kapatma sıcaklığı (T_{set}), program adım süreleri (soğuk yıkama, ana yıkama, durulama ve sıkma) ve farklı adımlarda alınan su miktarları verileri girilmektedir. Bu kısım, kullanım kolaylığı açısından bir güç değeri-su sıcaklığı grafiğinin üzerinde ilgili yerlere ilişkilendirilerek oluşturulmuştur.

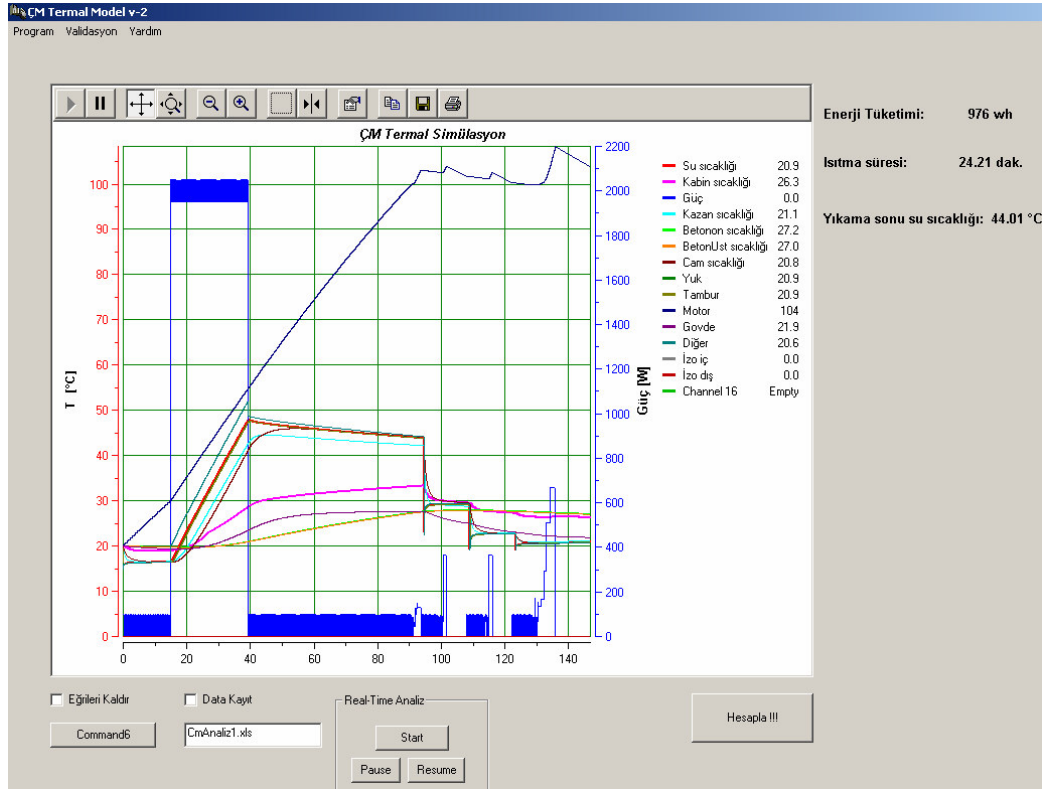


Şekil 4.14 Pamuklu-60 programı çalışma şartları veri giriş ekranı

4.12 Isıl Modelin Validasyonu ve Uygulamalar

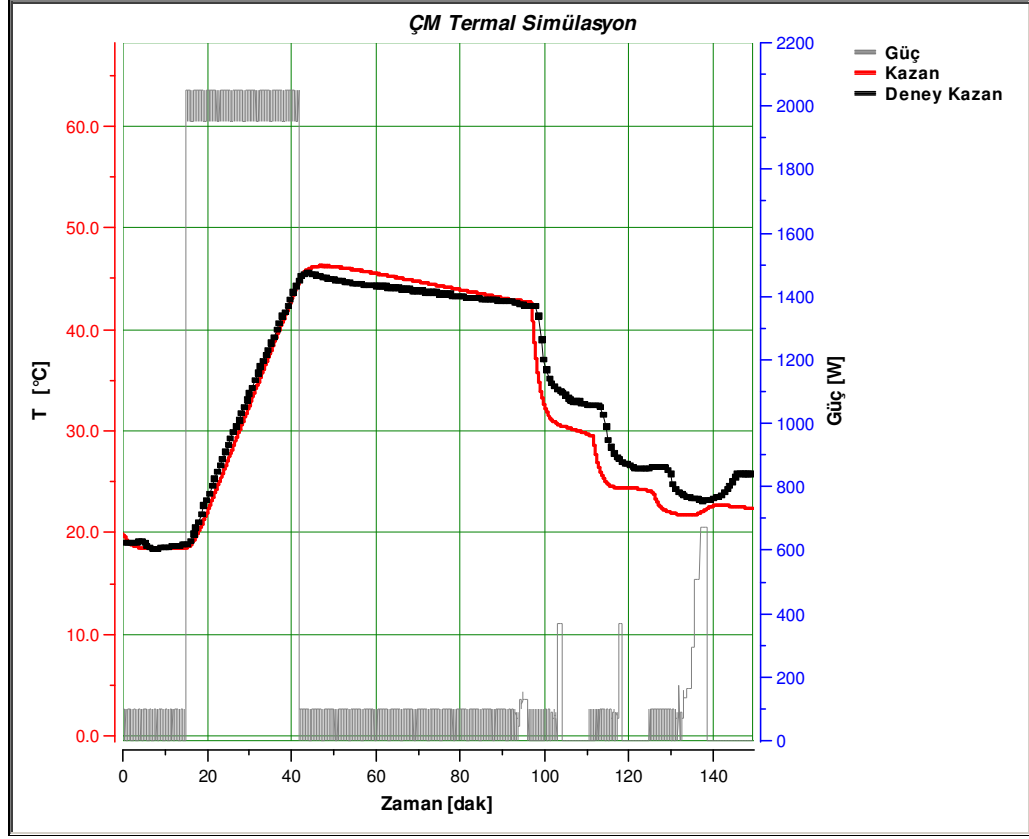
4.12.1 Validasyon

Çamaşır makinesinin ısıl modelinin oluşturulması ve program altyapısının kurulmasıyla beraber deney sonuçları ile model sonuçları karşılaştırılarak modelin validasyonu çalışması yapılmıştır. Analiz sonuç ekranında (Bkz Şekil 4.15) komponentlere ait sıcaklık değerleri ve sistem güç değeri bilgileri grafiksel olarak verilmektedir. Sayısal değer olarak, toplam enerji tüketimi (Wh), ısıtma süresi (dak) ve ana yıkama sonu (ilk tahliye) su sıcaklığı verileri çıktılanmaktadır.



Şekil 4.15 Pamuklu-60 programı analiz sonuç ekranı

Sistemdeki en önemli eleman olan ve ısıtıcı set sıcaklığı kontrolü nedeni ile sistemin enerji tüketimi değerini doğrudan etkilemekte olan su sıcaklığı değeri için model sonuçları ve deney sonuçları Şekil 4.6 ile verilmiştir. Burada tanımlanmış olan kontrol sıcaklığı yaklaşımı ile deneylerde NTC bölgesinden yapılan sıcaklık ölçümlerinin tutarlı olarak değiştiği görülmektedir. Model ortalama sıcaklığı da ayrıntılı sıcaklık ölçümlerinde görülen deney ortalama su sıcaklığı ölçümüne göre ısıtma bitiş anında ani bir düşüş göstermeden ilerlemektedir. Durulama sürelerince durulama suyu ısınma değerinin deneysel şartlarda bir miktar daha yüksek çıktığı görülmektedir. Sistem için mekanik modelleme yapılmadığından sıkma profil dataları statik olarak girilmiştir. Bu verilerin modelde iyileştirilmesi, durulama kısımlarındaki sıcaklık profilini de deneysel duruma yakın hale getirebilecektir.



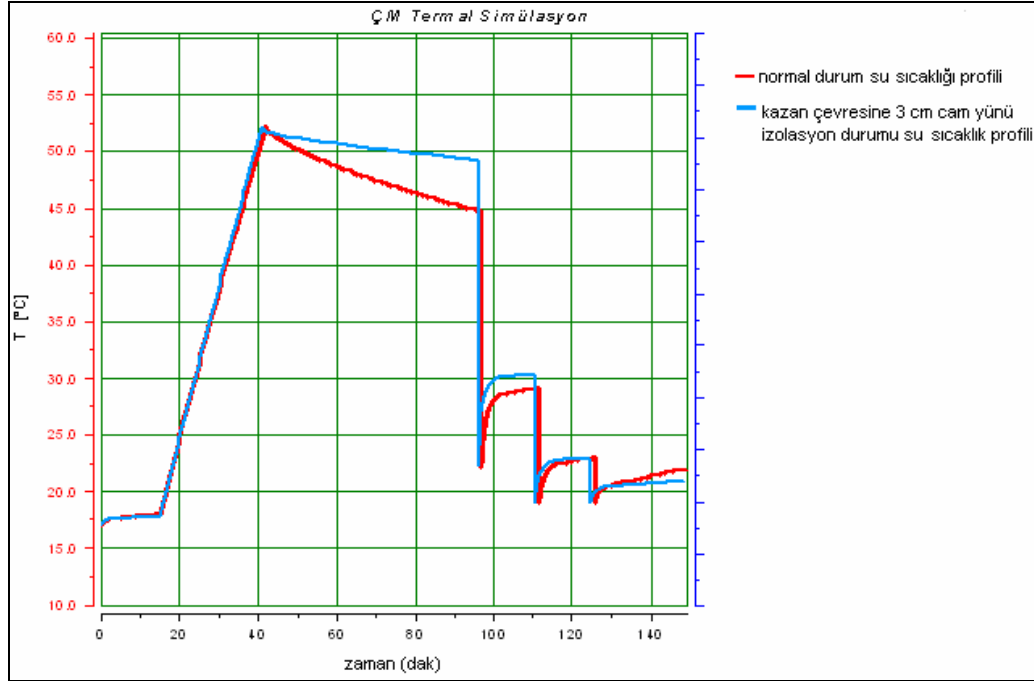
Şekil 4.16 Kazan sıcaklığı model-deney validasyonu

Şekil 4.16’da kazan sıcaklığı için verilmiş model-deney karşılaştırmasına bakıldığında da soğuk yıkama sırasındaki sıcaklık düşüşünün ve ısıtma ve yıkama süreçlerindeki sıcaklık değişikliklerinin yüksek yaklaşıklıkla modellendiği görülmektedir. Yıkama sonrası sıcaklık değişim profili de deney verilerine uygun olarak ilerlemektedir.

4.12.2 Uygulama çalışmaları

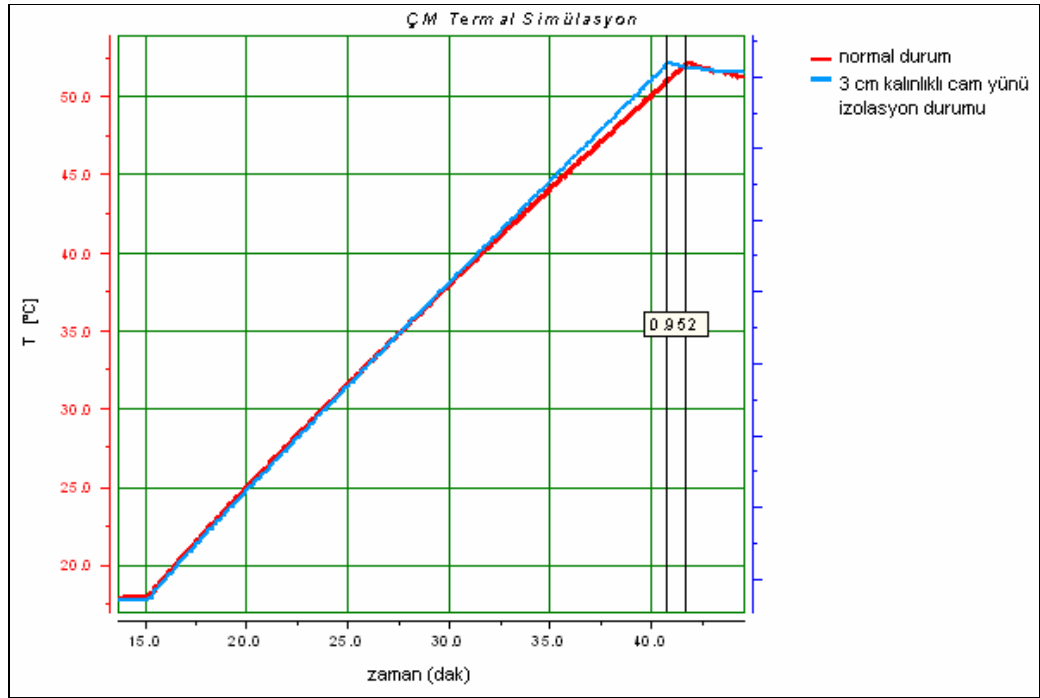
Isıl modellemenin genel amaçlarına uygun olarak, bir kaç durum için farklı parametrelerin sistem performansı ve sıcaklıkları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kazan çevresine izolasyon uygulanması durumunda ısıtıcı açık kalma süresinde küçük bir kısalma olmakta fakat buna karşılık yıkama süresince gerçekleşen sıcaklık düşüşünde ciddi bir iyileşme sağlanmaktadır. İzolasyonsuz durumda yıkama sonu su sıcaklığı 44,8 °C olarak gerçekleşirken 3 cm kalınlığında cam yünü uygulanması

durumunda bu değer 49,3 °C 'ye yükselmektedir (Bkz Şekil 4.17). Kazan çevresine cam yünü izolasyon uygulaması koşulunda ısıtıcı açık kalma süresi Pamuklu-60 programı için yaklaşık 1 dakika kadar azalmaktadır. Şekil 4.18'de bu süre (0,95 dak) yıkama suyu sıcaklıkları eşliğinde gösterilmiştir.

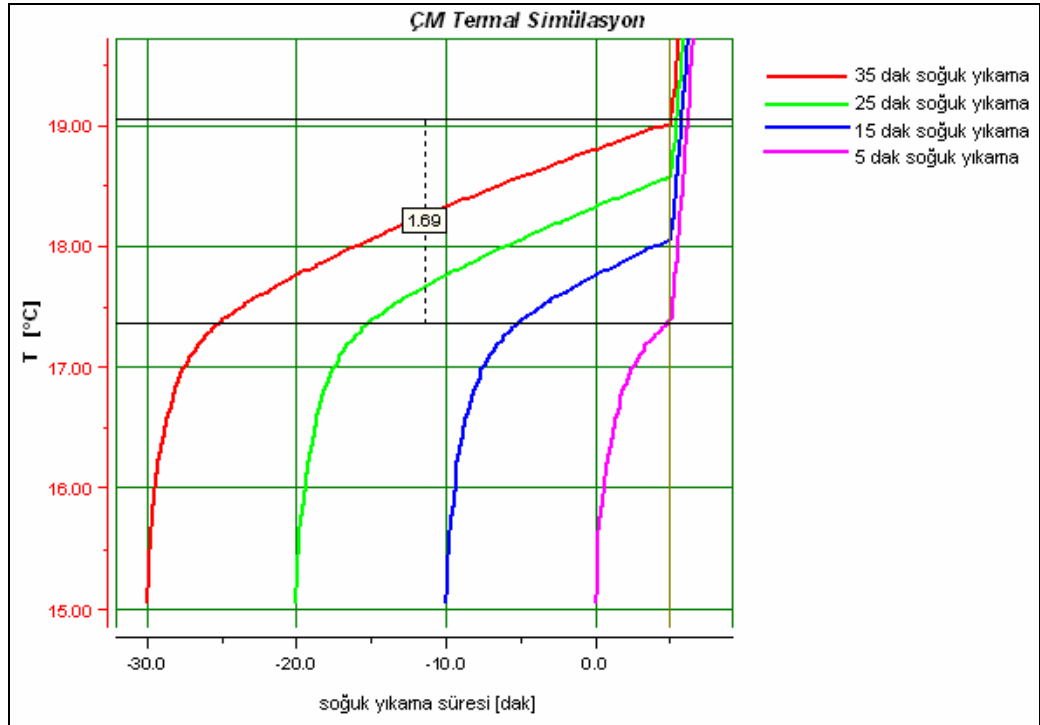


Şekil 4.17 Cam yünü izolasyon uygulaması – yalıtımsız durum su sıcaklığı profili karşılaştırması

Soğuk yıkama süresinin değişiminin ısıtma adımı başlangıcı su sıcaklığına etkisini incelemek için soğuk yıkama süresi için 5-35 dakika arasında, 15 °C su giriş sıcaklığı ve 25 °C ortam sıcaklığı şartlarında yapılan analizlerde soğuk yıkama süresi sonunda ulaşılan maksimum sıcaklıklar arasında yaklaşık 1,7 °C'lik bir farklılık olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu analiz genel hatları ile Şekil 4.19'da görülmektedir.

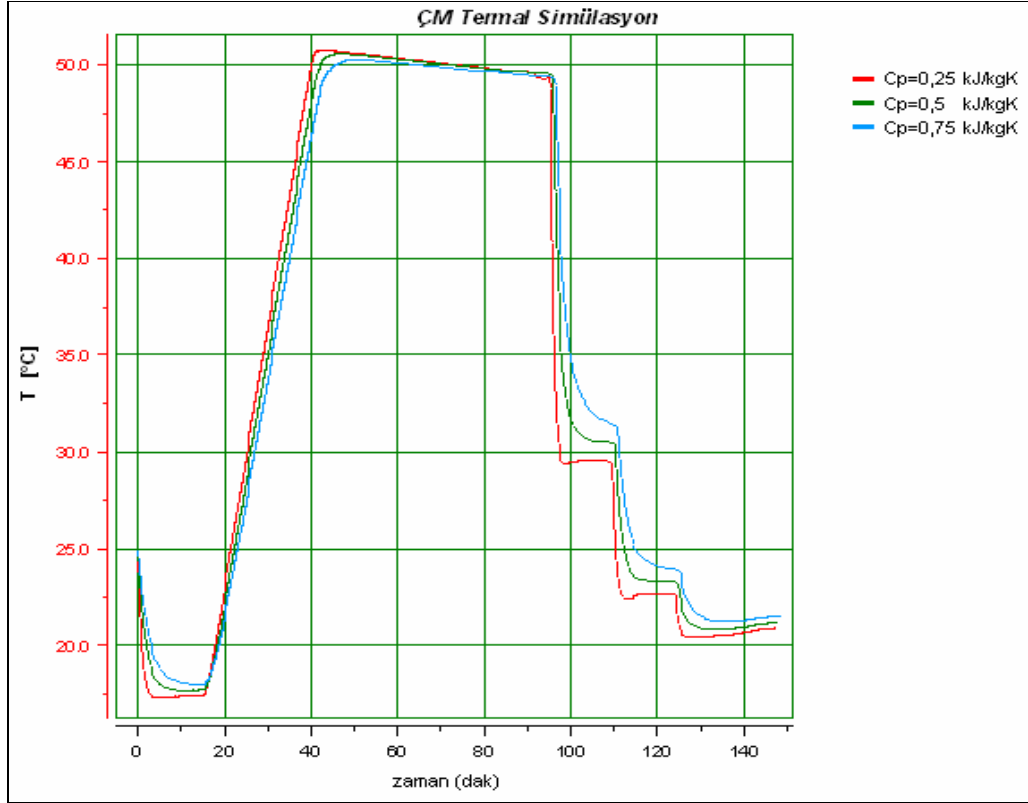


Şekil 4.18 Cam yünü izolasyon uygulaması durumunda ısıtma süresi değişimi



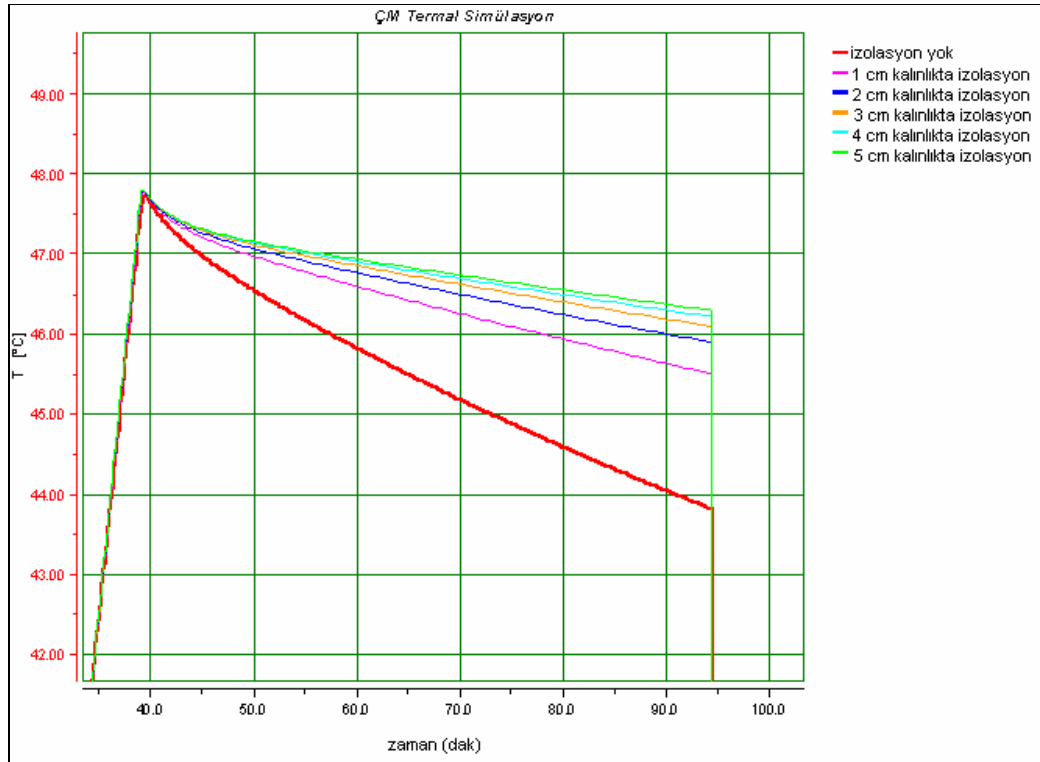
Şekil 4.19 Soğuk yıkama süresi - ısıtma başlangıcı su sıcaklığı ilişkisi

Kazan malzemesinin değişimi sonucu ısı depolama kapasitesinde oluşacak değişimlerin makina enerji tüketimi ve sıcaklık profili değerlerine etkisinin görülmesi amacı ile, 0,25, 0,5 ve 0,75 kJ/kgK özgül ısı değerleri oluşturulan ısıl modelde analiz edilmiştir. Şekil 4.20’den de görüldüğü üzere, üç özgül ısı değeri için de yıkama suyu sıcaklığının ana yıkama tahliye anında (90.dak civarı) üst üste bindiği görülmektedir.



Şekil 4.20 Kazan malzemesi özgül ısı su sıcaklığı profili ilişkisi

Kazan yüzeyine farklı kalınlıklarda cam yünü izolasyon uygulanması sonucunda ortalama yıkama suyu sıcaklığının ısıtma sonundan ana yıkama tahliye anına kadar değişim profilleri Şekil 4.21’de verilmektedir. Burada izolasyon kalınlığının artması ile birlikte dış ısı transfer alanının artması ve buna bağlı olarak ısı kaybı iyileşme oranındaki azalma görülmektedir.



Şekil 4.21 Farklı cam yünü yalıtım kalınlıklarında ısıtma sonrası yıkama suyu sıcaklığı düşüşü

Kurulmuş olan ısıl model ve hazırlanan simülasyon programı çamaşır makinasının geometrik parametreleri, çalışma koşulları ve ortam şartları gibi değişkenlerin toplam enerji tüketimi, sistem sıcaklık dağılımı, ortalama yıkama sıcaklık değeri, tahliye sonu su sıcaklığı gibi etkilerinin hızlı ve etkili şekilde görülmesini sağlamaktadır. Bu araç sayesinde çamaşır makinası tasarımında farklı değişikliklerin birbirlerine göre etkilerinin görülmesi mümkündür.

4.12.3 Isıl model parametrik analizi

Model parametrik çalışmasının temel durumunda yer alan profile göre, yıkama suyu miktarı 16 lt, ısıtıcı gücü 1950 W, su giriş sıcaklığı 15°C, ortam sıcaklığı 20°C, kazan ağırlığı 12.8 kg, çamaşır yükü miktarı 6 kg, T_{set} sıcaklığı 52°C ve kazan özgül ısısı 0,7 kJ/kg.K olarak alınmıştır. Analiz amacı ile değiştirilecek parametrenin haricindeki diğer parametreler deney makinesi Pamuklu-60 temel durum profilindeki değerleri almaktadır. Durulama sayısı, süreleri ve su miktarları ile sıkma süreleri de temel durum içerisinde belirtilmiştir ve analiz süresince sabit değerde tutulmaktadır.

Parametrik çalışmada ilk olarak, ana yıkama suyu miktarının enerji tüketimine, ısıtma süresine ve ana yıkama sonu sıcaklığına etkisinin incelenmesi için bir deneme yapılmıştır. Ana yıkama su miktarı 12-20 lt arasında 2 lt'lik artışlarla değiştirilerek tüketim değerleri programa hesaplatılmıştır. Sonuç Tablo 4.5'te gösterilmektedir.

Tablo 4.5 Ana yıkama su miktarı-enerji tüketimi

ana yıkama su mikt (lt)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sıc (°C)	enerji tüketimi (Wh)
12	19,4	43,21	813
14	21,8	43,64	894
16	24,2	43,99	975
18	26,6	44,34	1057
20	29,0	44,56	1137

Parametrik çalışmanın ikinci kısmında, ısıtıcı gücünün enerji tüketimine, ısıtma süresine ve ana yıkama sonu sıcaklığına etkisinin incelenmesi için bir deneme yapılmıştır. Isıtıcı gücü 1450-2500 W arasında değiştirilerek tüketim değerleri hesaplatılmıştır. Sonuç Tablo 4.6'da gösterilmektedir. Isıtıcı gücü arttıkça ısıtma süresi azalmakta ve bu süre zarfındaki ısı kayıp miktarı da azalarak daha düşük seviyede enerji tüketilmektedir.

Tablo 4.6 Isıtıcı gücü-enerji tüketimi

ısıtıcı gücü (W)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sıc (°C)	enerji tüketimi (Wh)
1450	32,7	43,98	990
1650	28,7	44,01	984
1950	24,2	43,99	975
2000	23,6	44,06	976
2500	18,8	44,00	965

Enerji tüketimini ve tahliye sıcaklığını etkileyen bir diğer faktör de ortam sıcaklığıdır. Ortam sıcaklığının etkisinin görülebilmesi için yapılan denemede, 15-35°C aralığında 5°C'lik artışlarla değişen sıcaklığın enerji tüketimini nasıl etkilediği simüle edilmiştir (Bkz. Tablo 4.7). Ortam sıcaklığı arttıkça makineden çevreye olan ısı kaybı azalmakta ve enerji tüketimi de düşmektedir.

Tablo 4.7 Ortam sıcaklığı-enerji tüketimi

ortam sıcaklığı(°C)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sıc (°C)	enerji tüketimi (Wh)
15	25,5	43,35	1019
20	24,2	43,99	975
25	23,0	44,71	933
30	21,7	45,33	889
35	20,4	45,95	845

Kazan ağırlığının enerji tüketimine etkisini görebilmek amacı ile çeşitli ağırlık değerleri kullanılarak parametrik bir çalışma yürütülmüştür. Tablo 4.8’de gösterildiği üzere, kazan kütlesi arttıkça, kazanın ısıl sığası ve depoladığı ısı da artmaktadır. Bu durum enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır.

Tablo 4.8 Kazan ağırlığı-enerji tüketimi

kazan ağırlığı (kg)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sıc (°C)	enerji tüketimi (Wh)
12,8	24,2	43,99	975
16	24,6	44,02	990
18	24,8	43,92	995
20	25,0	43,90	1003
22	25,2	43,81	1009

Çamaşır makinesi enerji tüketimini etkileyen önemli bir parametre de su giriş sıcaklığıdır. EN-60456 Çamaşır makineleri enerji performansı ölçümü standardına göre su giriş sıcaklığı 13-17°C aralığında belirlenmiş olup, optimumda 15°C’ye eşit olmalıdır [23]. Su giriş sıcaklığı arttıkça, ısıtma başlangıcında erişilen su sıcaklığı da artacak ve ısıtıcı daha az çalışarak daha az enerji tüketilecektir. 5-25°C arası su giriş sıcaklıklarının enerji tüketim değerine, ana yıkama sonu su sıcaklığına ve ısıtma süresine etkisi Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Su giriş sıcaklığı-enerji tüketimi

su giriş sıcaklığı(°C)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sıc (°C)	enerji tüketimi (Wh)
5	29,5	43,86	1155
10	26,9	43,92	1065
15	24,2	43,99	975
20	21,5	44,06	884
25	18,8	44,13	792

Çamaşır yükü miktarının enerji tüketimine etkisi, model analizi sonucunda Tablo 4.10'da gösterildiği şekilde ortaya çıkmaktadır. Yük miktarı arttıkça ısıtma süresi ve enerji tüketimi artmaktadır, tahliye sıcaklığında önemli bir değişiklik söz konusu değildir. Yük miktarı 5-10 kg arasında 1 kg'lık artışlarla değiştirilmiştir.

Tablo 4.10 Yük miktarı-enerji tüketimi

yük miktarı (kg)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sıc (°C)	enerji tüketimi (Wh)
5	24,0	44,03	967
6	24,2	43,99	975
7	24,5	44,04	986
8	24,8	44,08	996
9	25,1	44,12	1006
10	25,4	44,16	1017

Isıtıcı kapama sıcaklığı olan T_{set} (set sıcaklığı) parametresi de enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Pamuklu-60 programı için belirlenen T_{set} arttıkça, aynı su giriş sıcaklığı için ısıtma süresi, enerji tüketimi ve ana yıkama sonu sıcaklığı da paralel olarak artmaktadır (Bkz Tablo 4.11).

Tablo 4.11 Isıtıcı kapama sıcaklığı-enerji tüketimi

set sıcaklığı(°C)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sıc (°C)	enerji tüketimi (Wh)
50	22,7	42,36	923
51	23,4	43,16	948
52	24,2	43,99	975
53	25,0	44,87	1003
54	25,8	45,69	1030

Kazan malzemesi göz önüne alındığında, bir kaç değişik malzemenin tüketim değerini ve tahliye sıcaklığını nasıl etkilediğinin görülmesi amacıyla çelik, seramik ve alüminyum kazan malzemeleri için bir analiz yürütülmüştür. Buna göre, özgül ısı değeri arttıkça kazanın ısı kapasitesi de artmakta ve üzerinde daha fazla ısı depolamaktadır. Kazan özgül ısı arttığı durumda, yük ve yıkama suyunun istenen sıcaklığa çıkması için daha fazla enerji tüketilmesi gerekir (Bkz. Tablo 4.12). Tahliye sıcaklığında önemli bir değişiklik söz konusu değildir.

Tablo 4.12 Kazan malzemesi-enerji tüketimi

kazan malz.-cp (kJ/kg.K)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sic (°C)	enerji tüketimi (Wh)
çelik-0,45	23,7	44,07	957
seramik-0,8	24,4	43,99	983
aliminyum-0,9	24,7	43,98	991

Kazan yüzeyine uygulanan yalıtım malzemesinin etkisinin görülebilmesi amacı ile 2 cm kalınlığında cam yünü, mantar ve selüloz izolasyon malzemeleri için bir analiz yaptırılmıştır. Sonuçta, ısıtma süresi ve enerji tüketiminin önemli oranda etkilenmediği, fakat ana yıkama tahliye sıcaklığının 44°C'den yaklaşık olarak 46°C'ye çıktığı görülmüştür. Isıtma süresince ısı kaybı düşük kaldığı için ve yük-su karışımı ısının yaklaşık % 80'ini depoladığı için yalıtımın enerji tüketimine etkisi düşük kalmaktadır (Bkz. Tablo 4.13).

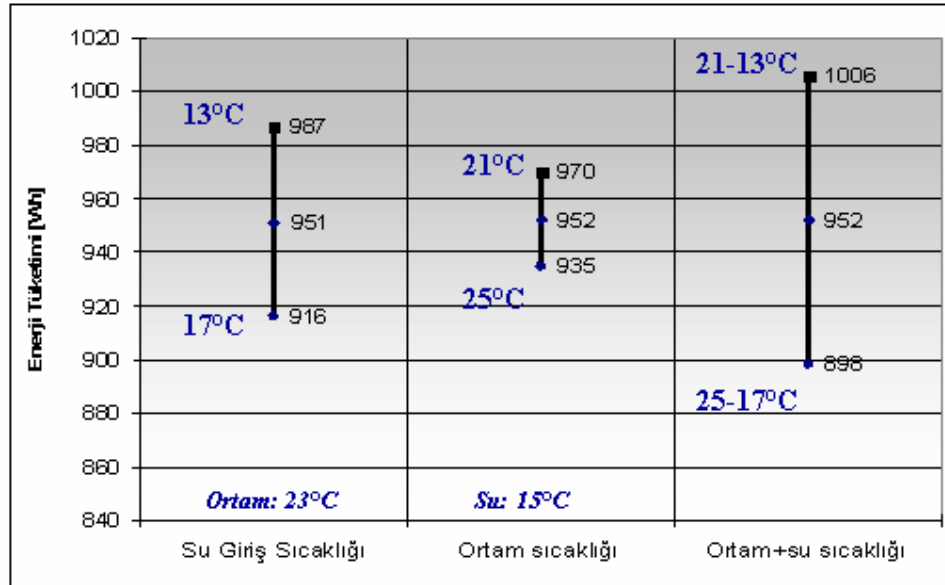
Tablo 4.13 Kazan yalıtım malzemesi-enerji tüketimi

kazan yalıtım malz. (2 cm)	ısıtma süresi (dak)	ana yık. su tahliye sic (°C)	enerji tüketimi (Wh)
cam yünü (cp=0.657,k=0.038)	24,03	45,85	970
mantar (cp=2.03,k=0.048)	24,07	45,66	971
selüloz (cp=1.3,k=0.057)	24,06	45,60	970

Oluşturulan ısıl model ile, EN-60465 standardına göre deney yapılan ortam sıcaklığı (makine başlangıç sıcaklığı) ve su giriş sıcaklığının etkileri de incelenerek standartta izin verilen ekstremum değerlerin deneyde oluşturabileceği ısıl tabanlı saçınıklık da bulunabilir. Buna göre su giriş sıcaklığının 13°C ile 17°C arasında değişimi ortam sıcaklığı 23°C'de sabit tutulurken yaklaşık 70 Wh'lik bir enerji tüketimi değişimine neden olmaktadır.

Enerji tüketimi değerinin su giriş sıcaklık düzeltme formülü ile düzeltildiği [23] düşünülecek olursa, en önemli enerji tüketimi saçınıklığının ortam ve makine başlangıç sıcaklığından ileri geldiği ortaya çıkmaktadır. Ortam sıcaklığının ve dolayısıyla makinenin t_0 başlangıç anındaki sıcaklığının 21°C ile 25°C arasında değişmesi, su giriş sıcaklığının 15°C 'de sabit tutulduğu kabulü ile enerji tüketiminde 35 Wh'lık bir saçınıklığa neden olacaktır. Su giriş sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve her iki sıcaklığın da ekstremum değerlerinin enerji tüketim saçınıklığına etkisi ısıl modelde yapılan analiz sonucunda Tablo 4.14' teki şekilde ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.14 Ortam ve su sıcaklığının değişiminin enerji tüketimine etkisi



5 SONUÇ

Çamaşır makinası üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, enerji bilançosunun çıkarılması ve ısıl model ile yapılan parametrik analizler sonucunda toplam enerji tüketimini azaltabilecek çeşitli çalışmalar yapılabilir. Pamuklu program enerji bilançolarından da anlaşılabileceği gibi, tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %30 ila %40'ını oluşturan ana yıkama tahliye suyunun atık enerjisinden geri kazanım yapılması mümkündür. Bunun sonucunda çamaşır makinesinde arka arkaya yapılan yıkama çevrimlerinde enerji kazancı elde edilebilir.

Pamuklu program enerji bilançoları incelendiğinde enerji tüketiminin program sıcaklık ayarına bağlı olarak yaklaşık %5 ila %20 kadarının dış ortama ısı kayıp olarak atıldığı görülmektedir. Dış kaybın azaltılması ile ilgili uygulamaların ısıtma adımı ve ısıtma sonrası yıkama adımındaki ısı kayıpları üzerindeki etkisi farklı olarak gerçekleşmektedir. Pamuklu-60 programı ısıtma adımı içerisinde tüketilen enerjinin (ki bu enerji toplam çevrim tüketiminin % 75'ini oluşturur) yaklaşık %2'si ortama ısı kaybı olarak atılmaktadır. Düşük ısı kayıp yüzdesi nedeniyle, ısı kaybı azaltıcı uygulamaların enerji tüketimini azaltma yönündeki etkisi sınırlı olabilir. Isıtma sonrası yıkama adımı ısı kaybı önemli miktardadır. Toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 6-7'si bu adımda ısı kaybı olarak ortama verilmektedir. Işınım, taşınım ve iletimle ısı geçişini azaltabilecek her türlü iyileştirme bu adımın ısı kayıp durumunu, enerji ve yıkama performansını iyileştirebilir.

Ortam ısını kullanımı da çamaşır makinesinin enerji performansının iyileştirilmesi açısından incelenebilir. Bu amaçla ısıl model parametrik analiz kısmında çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Özellikle makineye giren soğuk suyun ortamdan çekeceği ısının çeşitli şekillerde iyileştirilmesi enerji kazanımı açısından fayda sağlayabilir.

Çamaşır makinesinde gerek yapısal, gerekse yıkama profilinde yapılacak değişikliklerin enerji tüketimine etkilerinin belirlenmesi için oluşturulmuş ısıl model

önemli bir kaynaktır. Enerji kazanımının azaltılmasına yönelik modelleme, bu kaynak kullanılarak geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Strasser, S.**, 2000. Never Done: A History of American Housework. Harper Paperbacks, New York.
- [2] **Panati, C.**, 1989. Extraordinary Origins of Everyday Things. Owl Books, New York.
- [3] **UNFCCC**, 1997. Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change
- [4] **Commission of the European Communities**, 2005. Communication from the Commission Report on Demonstrable Progress under the Kyoto Protocol, Brussels, Belgium.
- [5] **DEFRA**, 2005. Energy Label, Defra Publications, PB7971, London, England.
- [6] **Biermayer, P. J.**, 1996. Design options for clothes washers, LBNL-47888, Lawrence Berkeley National Laboratory Energy&Environment Division, Berkeley, CA, USA.
- [7] **VH&K, GEA**, 1995. Washing machines: Long term efficiency targets, a technical and economic analysis, Washing machines, driers and dishwashers background reports, Vol. III, Background report 7, The Netherlands.
- [8] **Lee, K. C.**, 1993. Insulating structure of a washing machine having a water container cover, *United States Patent*, No: 5263343 dated 23.11.1993.
- [9] **Andreae, J., Ott, G.**, 1995. Washing machine, *German Patent*, No: 4332684 dated 30.03.1995.
- [10] **Thiel, H.**, 2001. Washing machines, driers, dishwashers also freezers and similar machines equipped with heatable or coolable containers, *German Patent*, No: 10018326 dated 25.10.2001.

- [11] **Hettenhausen, U., Windt, J.**, 1994. Domestic appliance insulation - has an intermediate carrier for easy removal when the appliance is scrapped for recycling, *German Patent*, No: 4227957 dated 24.02.1994.
- [12] **Zegers, F. T. S., Molenbroek, E. C. R.**, 2000. Field Test of Heat-Fed Washing Machines and Tumble Dryers, Cadence Appendix K, E4002/E4068, ECOFYS, Nederland.
- [13] **Anastase, C., Nehren, W. C., Kissick, R. C., Campbell, T. C., Daily, J. H.**, 1994. Removable heat exchanger for industrial laundry machines, *United States Patent*, No: 5335523 dated 08.09.1994.
- [14] **Svenningsen, O., N.**, 1983. Heat exchanger, *United States Patent*, No: 4376378 dated 15.03.1983.
- [15] **Moschuetz, H.**, 1965. Washing machine or dishwasher has heat exchanger, *German Patent*, No: 4403737 dated 10.08.1995.
- [16] **Mori, M.**, 1987. Clothes Washing Machine with a Device for heating the Washing Solution, *United Kingdom Patent*, No: 2188068 dated 23.09.1987.
- [17] **Stamminger, R., Kaefferlein, H.**, 1988. Drum type washing machine, *German Patent*, No: 3717477 dated 01.12.1988.
- [18] **Favret, U.**, 2001. Washing machine with through-flow water heating arrangement, *European Patent*, No: 1159911 dated 05.12.2001.
- [19] **Mori, M., Regazzo O.**, 1987. Laundry washing machine with washing liquid heating device, *European Patent*, No: 0239025 dated 30.09.1987.
- [20] **Ohnmacht, H., Schloetzer, E.**, 2000. Washing machine pump has heater and heat distributor plate for liquid heating, *German Patent*, No: 19903951 dated 03.08.2000.
- [21] **Schrott, H.**, 2003. Dishwasher/washing machine, for domestic use, has a liquid cycle and a pump with a casing containing a heater element for heating the liquid, *German Patent*, No: 10224229 dated 11.12.2003.

- [22] **Melo, C. and Pereira, R. H.**, 2004. Utilization of Heat Flux Meters in the Analysis of Household Refrigeration Systems, *The 55th Annual International Appliance Technical Conference*, Lexington, Kentucky, USA, March 29-31.
- [23] **BS-EN-60456**, 2005. , Clothes washing machines for household use-Methods for measuring the performance, *British Standards Institution*, London.
- [24] **Incropera, F. P., DeWitt, D. P.**, 2001. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul, s. 518-556
- [25] **Çengel, Y. A., Boles, M. A.**, 2000. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw Hill-Literatür Yayıncılık, İstanbul, s. 163
- [26] **Genceli, O.**, 2002. Çözümlü Isı Taşınımı Problemleri, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [27] **Oswald, T. A., Baur, E., Brinkmann, S., Oberbach, K., Schmachtenberg, E.**, 2006. International Plastics Handbook : The Resource for Plastics Engineers. Hanser Gardner Publications, Cincinnati, p. 733
- [28] **Genceli, O.**, 2000. Çözümlü Isı İletimi Problemleri, Birsan Yayınevi, İstanbul, s. 459-470
- [29] **Genceli, O.**, 2000. Ölçme Tekniği, Birsan Yayınevi, İstanbul, s. 23-29

ÖZGEÇMİŞ

C. Murat Dora, 06.08.1982 tarihinde Ankara’da doğdu. Orta öğrenimini 2000 yılında İzmir Bornova Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi’nden Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isı-Akışkan Yüksek Lisans Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2004-2006 yılları arasında bir buçuk yıl süresince İ.T.Ü. ve ARÇELİK A.Ş. arasında imzalanmış üniversite-sanayi işbirliği anlaşması çerçevesince ARÇELİK A.Ş. Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi’nde proje asistanı olarak görev yaptı. ARÇELİK A.Ş. Çamaşır Makinası İşletmesi’nde ürün geliştirme mühendisi olarak görevini sürdürmektedir. İngilizce bilmektedir.