

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULAŞIK MAKİNASI
ENERJİ TÜKETİMİ - YIKAMA PERFORMANSI
İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Erman TUTKAK**

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Isı-Akışkan

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULAŞIK MAKİNASI
ENERJİ TÜKETİMİ - YIKAMA PERFORMANSI
İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Erman TUTKAK
(503061126)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Feridun ÖZGÜÇ (İTÜ)
Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

Anneme ve Babama,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda yol gösteren, eleştirileri ve önerileri ile tezimi tamamlamamı sağlayan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca yanımda olan, zor zamanlarımda desteğini esirgemeyen, gücümün tükendiği noktalarda beni yüreklendirip yola devam etmemi sağlayan ve her konuda anlayış gösteren Sayın Burcu YAKARTAŞ'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması ARÇELİK A.Ş. Ar-Ge Mekanik Teknolojiler II Yöneticiliği Temizleme Teknolojileri Ailesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Konu ile ilgili olarak Sayın Gökhan ÖZGÜREL ve Sayın Dr. Deniz ŞEKER'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmam sırasında teknik konulardaki yardımları için Sayın Zehra ÜLGER'e ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Sayın Emine BİRCİ, Sayın Meryem ARIGÜL ve Sayın Nevin AYATA AKKAŞ'a, elde yıkama testlerine yardımcı olan Sayın Ayşe Seda POLAT, Sayın Duygu AKBEYAZ ve Sayın Yasemin KARAOSMAN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her konuda yanımda olan, verdiğim kararları destekleyen ve bugün bulunduğum konumu borçlu olduğum sevgili ailem; annem Seviye TUTKAK, babam Hasan TUTKAK, ağabeyim Ali TUTKAK ve ablam Lale TUTKAK İZMİRLİOĞLU'na sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran 2010

Erman TUTKAK
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ALT SİMGE LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. BULAŞIK MAKİNASI VE YIKAMANIN TEMEL İLKELERİ	7
3.1 Yıkama İşleminde Yer Alan Faktör ve Mekanizmaların Açıklanması	7
3.1.1 Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması.....	9
3.1.1.1 Sıvı Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması	9
3.1.1.2 Katı Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması.....	11
3.1.2 Yüzeyden Uzaklaştırılan Kirlerin Süspansiyonda Tutulması	13
3.1.2.1 Sıvı Kirlerin Süspansiyonda Tutulması	13
3.1.2.2 Katı Kirlerin Süspansiyonda Tutulması	13
3.2 Elde Bulaşık Yıkama.....	14
3.3 Otomatik Bulaşık Makinaları	17
3.3.1 Bulaşık Makinasının Temel Bölümleri	17
3.3.2 Bulaşık Makinasının Çalışma Prensibi	21
3.4 Bulaşık Makinalarının Enerji Tüketimi ile İlgili Çalışmalar	22
3.5 Deney Tasarımı	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1 EN 50242 - Bulaşık Makinası Test Metodu	33
4.1.1 Genel Ortam Koşulları	33
4.1.2 Yıkama Performansı Testleri	34
4.2 Elde Yıkama Testleri.....	36
4.2.1 Elde Yıkamanın Su Tüketimine Etkisinin İncelenmesi	38
4.2.2 Elde Yıkama Süresinin İncelenmesi	39
4.2.3 Elde Yıkamada Deterjan Kullanımının İncelenmesi	39
4.2.4 Elde Yıkamada Temizleme Performansının İncelenmesi	40
4.3 Bulaşık Makinası Testleri.....	41
4.3.1 Termoeleman Yerleşimleri ve Sıcaklık Dağılımları	41
4.3.2 Bulaşık Makinası Enerji Tüketim Analizi	46
4.3.2.1 Soğuk Yıkama Adımında Enerji Tüketimi Analizi.....	46
4.3.2.2 Isıtma Adımında Enerji Tüketimi Analizi.....	52
4.3.2.3 Sıcak Yıkama Adımında Enerji Tüketimi Analizi.....	55
4.3.3 Deney Sonuçlarının Analizi ve YE Amprik İfadesinin Elde Edilmesi	60

5. SONUÇLAR	67
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	73
EK A. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı Analizleri	73

KISALTMALAR

EN	: European norm
DOE	: Design of experiments
VTS	: Veri toplama sistemi
YE	: Yıkama endeksi
KSH	: Katsayıların standart hatası

SEMBOL LİSTESİ

θ	: Temas açısı
γ	: İki ortam arasındaki ara yüzey gerilimi, N/m
S	: Yayılım katsayısı, N/m
H_0	: Sıfır hipotezi
H_A	: Alternatif hipotez
p	: Olasılık değeri
α	: Kabul edilen risk seviyesi
YE	: Toplam yıkama endeksi değeri
N	: Toplam yıkanan parça sayısı
ye	: Her bir parçaya ait temizleme performansı puanı
T	: Yıkama adım süresi, s
m	: Yıkama suyu kütlesi, kg
M	: Suyun temas ettiği makina kütlesi, kg
U	: İç enerji, kJ
Q	: Isı geçişi, kJ
W	: İş, kJ
c	: Suyun özgül ısı değeri, kJ/kg.K
C	: Katı kütlelerinin ortalama özgül ısı değeri, kJ/kg.K
T	: Sıcaklık, K
E	: Enerji, kJ

ALT SİMGE LİSTESİ

S	: Yüzey
B	: Çözelti
O	: Sıvı kir
P	: Katı kir
1	: Soğuk yıkama adımı
2	: Isıtma adımı
3	: Sıcak yıkama adımı
M	: Suyun temas ettiği makina kütlesi
p	: Pompa
k	: Kayıp
g	: Giriş koşulu
0	: Başlangıç koşulu
e	: Elektrik

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Bulaşık makinası enerji tüketimi sınıfları.	4
Çizelge 2.2 : Bulaşık makinası yıkama performansı sınıfları.....	4
Çizelge 3.1 : Yuvarlanma mekanizmasına bağlı yüzey gerilim değerleri değişimi ..	10
Çizelge 3.2 : 3 faktörlü ve 2 düzeyli tam faktöriyel deney tasarımı.....	29
Çizelge 4.1 : Yıkama performansı testlerinde kullanılan standart deterjan bileşimi.	34
Çizelge 4.2 : Yıkama performansı testlerinde kullanılan yemek takımı ayrıntıları...	35
Çizelge 4.3 : Bulaşık testi standart kirleri.....	35
Çizelge 4.4 : Kir temizleme performansı puanlandırması.....	36
Çizelge 4.5 : Elde yıkama testi sonuçları.	37
Çizelge 4.6 : Elde yıkamanın su tüketimine etkisi.	38
Çizelge 4.7 : Elde yıkamanın süre etkisi.	39
Çizelge 4.8 : Elde yıkamada deterjan kullanımı.....	40
Çizelge 4.9 : Elde yıkama temizleme endeksleri.....	40
Çizelge 4.10 : Termoeleman yerleşimi.....	41
Çizelge 4.11 : Soğuk yıkama adımı için ısı hesaplamalar.....	51
Çizelge 4.12 : Isıtma adımı için ısı hesaplamalar.....	55
Çizelge 4.13 : Sıcak yıkama adımı için ısı hesaplamalar.....	58
Çizelge 4.14 : Yıkama adımı enerji tablosu.....	59
Çizelge 4.15 : DOE’de kullanılan faktörler ve düzeyleri.....	60
Çizelge 4.16 : Tam faktöriyel deney tasarımı analiz sonucu.....	61
Çizelge A.1 : Tam faktöriyel deney tasarımı analiz sonucu.....	74
Çizelge A.2 : KSH değerleri hesaplama sonuçları.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Yıkama prosesinde yer alan faktörler.....	7
Şekil 3.2 : Kir uzaklaştırma mekanizmaları.	8
Şekil 3.3 : Kirlerin sınıflandırılması	9
Şekil 3.4 : Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi.	10
Şekil 3.5 : $\theta > 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması	11
Şekil 3.6 : $\theta < 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden koparılarak kısmen uzaklaştırılması ..	11
Şekil 3.7 : Elde yıkama – yıkama performansı.....	15
Şekil 3.8 : Elde yıkama – yıkama süresi.....	15
Şekil 3.9 : Elde yıkama – su tüketimi	16
Şekil 3.10 : Bulaşık makinası bölüm ve aksamaları.....	17
Şekil 3.11 : Bulaşık makinası – ön paneli.....	18
Şekil 3.12 : Bulaşık makinası – yıkama grubu	19
Şekil 3.13 : Bulaşık makinası – kapı grubu	20
Şekil 3.14 : Bulaşık makinası – kazan grubu.....	20
Şekil 3.15 : Bulaşık makinasının hidrolik şeması.....	22
Şekil 3.16 : Üç faktörlü ve orta noktalı tasarımın şematik gösterimi	28
Şekil 4.1 : Termoeleman makina bağlantıları.....	42
Şekil 4.2 : Termoeleman ölçüm düzeneği.	42
Şekil 4.3 : Yıkama adım sürelerinin şematik gösterimi.....	43
Şekil 4.4 : Yıkama programına ait tüketim değerleri.	44
Şekil 4.5 : Soğuk yıkama adımında (t_1) sıcaklık ölçümleri.	44
Şekil 4.6 : Isıtma adımında (t_2) sıcaklık ölçümleri.	45
Şekil 4.7 : Sıcak yıkama adımında (t_3) sıcaklık ölçümleri.....	45
Şekil 4.8 : Soğuk yıkama adımında bulaşık makinası sisteminin kesiti.....	46
Şekil 4.9 : Soğuk yıkama adımında su kütlesinin şematik görünümü.....	47
Şekil 4.10 : Soğuk yıkama adımında katı kütlesinin şematik görünümü.	48
Şekil 4.11 : Isıtma adımında bulaşık makinası kesiti.	52
Şekil 4.12 : Isıtma adımında su kütlesinin şematik görünümü.....	52
Şekil 4.13 : Isıtma adımında katı kütlesinin şematik görünümü.	53
Şekil 4.14 : Sıcak yıkama adımında bulaşık makinası kesiti.....	56
Şekil 4.15 : Sıcak yıkama adımında su kütlesinin şematik görünümü.	56
Şekil 4.16 : Sıcak yıkama adımında katı kütlesinin şematik görünümü.....	57
Şekil 4.17 : T_{max} ve t_3 'ün ana etkiler grafiği.	62
Şekil 4.18 : T_{max} ve t_1 'in etkileşim grafiği	62
Şekil 4.19 : T_{max} ve t_3 'ün etkileşim grafiği.	63
Şekil 4.20 : YE için çoklu değişken grafiği.....	63
Şekil 4.21 : YE pasta grafiği.....	64
Şekil A.1 : Minitab deney tasarımı çalışma sayfası.....	73
Şekil A.2 : Etkileşimlerin yıkama endeksi üzerindeki etkisi.....	75

BULAŞIK MAKİNASI ENERJİ TÜKETİMİ – YIKAMA PERFORMANSI İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde küresel ısınmanın etkileri ve doğal kaynakların kısıtlı hale gelmesi ile birlikte endüstriyel uygulamalar ve akademik araştırmaların çoğunda olduğu gibi bulaşık makinalarına yönelik yapılan çalışmalar da enerjinin verimli kullanımına yoğunlaşmıştır. Yıkama performansını olumsuz yönde etkilemeden enerji ve su tüketimini azaltmaya odaklanan bu çalışmaların bir sonucu olarak, yıkama ve kurutma performansı ile enerji tüketiminin standart bir yöntem ile değerlendirilmesi gereksinimi oluşmuştur. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen EN 50242 “Evsel Kullanım için Elektrikli Bulaşık Makinaları – Performans Ölçüm Metotları” (*Electric dishwashers for household use – Methods for measuring the performance*) standardı bütün üretici firmalar tarafından kullanılmaktadır.

Bulaşık makinalarında enerji tüketimi ve yıkama performansının incelendiği bu tez çalışmasında ise; yıkama adımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve temizleme performansı endeksi ile ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır.

Bulaşık yıkama prosesi, kullanım sonunda mutfak araçları üzerinde kalan kirlerin uzaklaştırılması amacıyla gerçekleştirilmekte olup, sıcaklığın, mekanik hareketin ve sulu deterjan çözeltilisinin bir arada kullanımını temel almaktadır. Bu süreçte yer alan etki ve mekanizmaların çok çeşitli olması nedeniyle genel bir yıkama modellemesi yapılamamaktadır. Buna rağmen, elde yıkama ve otomatik yıkamanın tüketim değerleri ve yıkama etkenliklerinin karşılaştırılmasına yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar aynı zamanda elde ve makinada yıkamanın çevresel etkilerinin karşılaştırılabilmesi nedeniyle önem taşımaktadır. Ancak bu çalışmalarda elde yıkamanın tüketim değerleri ve yıkama etkinliği arasında doğrudan bir ilişki kurulamamış ve buna bağlı olarak elde yıkamaya ait bir modelleme yapılamamıştır. Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen elde yıkama testlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiş, enerji – su tüketimi, deterjan kullanımı ve yıkama sürelerinden tamamen bağımsız olarak farklı yıkama performanslarına ulaşılmıştır.

Otomatik bulaşık makinalarında ise; kapalı bir sistem içinde yüksek sıcaklık, mekanik etki ve deterjanın bir arada kullanımı ile bulaşık yükü üzerindeki kir, bol su ile uzaklaştırılmakta, durulama ve kurutma ile de kullanıma hazır hale getirilmektedir. Yıkama ile durulama adımlarında şebekeden gelen soğuk su makinaya alınmakta ve yıkama adımına bağlı olarak belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Bulaşık makinalarına yönelik yapılan çalışmalar genellikle yıkama sıcaklığı, ısıtma süresi, su tüketimi değerlerinin yıkamayı olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde optimize edilmesini konu almaktadır.

Tez çalışması kapsamında ise, bulaşık makinasının yıkama adımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmış ve bu amaçla makinanın farklı bölgelerine yerleştirilen 18 adet termoeleman ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Soğuk yıkama, ısıtma ve sıcak yıkama adımları için yapılan sıcaklık ölçümleri ve

geliştirilen enerji dengesi denklemlerinden faydalanılarak bulaşık üzerindeki kirin uzaklaştırılması için makina tarafından kullanılan net enerji ifadesi geliştirilmiştir.

Tez çalışmasının bir diğer aşaması olan yıkama endeksinin modellenmesi çalışmasında ise; ısı analizleri yapılan yıkama adımlarının süreleri ve yıkama suyunun maksimum sıcaklığı faktör olarak kabul edilmiş ve tam faktöriyel deney tasarımı metotları kullanılarak bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. İstatiksel analiz programı Minitab 15'te gerçekleştirilen analiz sonunda, bu faktörlerin ana etkileri ve etkileşimlerini içeren bir model kurulmuştur. Kurulan model, soğuk ve sıcak yıkama süreleri ile maksimum su sıcaklığının yıkama endeksi üzerinde etkisini yaklaşık % 94 oranında açıklamaktadır. Bu modele göre yıkama suyu sıcaklığı ve sıcak yıkama süresinin ana etkileri ile yıkama suyu sıcaklığı - soğuk yıkama süresi etkileşimi ve yıkama suyu sıcaklığı - sıcak yıkama süresi etkileşimleri yıkama endeksi üzerinde etkili olmaktadır.

Bulaşık makinalarında enerji tüketimi – yıkama endeksi konularını kapsayan bu tez çalışması, güç değerleri sabit su sirkülasyon pompası ve elektrikli ısıtıcı ile gerçekleştirilmiş olup oluşturulan enerji ifadesi ve yıkama endeksi modelinin geliştirilmesi için pompa ve ısıtıcının farklı güç düzeylerinin incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

A STUDY ON THE RELATION BETWEEN ENERGY CONSUMPTION AND CLEANING PERFORMANCE OF DISHWASHERS

SUMMARY

In the last decades, due to the global warming and limited natural resources, researches on the efficient use of energy arised in most of industrial applications and academical studies. Response of wet household appliances to energy topic is to reduce both energy and water consumption, in the meantime to improve cleaning performance. Such studies resulted in need of an evaluating energy consumption and cleaning performance in accordance with a standard test method. For the dishwashers; EN 50242 “Electric dishwashers for household use – Methods for measuring the performance” was developed and now is being used by manufacturers all over the world.

Scope of this thesis; focusing on energy consumption and cleaning performance, is to determine the effects of washing cycles on total energy consumption and to develop a correlation between washing cycles and cleaning performance.

Dishwashing is defined as removal of remaining soils on kitchen utensils and crockery utilizing effects of temperature, aquatic detergent solution and mechanics. Since lots of mechanisms and factors take place in washing process, it is not possible to establish a general model for washing. Even then, there are lots of researches on comparison of hand-washing and automatic dishwashers in aspects of consumption properties, cleaning performances and environmental effects. These studies didn't succeed in modelling behaviour of hand-washing and developing a correlation between consumption and performance. Hand-washing experiments performed in this thesis also have similar results; where different levels of cleaning performances were obtained independent of water-energy consumption, detergent used or washing period.

In automatic dishwashers; high temperature, mechanical effects and detergent are used together in order to remove soil from surfaces of crockery and become ready for use after rinsing and drying cycles. Fresh cold tap water entering washing machine is heated up to a pre-determined temperature in warm washing and drying cycles. Researches on dishwashers's energy are usually focused on optimization of washing temperature, heating period, water consumption without decreasing the performance.

In this thesis, for the determination effects of washing cycles on energy consumption, temperature values were measured by 18 thermocouples placed in different parts of the dishwasher. Temperature distribution over the dishwasher and energy balance equation were utilized and finally an expression for effective energy used by machine in order to remove soil from crockery.

Another subject of thesis is to create a model for cleaning index using tools of full factorial experiment design methods in Minitab 15 software. Periods of washing cycles and maximum temperature of washing were selected as factors and in the

model it is experiments were performed due to Minitab 15 analyses. Developed model is capable of interpreting % 94 of cleaning performance dependent of washing temperature, warm washing period, temperature-cold washing period interaction and temperature-warm washing period interaction.

As a result of this thesis, models for energy consumed during washing and cleaning index were proposed which will enable prediction of energy consumption and cleaning index of any dishwashing program according to washing parameters.

For the future studies, it is advised to study energy consumption of washing in conditions of variable power specifications for circulation pump and flow-through heater.

1. GİRİŞ

Yemek pişirme, gıda saklama ya da temizlik gibi rutin evsel ihtiyaçların gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılan; bunun yanı sıra ticari, endüstriyel ya da akademik amaçlara da hizmet edebilmesi için modifiye edilmiş büyük cihazlara “Elektrikli Ev Aletleri / Beyaz Eşya” adı verilmektedir. Çalışması için elektrik ya da akaryakıt gibi bir enerji girdisine ihtiyacı olan bu cihazlar; soğutucular, pişirici cihazlar, yıkayıcılar ve konfor sağlayan diğer sistemler olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışma; yıkayıcı ev aletlerinden biri olan bulaşık makinası sisteminin yıkama adımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve temizleme performansı endeksi ile ilişkilendirilmesi amacıyla yapılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde, tez çalışması kapsamında incelenen ve deneysel çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde faydalanılan literatür araştırmaları özetlenmiştir.

“Bulaşık Makinası ve Yıkamanın Temel İlkeleri” başlıklı Bölüm 3’te tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırmaları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bu bölümde ilk olarak, yıkama prosesleri genel olarak ele alınmış ve yıkamada yer alan faktör ve mekanizmalar incelenmiş, sıvı ve katı formdaki kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasında ve yüzeyden uzaklaştırılan kirlerin süspansiyonda tutulmasında etkili olan mekanizmalar açıklanmıştır. Yıkama prosesinin incelenmesinin ardından, elde bulaşık yıkama ile ilgili literatür bilgileri verilmiştir. Otomatik bulaşık makinalarının temel bölümleri, çalışma prensibi anlatılmış ve bulaşık makinası enerji tüketimi ile ilgili literatür çalışmalarından bahsedilmiştir. Son olarak, deneysel çalışmaların belirli kurallar çerçevesinde planlanması ve deneylerin sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amacıyla kullanılan deney tasarımı metodları ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

“Deneysel Çalışmalar” başlıklı Bölüm 4’te; standart test metodu, elde yıkama testleri ve bulaşık makinası testleri detaylı olarak anlatılmıştır. Bu bölümde, ilk olarak testlerde kullanılan bulaşık makinası standart test metodu ile ilgili bilgi verilmiştir. Elde yıkamanın modellenmesi amacıyla yapılan elde yıkama testleri anlatılmış ve

sonuçları değerlendirilmiştir. Bulaşık makinası testlerinde ise; bulaşık makinası yıkama adımlarının enerji tüketiimi analizlerinin yapılabilmesi için gerçekleştirilen sıcaklık ölçümlerinden bahsedilmiş ve yıkama adımı bazında enerji tüketimleri incelenmiştir. Bu bölümde son olarak, yıkama endeksinin ampirik ifadesinin elde edilebilmesi için yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Sonuçlar bölümünde ise, bulaşık makinalarının enerji tüketiimi ve yıkama performansı ilişkisinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalar ile ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiş ve elde edilen ifadeler sunulmuştur. Son olarak elde edilen ifadelerin geliştirilebilmesi için gelecek çalışmalara yönelik öneriler verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tabak ve bardak gibi mutfak araçlarının yıkanması amacıyla kullanılan bulaşık makinası kavramı ilk olarak 1800'lü yılların ortalarında Joel Houghtan'a ait patentte ortaya atılmıştır. İlk mekanik bulaşık yıkama sistemini anlatan bu patentte; el yardımıyla çalışan ve bu sırada bulaşıkların üzerine su püskürten mekanik bir bulaşık makinası sistemi tariflenmektedir. 1886'da Josephine Cochrane'e ait bulaşık makinası tasarımı da benzer şekilde suyun bulaşıklara pompalanması için elle çalıştırılmaktaydı [1].

Sürekli su püskürtme sistemine sahip bulaşık makinası modelleri ise ilk olarak 1924'te William Howard Livens'in geliştirdiği evsel kullanıma uygun bulaşık makinası ile oluşmaya başladı. 1920'li yılların ardından bulaşıkların yerleştirilmesi için sepet, su püskürtme için pervane, yıkamaya yardımcı olarak deterjan koyma, yıkama sonunda kurutma fonksiyonu gibi özelliklerin de eklenmesi ile 1970'li yılların sonunda günümüzdeki bulaşık makinası sistemi geliştirilmiş oldu [2].

İlk olarak konfor sağlama amacıyla

geliştirilen bulaşık makinaları, son yıllarda küresel ısınma ve enerji kaynaklarının kısıtlı hale gelmesi ile; konfora ek olarak çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması da gündeme gelmiştir. Bütün elektrikli ev aletleri gibi, bulaşık makinası da üretim aşamasında, kullanımında ve kullanım ömrünün tamamlanması aşamasında çevreye etki etmektedir. Yapılan çalışmalar, beyaz eşyaların çevreye olan etkisinin enerji ve su tüketimi nedeniyle kullanım sırasında en yüksek seviyeye ulaştığını belirtmektedir. Bu nedenle beyaz eşya sektörüne yönelik çalışmaların büyük bir kısmı düşük enerji ve su tüketimi ile yüksek yıkama ve kurutma performansında yıkama yapan bulaşık makinaları üretmeye odaklanmaktadır. Bunun bir getirisi olarak; yıkama ve kurutma performansı ile enerji tüketiminin standart bir yöntem ile değerlendirilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Bu amaçla geliştirilen EN 50242 "Evsel Kullanım için Elektrikli Bulaşık Makinaları – Performans Ölçüm Metotları" (*Electric dishwashers for household use. Test methods for measuring the performance*) standardı bütün beyaz eşya üretici firmaları tarafından kullanılmaktadır [3].

Bulaşık makinelerinde enerji ve yıkama performansı sınıfının tespiti için bu standart ile yapılan testlerde enerji tüketimi ve yıkama performansına göre sırasıyla Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'deki gibi sınıflandırılmaktadır [3].

Çizelge 2.1 : Bulaşık makinası enerji tüketimi sınıfları.

Enerji Tüketimi Sınıfları	Enerji Verimlilik Endeksi (%)
A	$E < 64$
B	$64 \leq E < 76$
C	$76 \leq E < 88$
D	$88 \leq E < 100$
E	$100 \leq E < 112$
F	$112 \leq E < 124$
G	$124 \leq E$

Çizelge 2.2 : Bulaşık makinası yıkama performansı sınıfları.

Yıkama Performansı Sınıfları	Yıkama Endeksi (%)
A	$P > 1.12$
B	$1.12 \geq P > 1.00$
C	$1.00 \geq P > 0.88$
D	$0.88 \geq P > 0.76$
E	$0.76 \geq P > 0.64$
F	$0.64 \geq P > 0.52$
G	$0.52 \geq P$

Yıkama işleminde yer alan faktör ve mekanizmaları çalışan Rosen, yıkama prosesini, kirlerin yüzeyden uzaklaştırılması ve yüzeyden uzaklaştırılan kirlerin süspansiyonda tutulması olmak üzere iki başlık altında incelemiş ve bu adımlarda yer alan mekanizmaları kir formları bazında ayrıntılı olarak tanımlamıştır. Yıkama işleminde etkili olan kir uzaklaştırma mekanizmaları Cox tarafından yapılan çalışmadan alınmış ve bu yıkama mekanizmalarında sıvı kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasında etkili olan temas açıları ile ilgili bilgi Verma ve Kumart'ın 1998 yılında yaptıkları çalışmadan alınmıştır.

Elde bulaşık yıkamanın incelenmesi amacıyla Stammering'in çok sayıda kişi ile gerçekleştirdiği deneysel çalışmalardan faydalanılmış ve bulaşık makinası ile yaptığı karşılaştırmalardan bahsedilmiştir.

Otomatik bulaşık makinalarının enerji tüketim değerlerinin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalardan Paepe ve arkadaşlarının 2003'te yaptıkları çalışmada, tahliye edilen suyun sıcaklığından faydalanılması anlatılmaktadır. Bu çalışmalara ek olarak, Persson ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda, sıcak su sirkülasyonu ve solar enerji kullanımından bahsedilmektedir.

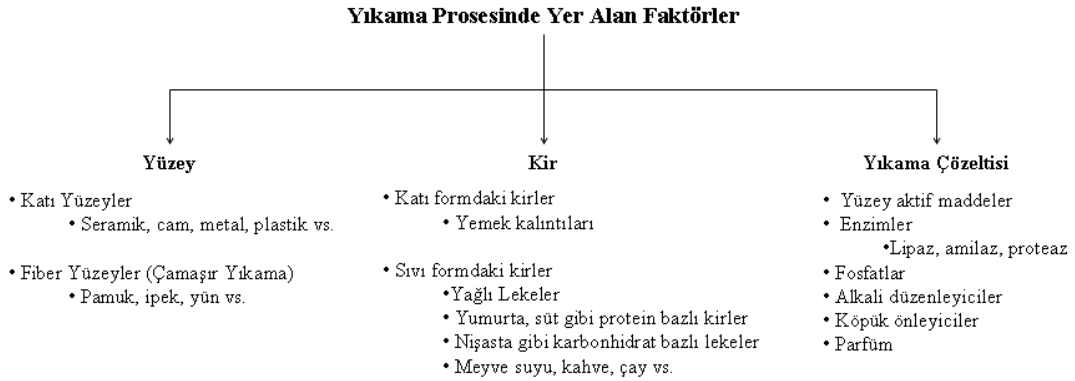
Deney tasarımı konusunda ise, deneysel çalışmaların sistematik hale getirilebilmesi için izlenmesi gereken yolları inceleyen Dean ve Voss'un çalışmalarından faydalanılmıştır.

3. BULAŞIK MAKİNASI VE YIKAMANIN TEMEL İLKELERİ

Bulaşık yıkama; tabak, bardak, kase ve çatal-kaşık-bıçak gibi mutfak araçları üzerindeki yemek kalıntılarının ve kirlerin tamamen uzaklaştırılması amacıyla bu araçların elde ya da makinada yıkanarak temizlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Yıkamanın temel prensibi; sıcaklık ile beraber mekanik bir etki ile deterjanlı suyun tabaklar üzerine yayılması ve bu şekilde kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasının ardından su ile durularak yüzeyde kalan deterjandan arındırılmasıdır. Yıkama sonunda kirli su sistemden uzaklaştırılmakta ve tabakların kuruması ile yıkama işlemi tamamlanmış olmaktadır.

3.1 Yıkama İşleminde Yer Alan Faktör ve Mekanizmaların Açıklanması

Temizleme proseslerinin tamamında etkili olan faktörler yüzey, kir ve yıkama çözültisi olarak tanımlanmaktadır. Bu faktörler Şekil 3.1’de özetlenmektedir.



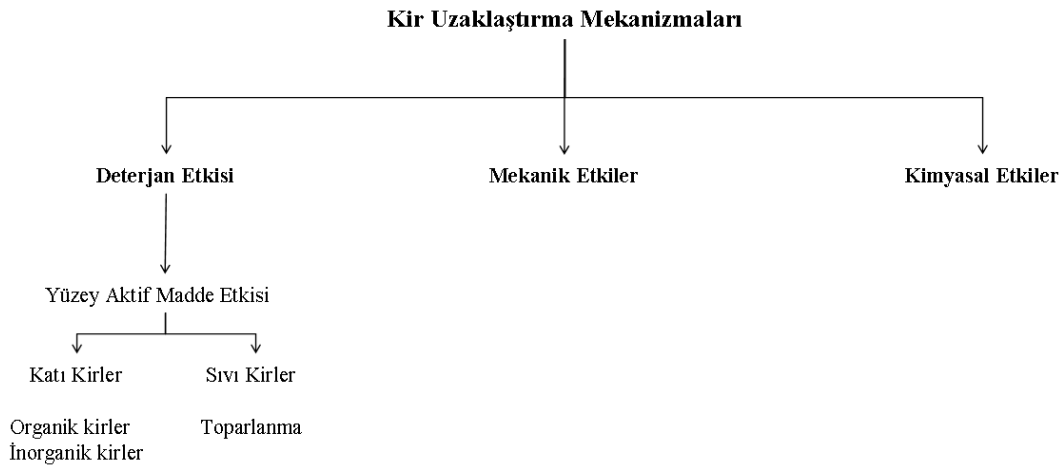
Şekil 3.1 : Yıkama prosesinde yer alan faktörler.

•*Yüzey*, temizleme işlemlerinin tamamında, uygulamanın yapılacağı, kirin uzaklaştırılacağı yüzey olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyin porozitesi, yüzey alanı ve yüzeydeki yük miktarı yıkamaya etki eden önemli yüzey özelliklerinin başında gelmektedir. Bulaşık yıkama prosesinde yer alan tabak, bardak, kase ve çatal-kaşık-bıçak gibi yüzeylere bakıldığında ise genellikle sert ve katı yüzeyler oldukları ve cam, porselen ve paslanmaz çelik gibi çok farklı malzemeler oldukları görülmektedir.

- Kir*, genel yıkama proseslerinde yüzeyden uzaklaştırılacak madde katı ya da sıvı formda bulunabilmektedir. Bulaşık yıkama prosesinde ise karşılaşılan yemek kalıntısı kirleri katı partiküllerden sıvı fazdaki yağlara kadar değişkenlik göstermektedir.
- Yıkama çözeltisi*, bütün yıkama işlemlerinde ortak olan bir diğer faktör ise kirlerin uzaklaştırılması amacıyla yüzeye uygulanan deterjan ya da diğer yardımcı kimyasalların sulu çözeltileridir. Deterjanlar temel olarak yüzey aktif maddeler, enzimler, köpük önleyiciler, alkali maddeler, sertlik düzenleyiciler ve parfüm gibi çok sayıda farklı bileşenden oluşmaktadır [4].

Yukarıda özetlenen ve Şekil 3.1’de gösterilen yıkama faktörleri incelendiğinde; bu faktörlerin çok çeşitli olmasının yıkamayı karmaşık hale getirdiği ve yıkama işleminin standart bir mekanizma ile tanımlanamamasına neden olduğu görülmektedir. Yıkamanın karmaşık yapısı nedeniyle kirin yüzeyden uzaklaştırılmasında etkili olan mekanizmalar da farklılık göstermektedir.

Katı yüzeylerden kir uzaklaştırma mekanizmaları Şekil 3.2’de görüldüğü gibi üç temel prensibe dayanmaktadır. Katı bir yüzeydeki kirlerin uzaklaştırılmasında etkili olan mekanizmalar temel olarak; mekanik etkiler, deterjan etkisi ve kimyasal etkiler olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Mekanik etkiler; yardımcı bir madde ile yüzeye sürtünme ya da yüzeyden sıyırma işlemi uygulanarak kirin uzaklaştırılmasında etkili olmaktadır. Çözücü bir madde yardımı ile kirin parçalanması kimyasal etki ile açıklanırken; bunlardan farklı olarak deterjan etkisinde yüzey-aktif madde (*surfactant*) aracılığı ile kirin yüzeyden uzaklaştırılması sağlanmaktadır [5].



Şekil 3.2 : Kir uzaklaştırma mekanizmaları.

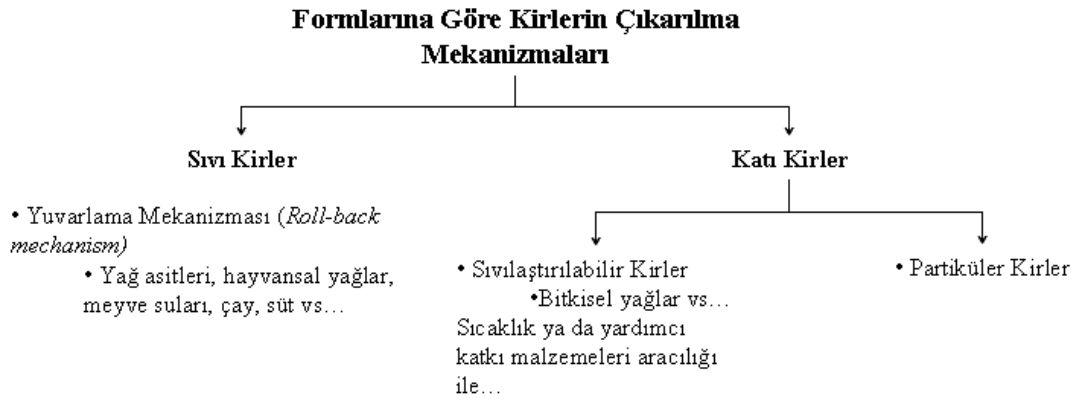
Temizleme işleminde yer alan faktör ve mekanizmaların çokluğu nedeniyle genel bir yıkama modellemesi yapılamamasına rağmen yıkama prosesi temel olarak “Kirlerin Yüzeyle Uzaklaştırılması” ve “Yüzeyle Uzaklaştırılan Kirlerin Süspansiyonda Tutulması” başlıkları altında sınıflandırılabilir.

3.1.1 Kirlerin Yüzeyle Uzaklaştırılması

Kir taneciklerinin yüzeyle tutunmasında farklı yüzeyle etkileşimler rol oynamakta, buna bağlı olarak kirlerin yüzeyle uzaklaştırılmasında da farklı mekanizmalar etkili olmaktadır. Çalışmanın bu kısmında kirlerin çıkarılmasında ağırlıklı olarak rol oynayan yüzeyle-aktif maddelerin etkisi incelenecektir. Kimyasal mekanizmalar (ağartıcı kullanımı ya da enzimatik reaksiyonlar gibi) sadece yüzeyle kimyasal yollarla tutunan kirlerin (kovalent bağ ile yüzeyle bağlanma gibi) uzaklaştırılmasında etkili olduğu için bu başlık altında incelenmeyecektir [4].

Van der Waals gibi zayıf fiziksel adsorbsiyon ya da elektrostatik etkileşimler ile yüzeyle tutunan kirlerin uzaklaştırılmasında; yüzeyle-aktif maddelerin kir üzerine adsorplanması ve yüzeyle ile kir arasındaki yüzeyle gerilimini ve/veya elektriksel potansiyelini değiştirmesi etkili olmaktadır [4].

Kir türlerinin formlarına bağlı olarak, yüzeyle aktif maddeler ile uzaklaştırılma mekanizmaları Şekil 3.3’te özetlendiği gibi sınıflandırılmaktadır.

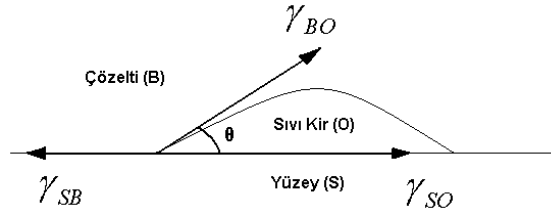


Şekil 3.3 : Kirlerin sınıflandırılması [4].

3.1.1.1 Sıvı Kirlerin Yüzeyle Uzaklaştırılması

Sıvı kirlerin sulu ortamda uzaklaştırılmasında etkili olan mekanizma “yuvarlanma” (*roll-back* ya da *roll-up*) olarak ifade edilmektedir. Bu mekanizmada; kir ile yüzeyle arasındaki temas açısı yüzeyle-aktif maddenin adsorpsiyonu ile artırılmakta böylece

kirin yüzeyden uzaklaşması sağlanmaktadır. Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi Şekil 3.4'teki gibidir [4].



Şekil 3.4 : Sıvı kir ve yüzey arasındaki temas açısı gösterimi.

Temas açısı; yüzey, kir ve çözeltinin birbiri arasındaki ara yüzey gerilimleri ile bağlantılı olarak Eşitlik (3.1)'de verilen Young eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SB} - \gamma_{SO}}{\gamma_{OB}} \quad (3.1)$$

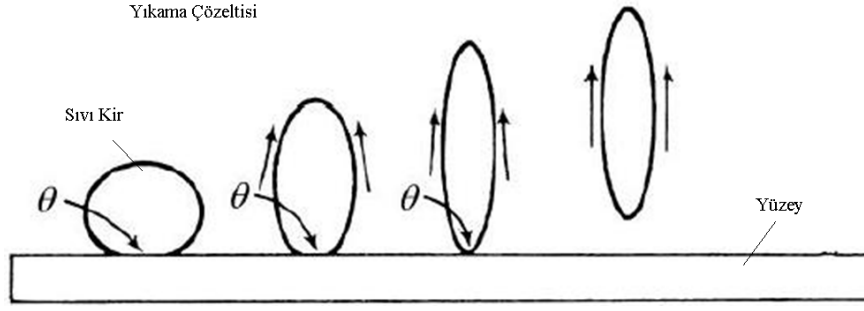
Young eşitliğinde θ , temas açısını, γ_{SB} , yüzey ile çözelti arasındaki ara yüzey gerilimini, γ_{SO} , yüzey ile sıvı kir arasındaki ara yüzey gerilimini, γ_{OB} ise sıvı kir ile çözelti arasındaki ara yüzey gerilimini ifade etmektedir.

Sıvı kirlerin katı yüzeyden uzaklaştırılmasında etkili olan yuvarlanma mekanizmasında yüzey aktif madde adsorbsiyonuyla, çeşitli ara yüzeylerdeki ara yüzey gerilim değerlerinin değişimi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Yuvarlanma mekanizmasına bağlı yüzey gerilim değerleri değişimi [6].

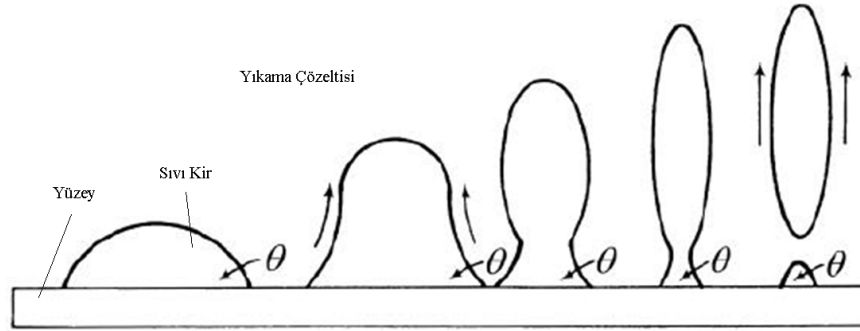
Zaman	θ	$\cos(\theta)$	γ_{ij}
$t = 0$	$0 < \theta < 90^\circ$	$1 > \cos(\theta) > 0$	$\gamma_{SB} > \gamma_{SO}, \gamma_{SB} - \gamma_{SO} < \gamma_{OB}$
$t = t_1$	$\theta = 90^\circ$	$\cos(\theta) = 0$	$\gamma_{SB} = \gamma_{SO}, \gamma_{OB} \neq 0$
$t = t_2$	$90^\circ < \theta < 180^\circ$	$0 > \cos(\theta) > -1$	$\gamma_{SB} < \gamma_{SO}, \gamma_{SB} - \gamma_{SO} < \gamma_{OB}$

Sıvı kirlerin yüzey-aktif madde ile uzaklaştırılmasında; yüzey-aktif maddenin yüzey – kir arasındaki temas açısını arttırmadaki başarısı etkili olmaktadır. Temas açısının 90° 'nin üstünde olması durumunda hidrolik hareket ile sıvı kirin yüzeyden uzaklaştırılması Şekil 3.5'te gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 3.5 : $\theta > 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden tamamen uzaklaştırılması [4].

Temas açısının 90° 'nin altında olduğu durumda ise, sıvı kirler damlalar halinde bölünmekte ve yüzey-aktif madde adsorbsiyonunun temas açısı üzerinde belirgin bir etkisi olmamaktadır. Ancak, kir ve çözelti arasındaki ara yüzey gerilimi düşmekte ve kir damlasının bir kısmı yıkama çözeltisine geçmektedir. Kir yüzeyden kısmen uzaklaştırılırken bir kısmının yüzeye yapışık kaldığı bu durum Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : $\theta < 90^\circ$ durumunda kirin yüzeyden koparılarak kısmen uzaklaştırılması [4].

Yüzey ile sıvı kir arasındaki temas açısının 180° olduğu özel durumlarda ise kir, sulu ortam etkisi ile yüzeyden kendiliğinden uzaklaşmaktadır [4].

3.1.1.2 Katı Kirlerin Yüzeyden Uzaklaştırılması

Katı kirler, çıkarılma mekanizmalarına göre sıvılaştırılabilir kirler ve partikül halindeki kirler olarak ikiye ayrılmaktadır.

Gres ve vaks gibi organik yapıdaki sıvılaştırılabilir kirlerin yüzeyden uzaklaştırılması iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak, yüzey aktif maddenin kir tarafından adsorplanabilmesi için kir sıcaklık gibi bir dış etki ile sıvı forma dönüştürülmektedir. Sıvılaştırılan kir, daha sonra sıvı kirler için geçerli olan yuvarlanma mekanizması ile yüzeyden uzaklaştırılmaktadır [4].

Partiküler formdaki kirlerin yüzeyden çıkarılmasında ise ilk olarak yüzey-kir ikilisi yıkama çözeltisi ile ıslatılmaktadır. Suyun etkisi ile katı parçacıkların yüzeye yapışmasının azaltılması mümkün olmaktadır. Yıkama ortamında bulunan su sayesinde partikül ile yüzey ara yüzeylerinde elektriksel çift tabaka meydana gelmektedir. Böylece yüzey ve partikül aynı elektrik yükü ile yüklenmekte ve bunun sonucu olarak birbirlerini itmektir. Buna bağlı olarak da yüzey ile partiküler kir arasındaki net çekim kuvveti elektriksel çift tabaka nedeniyle azalmaktadır [4].

Yıkama çözeltisi genellikle kir partiküllerinde ve temizlenen yüzeyde yayılma eğilimindedir. Çözelti için $S_{B/P}$ ve $S_{B/S}$ “yayılım katsayıları” (*spreading coefficient*) sırasıyla Eşitlik (3.2) ve Eşitlik (3.3) ile ifade edilmektedir [4].

$$S_{B/P} = \gamma_{PA} - (\gamma_{PB} + \gamma_{AB}) \quad (3.2)$$

$$S_{B/S} = \gamma_{SA} - (\gamma_{SB} + \gamma_{AB}) \quad (3.3)$$

Yukarıdaki eşitliklerde PA partikül ile hava, SA yüzey ile hava, AB hava ile çözelti ara yüzeylerini belirtmektedir. Yayılım katsayısının pozitif bir değer alması durumunda, suyun yüzeye yayılımı kendiliğinden gerçekleşmekte, yayılım katsayısının negatif olması durumunda ise yüzeyi tam olarak ıslatmak için mekanik etki gerekmektedir. Çözeltide bulunan yüzey aktif maddenin çözelti ile hava ara yüzeyine, partiküler kire ya da temizlenen yüzeye adsorbsiyonu; γ_{AB} , γ_{PB} veya γ_{SB} ara yüzey gerilim değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda çözeltinin, kir ve / veya temizlenen yüzeyi ıslatma eğilimi artmaktadır. Kir ve yüzeyin genellikle hidrofobik yapıda olmaları nedeniyle γ_{PA} ve γ_{SA} değerleri düşüktür. Bu nedenle kir ve temizlenen yüzeyin yıkama çözeltisi ile ıslatılabilmesi için mekanik etki gerekli olmaktadır. Böylece, yıkama çözeltisindeki yüzey-aktif madde ve inorganik iyonlar kir partikülü ve yüzey ara yüzeylerinde adsorplanmakta ve kirin uzaklaştırılması için gerekli iş azalmaktadır. Partikülün katı yüzeye yapışmasını önlemek için birim yüzey alanı başına gerekli iş Eşitlik (3.4)’te verilmektedir [4].

$$W_a = \gamma_{SB} + \gamma_{PB} - \gamma_{SP} \quad (3.4)$$

Mekanik etki olmaksızın partiküler kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasında ise; yıkama çözeltisinde bulunan anyonların kir ile yüzey arasına adsorblanmakta ve elektriksel çift tabakanın elektriksel olarak negatif yüklenmesi ve aynı yüklere sahip kir ile yüzeyin birbirlerini itmesi etkili olmaktadır. Yıkama çözeltisindeki yüzey aktif maddenin anyonik olması durumunda bu etki artmakta, dolayısıyla mekanik etki ihtiyacı azalmaktadır [4].

3.1.2 Yüzeyden Uzaklaştırılan Kirlerin Süspansiyonda Tutulması

Yıkama prosesinin ilk adımı olan kirlerin yüzeyden uzaklaştırılmasının ardından, yıkama çözeltisine geçen kirin tekrar yüzeye yapışmasının engellenmesi ve çözeltide tutulması gerekmektedir.

3.1.2.1 Sıvı Kirlerin Süspansiyonda Tutulması

Yuvarlanma mekanizması ile yüzeyden uzaklaştırılan sıvı kirlerin çözelti içinde tutularak yüzeye yapışmasının engellenmesinde çözünme ya da makro emülsifikasyon etkili olmaktadır. Yağ içerikli sıvı kirlerin çözünmesi yüzey aktif madde yapısı, konsantrasyonu ve çözelti sıcaklığı ile değişmektedir. Yüzey aktif madde konsantrasyonunun düşük olması çözünmeyi azaltırken, yüksek olması da emülsiyon oluşumuna neden olmaktadır. Ticari deterjanlardaki yüzey aktif madde konsantrasyonu ise; kritik konsantrasyonun altında tutulmakta böylece yağlı kirin tamamının süspansiyon haline gelmesi engellenmektedir. Yüzey aktif madde miktarı, sıvı kirin çözelti içinde çözünmesi için yetersiz kalıyorsa, kirin süspansiyonu makro emülsifikasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Bunun sağlanması için ise; yüzeyden uzaklaştırılan sıvı kir ile yıkama çözeltisi arasındaki ara yüzey gerilim değerinin düşük olması gerekmekte ve böylece yüzey aktif maddenin kir ile çözelti ara yüzeyine adsorbsiyonu sağlanmaktadır. Bu durumda, çok az bir mekanik etki ile makro emülsifikasyon gerçekleşmektedir. Ancak, sıvı kirin çözelti içinde süspansiyonunun sağlanması için tek başına makro emülsifikasyon ya da çözünme yeterli olmamakta, iki mekanizma bir arada yer almaktadır. [4].

3.1.2.2 Katı Kirlerin Süspansiyonda Tutulması

Katı kirlerin, yüzeyden uzaklaştırıldıktan sonra tekrar yüzeye yapışmasının engellenmesinde ise elektriksel yük ve sterik engeller etkili olmaktadır. Yıkama çözeltisinde bulunan benzer yüklü yüzey aktif madde ve inorganik iyonların kir ve

temizlenecek yüzeye adsorplanması ile bu iki molekül birbirini itmekte, böylece katı kirlerin yüzeye yapışması engellenmektedir [4].

3.2 Elde Bulaşık Yıkama

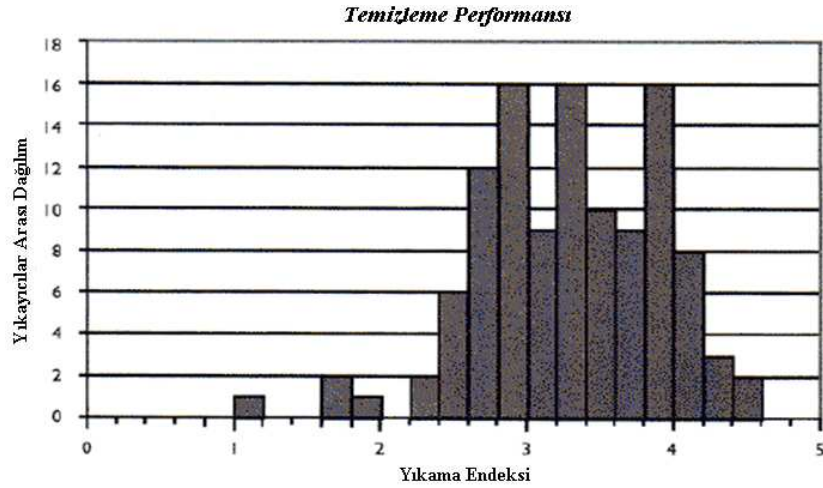
Elde bulaşık yıkama; başta konfor sağlamak olmak üzere daha pratik, kısa sürede, daha az su ve enerji tüketerek yıkama ihtiyacı doğurmuş ve otomatik bulaşık makinalarının gelişimine ön ayak olmuştur. Ancak evsel koşullarda, elde bulaşık yıkama çeşitli sebeplerle halen devam etmektedir. Diğer taraftan, günümüzde küresel ısınma ve insan kaynaklı diğer çevresel problemler ile birlikte doğal kaynaklar kısıtlı hale gelmekte ve bu kaynakların verimli kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle; otomatik bulaşık makinalarının enerji ve su tüketiminin elde yıkama ile karşılaştırılması ve otomatik bulaşık makinaları ile elde yıkamanın çevresel etkilerinin incelenmesi çalışmaları yapılmaktadır.

Otomatik bulaşık makinaları ve elde yıkamanın tüketim değerleri ile performans kriterlerinin karşılaştırılması amacıyla yapılmış çalışmalardan Rainer Stamminger'in 2004 yılında 113 kişi ile yaptığı testlerde; elde yıkamanın modellenmesi sağlanmıştır. Stamminger'in çalışmasında elde yıkamada elde edilen yıkama performansı ve yıkama süresi ile su tüketim değerleri incelenmiş ve bu bilgilerden yola çıkarak yıkayıcı profilleri oluşturulmuştur [7].

Çalışmada; bulaşık makinalarının performans ve tüketim ölçümlerinde kullanılan EN 50242 standardı temel alınmıştır. Standart metoda göre; porselen tabak ve fincan, cam bardak ve çatal-bıçak-kaşıktan oluşan 12 kişilik yemek takımı kıyma, yumurta, yulaf, ıspanak, margarin, çay ve süt ile belli oranlarda kirletilerek fırınlanmış ve yıkamaya hazır hale getirilmiştir. Testi gerçekleştirilen 113 kişiden yemek takımını elde yıkaması istenmiştir. Yıkama sırasında kullanıcıların su tüketimi, deterjan kullanımı, sıcak su hazırlamak için harcanan enerji ve yıkama süreleri kaydedilmiştir. Buna ek olarak yıkama sonunda yıkayıcıların elde ettikleri yıkama performansları da standartta tarif edilen yöntemle görsel olarak değerlendirilmiştir [7, 8]. Yıkama endeksinin hesaplanması için yapılan görsel değerlendirmenin ayrıntıları Bölüm 4.1.2'de verilmiştir.

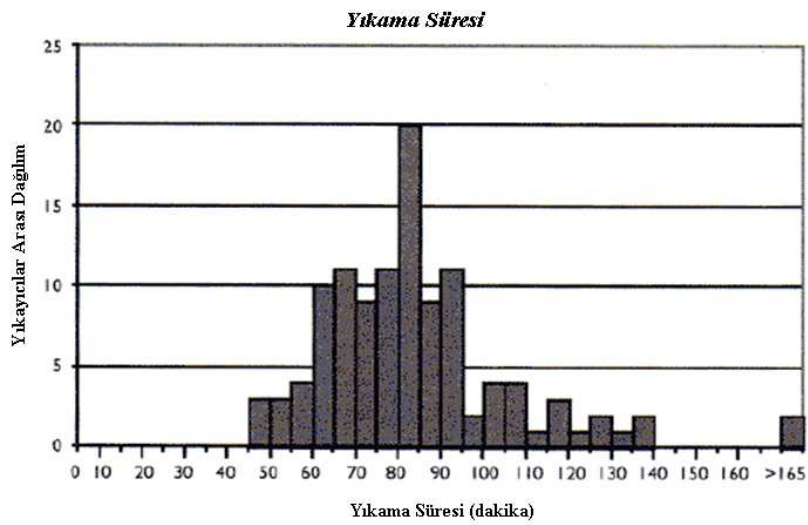
Modern otomatik bulaşık makinalarında; EN 50242 standardı ile yapılan testlerde 12 kişilik yemek takımının yıkanmasında ortalama programlarda 3,3 – 4,0 aralığında;

daha yoğun programlarda ise 4,3 – 4,4 aralığında temizleme endeksleri elde edildiği bilinmektedir. Stamminger’in 113 kişi ile gerçekleştirdiği elde yıkama testlerinde ise; temizleme endeksi değerlerinin 2,5 – 4,5 arasında değiştiği ve özellikle 3,5'un altı “Çok ciddi kirli - Kullanılmayacak kadar kirli” olarak değerlendirildiği belirtilmektedir. Stamminger’in çalışmasının yıkama performansı sonuçları Şekil 3.7’de sunulmaktadır [7, 8].



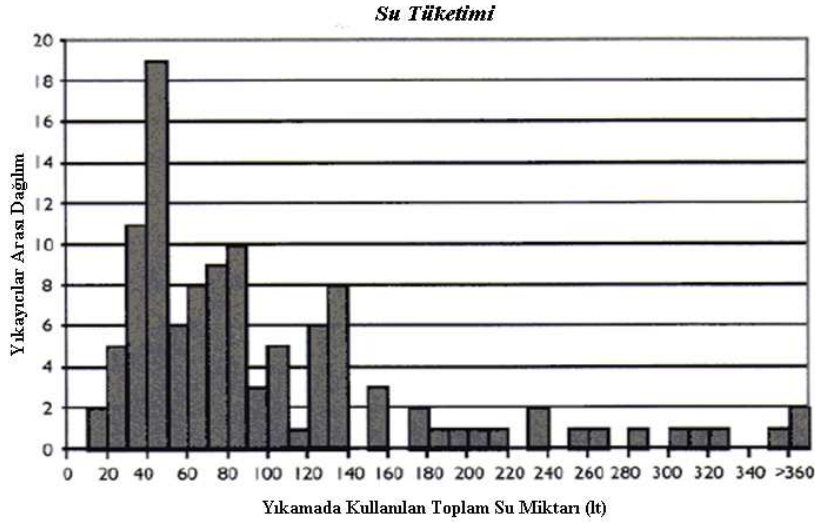
Şekil 3.7 : Elde yıkama – yıkama performansı [7].

Stamminger’in literatürden alınan çalışmasında; 12 kişilik yemek takımının elde yıkama süresinin kişiye bağlı olarak 45 – 165 dakika arasında değiştiği ve özellikle 80 dakikada ciddi bir yoğunluk olduğu görülmektedir [7]. Elde yıkama çalışmasının yıkama süresi sonuçları Şekil 3.8’de özetlenmektedir.



Şekil 3.8 : Elde yıkama – yıkama süresi [7].

Elde yıkamaya yönelik yapılan çalışmalarda; elde yıkamanın su tüketimine ait belirgin bir profil belirlenememiştir. Bu testlerde, su tüketiminin genel olarak 30 - 200 lt arasında değiştiği ve hatta 447 lt tüketiminde bulunan bir yıkayıcının da olduğu belirtilmiştir [7]. Literatürden alınan su tüketim grafiği Şekil 3.9'da sunulmaktadır.



Şekil 3.9 : Elde yıkama – su tüketimi [7].

Şekil 3.9 incelendiğinde; 30-100 lt aralığında bir yoğunlaşma olduğu, sonrasında ise 130 lt bölgesinde bir yükselme olduğu görülmektedir. Ancak bunun yanı sıra 200 lt'nin üzerinde su tüketimi yapan çok sayıda yıkayıcı olduğu da şekilden görülmektedir [7].

Stamminger'e ait literatür çalışmalarında enerji ve su tüketimi, yıkama süresi ile yıkama performansı arasında doğrudan bir ilişki kurulamadığı görülmekte, dolayısıyla elde yıkamaya ait bir modelleme yapılamamaktadır. Elde yıkamanın doğasına ait genel bir modelleme yapılamamasına rağmen, sonuçlar yıkayıcıya göre incelendiğinde süper yıkayıcılar, ekonomik yıkayıcılar ve dikkatsiz yıkayıcılar olmak üzere üç farklı yıkayıcı profili olduğu belirlenmiştir. Süper yıkayıcılar adı verilen ilk profil; su, enerji ya da deterjan tüketimine dikkat etmeksizin kirlerin uzaklaştırılmasına odaklanmakta ancak yine de değerlendirmede yüksek performans göstermemektedir. Bir diğer yıkayıcı grubu ise ekonomik yıkayıcılar grubudur. Bu gruptaki yıkayıcılar; enerji, su ya da deterjan parametrelerinden en az birinin tüketimini düşürürken, buradan kaynaklanan açığı diğer parametreye yüklenerek kapatmaya çalışmaktadır. Mesela; enerji tüketimini azaltmak amacıyla soğuk su ile yıkama yapmakta ancak bu sırada yüksek miktarda deterjan kullanmaktadır. Son

yıkayıcı profili olan dikkatsiz yıkayıcılar ise; diğer iki gruptan tamamen farklı olarak; ne leke uzaklaştırma ne de enerji-su tüketimi konusunda özel bir hassasiyet göstermemektedir [7, 8].

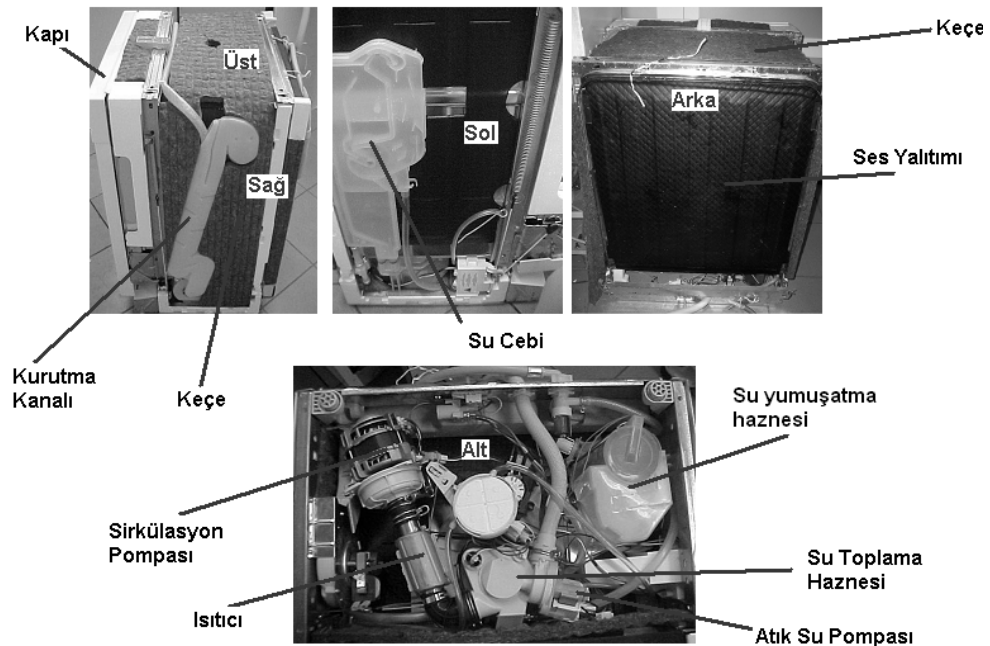
3.3 Otomatik Bulaşık Makinaları

Çalışmanın giriş bölümünde de belirtildiği gibi ilk mekanik bulaşık yıkama sistemine ait patent 1850 yılında alınmış olup suyun bulaşıklara iletilmesi için otomatik bir sisteme sahip değildi. Otomatik sürekli su püskürtme sistemine sahip ilk bulaşık makinası modelleri ise 1900'lü yıllarda ortaya çıkmış ve sepet, pervane, deterjan gözü gibi ek parçalar ve yıkama, durulama kurutma adımlarının optimizasyonu ile geliştirilmiştir [1, 2].

Çalışmanın bu kısmında ilk olarak günümüzde kullanılmakta olan otomatik bulaşık makinalarının temel bölümleri anlatılacak ve devamında ise bulaşık makinasının çalışma prensibi açıklanacaktır.

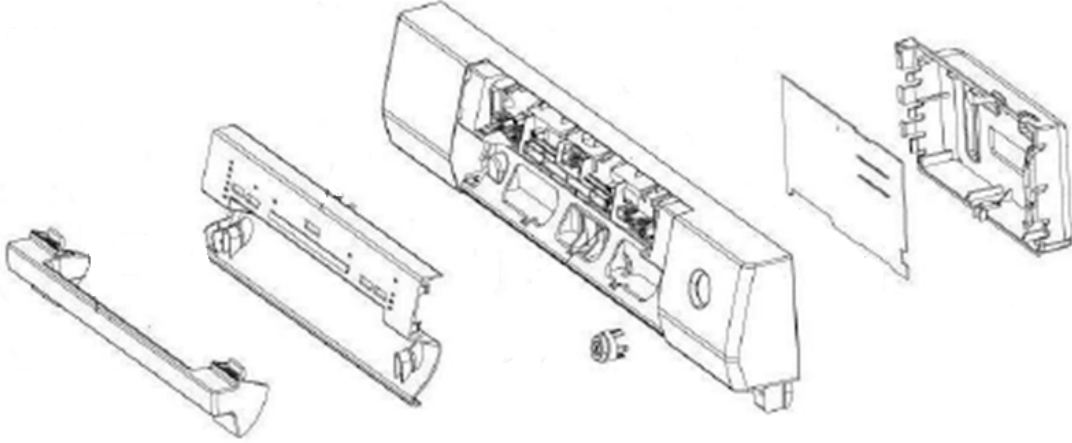
3.3.1 Bulaşık Makinasının Temel Bölümleri

Bulaşık makinaları temel olarak; ön panel, yıkama grubu, kapı ve kazan grubu olmak üzere toplam 4 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler ve aksamaları Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10 : Bulaşık makinası bölüm ve aksamaları [9].

Bu bölümlerden ön panel grubu; gösterge kartı ve ana kart ile gösterge, program seçim düğmeleri ve tutamaktan oluşmaktadır. Yıkama programlarının kaydedildiği ana kart; üzerinde bulunan elektronik devre ile yıkama boyunca sirkülasyon pompası, ısıtıcı, tahliye pompası, deterjan kutusu ve parlaticı kutusu gibi komponentlerin çalışmasını kontrol etmektedir [9, 10]. Bulaşık makinasının ön panel grubu Şekil 3.11’de gösterilmektedir.

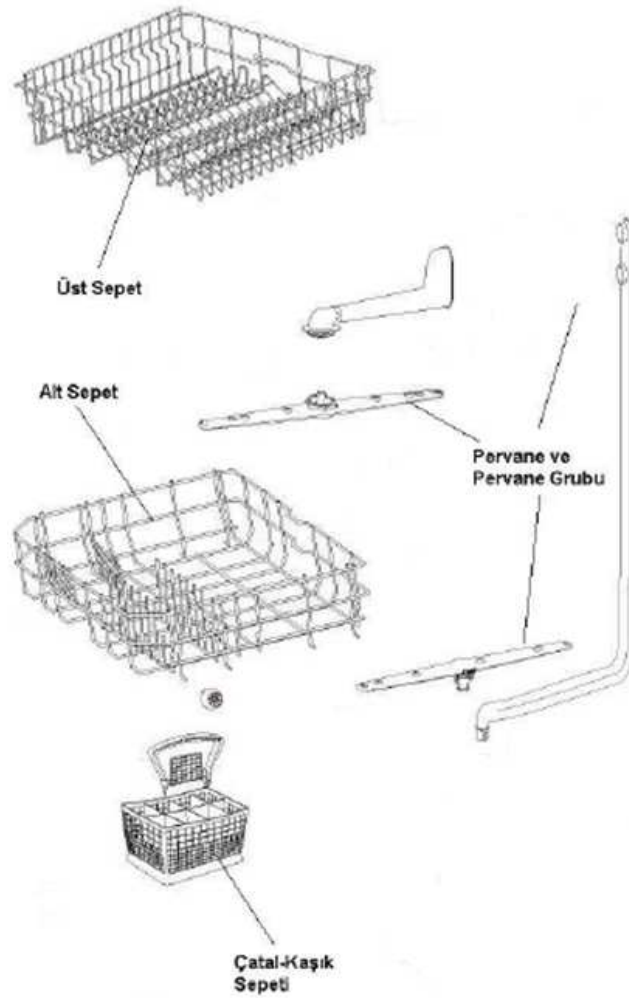


Şekil 3.11 : Bulaşık makinası – ön paneli [9].

Bulaşık makinasının temel bölümlerinden bir diğeri olan yıkama grubu; yıkanacak bulaşıkların yerleştirildiği alt ve üst sepet komponentleri, çatal-kaşık sepeti, pervaneler, ve filtreleri içeren yıkamanın gerçekleştiği bölümdür. Yıkama grubunda yer alan alt ve üst sepetler, çatal-kaşık sepeti ile pervaneler plastik malzemeler olup, filtre grubunda metal malzemeler kullanılmaktadır. Sepete bağlı olan üst pervane ve kazan alt bölgesine bağlı olan alt pervane üzerinde bulunan delikler aracılığı ile suyun makina içine iletilmesini sağlamaktadır. Pervane üstündeki delikler ve yerleşimleri, yıkama performansının artırılmasına yönelik olarak tasarlanmıştır. Yıkama haznesindeki filtre grubu ise bulaşık kirlerinin yıkama adımı boyunca sirküle edilen yıkama suyundan ayrılmasını sağlamaktadır [9, 10]. Pervane, sepetler ve filtreleri içeren yıkama grubunun şematik gösterimi Şekil 3.12’deki gibidir.

Şekil 3.13’te gösterilen bulaşık makinası kapı grubu; tekmelik adı verilen kapı koruma bloğu, ses izolasyonu, kapı sacları, keçe, menteşe ve kapı iç sacına monte edilen deterjan kutusundan oluşmaktadır. Kapı iç sac ile suyun temasından kaynaklanan sesin azaltılmasında özellikle bitüm etkili olurken, kapı keçesinin de ses azaltılmasında rol oynadığı bilinmektedir. Kapı iç sacındaki deterjan kutusu ise,

yıkamanın belli bir adımında anakart tarafından otomatik olarak açılmakta ve deterjanın yıkama suyuna karışması sağlanmaktadır [9, 10].

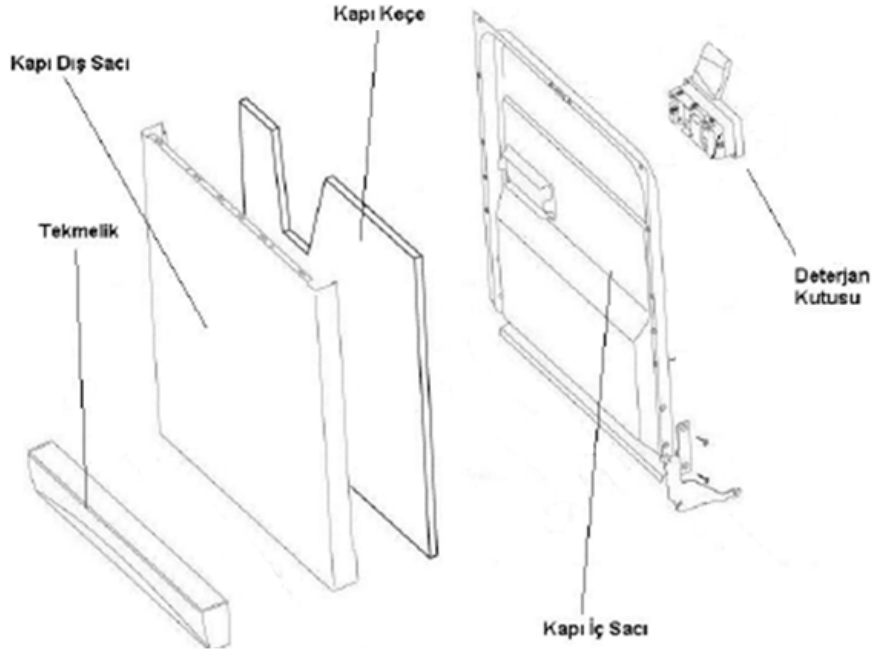


Şekil 3.12 : Bulaşık makinası – yıkama grubu [9].

Bulaşık makinasının temel gruplarından sonuncusu olan kazan grubu ise kazan ve kazana doğrudan monte edilen komponentlerden oluşmaktadır. Kazan, kazan etrafındaki ses yalıtımı, keçe, su haznesi, ana yıkama ve atık su pompaları, su yumuşatma ünitesi, su haznesi, dış saclar ve tahta malzemedan üretilen üst tabla bu grupta yer almaktadır.

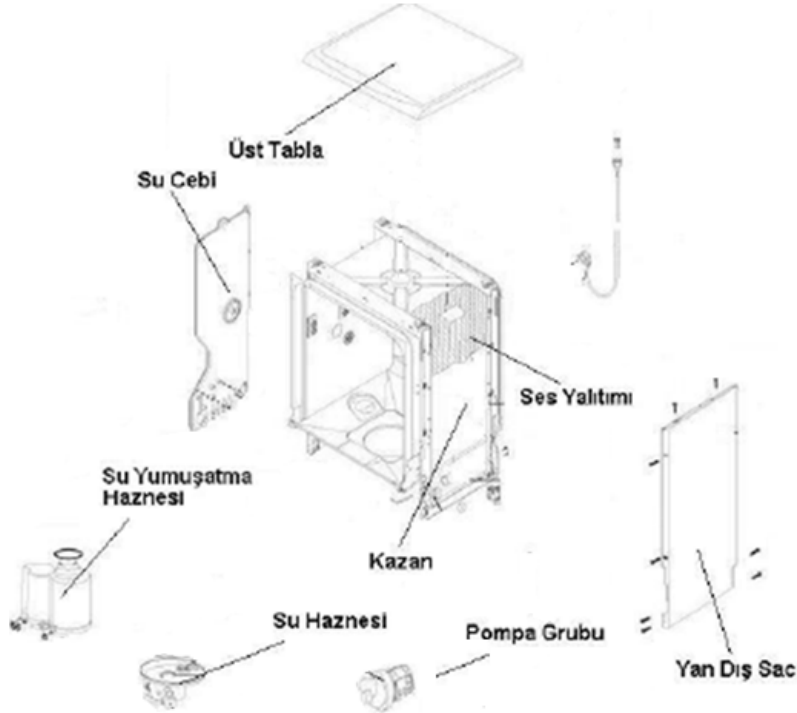
Ses izolasyonu amacıyla bütün kazanın yüzeyine kaplanmış olan bitüm aynı zamanda darbe sönümlleme özelliği de sağlamaktadır. Kazan grubunun bir diğer komponenti olan su cebi ise, yıkama suyunun şebekeden sisteme girişi sırasında basıncının düşürülmesinde, yıkama ve kurutma sırasında kazanın içinde oluşan

buharın tahliyesinde ve reçinenin rejenerasyonu için kullanılacak suyun depolanmasında görev almaktadır.



Şekil 3.13 : Bulaşık makinası – kapı grubu [9].

Kazan grubunun bir diğer komponenti olan su yumuşatma ünitesi ise sertlik iyonlarının yıkama suyundan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır [9, 10]. Kazan grubu ve komponentleri Şekil 3.14’te gösterilmektedir.



Şekil 3.14 : Bulaşık makinası – kazan grubu [9].

3.3.2 Bulaşık Makinasının Çalışma Prensibi

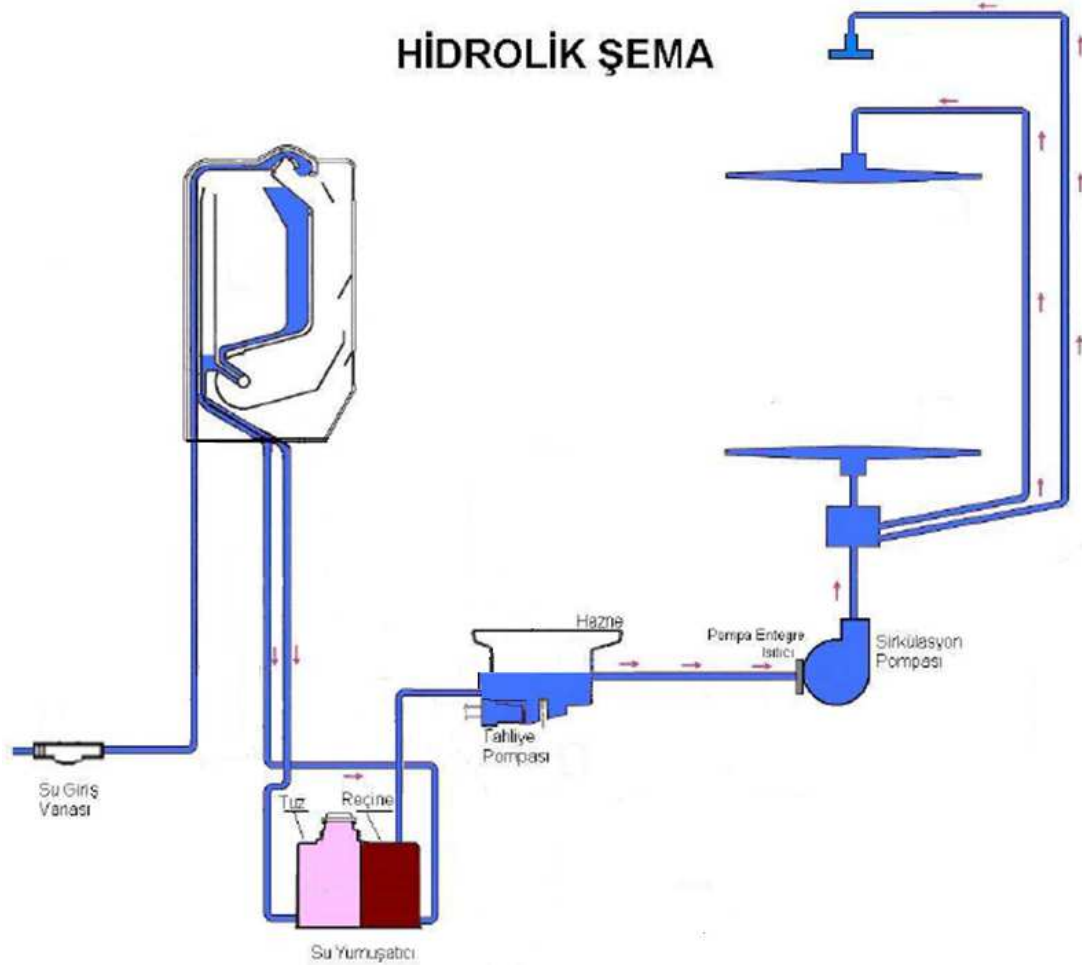
Bulaşık makinalarının çalışma prensibine bakıldığında üretici firma ve yıkama programına göre farklılık gösterse de genel olarak; soğuk ve sıcak yıkama adımları, durulama ve ardından kurutma adımlarından oluştuğu görülmektedir. Kapalı bir sistem içindeki sepetlere yerleştirilen tabak, bardak ve çatal-kaşık-bıçak gibi mutfak araçlarının önce soğuk ardından sıcak yıkama adımlarında yüksek sıcaklıkta, mekanik etki ve deterjan ile birlikte bol su ile yıkanmaktadır. Soğuk ve sıcak yıkamanın ardından deterjanın uzaklaştırılması için durulama adımı ve son olarak bulaşıkların kurutulması adımı gerçekleşmektedir. Her yıkama adımının başında şebekeden gelen soğuk su makinaya alınmakta ve yıkama adımına bağlı olarak belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Adım boyunca kullanılan su, makinadan uzaklaştırılırken sıcaklığı bir miktar düşmekte ve bulaşıklar üzerindeki kiri taşımaktadır [11].

Yıkama prosesine daha ayrıntılı bakıldığında, her bulaşık makinasının yıkamaya başlamadan önce; bir önceki yıkama adımından kalan suyun uzaklaştırılması için güvenlik amacıyla tahliye pompası çalıştırdığı görülmektedir. Tahliyenin ardından su giriş vanası açılarak şebekeden gerekli miktarda su makina içerisine alınmaktadır. Makinaya alınan su; önce su cebinden ardından reçineden geçirilerek yıkama haznesine aktarılmaktadır. Şebeke suyu hazneye gönderilmeden önce reçineden geçirilerek sertliğe neden olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} başta olmak üzere sertlik iyonları, Na^{1+} iyonları ile yer değiştirmektedir. Böylece sertlik iyonlarının makinanın paslanmaz çelik iç yüzeylerine zarar vermesi, bulaşıklar üzerinde gökkuşağı desenlerinin, kireç tabaklarının oluşumu ve cam yüzeylerden parça kopması önlenmektedir. Soğuk yıkama işleminde deterjan kutusunun kapağı açılarak deterjan makinaya alınmaktadır. Sıcak yıkama adımında ise elektrikli ısıtıcı çalıştırılmakta ve yıkama suyu belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Bu yıkama adımında sirkülasyon devam etmektedir. Isıtıcının devreden çıkmasının ardından belli bir süre sıcak su ile yıkama işlemine devam edilmekte ve ardından yıkama adımı tamamlanarak, su tahliye edilmektedir [9].

Sıcak yıkamanın tamamlanmasının ardından, durulama işlemi için tekrar su cebi ve reçine üzerinden su alınmaktadır. Bu şekilde alınan su ile soğuk durulama adımı gerçekleştirilmekte, durulama suyunun tahliyesinin ardından ikinci durulama için su alınmaktadır. İkinci durulama adımında kurutma etkinliğini arttırmak için durulama

suyu ısıtılmakta ve bu adımda parlaticı kullanılmaktadır. Parlaticı kullanımı ile suyun bulaşık yüzeylerinde tutunması zorlaşmakta ve yıkama sonunda bulaşıkların daha parlak görünmesi sağlanmaktadır. İkinci durulama adımıındaki ısıtma işlemi ana yıkama adımına benzer şekilde gerçekleşmekte, belli bir sıcaklığa ulaşılmasının ardından adım sonlandırılmakta ve su tahliye edilmektedir [9].

Bulaşık makinasının çalışmasını gösteren hidrolik şema Şekil 3.15'te sunulmuştur.



Şekil 3.15 : Bulaşık makinasının hidrolik şeması [9].

3.4 Bulaşık Makinalarının Enerji Tüketimi ile İlgili Çalışmalar

Beyaz eşyalarda enerjinin etkin kullanımına yönelik çok sayıda çalışma yapılmakta ve standartlar geliştirilmektedir. Özellikle Avrupa Birliği'nin geliştirdiği beyaz eşyalarda enerji tüketimlerinin etiketlenmesine yönelik standartlar mevcuttur. Standartların yanı sıra beyaz eşyalarda enerji tüketiminin azaltılması çalışmaları karbondioksit emisyonlarının azaltılması yolu ile enerji tüketimini azaltmayı amaçlayan Kyoto protokolüne de farklı bir açıdan destek olmaktadır. Ancak,

doğrudan bulaşık makinalarında enerji tüketimini azaltmaya yönelik literatürde uygulama ve sistemlerin belli konularla kısıtlı kaldığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar, bulaşık makinalarının yıllık enerji tüketiminin yaklaşık 268 kWh civarında olduğunu ve yıkama işlemine uygulanacak yeniliklerle bunun azaltılmasının mümkün olduğunu göstermektedir [11,12].

Bulaşık makinası enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yapılan uygulamalardan biri yıkama adımlarının sıcak tahliye sularının bir sonraki yıkama adımı için enerji kaynağı olarak kullanılmasıdır. Böylece makinaya girecek olan taze suyun ısıtılması için gerekli enerjinin büyük ölçüde azaltılabileceği belirtilmektedir. Bu yöntem ile geri kazanılacak enerji makinanın modeline ve yıkama programlarına bağlı olarak yıkama adımı sayısı ve süresi, su sıcaklıkları, su akış debisi gibi parametrelere göre değişmektedir. 70°C’de sıcak suyun kullanıldığı bir yıkama adımında, suyun tahliye sıcaklığı 56 – 60°C aralığında olmakta, bu sıcaklıktaki bir suyun yardımıyla şebekeden gelen soğuk suyun ısıtılması mümkün olabilmektedir. Sıcak suyun enerjisinin geri kazanılmasında en sık kullanılan yöntem sıcak suyun enerjisinin soğuk suya aktarılmasıdır. Bu aktarımın etkili bir şekilde gerçekleştirilmesinde; tahliye suyunun sıcaklığının çok yüksek olması ya da bir sonraki yıkama adımında ısıtma işleminin yer alması gerekmektedir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için makinaya ısı değiştirici ilave edilmesi gerekmektedir. [11].

Benzer çalışmalardan bir diğerinde ise; bulaşık makinasında kullanılan toplam enerjinin yaklaşık %70-90’ının yıkama suyunun ısıtılması amacıyla harcandığı belirtilmekte ve oluşturulacak sıcak su sirkülasyon sistemi ile bu adımda harcanan enerjinin azaltılması anlatılmaktadır. Makinanın evlerde bulunan sıcak su kaynağına bağlanmasının yüksek enerji getirisi sağlamadığı, alternatif ısı kaynağı olarak 65-70°C sıcaklığındaki su sirkülasyonu kullanılması durumunda, ısı değiştirici düzenekler ile yıkama suyunun ısıtılabilceği belirtilmiştir. Çalışmada makinanın soğuk olduğu adımda, 70°C sıcak su sirkülasyonu ile ısıtma işleminde ısı transferinin 5,5 kW olduğu, yıkamanın ilerleyen adımlarında, makinanın ısınması ile birlikte sıcak sirkülasyon suyu ile arasındaki sıcaklık farkının azalması nedeniyle bu ısı transferinin 1 kW mertebesine düştüğü belirtilmektedir. Ancak böyle bir uygulamanın kullanılması durumunda ısı değiştirici sisteminde oluşabilecek hijyenik problemler ve basınç kayıpları ile beraber şebeke hattında sıcak suyun sürekli aynı sıcaklıkta tutulması nedeniyle mevsimsel olarak toplam enerji tüketiminin

artacağından bahsedilmektedir. Enerji tüketiminin düşürülebilmesi için kullanılacak bu sistemin basınç düşümü az, paslanmaz çelikten üretilecek özel ısı değiştiricilerin tasarlanması ile mümkün olacağı belirtilmiştir [13]. Aynı çalışma grubunun farklı bir yayınında, enerji tüketiminin azaltılması için sıcak su sirkülasyonuna ek olarak güneş enerjisinin de kullanımı incelenmiş ve bir önceki çalışmaya benzer sonuçlara ulaşılmıştır [14].

3.5 Deney Tasarımı

Hem endüstriyel çalışmalarda hem de akademik çalışmalarda ekonomik kaynakların kısıtlı olması ve kısa sürede sonuca ulaşmak istenmesi nedeniyle; mümkün olduğunca az deney ile ulaşılabilecek maksimum bilginin elde edilmesi deneysel çalışmaların en kritik noktası olmaktadır. “İstenilen sonuca ulaşmak için kaç deney yapılması gerekmektedir?” ve “Kısıtlı bütçe ile olabildiğince fazla bilgi nasıl elde edilebilir?” sorularının yerine “Bu deneydeki asıl amaç nedir?” ve “Bu çalışmada esas olarak bulunmaya çalışılan nedir?” sorularının cevaplanması deneylerin planlanmasına yardımcı olmaktadır [15].

Yapılan çoğu deneysel çalışmanın amacı genel olarak aşağıda özetlenenlerden biri ya da bir kaçı olabilmektedir [15]:

- Belirli koşullarda gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarındaki farklılıkların temel sebeplerinin belirlenebilmesi
- Bir sistemde ulaşılabilecek maksimum ya da minimum değerlerin elde edilebilmesi için gerekli koşulların belirlenebilmesi
- Kontrollü değişkenlerin farklı seviyelerinde gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının karşılaştırılabilmesi
- Benzer sistemler için, gelecekte yapılacak değişikliklerin etkisinin önceden tahmin edilebilmesi için matematiksel modellerin elde edilebilmesi

Deneysel çalışmaların belirli kurallar çerçevesinde planlanması ile yukarıda sıralanan amaçlara ulaşılabilmesi, deneylerin sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla kullanılan “deney tasarımı (DOE)”, eş zamanlı olarak çoklu değişkenin çıktı üzerindeki etkisinin araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, deneylerde amaca yönelik bir kaç değişik düzeyde testler

tekrarlanarak, çıktının değişimi incelenmektedir. Deney tasarımı sayesinde istenilen sonuca göre girdilerin seviyeleri tespit edilebilmektedir [15].

Endüstride deney tasarımı çalışmaları ürün kalitesini yükseltmek için sistematik şekilde üretim aşamasındaki proseslere ve ürünlere uygulanmaktadır. rn kalitesine etki eden proses aşamasını ve ürün komponentlerini belirledikten sonra, ürünün retilirliği, güvenilirliği ve performansına yönelik iyileştirme çalışmaları doğrudan yapılabilir. Örneğin, kaplama çeşidinin ve fırın sıcaklığının elik çubuk üzerindeki korozyon direncine etkisinin incelenmesi aşamasında, deney tasarımı ile kaplama ve sıcaklık parametrelerinin farklı değerlerinde elde edilecek korozyon direncinin ölçülmesi ve sonunda istenilen korozyon direnci değerine uygun kaplama çeşidi ve sıcaklık değerlerinin tespit edilmesi sağlanmaktadır [16].

Limitlerin sınırlı olmasından dolayı, yapılan her deneyden sonra en fazla bilginin toplanabilmesi çok önemlidir. İyi tasarlanmış deney tasarımlarında organize olmamış ve planlanmamış deneylerin sayısı oldukça az olmasından dolayı göreceli olarak çok daha fazla bilgi toplanabilmektedir. Ek olarak, iyi tasarlanmış deney tasarımlarında, önemli olduğu belirlenmiş etkiler birlikte değerlendirilebilmektedir. Örneğin, iki girdi değişkenin arasında etkileşim olup olmadığının belirlenebilmesi için, deney tasarımında bu iki değişken girdi olarak tanımlanmaktadır. Bu sayede, her deneyde tek bir faktörün değiştirildiği “her seferinde bir faktör” deneylerine göre girdiler arasındaki etkileşimleri görmek çok daha faydalı ve etkili bir yol olmaktadır.

Deney tasarımı; planlama, perdeleme, optimizasyon ve doğrulama olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar aşağıda kısaca anlatılmaktadır [15, 16].

•Planlama : Dikkatli planlama, deneyler sırasında karşılaşılabilecek problemlerin önlenmesini sağlamaktadır. Her deneysel çalışmada, planlama aşamasında verilmesi gereken kararlar aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

a. Deney ile ulaşılmak istenen hedefin belirlenmesi

Deneyle ulaşılmak istenilen sonuç açıkça ifade edilmeli, bu sonuca ulaşmak için cevaplanması gereken sorular listelenmelidir.

b. Değişkenlik kaynaklarının belirlenmesi

Deney tasarımında incelenecek faktörlerin, deneyin uygulanacağı birimin, gürültünün ve kovaryansın seviyelerindeki değişikliklerin incelenmesi ve bu değişikliklerin kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir.

c. Faktörlerin incelenmesi için gerekli yöntemin belirlenmesi

İncelenecek faktörlerin çıktı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla uygulanacak yönteme planlama aşamasında karar verilmesi gerekmektedir. Örneğin, sigara içmenin kanser üzerine etkisi ile ilgili bir çalışmada, seçilen kişilere günde belirli sayıda sigara verilmesi ve sonuçlarının gözlenmesi etik açıdan kabul edilemeyecek bir durumdur. Böyle bir çalışma ancak denek olarak seçilen ve kendilerini az, orta ve çok tiryaki olarak tanımlayan kişilerin gözlenmesi ile mümkün olmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma sigara içen kişileri denek olarak kullanmadan sadece onları gözlemlemeye dayalı bir çalışma olmasından dolayı deneysel değil, gözlemsel bir çalışmadır.

d. Deney yönteminin, ölçülecek parametrelerin ve beklenen zorlukların belirlenmesi

Deneyin başlangıcından sonuna kadar çıktılar üzerinde etki edebilecek tüm detayların belirlenmesi ve tasarımın tüm deneylerinde aynı prosedürün uygulanması gerekmektedir. Buna ek olarak, deney sonunda toplanacak veriler, verilerin birim ve hassasiyetleri ile deney boyunca karşılaşılabilecek zorluklar önceden belirlenmelidir.

e. Ön deneme yapılması (pilot deney)

Pilot deneyler ile bir kaç gözlem yapılması, deneysel tekniğin ve beklenmedik problemlerin incelenmesine olanak sağlamaktadır.

f. Modelin belirlenmesi

Deneyler sonucunda toplanan verilerin değerlendirileceği modele bu adımda karar verilmelidir.

g. Analiz taslağının hazırlanması

Bir önceki adımda belirlenen modele uygun olarak gerekli hipotez testlerinin ve güven aralığının belirtildiği taslak hazırlanmalıdır.

h. Yapılacak gözlem sayısının belirlenmesi

Güven aralığına ve sonucun kesinliğine uygun olarak yapılması gereken deney sayısına karar verilmelidir. Gereğinden az deney yapılması durumunda elde edilen sonuç yetersiz olacağı gibi, fazla sayıda deney yapılması durumunda ise zaman, emek ve para kaybına sebep olacaktır.

i. Gözden geçirme

Son olarak, yukarıdaki adımlarda alınan bütün kararlar gözden geçirilmeli ve gerekli yerlerde düzeltmeler yapılmalıdır.

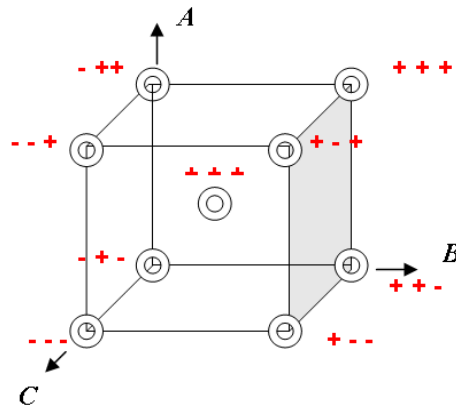
•Perdeleme : Ürün geliştirme ve üretim uygulamalarında sonuç üzerinde olası etkili değişkenlerin sayısı çok fazladır. Perdeleme, ürün kalitesi üzerinde etkili olabilecek önemli değişkenleri belirleyerek, etkili olabilecek değişkenlerin sayısını azaltmaktadır. Böylece proses iyileştirme çalışmalarını direkt olarak önemli değişkenlerin üzerine yoğunlaştırmak mümkün olmaktadır. Ayrıca perdeleme, belirlenen bu faktörler ile en iyi veya en uygun sonuca yaklaştırmakta ve oluşturulacak modelde eğrisellik olup olmadığını göstermektedir. Bunun ardından optimizasyon metotları ile en iyi koşulların sağlanmasına ve eğer sistemde eğrisellik varsa eğriselliğin doğasının anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Perdeleme için kullanılacak metotlar; endüstride fazlaca kullanılan iki düzeyli tam faktöriyel veya kesirli faktöriyel deney tasarımları, düşük çözünürlüğe sahip fakat bazı perdeleme yöntemlerinde kullanışlı olan ve kaba testlerde oldukça fazla kullanılan Plackett-Burman tasarımları ve iki düzeyden fazla tasarımlarda kullanılan genel tam faktöriyel tasarımlardır.

•Optimizasyon : Perdeleme aşamasında değişkenlerin sayısı azaltıldıktan sonra, deneysel faktörler için en iyi veya en uygun değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Buna örnek olarak; prosesin veriminin artırılması veya üründeki değişkenliğin azaltılması verilebilir. Optimizasyon için kullanılacak başlıca metotlar; faktöriyel tasarımlar, cevap yüzey tasarımları, karışım tasarımları, cevap optimizasyonları ve son olarak Taguchi tasarımlarıdır.

•Doğrulama : Doğrulama, optimizasyon sonuçlarının kontrol edilebilmesi için en iyi faktörlerin tahmin edildiği ve kontrollü olarak testlerin yapıldığı adımdır. Sonuç için en uygun ayarlarda bir kaç doğrulama deneyi yapılarak, ortalama sonuç değeri için güven aralığı değeri tespit edilebilmektedir.

Tez çalışmasında bulaşık makinasının yıkama performansına etki eden parametreler; yıkama prosesinin adımlarından, makinanın ana yıkama suyunu almasından, elektrikli ısıtıcının devreye girip suyu ısıtmaya başladığı ana kadar olan soğuk yıkama adımı süresi, yıkama suyunun maksimum sıcaklığa ulaşması ile birlikte ısıtıcının devreden çıkmasından, ana yıkama suyunun tahliye edildiği ana kadar olan sıcak yıkama adımı süresi ve elektrikli ısıtıcının devrede kalarak yıkama suyunun ısıtıldığı sıcaklık değerleri faktör olarak belirlenip, iki düzeyli tam faktöriyel orta noktalı deney tasarımı ile incelenmiştir.

Tam faktöriyel deney tasarımları kullanılarak oluşturulan modellerin endüstride yaygınlaşması ile ürün kalitelerinde artış ve maliyetlerde düşüş sağlanabilmiştir. Deney tasarımları ile kurulan modeller aracılığı ile bağımlı çıktı bağımsız girdiler cinsinden ifade edilebilmektedir [17]. Tam faktöriyel testlerde, tüm faktör düzeyleri kombinasyonunda çıktı değeri ölçülmektedir. İki düzeyli tam faktöriyel tasarımlarda incelenen her faktörün minimum ve maksimum olmak üzere iki düzeyi mevcuttur. Tasarıma orta nokta eklenmesi ise faktörler arasında eğrisellik olup olmadığının belirlenmesini sağlamaktadır. Eğer tasarımın merkezinde bir eğrisellik var ise buradaki değer, yani tasarımın çıktısı, faktörlerin minimum ve maksimum noktalarını birleştiren doğru üzerinde bulunmayacaktır [18]. Şekil 3.16'da üç faktörlü ve orta noktalı tasarım örneği şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.16 : Üç faktörlü ve orta noktalı tasarımın şematik gösterimi [19].

Şekil 3.16'da küpün köşeleri deney tasarımı kapsamında yapılması gereken deneyleri ifade etmektedir. Küpün tüm köşelerinde yer alan deneyler tamamlandığında 3 faktörlü 2 düzeyli deney tasarımı incelenmiş olacaktır. Şekil incelendiğinde, küpün alt yüzeyi C faktörünün minimum düzeyini, küpün üst yüzeyi maksimum düzeyini ifade etmektedir. Benzer şekilde küpün sağ yüzeyi ve sol yüzeyi A faktörü için, arka

yüzeyi ve ön yüzeyi B faktörü için sırasıyla maksimum ve minimum düzeyleri ifade etmektedir. Küpün merkezinde ise bu üç faktörün düzeylerinin ortalama değerlerinin kesiştiği noktada orta nokta etkisi yani eğrisellik incelenmektedir [19].

3 faktörlü ve 2 düzeyli tam faktöriyel deney tasarımı için data seti Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : 3 faktörlü ve 2 düzeyli tam faktöriyel deney tasarımı.

x_1	x_2	x_3	$y = f(x_1x_2x_3)$
-1	-1	-1	y_1
1	-1	-1	y_2
-1	1	-1	y_3
1	1	-1	y_4
-1	-1	1	y_5
1	-1	1	y_6
-1	1	1	y_7
1	1	1	y_8

Faktörler x_1, x_2, x_3 olarak belirlenmiş ve minimum ve maksimum düzeyler olarak -1 ve 1 değerleri alınmıştır [17].

Deney tasarımında ortogonallik, incelenen faktörlerin bağımsız değişken olmalarının göstergesidir. Deney tasarımını oluştururken her kolon ayrı bir faktörü göstermektedir. Bu nedenle her kolonun ortogonal olması, bu faktörün diğer faktörlerden bağımsız olduğunu belirtmektedir. Ortogonallik yukarıdaki çizelge üzerinden ifade edilmek istenirse, verilen 3 faktörlü tasarım için, (x_1x_2) , (x_1x_3) ve (x_2x_3) vektörlerinin çarpımı her faktörün diğer faktörlere ortogonal olduğunu göstermektedir. Bu şekilde, x_1 faktörünün x_2 ve x_3 faktörlerinden bağımsız olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde x_2 ve x_3 faktörlerinin de bağımsız oldukları görülmektedir [20].

$$x_1x_2 = -1(-1) + 1(-1) - 1(1) + 1(1) - 1(-1) + 1(-1) - 1(1) + 1(1) = 0$$

$$x_1x_3 = -1(-1) + 1(-1) - 1(1) + 1(1) - 1(-1) + 1(-1) - 1(1) + 1(1) = 0$$

$$x_2x_3 = -1(-1) - 1(-1) + 1(-1) + 1(-1) - 1(1) - 1(1) + 1(1) + 1(1) = 0$$

Kurulan modelde çıktının bağımsız girdiler şeklinde ifadesi aşağıda sunulmuştur.

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4(x_1x_2) + b_5(x_2x_3) + b_6(x_1x_3) + b_7(x_1x_2x_3)$$

Bu ifadede x_1, x_2, x_3 terimleri ana etkileri, x_1x_2, x_2x_3, x_1x_3 terimleri ikili etkileşim etkilerini ve $x_1x_2x_3$ terimi ise üçlü etkileşim etkilerini göstermektedir. Yukarıdaki denklem incelendiğinde x_1 faktörünün ana etkisi modelde b_1x_1 olarak ifade edilmektedir. Aynı şekilde x_1 ve x_2 arasındaki etkileşim ise $b_4(x_1x_2)$ olarak ifade edilmektedir. Burada etkileşim; çıktı üzerinde bir bağımsız değişkenin etkisi, diğer bağımsız değişkenlere bağlı olması anlamındadır [17]. Daha açık bir anlatımla, bir faktörün düzeyleri arasındaki etkinin diğer faktörün düzeylerinde aynı olmaması şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda, faktörler arasında etkileşim olduğu söylenebilir [16]. Sonuç olarak model oluşturulması aşamasında gerekli olan katsayılar yapılacak testlerden elde edilecektir. Yukarıdaki ifadede yer alan 8 adet katsayının bulabilmesi için tam faktöriyel deney tasarımında tanımlanan 8 adet test yeterli olmaktadır [17].

Yukarıda bağımsız değişkenlerin ve bu değişkenlerin birbirleri ile olan etkileşimlerinin çıktı üzerindeki etkisini ifade eden yaklaşım istatistiksel olarak Eşitlik (3.5)'te verildiği gibi oluşturulmaktadır [16].

$$Y_{ijt} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau_i\beta_j + \varepsilon_{ijt} \quad (3.5)$$

Y_{ijt} : i. ve j. düzeydeki herhangi bir nokta

μ : Genel ortalama

τ_i : τ faktörünün i düzeyindeki ana etkisi

β_j : β faktörünün j düzeyindeki ana etkisi

$\tau_i\beta_j$: τ_i ve β_j faktörlerinin etkileşimi

ε_{ijt} : Hata

Yapılan analizin amacı cevap üzerinde etkili faktörlerin ve bu faktörlerin etkilerinin seviyesinin belirlenmesidir. Bu nedenle analizin başında hipotez testleri oluşturulmaktadır. Hipotez testleri, sıfır ve alternatif hipotezler olmak üzere (sırasıyla H_0 ve H_A) iki adet savın incelenmesini temel almaktadır. Sıfır hipotezi incelenen

etkinin ihmal edilebilir olduğunu, alternatif hipotez ise incelenen etkisinin ihmal edilemeyeceğini savunmaktadır [15]. Başka bir ifadeyle sıfır hipotezi etkinin sıfır olduğunu, alternatif hipotez ise etkinin sıfır olmadığını belirtmektedir. Hipotezlerin matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir [16].

$$H_0 : Her \tau_i = 0$$

$$H_A : En az bir \tau_i \neq 0$$

$$H_0 : Her \beta_j = 0$$

$$H_A : En az bir \beta_j \neq 0 \quad H_0 : Her \tau_i \beta_j = 0$$

$$H_A : En az bir \tau_i \beta_j \neq 0$$

Hipotez testi için kurulan H_0 ve H_A hipotezlerinden hangisinin kabul edilebilir olduğuna karar verilmesinde p değerinden faydalanılmaktadır. Analiz sonucunda her bir faktör ve etkileşimleri için elde edilen olasılık değerleri (p değerleri) önceden kabul edilen α riski ile karşılaştırılarak incelenen faktör ve etkileşimlerinin çıktı üzerinde etkili olup olmadığına karar verilmektedir. α riski, verilen karar ile alınacak riski belirtmekte ve çalışılan güven aralığını ifade etmektedir. Risk seviyesi, çalışılan konuya bağlı olarak belirlenmektedir. Endüstriyel alanların bir çoğunda risk düzeyi %5, sağlık sektöründeki uygulamalarda ise %1 veya altında kabul edilmektedir. α riskinin %10 ve üzerinde olabileceği durumlar da söz konusudur. Buna göre [16, 21];

- $p > \alpha$ ise; H_0 (Her $\tau_i = 0$) hipotezini reddetmeme kararı alınmalıdır. Yani, τ faktörünün çıktı üzerinde etkisinin olmayabileceği, etkili denmesi durumunda alınacak riskin kabul edilen güven aralığının dışında olacağı söylenebilmektedir.
- $p < \alpha$ ise; H_A (En az bir $\tau_i \neq 0$) hipotezini kabul etme kararı alınır. Yani, τ faktörünün çıktı üzerinde etkisi olduğu, bu durumda alınacak riskin kabul edilebilir seviyede olduğu söylenebilmektedir.

Hipotez testi sonuçlarına göre değerlendirilen tam faktöriyel deney tasarımı ile bağımsız faktörlerin ve etkileşimlerinin çıktı üzerinde etkisinin olup olmadığına, etkili faktörlerin kurulacak modelde etki katsayıları belirlenmektedir [16].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bulaşık makinasının yıkama adımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve temizleme endeksi ile ilişkilendirilmesi amacıyla yapılan bu tez çalışmasında; elde bulaşık yıkama testleri, sıcaklık ölçüm testleri ve deney tasarımı çalışmaları yapılmıştır. Testlerin tamamı; bulaşık makinalarında enerji tüketimi ve performans testlerinde kullanılan EN 50242 “Evsel Kullanım için Elektrikli Bulaşık Makinaları – Performans Ölçüm Metotları” (*Electric dishwashers for household use. Test methods for measuring the performance*) standardına göre yapılmıştır.

4.1 EN 50242 - Bulaşık Makinası Test Metodu

EN 50242 Avrupa standardı; evsel kullanım amaçlı elektrikli bulaşık makinalarının performans kriterlerinin tanımlanması ve bu kriterlerin ölçümü için geliştirilen test metotlarının tariflenmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Yıkama performansı testlerinde; bulaşık makinasının standartlara göre kirletilmiş yemek takımını temizlemedeki etkinliği ölçülmektedir [22].

4.1.1 Genel Ortam Koşulları

Bu bölümde, bulaşık makinası performans kriterlerinin ölçümünün yapılacağı makina ve ortam için gerekli ortam koşulları, test makinasının koşullandırılması, testte kullanılacak su ve deterjan ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Standartta göre; performans testlerine başlamadan önce, test makinasının en az üç defa temiz bulaşık yükü ile yıkanması gerekmektedir. Enerji ve su tüketimi ile yıkama adımı/program süresi takibi yıkama performansı testi boyunca veri toplama sistemleri tarafından takip edilmektedir.

Yıkama performansı testlerinde, bulaşık makinasının çalıştırıldığı elektrik hattının frekans değerinin 50 Hz \pm 1% ve gerilim değerinin 230 V \pm 1% aralığında bulunması gerekmektedir. Elektrik hattının özelliklerinin yanı sıra; laboratuvar ortam sıcaklığının 23 \pm 2°C ve bağıl nemin ise 55 \pm 5% olarak ayarlanması gerekmektedir. Makinaya girecek suyun ise; 15 \pm 2°C sıcaklık ve 240 \pm 50 kPa basınca sahip olması

tariflenmektedir. Yıkama suyunun ayrıca EN 60734 “Elektrikli ev aletleri - Performans - Testler için su sertliği” (*Household electrical appliances – Performance – Hard water for testing*) standardına uygun olarak $2,5 \pm 0,5$ mmol/l sertlikte olması istenmektedir.

Yıkamalarda; içeriği ve özellikleri Çizelge 4.1’de verilen “deterjan-B”den, 12 kişilik bulaşık makinası için maksimum 30 g kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1 : Yıkama performansı testlerinde kullanılan standart deterjan bileşimi [22].

Kimyasal Bileşenler	Ticari İsmi	Üretici Firma	Bulunma Oranı (% Kütle)
Sodyum sitrat dihidrat	N 1560	Jungbunzlauer	30%
Maleik asit/akrilik asid kopolimer Na tuzu	Sokalan CP 5 Norasol WL 4	Henkel Norsohaas	12% 20%
Sodyum perborat monohidrat	-	-	5%
Tetraasetil etilendiamin	TAED	Warwick	2%
Sodyum disilikat (Non-kristalin)	Portil A	Cognis	25%
Lineer alkol etoksital asidi(Non-iyonik YAM)	Plurafac LF403	BASF	2%
Ptoteaz	Savinase X.0T	NOVO	0,50%
Amilaz	Termamyl xxT	NOVO	0,50%
Sodyum karbonat, anhidrik	Soda	Mathes&Weber	100%'e tamamlanır

4.1.2 Yıkama Performansı Testleri

Yıkama performansı testlerinin gerçekleştirileceği 12 kişilik yemek takımı; çorba tabağı, düz tabak, tatlı tabağı, büyük-orta ve küçük boy salata tabakları, çay fincanı ve bardağı, beher, kaşık-çatal ve servis takımından oluşmaktadır. Takımı oluşturan parçaların tamamının teste başlamadan önce temiz ve kuru olması gerekmektedir. Testlerde kullanılan yemek takımı parçalarının sayısı ve ortalama kütleleri Çizelge 4.2’de sunulmaktadır.

Parça ayrıntıları Çizelge 4.2’de anlatılan 12 kişilik yemek takımı; kıyma, yumurta, yulaf, ıspanak, margarin, çay ve süt ile kirletilmektedir. Yemek takımının her parçası farklı miktar ve tipteki kir ile kirletilmekte ve 80°C'lik fırında bekletildikten sonra yıkamaya hazır hale getirilmektedir. Yıkama testleri için kirletilen tabak tipi ve sayısı ile uygulanan kirlerin hazırlığı Çizelge 4.3’te verilmektedir.

Çizelge 4.2 : Yıkama performansı testlerinde kullanılan yemek takımı ayrıntıları.

Tabak Tipi	Parça Sayısı	Ortalama Kütle (kg)	Toplam Kütle (kg)
Çorba Tabağı	12	0,48	5,76
Düz Tabak	12	0,50	6,00
Tatlı Tabağı	12	0,22	2,64
Oval Tabak	1	0,80	0,80
Salata Tabağı (Büyük)	1	0,56	0,56
Salata Tabağı (Orta)	1	0,41	0,41
Salata Tabağı (Küçük)	1	0,14	0,14
Çay Fincanı	12	0,10	1,20
Çay Fincanı Tabağı	12	0,14	1,68
Beher	12	0,11	1,32
Kaşık	12	0,06	0,72
Çatal	12	0,04	0,48
Bıçak	12	0,05	0,60
Tatlı Kaşığı	12	0,03	0,36
Çay Kaşığı	12	0,02	0,24
Servis Takımı	4	0,20	0,80
TOPLAM	140		23,71

Çizelge 4.3 : Bulaşık testi standart kirleri.

Parça Sayısı	Tabak Tipi	Kir Türü	Kir Miktarı (Parça başına)	Uygulama Şekli
12	Çorba Tabağı	Yulaf	3 g	
6	Düz Tabak	Yumurta	2 cc	
6	Düz Tabak	Kıyma	3 g	
6	Tatlı Tabağı	Yumurta	2 cc	
6	Tatlı Tabağı	Ispanak	4,5 g	80°C'lik etüvde 2 saat bekletilir.
1	Oval Tabak	Margarin	12 g	
1	Salata Tabağı (Büyük)	Kıyma	4 g	
1	Salata Tabağı (Orta)	Ispanak	4,5 g	
1	Salata Tabağı (Küçük)	Ispanak	4,5 g	
12	Çay Fincanı	Çay	Yarıya kadar	80°C'lik etüvde 1 saat bekletilir.
12	Çay Fincanı Tabağı	Çay	Yarıya kadar	
12	Beher	Süt	10 cc	Mikrodalgada 600 W - 510 sn 180 W - 410 sn pişirilir.
12	Kaşık	Yulaf		Daldırma ile kirletilir.
12	Çatal	Yumurta		
12	Bıçak	Yok		
12	Tatlı Kaşığı	Yok		
12	Çay Kaşığı	Yok		
4	Servis Takımı	Yok		

Standartta belirtilen yöntemle göre kirletilen 140 parça yemek takımı belli bir süre kurutulduktan sonra üretici firmanın talimatlarına göre makineye yerleştirilmektedir. Test programı deterjan-B ile tekrarlı olarak çalıştırılmaktadır.

Yıkama tamamlandıktan 30 dk sonra makinadaki tabaklar çıkarılarak yemek takımı parçalarının temizliği görsel olarak değerlendirilmektedir. Yemek takımının parçaları üzerindeki kir lekeleri boyutlarına göre Çizelge 4.4'teki gibi notlandırılmaktadır.

Çizelge 4.4 : Kir temizleme performansı puanlandırması.

Değerlendirme	
5	Hiç kir yok
4	$1 < KİR < 4$ nokta veya $KİR \leq 4 \text{ mm}^2$
3	$5 < KİR < 10$ nokta veya $KİR \leq 4 \text{ mm}^2$
2	$KİR > 10$ nokta veya $4 < KİR \leq 50 \text{ mm}^2$
1	$50 < KİR \leq 200 \text{ mm}^2$
0	$KİR > 200 \text{ mm}^2$

Yemek takımının parçaları, Çizelge 4.4'e göre notlandırıldıktan sonra Eşitlik (4.1) ile yıkama endeksi değeri hesaplanmaktadır [22].

$$YE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N ye_i \quad (4.1)$$

Eşitlik (4.1)'de; YE , toplam yıkama endeksi değerini, N , toplam yıkanan parça sayısını ve ye , her bir parçaya ait temizleme performansı puanını ifade etmektedir.

4.2 Elde Yıkama Testleri

DeneySEL çalışmanın bu kısmında; elde bulaşık yıkamanın tariflenmesi amacıyla laboratuvarında üç kullanıcı ile yapılan elde yıkama testleri anlatılmaktadır. 2004'te Stammering'in yaptığı elde yıkama testlerine benzer şekilde Bölüm 4.1'de anlatılan EN 50242 standardına göre kirletilen 12 kişilik yemek takımı üç kişi tarafından elde yıkanmış ve yıkamalar sırasında; ısıtılan su miktarı, kullanılan deterjan miktarı, toplam su tüketimi ve yıkama süresi kontrol edilmiştir. Testlerde, yıkayıcılar pril sıvı bulaşık deterjanı kullanmıştır.

Standartta belirtildiği gibi kıyma, yumurta, yulaf, ıspanak, margarin, çay ve süt ile kirletilen porselen tabak ve fincan, cam bardak ve çatal-bıçak-kaşıktan oluşan 12 kişilik yemek takımı 80°C'lik fırında bekletilmenin ardından yıkamaya hazır hale gelmiştir. Üç kişi ile yapılan elde yıkama testlerindeki tüketim değerleri yıkama adımları bazında Çizelge 4.5’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Elde yıkama testi sonuçları.

YIKAMA ADIMLARI		PARAMETRELER	1. YIKAYICI	2. YIKAYICI	3. YIKAYICI	
ÖN YIKAMA - 1		Su Miktarı (lt)	8,51		3,47 (2,06 + 1,41)	
		Su Sıcaklığı (°C)	20		55,4	
		Deterjan (g)	-		5,1	
		Süre (dk)	8		9	
ÖN YIKAMA - 2		Su Miktarı (lt)			2,51	
		Su Sıcaklığı (°C)			49,7	
		Deterjan (g)			-	
		Süre (dk)			8	
SICAK YIKAMA	1. SICAK YIKAMA	Isıtılan Su Miktarı (lt)	2,04	2,13	2,05 (1 + 1,05)	
		Soğuk Su (lt)	5,9	1,12	0,99	
		Toplam Su Mikt. (lt)	7,94	3,25	3,04	
		Su Sıcaklığı (°C)	53,6	51,3	51,9	
		Deterjan (g)	21,48	24,02	10,82	
		Süre (dk)	20	26	7	
		Tahliye Sıcaklığı (°C)	37,3	34,4	-	
	2. SICAK YIKAMA	Isıtılan Su Miktarı (lt)	1,85	2,2 (1,4 + 0,8)	2,18	
		Soğuk Su (lt)	6,42	1,5	2,74	
		Toplam Su Miktarı (lt)	8,27	3,7	4,92	
		Su Sıcaklığı (°C)	48,01	50,7	53	
		Deterjan (g)	25,43	5,42 + 5,10	10,99	
		Süre (dk)	13	39	13	
		Tahliye Sıcaklığı (°C)	36	30,9	42,5	
	3. SICAK YIKAMA	Isıtılan Su Miktarı (lt)	1,91	1,57	2,22	
		Soğuk Su (lt)	4,79	1,9	1,74	
		Toplam Su Miktarı (lt)	6,7	3,47	3,96	
		Su Sıcaklığı (°C)	47,5	46,7	52,1	
		Deterjan (g)	19,8	-	3,55	
		Süre (dk)	17	8	7	
		Tahliye Sıcaklığı (°C)	41,1	40	48,7	
	DURULAMA		Su Miktarı (lt)	37,97	43,45	84,28
			Su Sıcaklığı (°C)	30	30	30
			Süre (dk)	13	18	15
GENEL		Toplam Su Tüketimi (lt)	69,39	54,61	102,8	
		Toplam Sıcak Su (lt)	5,8	5,9	10,48	
		Toplam Süre (dk)	71	91	67	
		Toplam Deterjan (g)	66,71	69,08	30,46	
TEMİZLEME İNDEKSİ		Porselen	4,70	3,16	3,65	
		Bardak	3,00	2,92	3,58	
		Çatal-Kaşık-Bıçak	5,00	4,21	4,67	
		Toplam	4,57	3,38	3,89	

4.2.1 Elde Yıkamanın Su Tüketimine Etkisinin İncelenmesi

3 kişi ile yapılan testlerde, yıkayıcıların su tüketimi ayrıntılı olarak Çizelge 4.6’da sunulmaktadır.

Çizelge 4.6’da verilen sonuçlar incelendiğinde yıkayıcıların 55 – 70 – 100 lt su tüketimi ile tüm yıkama işlemini tamamladıkları görülmektedir. Bu değerler literatürdeki elde yıkama çalışmaları ile de paraleldir.

Çizelge 4.6 : Elde yıkamanın su tüketimine etkisi.

YIKAMA ADIMLARI		1. YIKAYICI	2. YIKAYICI	3. YIKAYICI
SOĞUK YIKAMA	1. Soğuk Yıkama	8,5		3,5
	2. Soğuk Yıkama			2,5
	Toplam	8,5	0,0	6,0
SICAK YIKAMA	1. Sıcak Yıkama	7,9	3,3	3,0
	2. Sıcak Yıkama	8,3	3,7	4,9
	3. Sıcak Yıkama	6,7	3,5	4,0
	Toplam	22,9	10,4	11,9
DURULAMA	Toplam	38,0	43,5	84,3
TOPLAM SU TÜKETİMİ (lt)		69,4	53,9	102,2

Elde yıkamanın su tüketim değerleri ayrıntılı olarak incelendiğinde;

- Sadece iki kişinin ön yıkama yaptığı ve bu adımda ortalama 7 lt su kullandıkları görülmektedir. Ön yıkamalı bulaşık makinası programlarının ise bu adımda yaklaşık 3 lt su tükettiği bilinmektedir. Buna göre; elde yıkamada ön yıkama adımında otomatik bulaşık makinalarının iki katından fazla su tüketilmektedir.
- Yıkayıcıların tamamı ana yıkamayı üç adımda tamamladığı ve her adımda birbirine yakın miktarlarda su tüketmektedirler. Bu adımdaki toplam su tüketimi incelendiğinde, otomatik bulaşık makinalarında yaklaşık 4 lt ile gerçekleştirilen sıcak ana yıkamanın elde yıkama testlerinde 10 – 20 lt ile gerçekleştirildiği görülmektedir
- Durulama suları incelendiğinde ise tüm yıkamada tüketilen en yüksek su miktarının bu adımda harcandığı görülmektedir. Elde yıkamada durulama adımındaki su tüketiminin 38 – 84 lt arasında değiştiği gözlenmekte; makinada yıkamada ise bu değer 6 lt civarında olduğu bilinmektedir.
- Otomatik bulaşık makinalarının su tüketimlerinin ise programa bağlı olarak 10 lt civarında olduğu düşünüldüğünde, elde yıkamada su tüketiminin ciddi oranda arttırdığı görülmektedir.

4.2.2 Elde Yıkama Süresinin İncelenmesi

Elde yıkama testlerinde yıkama ve durulama adımlarının süreleri yıkayıcılara göre Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Yukarıda sunulan elde yıkama süreleri incelendiğinde;

Çizelge 4.7 : Elde yıkamanın süre etkisi.

YIKAMA ADIMLARI		1. YIKAYICI	2. YIKAYICI	3. YIKAYICI
SOĞUK YIKAMA	1. Soğuk Yıkama	8		9
	2. Soğuk Yıkama			8
	Toplam	8	0	17
SICAK YIKAMA	1. Sıcak Yıkama	20	26	7
	2. Sıcak Yıkama	13	39	13
	3. Sıcak Yıkama	17	8	7
	Toplam	50	73	27
DURULAMA	Toplam	13	18	15
TOPLAM YIKAMA SÜRESİ (dk)		71	91	59

- Yıkayıcıların, otomatik bulaşık makinalarına benzer şekilde; en uzun süreyi sıcak yıkama adımında harcadıkları görülmektedir.
- Ön yıkama adımında, yıkayıcılar birbirinden çok farklı davranmaktadır.
- Üç yıkayıcının ortalama 74 dakikada tabakların yıkanması ve durulanması işlemini tamamladıkları görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda ise elde yıkama süresinin 45 – 165 dakika arasında değiştiği ve ortalamanın 80 dakika civarında olduğu belirtilmektedir.
- Elde yıkama sürelerinin otomatik makinada yıkama ile karşılaştırılmasında ise, bu sürelerin sadece yıkama ve durulamayı kapsadığı, makinada ise yaklaşık aynı sürede kurumanın da tamamlanarak tabakların tamamen kullanıma hazır hale geleceği dikkate alınmalıdır.

4.2.3 Elde Yıkamada Deterjan Kullanımının İncelenmesi

Yıkama testlerinde yıkayıcıların ön yıkama ve sıcak yıkama adımlarındaki deterjan kullanımları Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Yıkayıcıların deterjan kullanımları incelendiğinde ulaşılan sonuçları aşağıdaki gibi özetlenmektedir:

- Yıkayıcılardan sadece ikisi soğuk yıkama yaparken, bunlardan sadece biri bu adımda deterjan kullanmaktadır.

Çizelge 4.8 : Elde yıkamada deterjan kullanımı.

YIKAMA ADIMLARI		1. YIKAYICI	2. YIKAYICI	3. YIKAYICI
SOĞUK YIKAMA	1. Soğuk Yıkama	-		5,1
	2. Soğuk Yıkama			-
	Toplam	0,0	0,0	5,1
SICAK YIKAMA	1. Sıcak Yıkama	21,5	24,0	10,8
	2. Sıcak Yıkama	25,4	10,5	11,0
	3. Sıcak Yıkama	19,8	-	3,6
	Toplam	66,7	34,5	25,4
DURULAMA	Toplam	-	-	-
TOPLAM DETERJAN TÜKETİMİ (g)		66,7	34,5	30,5

- Sıcak yıkamada kullanılan deterjan miktarı 25 – 67 g arasında değişmektedir.
- Toplam deterjan kullanımlarına bakıldığında ise 30 – 67 g arasında olduğu görülmektedir.
- Bulaşık deterjanlarının elde yıkama ve makinada yıkama için farklı olması nedeniyle deterjan tüketimleri otomatik yıkama ile karşılaştırılmamaktadır.

4.2.4 Elde Yıkamada Temizleme Performansının İncelenmesi

EN 50242 standardında belirtildiği şekilde kirletilen 12 kişilik yemek takımının elde yıkanmasında farklı yıkayıcılara ait su tüketimi, deterjan kullanımı ve yıkama süresi ile yıkama sonunda ulaşılan temizleme endeksi değerleri Çizelge 4.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.9 : Elde yıkama temizleme endeksleri.

PARAMETRELER	1. YIKAYICI	2. YIKAYICI	3. YIKAYICI
Toplam Su Tüketimi (lt)	69,4	53,9	102,2
Toplam Süre (dk)	71,0	91,0	59,0
Toplam Deterjan (g)	66,7	34,5	30,5
Temizleme İndeksi	4,57	3,38	3,89

Elde yıkama testlerinde tüm yıkamaya ait tüketim değerleri özetlenen yukarıdaki tablo genel olarak incelendiğinde su ve deterjan tüketimi ile yıkama süresinin yıkama performansı ile doğrudan ilişkilendirilemediği görülmektedir.

Otomatik bulaşık makinaları, EN 50242 standardına göre yapılan testlerde 3,3 – 4,0 aralığında; yoğun programlarda yıkamada ise 4,3 – 4,4 aralığında temizleme endeksleri elde edilmektedir. Elde yıkama testlerinde ulaşılan sonuçlar bu değerler ile karşılaştırıldığında “BM-Yoğun program”, “BM-Normal program” ile

“Kullanılmayacak kadar kirli” değerlerinden her birini temsil edecek yıkama endeksi değerlerine ulaşıldığı görülmektedir.

En uzun sürede ve en düşük su tüketimini (91 dakika - 54,61 lt) yapan yıkayıcının aldığı 3,38'lik temizleme endeksi “Kullanılmayacak kadar kirli” sınıfını temsil etmektedir. En kısa sürede ve en yüksek su tüketimi (67 dakika - 100 lt) ile yapılan yıkamada ise “BM-Normal Programı”nı temsil edecek 3,89'luk temizleme endeksi sağlanmıştır. BM-Yoğun Programı temsil eden en yüksek temizleme endeksi ise; 4,57 ile ortalama sürede ve ortalama su tüketimi ile (71 dakika ve 70 lt) sağlanmıştır.

4.3 Bulaşık Makinası Testleri

Bulaşık makinasında yapılan yıkama testleri Bölüm 4.1’de bahsedilen EN 50242 standardına uygun olarak, şartlandırılmış laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Testlerde; soğuk yıkama, ısıtma ve sıcak yıkama adımlarında makinadaki sıcaklık dağılımları incelenmiş ve bu dağılımlardan faydalanılarak yıkamanın ısıl analizi yapılmıştır. Yıkamanın ısıl analizine ek olarak; bu adımların süreleri ve yıkamada suyun ulaştığı maksimum sıcaklığın bulaşık makinası yıkama performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Termoeleman Yerleşimleri ve Sıcaklık Dağılımları

Bulaşık makinası üzerinde yapılan testlerde, yıkama adımları boyunca sıcaklık ölçümlerinin toplanması amacıyla makinanın farklı bölgelerine 18 adet termoeleman (*thermocouple*) bağlanmıştır. Çalışmalarda bakır-konstantan metal çiftinden oluşan ve -100 - 165°C sıcaklık aralığında 0,3°C hassasiyet ile ölçüm yapabilen T tipi termoelemanlar kullanılmıştır. İki tekrarlı olarak gerçekleştirilen testlerde, termoelemanların makinaya yerleşimi Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Termoeleman yerleşimi.

Termoeleman No	Yerleşim	Termoeleman No	Yerleşim
101	Makina Alt - Kazan Sacı İç Yüzeyi	110	Makina Ön - Kazan Sacı Dış Yüzeyi
102	Makina Alt - Kazan Sacı Dış Yüzeyi	111	Makina Üst - Kazan Sacı İç Yüzeyi
103	Makina Sağ - Kazan Sacı İç Yüzeyi	112	Makina Üst - Kazan Sacı Dış Yüzeyi
104	Makina Sağ - Kazan Sacı Dış Yüzeyi	113	Makina İç - Üst Sepet Sıcaklığı
105	Makina Sol - Kazan Sacı İç Yüzeyi	114	Makina İç - Alt Sepet Sıcaklığı
106	Makina Sol - Kazan Sacı Dış Yüzeyi	115	Makina İç - Orta Boy Kase Sıcaklığı
107	Makina Arka - Kazan Sacı İç Yüzeyi	116	Makina İç - Düz Tabak Sıcaklığı
108	Makina Arka - Kazan Sacı Dış Yüzeyi	117	Makina İç - Yıkama Su Sıcaklığı
109	Makina Ön - Kazan Sacı İç Yüzeyi	118	Makina Alt - Hazne Yüzey Sıcaklığı

Termoelemanların makina bağlantıları Şekil 4.1’de ve termoeleman ölçüm düzeneği Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



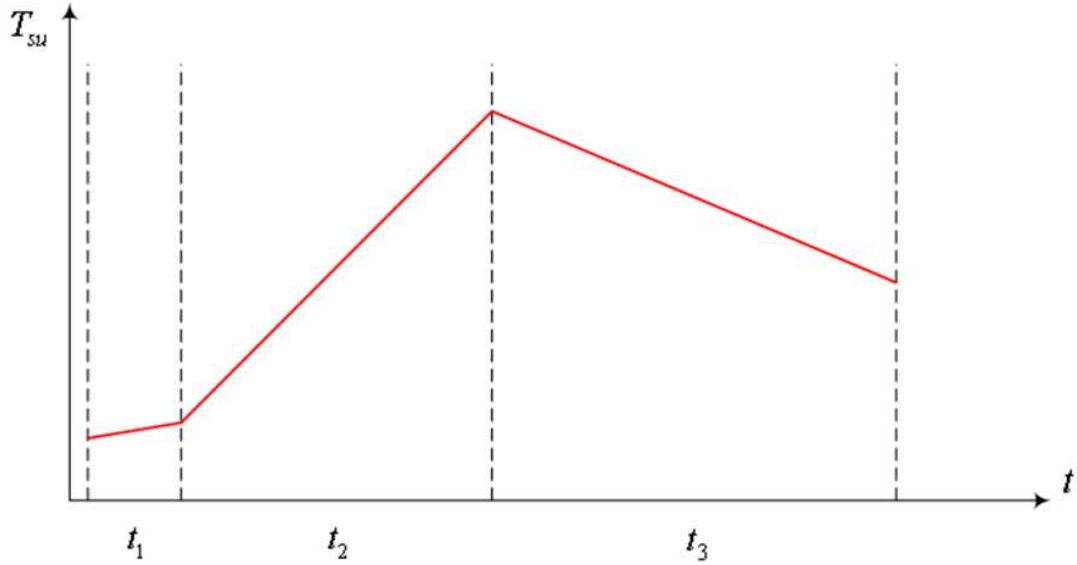
Şekil 4.1 : Termoeleman makina bağlantıları.



Şekil 4.2 : Termoeleman ölçüm düzeneği.

Deneylerde kullanılan yıkama programında; makinanın su alma adımından ısıtıcının devreye girdiği ana kadar geçen süre soğuk yıkama adımı (t_1), ısıtıcının devrede kaldığı süre ısıtma adımı (t_2) ve yıkama suyunun maksimum sıcaklığa ulaşmasından ana yıkama adımının sonuna kadar geçen süre sıcak yıkama adımı (t_3) olarak

tanımlanmaktadır. Yıkama programı boyunca yıkama suyunun sıcaklık değişimi ve yıkama adım sürelerinin şematik gösterimi Şekil 4.3'te verilmiştir.

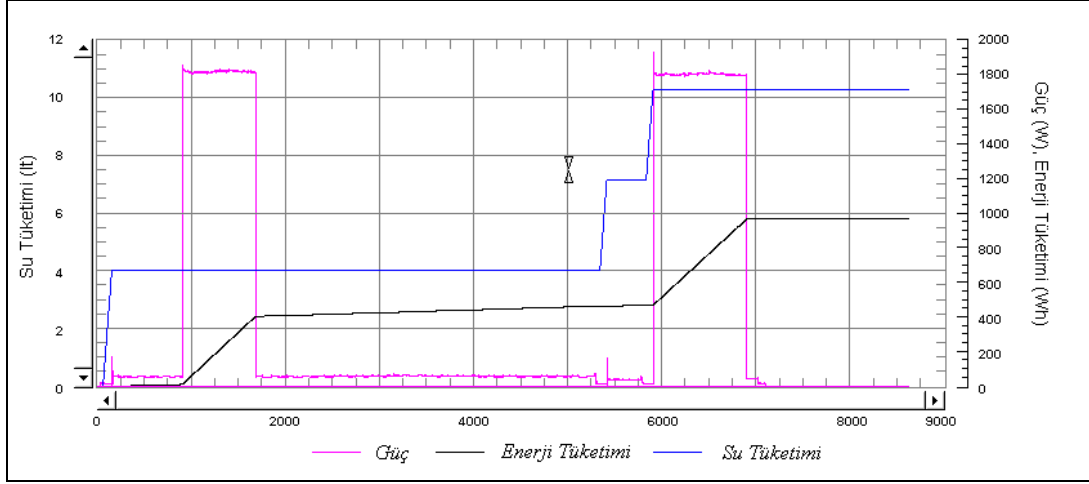


Şekil 4.3 : Yıkama adım sürelerinin şematik gösterimi.

Sıcaklık ölçüm deneylerinde soğuk yıkama adımı 750 s, ısıtma adımında ulaşılan su sıcaklığı $47,5^{\circ}\text{C}$ ve sıcak yıkama adımı süresi 3600 s olan yıkama programı kullanılmıştır. Makinaya ait su tüketim değerlerinin takip edilebilmesi için Endress+Hauser firmasına ait Proline Promag 50 model elektromanyetik debimetre kullanılmıştır. Çalışma sıcaklığı $-20 - 60^{\circ}\text{C}$ aralığında olan debimetrede ölçülebilen akış hızı aralığı $0,01 - 10 \text{ m/s}$ arasındadır. Su tüketimine ek olarak, makinanın güç, voltaj ve akım ölçümlerinde Schneider Electric firmasına ait PowerLogic ION 6200 güç ve enerji ölçer kullanılmıştır. Kullanılan enerji analizörü $100 - 240 \text{ V}$ alternatif akım, $110 - 300 \text{ V}$ doğru akım şartlarında $-20 - 70^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%5 - \%95$ nem aralığında çalışmaktadır. Analizör; $\%0,5$ hassasiyet ile güç ve voltaj; $\%0,3$ hassasiyetle ise akım değeri ölçebilmektedir.

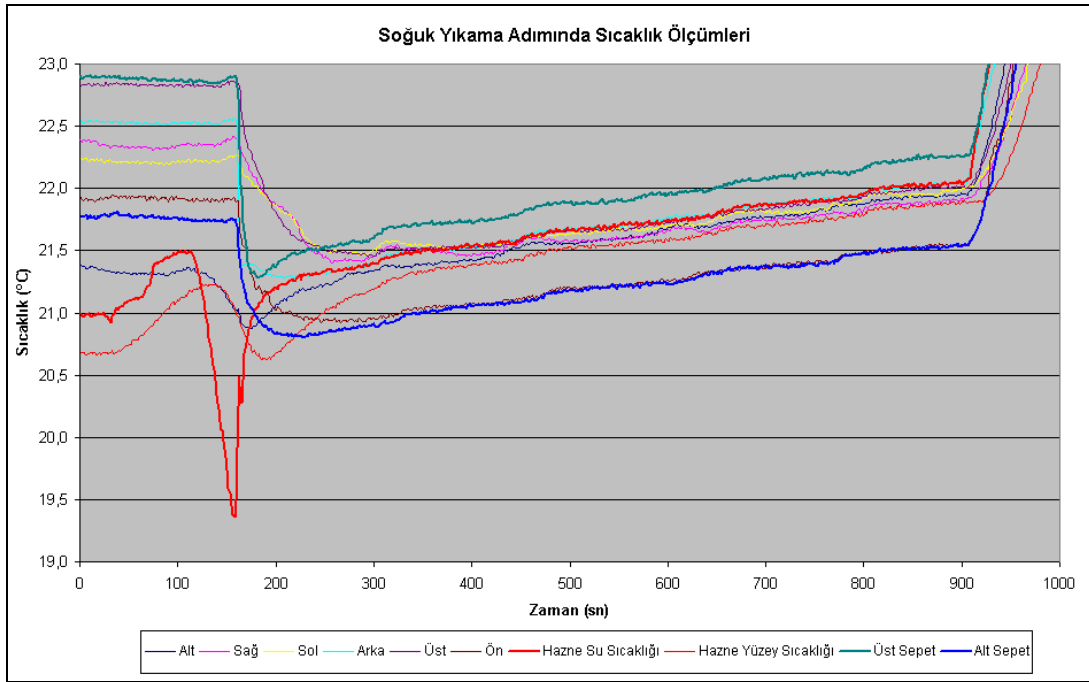
Yıkama programına ait veri toplama sistemi ve debimetreden alınan verilerin grafiği Şekil 4.4'te verilmektedir.

Makina kazan sacı sıcaklıkları, Çizelge 4.10'da görülebileceği gibi, sacın her iki yüzeyine de bağlanan termoelemanlar ile yıkama adımı boyunca ölçülmüştür. Şekil 4.5 – 4.7'de ve Bölüm 4.3.2'de anlatılan ısıl hesaplamalarda, kazan sacı için, iki yüzeyden ölçülen sıcaklıkların ortalaması verilmiştir.



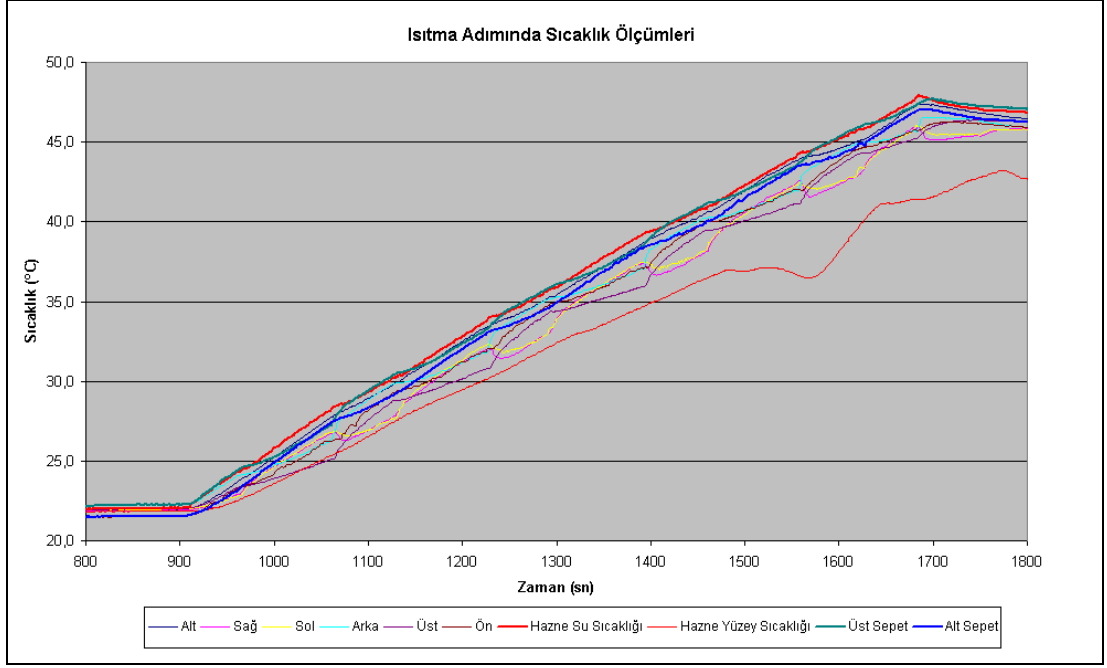
Şekil 4.4 : Yıkama programına ait tüketim değerleri.

Şekil 4.4'te tüketim değerleri gösterilen yıkama programının soğuk yıkama, ısıtma ve sıcak yıkama adımları boyunca termoeleman ile yapılan sıcaklık ölçümleri sonuçları sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de sunulmuştur.



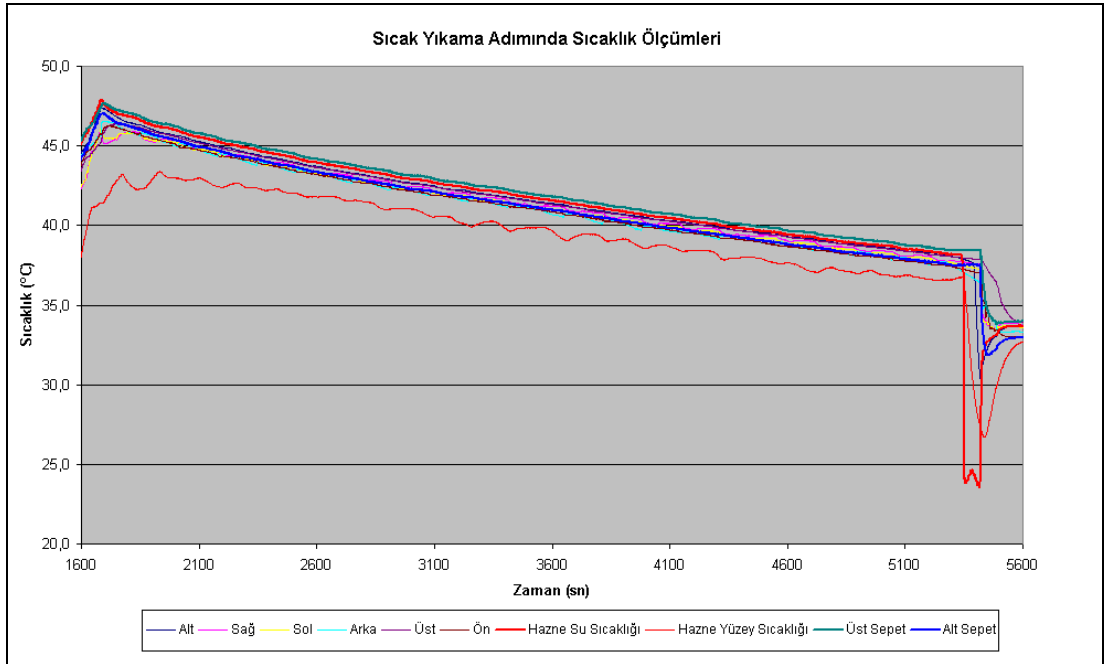
Şekil 4.5 : Soğuk yıkama adımında (t_1) sıcaklık ölçümleri.

Testin başlangıcında ortam sıcaklığında bulunan makinaya standartta belirtilen şartlarda su alındığında, makina iç sıcaklığında ani bir düşüş gözlenmekte, ardından tüm soğuk yıkama adımı boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.5'te gösterildiği gibi olmaktadır.



Şekil 4.6 : Isıtma adımında (t_2) sıcaklık ölçümleri.

Şekil 4.6’da gösterilen ısıtma adımında, ısıtıcının devreye girmesi ile birlikte su ve makina iç yüzeylerinin sıcaklığı artmaktadır.



Şekil 4.7 : Sıcak yıkama adımında (t_3) sıcaklık ölçümleri.

Şekil 4.7’de gösterilen sıcak yıkama adımında ise, ısıtıcı devreden çıktıktan sonra makina iç yüzeyleri ve su sıcaklığında düşüş meydana gelmektedir.

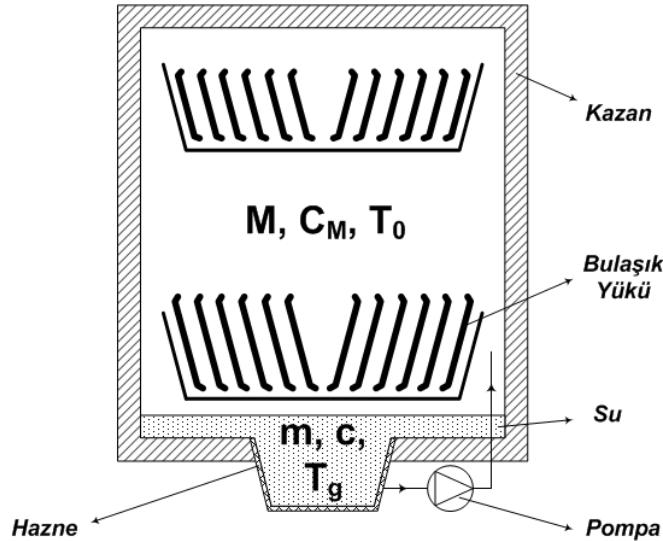
Yıkama programının soğuk yıkama, ısıtma ve sıcak yıkama adımlarında termoelemanlar ile yapılan ölçüm sonuçları kullanılarak, programın bu adımlardaki enerji tüketimleri Bölüm 4.3.2’de incelenmiştir.

4.3.2 Bulaşık Makinası Enerji Tüketim Analizi

Bölüm 4.3.1’de sunulduğu şekilde makinaya yerleştirilen termoelemanlar ile tüm yıkama boyunca sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sıcaklık verileri kullanılarak soğuk yıkama, ısıtma adımı ve sıcak yıkama adımlarında, makinanın bu adımlarındaki enerji tüketimi analizleri yapılmıştır. Enerji analizi çalışmalarında makinada bulaşıkları yıkamak için kullanılan yıkama suyu kütlesi (m) ile suyun temas ettiği makina kütlesi (M) (sepetler, pervaneler, bulaşık yükü, hazne ve kazan sacı) sistem olarak kabul edilmiş ve incelenmiştir.

4.3.2.1 Soğuk Yıkama Adımında Enerji Tüketimi Analizi

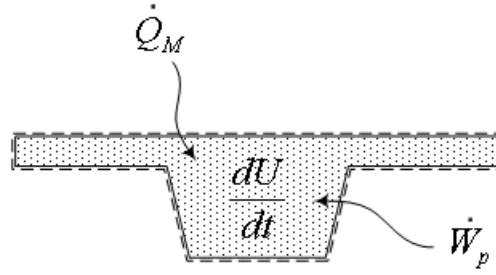
Yıkama programının başında kirlerin yumuşatılması ve tabak üzerindeki kirin ani sıcaklığa maruz kalarak tabak üzerinde pişmesinin engellenmesi amacıyla şebekeden gelen soğuk su ile belli bir süre su sirkülasyonu yapılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan programda yaklaşık 750 s süren soğuk yıkama adımını temsil eden bulaşık makinası kesiti Şekil 4.8’de sunulmaktadır.



Şekil 4.8 : Soğuk yıkama adımında bulaşık makinası sisteminin kesiti.

Sisteme şebekeden $15\pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta giren soğuk yıkama suyu ile $23\pm 2^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında bulunan bulaşık makinası kütlesi arasında ısı geçişi olmakta, buna ek olarak da soğuk yıkama adımı boyunca sirkülasyon pompasının çalışmasından dolayı

suya iş girdisi oluşmaktadır. Kontrol kütlesi olarak kabul edilen yıkama suyunun enerji dengesinin şematik gösterimi Şekil 4.9'daki gibidir.



Şekil 4.9 : Soğuk yıkama adımında su kütlesinin şematik görünümü.

Şekil 4.9'daki şematik gösterimde suyun durgun hali sunulmuştur. Yıkama adımlarında, sirkülasyon pompasının çalışması sırasında yıkama suyu pompa ve pervaneler aracılığıyla makinanın diğer komponentlerine ulaşmakta ve ısı geçiş mekanizması bu şekilde işlemektedir.

Çalışma kapsamında yapılan enerji analizlerinin temelini oluşturulan termodinamiğin 1. yasası Eşitlik (4.2)'de gösterilmektedir.

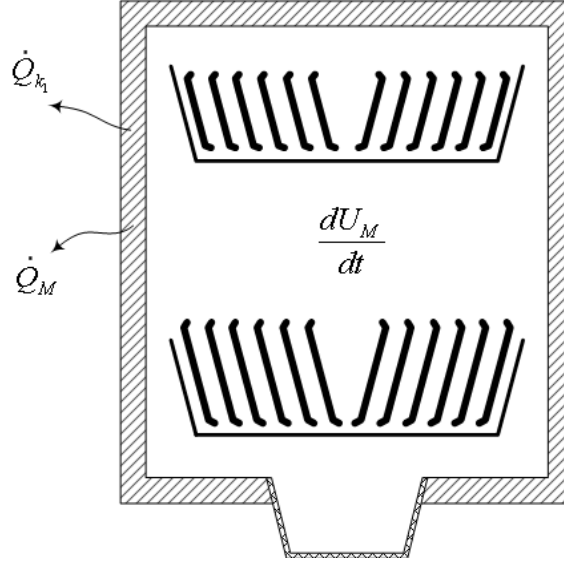
$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (4.2)$$

Burada soldaki terim su kütlesinin birim zamandaki iç enerji değişimi, sağdaki terimler ise sırasıyla sisteme olan ısı geçişini ve sistemin yaptığı işi göstermektedir. Buna göre $\dot{Q} = \dot{Q}_M$ su kütlesine olan ısı geçisi, $\dot{W} = -\dot{W}_p$ su kütlesi üzerine yapılan pompa işidir.

Su sıkıştırılmayan akışkan olarak kabul edildiğinde iç enerji değişimi $du \cong cdT$ sıcaklık cinsinden ifade edilebilir. Bu durumda, su kütlesi için enerjinin korunumu ifadesi Eşitlik (4.3) ile verilebilir.

$$mc \frac{dT_{su}}{dt} = \dot{Q}_M + \dot{W}_p \quad (4.3)$$

Yukarıda anlatıldığı gibi sisteme giren soğuk su kütlesi ve makina kütlesi arasında ısı geçişi olmakta, buna ek olarak da katı kütleden çevreye bir ısı kaybı meydana gelmektedir. Kontrol kütlesi olarak ele alınan makina katı kütlesinin enerji dengesi Şekil 4.10'da şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.10 : Soğuk yıkama adımında katı kütlesinin şematik görünümü.

Eşitlik (4.2)'de verilen termodinamiğin 1. yasası katı kütlesi için düzenlendiğinde Eşitlik (4.4) elde edilmektedir.

$$\frac{dU_M}{dt} = -\dot{Q}_M - \dot{Q}_{k_1} \quad (4.4)$$

$\frac{dU_M}{dt}$: Katı kütlesinin birim zamandaki iç enerji değişimi

\dot{Q}_M : Katı kütlesinden olan ısı geçişi

\dot{Q}_{k_1} : Soğuk yıkama adımında katı kütlesinden çevreye olan ısı kaybı

Katı kütlesinin birim zamandaki iç enerji değişiminin ifadesi Eşitlik (4.5)'te verildiği gibi yazılabilmektedir.

$$\frac{dU_M}{dt} = MC_M \frac{dT_M}{dt} \quad (4.5)$$

Bu eşitlikte M , katı kütlesini, C_M , katı kütlesinin ortalama özgül ısısını ve $\frac{dT_M}{dt}$ ise katı kütlesinin birim zamandaki ortalama sıcaklık değişimini göstermektedir.

Eşitlik (4.4) ve Eşitlik (4.5) biraraya getirilerek Eşitlik (4.6) elde edilmiştir.

$$MC_M \frac{dT_M}{dt} = -\dot{Q}_M - \dot{Q}_{k_1} \quad (4.6)$$

Su ile temas eden katı kütlesi; tabak, bardak ve çatal-kaşık-bıçaktan oluşan bulaşık yükü, alt ve üst sepet, kazan çevre sacı ve hazne ele alınmış ve katı kütlelerinin toplam kütlesi Eşitlik (4.7) ile hesaplanmıştır.

$$M = \sum m_i \quad (4.7)$$

i : Bulaşık yükü, sepetler, kazan sacı ve hazne

Katı kütlelerinin ortalama özgül ısılarının bulunabilmesi için Eşitlik (4.8) – Eşitlik (4.10) formülasyonları yapılmıştır.

$$dU_M = \sum dU_i \quad (4.8)$$

$$MC_M dT = \sum m_i c_i dT \quad (4.9)$$

$$MC_M = \sum m_i c_i \quad (4.10)$$

Eşitlik (4.10)'da katı kütlelerinin toplam ısı sığasının bileşenlerinin ısı sığaları toplamı şeklinde yazılabildiği görülmüştür.

Eşitlik (4.10)'dan, katı kütlelerine ait ortalama özgül ısı değeri (C_M) çekilerek Eşitlik (4.11) elde edilebilmektedir.

$$C_M = \frac{\sum m_i c_i}{M} = \sum \frac{m_i}{M} \cdot c_i \quad (4.11)$$

Yıkamanın herhangi bir adımındaki katı kütlelerinin ortalama sıcaklığının elde edilebilmesi için Eşitlik (4.9)'dan türetilen Eşitlik (4.12) kullanılmıştır. Bu denklemden T_M değeri için Eşitlik (4.14) elde edilmiştir.

$$MC_M \frac{dT_M}{dt} = \sum m_i c_i \frac{dT_i}{dt} \quad (4.12)$$

$$T_M = \frac{1}{MC_M} \sum m_i c_i T_i \quad (4.13)$$

$$T_M = \sum \frac{m_i}{M} \frac{c_i}{C_M} T_i \quad (4.14)$$

Katı kütlesinden olan ısı geçişi (\dot{Q}_M) ifadesi Eşitlik (4.6)'dan çekilip, Eşitlik (4.3)'te su kütlesi için yazılan enerji dengesi denkleminde yerine yazılarak Eşitlik (4.15) ifadesine ulaşılmıştır.

$$mc \frac{dT_{su}}{dt} = -MC_M \frac{dT_M}{dt} - \dot{Q}_{k_1} + \dot{W}_p \quad (4.15)$$

Yıkama prosesinin soğuk yıkama adımı incelendiği için Eşitlik (4.15), soğuk yıkama süresi (t_1) boyunca integre edilmiş ve Eşitlik (4.16) elde edilmiştir.

$$mc(T_1 - T_g) = -MC_M(T_{M_1} - T_{M_0}) - \dot{Q}_{k_1} t_1 + \dot{W}_p t_1 \quad (4.16)$$

T_1 : Su kütlesinin soğuk yıkama adımı sonundaki sıcaklığı

T_g : Su kütlesinin soğuk yıkama adımı başındaki sıcaklığı

T_{M_1} : Katı kütlesinin soğuk yıkama adımı sonundaki sıcaklığı

T_{M_0} : Katı kütlesinin soğuk yıkama adımı başındaki sıcaklığı

Yıkama prosesinin soğuk yıkama adımında bulaşık makinasından çevreye olan ısı kaybının hesaplanabilmesi için Eşitlik (4.16)'dan $\dot{Q}_{k_1} t_1$ ifadesi çekilerek Eşitlik (4.17) elde edilmiştir.

$$\dot{Q}_{k_1} t_1 = \dot{W}_p t_1 - \left(mc(T_1 - T_g) + MC_M(T_{M_1} - T_{M_0}) \right) \quad (4.17)$$

Eşitlik (4.17)'de verilen ifadede $mc(T_1 - T_g)$ ve $MC_M(T_{M_1} - T_{M_0})$ değerleri, Bölüm 4.3.1'de anlatılan bulaşık makinası sıcaklık ölçüm deneyleri sonuçlarından faydalanılarak hesaplanmıştır. $\dot{W}_p t_1$ değeri ise bulaşık makinasının çalışması boyunca veri toplama sistemi ile takip edilen değerler dikkate alınarak pompanın çektiği güç ve çalışma süresinden hesaplanmıştır.

Bölüm 4.3.1’de sıcaklık ölçüm testleri sonucunda elde edilen sonuçlar ve bu bölümde elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan yıkama suyu ve makinanın katı kütlesi için sıcaklık ve özgül ısı değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : Soğuk yıkama adımı için ısıl hesaplamalar.

Kütle	m_i (kg)	c_i (kJ/kgK)	$\sum \frac{m_i}{M} c_i$	$T_{i0}(K)$	$\sum \frac{m_i}{M} \frac{c_i}{C_M} T_i$	$T_{i1}(K)$	$\sum \frac{m_i}{M} \frac{c_i}{C_M} T_i$	$mc\Delta T$ (kJ)
Yıkama Suyu	4,03	4,18	-	292,4	-	295,1	-	45,0
Tabak	19,8	1,20	0,68	294,77	182,2	294,58	182,1	
Bardak	1,3	0,84	0,03	295,85	8,5	295,26	8,5	
ÇKB	2,6	0,46	0,03	294,77	9,2	294,58	9,2	
Alt Sac	0,96	0,46	0,01	293,90	3,36	295,00	3,37	
Sağ Sac	0,96	0,46	0,01	295,41	3,38	294,93	3,37	
Sol Sac	0,96	0,46	0,01	295,25	3,38	295,00	3,37	
Arka Sac	0,96	0,46	0,01	294,35	3,37	295,06	3,37	
Üst Sac	0,96	0,46	0,01	295,80	3,38	295,03	3,37	
Ön Sac	1,44	0,46	0,02	294,90	5,09	294,55	5,08	
Üst Sepet	2,1	1,90	0,11	295,85	30,7	295,26	30,7	
Alt Sepet	1,7	1,90	0,09	294,77	24,8	294,58	24,8	
Hazne vs	1,2	1,90	0,07	293,20	17,4	295,33	17,5	
M (kg)	34,9	C_M (kJ/kgK)	1,10	$T_{M_0}(K)$	294,8	$T_{M_1}(K)$	294,7	-3,6

$$mc(T_{t_1} - T_{t_0}) + MC_M(T_{M_1} - T_{M_0}) \quad \mathbf{41,4}$$

Çizelge 4.11’den görüldüğü gibi yıkama suyu ve katı kütlesinde depolanan enerji 41,4 kJ’dür.

$$\dot{W}_p t_1 = \frac{56W \cdot 750s}{1000} = 42,0kJ$$

Soğuk yıkama adımında 750 s boyunca, 56 W gücündeki pompa çalışmış ve 42 kJ iş üretmiştir. Bu değerler Eşitlik (4.17)’de yerlerine koyulduğunda \dot{Q}_{k_1} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

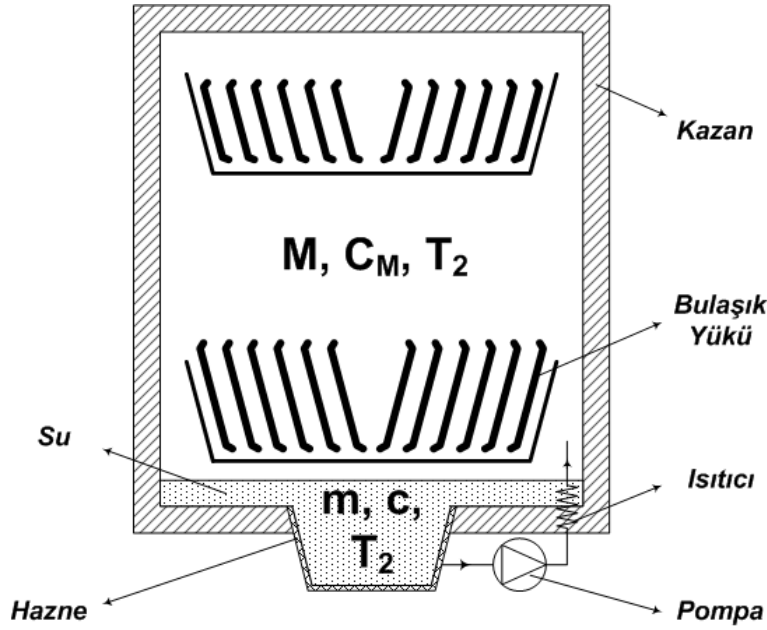
$$\dot{Q}_{k_1} \cdot 750 = 42,0 - 41,4 \Rightarrow \dot{Q}_{k_1} \cdot 750 = 0,6kJ$$

$$\dot{Q}_{k_1} = 0,8W$$

Yıkama prosesinin başlangıcındaki soğuk yıkama adımında çevreye birim zamanda kaybedilen ısı (\dot{Q}_{k_1}), 0,8W olarak hesaplanmıştır.

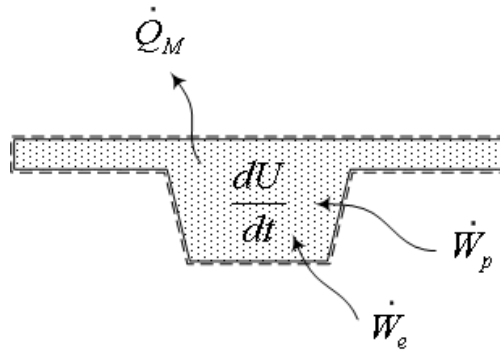
4.3.2.2 Isıtma Adımında Enerji Tüketimi Analizi

Soğuk yıkamanın ardından, su belli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak sıcak yıkama için hazırlanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yıkama programında yıkama suyunun ulaştığı maksimum sıcaklık $47,5^{\circ}\text{C}$ 'dir. Suyun ısıtma adımındaki makina kesiti Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 : Isıtma adımındaki bulaşık makinası kesiti.

Isıtma adımındaki ısıtılan su kütlesinden makina katı kütlesine ısı aktarımı olmakta, buna ek olarak su kütlesi üzerine pompa işi ve ısıtıcının çalıştığı süre boyunca elektrik işi yapılmaktadır. Kontrol kütlesi olarak ele alınan su kütlesinden makina katı kütlesine kaybedilen ısı ve kütle üzerine yapılan pompa ve elektrik işlerinin şematik gösterimi Şekil 4.12'de sunulmuştur.

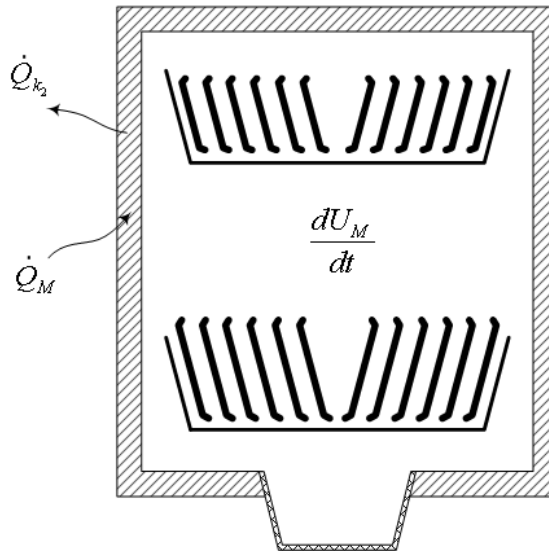


Şekil 4.12 : Isıtma adımındaki su kütlesinin şematik görünümü.

Su kütlesindeki ısı geçiş yönü sudan makinaya doğru olduğu kabul edilmesi nedeniyle \dot{Q}_M 'in işareti negatif alınmıştır. Isıtma adımında pompa işine ek olarak ısıtıcı işi de gelmektedir. Pompa işi ve ısıtıcı işi sistem üzerine yapıldığı için onların da işareti negatif alınmıştır. Bu işaret notasyonuna uygun olarak Eşitlik (4.2) düzenlenip, Eşitlik (4.18) elde edilmiştir.

$$mc \frac{dT_{su}}{dt} = -\dot{Q}_M + \dot{W}_p + \dot{W}_e \quad (4.18)$$

Soğuk yıkama adımından farklı olarak ısıtma adımında makinanın katı kütlesine ısıtılan sudan ısı geçişi olmakta ve buna ek olarak da katı kütleden sistem dışına ısı kaybı (\dot{Q}_{k_2}) meydana gelmektedir. Makinanın katı kütlesinin enerji dengesi Şekil 4.13'te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.13 : Isıtma adımında katı kütlesinin şematik görünümü.

Kontrol kütlesi olarak kabul edilen makinanın katı kütlesi için, ısıtma adımında termodinamiğin 1. yasasının, Eşitlik (4.6)'da verilen soğuk yıkama adımından tek farkı yıkama suyu ile makina arasındaki ısı geçişinin yönüdür. Bu ifade Eşitlik (4.19) ile verilmiştir.

$$MC_M \frac{dT_M}{dt} = \dot{Q}_M - \dot{Q}_{k_2} \quad (4.19)$$

Isıtma adımında makina katı kütlesi için elde edilen Eşitlik (4.19)'daki \dot{Q}_M , ısı geçiş terimi, su kütlesi için enerji dengesini veren Eşitlik (4.18)'de yerine yazılarak Eşitlik (4.20) elde edilmektedir.

$$mc \frac{dT_{su}}{dt} + MC_M \frac{dT_M}{dt} = \dot{W}_p + \dot{W}_e - \dot{Q}_{k_2} \quad (4.20)$$

Bu adımda, su kütlesi ve makina katı kütlelerinden oluşan sistemden çevreye ısı kaybının hesaplanabilmesi için Eşitlik (4.20)'deki \dot{Q}_{k_2} terimi çekilmekte ve elde edilen denklem ısıtma adımın süresi (t_2) boyunca integre edilerek Eşitlik (4.21) elde edilmektedir.

$$\dot{Q}_{k_2} t_2 = \left(\dot{W}_p + \dot{W}_e \right) t_2 - \left(mc(T_2 - T_1) + MC_M (T_{M_2} - T_{M_1}) \right) \quad (4.21)$$

Bu eşitlikte, T_2 , su kütleinin ısıtma adımı sonundaki sıcaklığını, T_{M_2} ise, katı kütleinin ısıtma adımı sonundaki sıcaklığını ifade etmektedir.

Bölüm 4.3.1'de anlatılan, bulaşık makinası sıcaklık ölçüm deney sonuçlarına göre; Eşitlik (4.21)'deki $mc(T_2 - T_1)$ ve $MC_M (T_{M_2} - T_{M_1})$ terimleri hesaplanmış, $(\dot{W}_p + \dot{W}_e)t_2$ terimi ise soğuk yıkama adımına benzer olarak veri toplama sisteminden elde edilen değerler kullanılarak pompa ve ısıtıcının ısıtma adımında çektiği güç ve bu elemanların devrede kaldığı süreler göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

Yıkama suyu ve makinanın katı kütlesi için bu bölümde elde edilen eşitlikler ve Bölüm 4.3.1'de sunulan sonuçlar dikkate alınarak hesaplanan sıcaklık ve özgül ısı değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Yıkama suyu ve katı kütleinde depolanan enerji Çizelge 4.12'den görüldüğü gibi 1401,4 kJ'dür.

Yıkama suyunun istenilen sıcaklığa ulaşması için ısıtıcının devrede olduğu süre 778 s'dir. Bu sürede hem 1760 W gücündeki ısıtıcı hem de 56 W gücündeki sirkülasyon pompası çalışmaktadır. Bu adımda sistem üzerine yapılan iş aşağıda hesaplanmıştır.

$$\left(\dot{W}_p + \dot{W}_e \right) t_2 = \frac{(1760W + 56W) \cdot 778s}{1000} = 1412,9kJ$$

Çizelge 4.12 : Isıtma adımı için ısı hesaplamalar.

Kütle	m_i (kg)	c_i (kJ/kgK)	$\sum \frac{m_i}{M} c_i$	$T_{i1}(K)$	$\sum \frac{m_i}{M} \frac{c_i}{C_M} T_i$	$T_{i2}(K)$	$\sum \frac{m_i}{M} \frac{c_i}{C_M} T_i$	$mc\Delta T$ (kJ)
Yıkama Suyu	4,03	4,18	-	295,07	-	320,88	-	434,8
Tabak	19,8	1,20	0,68	294,58	182,1	320,05	197,9	
Bardak	1,3	0,84	0,03	295,26	8,5	320,51	9,3	
ÇKB	2,6	0,46	0,03	294,58	9,2	320,05	10,0	
Alt Sac	0,96	0,46	0,01	295,00	3,4	320,45	3,7	
Sağ Sac	0,96	0,46	0,01	294,93	3,4	319,00	3,6	
Sol Sac	0,96	0,46	0,01	295,00	3,4	319,05	3,6	
Arka Sac	0,96	0,46	0,01	295,06	3,4	319,50	3,7	
Üst Sac	0,96	0,46	0,01	295,03	3,4	318,90	3,6	
Ön Sac	1,44	0,46	0,02	294,55	5,1	318,54	5,5	
Üst Sepet	2,1	1,90	0,11	295,26	30,7	320,51	33,3	
Alt Sepet	1,7	1,90	0,09	294,58	24,8	320,05	26,9	
Hazne vs	1,2	1,90	0,07	295,33	17,5	317,65	18,9	
M (kg)	34,9	C_M (kJ/kgK)	1,10	$T_{M_1}(K)$	294,7	$T_{M_2}(K)$	319,9	966,7
$mc(T_{t_2} - T_{t_1}) + MC_M(T_{M_2} - T_{M_1})$								1401,4

Sistem üzerinde yapılan iş 1412,9 kJ'dür.

Bu değerler Eşitlik (4.21)'de yerlerine koyulduğunda ısıtma adımı çevreye olan ısı kaybı, \dot{Q}_{k_2} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

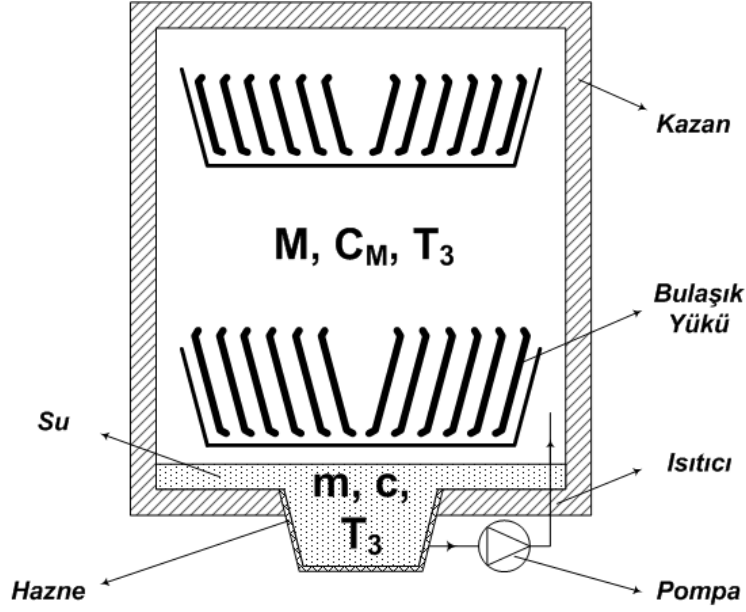
$$\dot{Q}_{k_2} \cdot 778 = 1412,9 - 1401,4 \Rightarrow \dot{Q}_{k_2} \cdot 778 = 11,5 kJ$$

$$\dot{Q}_{k_2} = 14,8 W$$

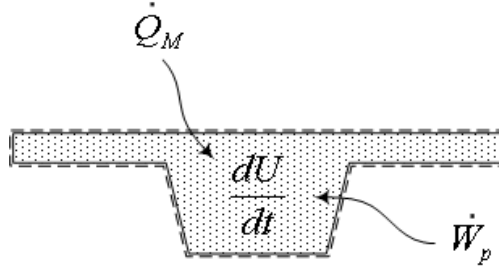
4.3.2.3 Sıcak Yıkama Adımında Enerji Tüketimi Analizi

Yıkama suyunun ısıtma adımı belli bir sıcaklığa ulaşmasının ardından, ısıtıcı devreden çıkmakta ve elde edilen sıcak yıkama suyu ile temizleme işlemine devam edilmektedir. Bu adım sıcak yıkama adımıdır ve tez çalışmasında incelenen yıkama programının sıcak yıkama süresi 3600 s'dir. Bu adımda makina kesiti Şekil 4.14'te gösterilmektedir.

Sıcak yıkama adımı, makina katı külesinden yıkama suyuna ısı aktarımı olmakta, buna ek olarak su külesi üzerine adım süresince pompa işi yapılmaktadır. Kontrol külesi olarak ele alınan yıkama suyuna olan ısı geçişinin ve su üzerine yapılan pompa işinin şematik gösterimi Şekil 4.15'te sunulmuştur.



Şekil 4.14 : Sıcak yıkama adımında bulaşık makinası kesiti.

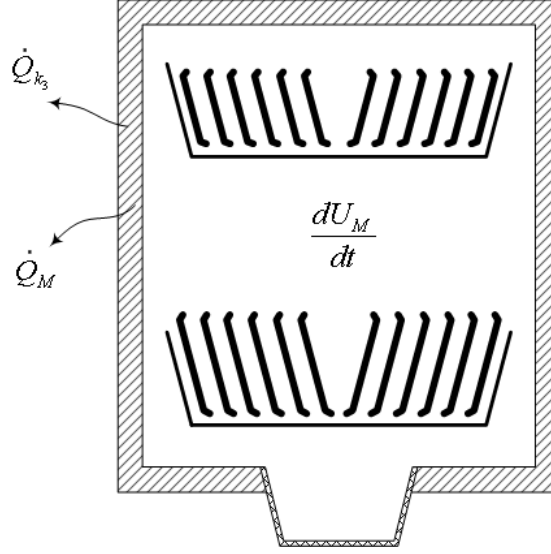


Şekil 4.15 : Sıcak yıkama adımında su kütlesinin şematik görünümü.

Sıcak yıkama adımında ısıtıcı devrede olmadığı için su kütlesi üzerine yapılan tek iş pompa işidir. Isı geçiş yönünün de yıkama suyuna doğru olduğu göz önünde bulundurulduğunda su kütlesinin enerji dengesi Eşitlik (4.22) ile elde edilmiştir.

$$mc \frac{dT_{su}}{dt} = \dot{Q}_M + \dot{W}_p \quad (4.22)$$

Sıcak yıkama adımında ısı geçiş yönü makinanın katı kütlesinden ısıtılan suya doğru olmaktadır. Buna ek olarak katı kütlesinden sistem dışına ısı kaybı meydana gelmektedir. Makinanın katı kütlesinin enerji dengesi Şekil 4.16'da şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.16 : Sıcak yıkama adımında katı kütlesinin şematik görünümü.

Kontrol kütlesi olarak kabul edilen makinanın katı kütlesi için sıcak yıkama adımında termodinamiğin 1. yasası Eşitlik (4.23) ile ifade edilebilir.

$$MC_M \frac{dT_M}{dt} = -\dot{Q}_M - \dot{Q}_{k_3} \quad (4.23)$$

Sıcak yıkama adımında makina katı kütlesi için elde edilen Eşitlik (4.23)'teki \dot{Q}_M ısı geçiş terimi, su kütlesi için enerji dengesini veren Eşitlik (4.22)'de yerine yazılarak Eşitlik (4.24) elde edilmektedir.

$$mc \frac{dT_{su}}{dt} + MC_M \frac{dT_M}{dt} = \dot{W}_p - \dot{Q}_{k_3} \quad (4.24)$$

Eşitlik (4.24)'te \dot{Q}_{k_3} terimi çekilerek, sıcak yıkama süresi (t_3) boyunca integre edilmekte ve bu şekilde Eşitlik (4.25)'te verildiği gibi sistemden çevreye olan ısı kaybı hesaplanabilmektedir.

$$\dot{Q}_{k_3} t_3 = \dot{W}_p t_3 - \left(mc(T_3 - T_2) + MC_M (T_{M_3} - T_{M_2}) \right) \quad (4.25)$$

Bu ifadede kullanılan T_3 terimi, su kütlesinin sıcak yıkama adımı sonundaki sıcaklığını, T_{M_3} ise katı kütlesinin sıcak yıkama adımı sonundaki sıcaklığını göstermektedir.

Eşitlik (4.25)'te verilen bağıntıda $mc(T_3 - T_2)$ ve $MC_M(T_{M_3} - T_{M_2})$ değerleri bulaşık makinasında yapılan sıcaklık ölçüm deneyleri sonuçlarından faydalanılarak hesaplanmıştır. $\dot{W}_p t_3$ değeri ise bulaşık makinasının çalışması boyunca veri toplama sistemi ile takip edilen değerler dikkate alınarak pompanın çektiği güç ve çalışma süresinden hesaplanmıştır.

Yıkama suyu ve makinanın katı kütlesi için bu bölümde elde edilen eşitlikler ve Bölüm 4.3.1'de sunulan sonuçlar dikkate alınarak hesaplanan sıcaklık ve özgül ısı değerleri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Sıcak yıkama adımı için ısı hesaplamalar.

Kütle	m_i (kg)	c_i (kJ/kgK)	$\sum \frac{m_i}{M} c_i$	$T_{i2}(K)$	$\sum \frac{m_i}{M} \frac{c_i}{C_M} T_i$	$T_{i3}(K)$	$\sum \frac{m_i}{M} \frac{c_i}{C_M} T_i$	$mc\Delta T$ (kJ)
Yıkama Suyu	4,03	4,18	-	320,88	-	311,11	-	-164,6
Tabak	19,8	1,20	0,68	320,05	197,9	310,50	192,0	
Bardak	1,3	0,84	0,03	320,51	9,3	311,40	9,0	
ÇKB	2,6	0,46	0,03	320,05	10,0	310,50	9,7	
Alt Sac	0,96	0,46	0,01	320	3,7	310,65	3,6	
Sağ Sac	0,96	0,46	0,01	319	3,6	310,55	3,6	
Sol Sac	0,96	0,46	0,01	319	3,6	310,20	3,5	
Arka Sac	0,96	0,46	0,01	320	3,7	310,16	3,5	
Üst Sac	0,96	0,46	0,01	319	3,6	310,90	3,6	
Ön Sac	1,44	0,46	0,02	319	5,5	310,00	5,3	
Üst Sepet	2,1	1,90	0,11	320,51	33,3	311,40	32,3	
Alt Sepet	1,7	1,90	0,09	320,05	26,9	310,50	26,1	
Hazne vs	1,2	1,90	0,07	317,65	18,9	310,40	18,4	
M (kg)	34,9	C_M (kJ/kgK)	1,10	$T_{M_2}(K)$	319,9	$T_{M_3}(K)$	310,6	-357,2

$$mc(T_{i_3} - T_{i_2}) + MC_M(T_{M_3} - T_{M_2}) = -521,8$$

Çizelge 4.13 incelendiğinde yıkama suyu ve katı kütle toplam enerjilerinin 521.8 kJ azaldığı gözlenmiştir.

Sıcak yıkama adımı süresi olan 3600 s boyunca 56 W gücündeki sirkülasyon pompası devrede kalmış ve sistem üzerine yapılan iş aşağıda hesaplanmıştır.

$$\dot{W}_p t_3 = \frac{56W \cdot 3600s}{1000} = 201,6kJ$$

Bu değerler Eşitlik (4.25)'te yerlerine koyulduğunda sıcak yıkama adımında çevreye

olan ısı kaybı, \dot{Q}_{k_3} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{k_3} \cdot 3600 = 201,6 - (-521,8) \Rightarrow \dot{Q}_{k_3} \cdot 3600 = 723,4 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_{k_3} = 200,9 \text{ W}$$

Yıkama prosesinin adımları olan soğuk yıkama adımı (t_1), ısıtma adımı (t_2) ve ısıtma sonrası sıcak yıkama adımı (t_3) süreleri, bu adımlarda yapılan pompa işi ve elektrikli ısıtıcı işi, yıkama suyu ve makina katı kütlesini oluşturan bulaşık yükü, kazan sacı, alt ve üst sepet ve haznede depolanan enerjiler ve her adımda sistem dışına kaybedilen kayıp ısı Çizelge 4.14'te sunulmuştur.

Çizelge 4.14 : Yıkama adımı enerji tablosu.

	Süre (s)	$\dot{W}_p \Delta t$ (kJ)	$\dot{W}_e \Delta t$ (kJ)	$mc\Delta T$ (kJ)	$MC_M \Delta T$ (kJ)	Q_k (kJ)	Q_k (%)
t_1	750	42,0	-	45,0	-3,6	0,6	0,08%
t_2	778	43,6	1369,3	434,8	966,7	11,5	1,56%
t_3	3600	201,6	-	-164,6	-357,2	723,4	98,35%
t_o	5128	287,2	1369,3	315,2	605,9	735,5	100%

Çizelge 4.14 incelendiğinde kayıp ısının yaklaşık %98'i ısıtma sonrası sıcak yıkama adımında gerçekleştiği, diğer adımlarda kaybedilen ısının bu adıma oranla çok düşük olduğu belirlenmiştir.

Yıkama adımlarının ısı analizinde sonucunda yıkama prosesi için kullanılan net enerji için Eşitlik (4.26) geliştirilmiştir. Bağlıtıda her yıkama adımında sistem üzerine yapılan işlere karşılık kayıp olarak sistemden çıkan ısılar dikkate alınmıştır.

Eşitlik (4.27)'de tüm yıkama adımları sürelerinin (t_1, t_2, t_3) toplamı t_0 kullanılarak net enerji ifadesi elde edilmiştir.

$$E_{net} = \left(\dot{W}_p - \dot{Q}_{k_1} \right) t_1 + \left(\dot{W}_p + \dot{W}_e - \dot{Q}_{k_2} \right) t_2 + \left(\dot{W}_p - \dot{Q}_{k_3} \right) t_3 \quad (4.26)$$

$$E_{net} = t_0 \cdot \left[\left(\dot{W}_p - \dot{Q}_{k_1} \right) \frac{t_1}{t_0} + \left(\dot{W}_p + \dot{W}_e - \dot{Q}_{k_2} \right) \frac{t_2}{t_0} + \left(\dot{W}_p - \dot{Q}_{k_3} \right) \frac{t_3}{t_0} \right] \quad (4.27)$$

4.3.3 Deney Sonuçlarının Analizi ve YE Amprik İfadesinin Elde Edilmesi

Tez çalışmasının bu bölümünde soğuk yıkama adımının süresi (t_1), ana yıkama adımında yıkama suyunun ulaştığı maksimum sıcaklık (T_{max}) ve bu sıcaklığa ulaşılmadan yıkamanın sonuna kadar geçen süre (t_3) faktör olarak belirlenmiş ve bu faktörlerin bağımlı değişken, yıkama endeksi (YE) üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla Bölüm 3.5'te ayrıntılı olarak anlatılan deney tasarımı metotlarından tam faktöriyel deney tasarımı, üç faktörün ikişer düzeyi dikkate alınarak ve orta nokta etkisi incelenebilecek şekilde tasarlanmış ve Minitab 15 programı ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir faktöre ait minimum ve maksimum düzeyler Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15 : DOE'de kullanılan faktörler ve düzeyleri.

Faktör	Düzy	
	Min	Max
t_1 (dk)	5	20
T_{max} (°C)	25	70
t_3 (dk)	30	90

Çizelge 4.15'te verilen faktörlerin düzeyleri için tam faktöriyel deney tasarımında iki tekrarlı testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlere ek olarak modelde eğriselliğin incelenebilmesi için t_1 , T_{max} ve t_3 faktörlerinin orta noktalarının kesişim noktası olan 12,5 dk, 47,5°C ve 60 dk değerinde üç teste ait sonuçlar analize ilave edilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda Minitab 15 programının verdiği sonuç çizelgesinin ayrıntıları Ek A'da verilmiştir.

Kabul edilen α risk seviyesine göre model sadeleştirilmiş ve güven aralığı içerisinde etkili olan faktörler ve etkileşimleri tespit edilmiştir. Çizelge 4.16'da analize ait sonuç sunulmaktadır.

Çizelge 4.16 incelendiğinde kurulan modelin, belirlenen faktörlerin yıkama endeksi üzerindeki etkisini %93,44 oranında açıklayabildiği görülmektedir.

Çizelge 4.16 : Tam faktöriyel deney tasarımı analiz sonucu.

Factorial Fit: YE versus Tmax; t1; t3					
Estimated Effects and Coefficients for YE (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3,62628	0,02346	154,55	0,000
Tmax	0,76619	0,38309	0,02557	14,98	0,000
t1	0,04317	0,02158	0,02557	0,84	0,414
t3	0,25719	0,12860	0,02557	5,03	0,000
Tmax*t1	-0,12950	-0,06475	0,02557	-2,53	0,025
Tmax*t3	-0,10971	-0,05486	0,02557	-2,15	0,051
S = 0,102278		PRESS = 0,334277			
R-Sq = 95,26%		R-Sq (pred) = 88,36%		R-Sq (adj) = 93,44%	

Bu çalışmada modelin açıklanabilirliği R -Sq değeri yerine analizde birden fazla faktör olması nedeniyle R -Sq (*adj*) değeri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bunun nedeni; R -Sq değerinin, analizde birden fazla faktör olması durumunda modelin bu faktörler ile açıklanabilirliğini gerçekte olduğundan daha fazla göstermesidir. R -Sq ve R -Sq (*adj*) formülasyonları Eşitlik (4.28) ve Eşitlik (4.29)'da verilmiştir [16].

$$R^2 = 1 - \left(\frac{SS_{Hata}}{SS_{Toplam}} \right) \quad (4.28)$$

$$R^2_{adj} = 1 - \left[\frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - k - 1} \right] \quad (4.29)$$

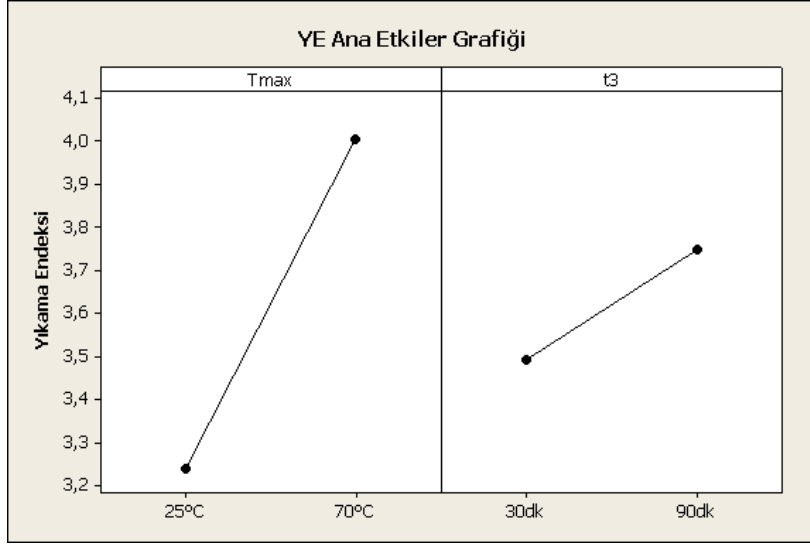
n : Deney sayısı

k : Modelde kullanılan sabit sayısı

Eşitlik (4.29)'da verilen R -Sq (*adj*) bağıntısı incelendiğinde, R -Sq'den farklı olarak, k ile belirtilen sabit sayının dikkate alınması ile modelin açıklanabilirliğinin daha doğru olarak ifade edildiği görülmektedir.

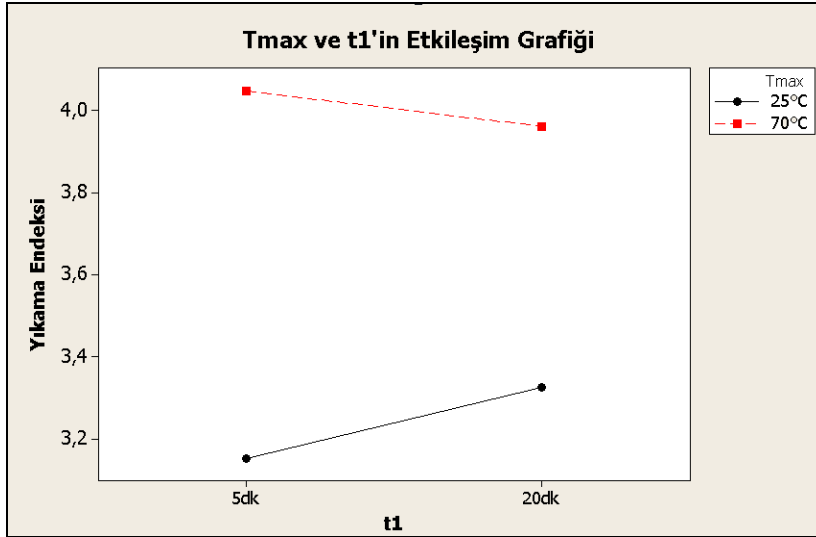
Çizelge 4.16 incelendiğinde, yıkama endeksi üzerinde yıkama suyu sıcaklığının (T_{max}) ve sıcak yıkama süresinin (t_3) ana etkileri olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, yıkama suyu sıcaklığı ile soğuk yıkama süresinin ve sıcak yıkama süresinin

($T_{max} * t_1$ ve $T_{max} * t_3$) ayrı ayrı etkileşimlerinin olduğu görülmüştür. Analize ait ana etkiler ve etkileşim grafikleri aşağıdaki Şekil 4.17 - Şekil 4.19'da sunulmuştur.



Şekil 4.17 : T_{max} ve t_3 'ün ana etkiler grafiği.

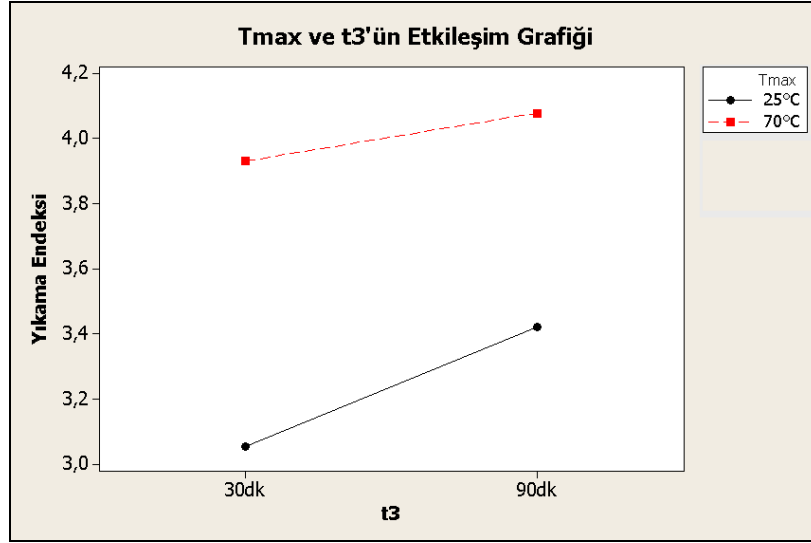
Şekil 4.17'de T_{max} ve t_3 faktörlerinin yıkama endeksi üzerinde ayrı ayrı etkilerinin olduğu görülmektedir. Buna göre, ana yıkama suyunun ulaştığı maksimum sıcaklık ve bu sıcaklıktan sonraki yıkama süresinin artması bulaşık makinasının yıkama endeksini artmaktadır.



Şekil 4.18 : T_{max} ve t_1 'in etkileşim grafiği

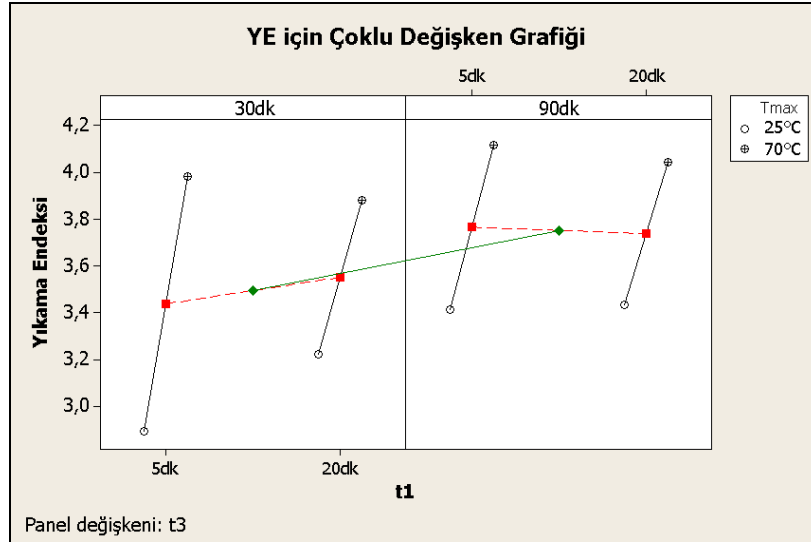
Şekil 4.18'de gösterilen T_{max} ve t_1 'in ikili etkileşim grafiğinde soğuk yıkama süresinin artması ile birlikte, maksimum su sıcaklığı 25°C koşulunda yıkama etkinliği artmaktadır. Bu durumun; düşük yıkama sıcaklığının yıkama performansı açısından olumsuz bir koşul olması nedeniyle, soğuk yıkama süresinin artması ile

yıkama performansı üzerindeki etkisinin belirginleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yıkama performansının yüksek olduğu 70°C koşulunda ise, soğuk yıkama süresinin etkisi kaybolmaktadır.



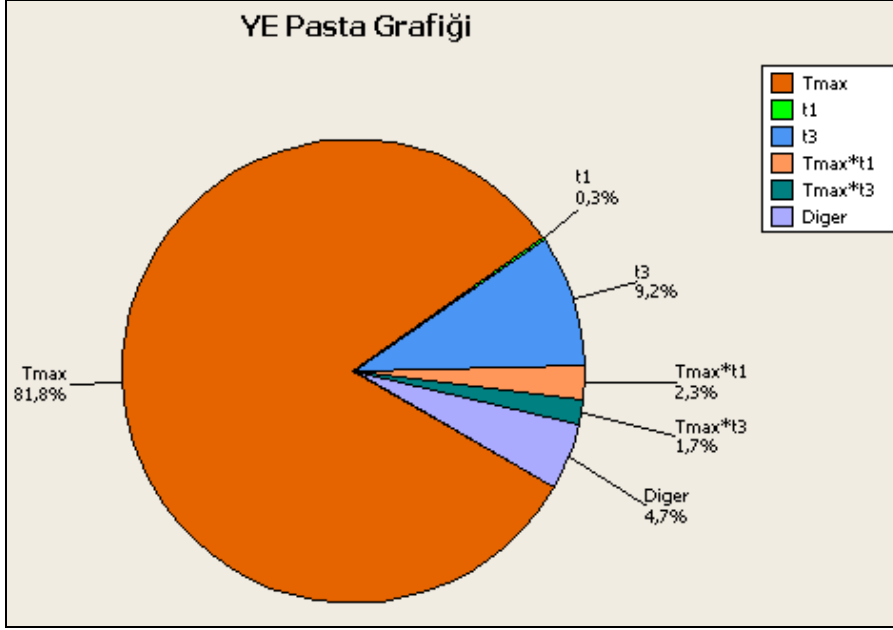
Şekil 4.19 : T_{max} ve t_3 'ün etkileşim grafiği.

T_{max} ve t_3 'ün ikili etkileşimi incelendiğinde ise yukarıdakine benzer şekilde 25°C koşulundaki yıkama endeksi farkı çok daha belirgin olmaktadır.



Şekil 4.20 : YE için çoklu değişken grafiği.

Şekil 4.20'de yıkama endeksi üzerinde etkili olan ana etkiler ve etkileşimlerin birlikte incelenebileceği bir gösterim sunulmuştur. Buna göre en iyi yıkama endeksi değerinin beklenildiği gibi maksimum su sıcaklığının 70°C ve sıcak yıkama adımının 90 dakika olduğu koşulda elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 4.21 : YE pasta grafiği.

Şekil 4.21’de sunulan pasta grafiği incelendiğinde; Çizelge 4.15’te verilen sınırlar dahilinde modelde kullanılan faktör ve faktör etkileşimlerinden yıkama suyu sıcaklığının modeli %81,8 oranında açıkladığı ve bunu takiben sıcak yıkama süresinin ise modeli %9,2 oranında açıkladığı görülmektedir. Bunlara ek olarak su sıcaklığı ve soğuk yıkama süresi etkileşimi %2,3 ve su sıcaklığı ve sıcak yıkama süresi etkileşimi %1,7 oranında açıklamaktadır. Analiz başında belirlenen faktörler ile yıkama endeksinin yaklaşık %94 gibi yüksek bir oranda açıklanabildiği, açıklanamayan kısmın yaklaşık %5 civarında kaldığı belirlenmiştir.

Tüm bu incelemeler sonucunda; minimum ve maksimum düzeylerin sırasıyla -1 ve +1, orta noktanın ise 0 olarak kodlanması ile elde edilen model aşağıda sunulmuştur.

$$YE_m = 3,626 + 0,383T_{\max} + 0,02t_1 + 0,13t_3 - 0,07T_{\max}t_1 - 0,06T_{\max}t_3$$

Yine aynı programın çıktısı olarak, faktör düzeylerinin kodlanmaksızın Çizelge 4.15’te verildiği gibi incelenmesi durumunda analiz çıktısı değişmemekte, sadece kurulan modeldeki ana etkilerin ve etkileşimlerin katsayıları değişmektedir. Bu şekilde elde edilen model Eşitlik (4.30) ile verilmiştir.

$$YE_m = 2,065 + 0,027T_{\max} + 0,021t_1 + 0,008t_3 - 3,837 \cdot 10^{-4}T_{\max}t_1 - 8,127 \cdot 10^{-5}T_{\max}t_3 \quad (4.30)$$

Kurulan model ile elde edilen eşitliğin tüm yıkama adımları sürelerinin (t_1, t_2, t_3) toplamı t_0 ile ifade edilmesi halinde Eşitlik (4.31) ve Eşitlik (4.32) elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}
 YE_m = 2,065 + 0,027T_{\max} + t_0 \left(0,021 \frac{t_1}{t_0} + 0,008 \frac{t_3}{t_0} \right. \\
 \left. - 3,837 \cdot 10^{-4} T_{\max} \frac{t_1}{t_0} - 8,127 \cdot 10^{-5} T_{\max} \frac{t_3}{t_0} \right) \quad (4.31)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 YE_m = 2,065 + 0,027T_{\max} + t_0 \left[\left(0,021 - 3,837 \cdot 10^{-4} T_{\max} \right) \frac{t_1}{t_0} \right. \\
 \left. + \left(0,008 - 8,127 \cdot 10^{-5} T_{\max} \right) \frac{t_3}{t_0} \right] \quad (4.32)
 \end{aligned}$$

5. SONUÇLAR

Günümüzde küresel ısınmaya bağlı olarak doğal kaynakların kısıtlı hale gelmesi ile enerjinin verimli kullanımı endüstriyel ve akademik çalışmaların odak noktası olmuştur. Elektrikli ev aletlerine bakıldığında; üretim aşamasından hurda haline gelinceye kadar geçen; hammadde temini, üretim, nakliye, kullanım ve makinanın hurdaya ayrılması süreçlerinin tamamında çevreye olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bulaşık makinaları özelinde ise, kullanım sürecinde enerji ve su tüketimine bağlı olarak olumsuz etkisi maksimuma ulaşmaktadır.

Bulaşık makinalarının çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla yıkama performansını olumsuz yönde etkilemeden, enerji ve su tüketiminin optimizasyonu çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonunda elde edilen sonuçların tüm üretici firmaların karşılıklı olarak değerlendirilebilmesi ve tüketicinin bilinçlendirilebilmesi için pek çok standart çalışması vardır. Yıkama performansı ve enerji tüketiminin sınıflandırılabilmesi için geliştirilen EN 50242 standardı bütün üretici firmalar tarafından kullanılmakta ve enerji ve yıkama performansı sınıfı etiketlendirmesi bu standarda göre yapılmaktadır.

Enerji tüketiminin azaltılması ve yıkama performansının iyileştirilmesi konusunda yapılan çalışmalarda, elde bulaşık yıkamanın otomatik makinalar ile karşılaştırılması başlıklarına rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda harcanan süre ve emeğe rağmen, enerji ve su tüketiminden bağımsız olarak yıkama performanslarında tatmin edici sonuçlara ulaşamadığı gösterilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan elde yıkama testlerinde de benzer şekilde tüketim değerleri ile yıkama performansı arasında bir ilişki kurulamadığı gibi, yüksek su tüketimi ve uzun yıkama sürelerine rağmen düşük yıkama performansları elde edilebildiği görülmüştür.

Elde yıkamayı sistematik bir şekilde gerçekleştiren otomatik bulaşık makinalarında yıkama prosesi; soğuk yıkama, sıcak yıkama, durulama ve kurutma adımlarından oluşmaktadır. Soğuk yıkama adımında şebekeden gelen suyun bulaşıklar üzerindeki kiri yumuşatmasının ardından sıcak yıkama adımında yüksek sıcaklık, deterjan ve mekanik etkinin bir arada kullanımıyla temizleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yıkama

ortamında kalan kir ve deterjanın bulaşıklar üzerinden uzaklaştırılması için şebekeden gelen su ile belli bir süre ve sıcaklıkta durulama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu adımların sonunda bulaşıkların kullanıma hazır hale gelmesi için kurutma adımıyla bulaşıklar üzerindeki nemin alınması ile proses sonlandırılmaktadır.

Yıkama adımlarının enerji tüketimi ve yıkama performansının ilişkilendirilmesi amacıyla yapılan bu tez çalışmasında soğuk yıkama, ısıtma ve sıcak yıkama adımlarının ısıl analizi yapılmıştır. Analizlerde makinanın farklı bölgelerine toplam 18 adet termoeleman yerleştirilerek yapılan sıcaklık ölçümleri ile yıkama adımlarının enerji dengeleri kurulmuş ve her bir adımda sistem sınırlarından çevreye olan ısı kayıpları hesaplanmıştır. Bu kayıplar dikkate alınarak kirlerin bulaşıklardan uzaklaştırılması için makina tarafından kullanılan net enerji tariflenmiş ve su sirkülasyon pompası gücü, elektrikli ısıtıcı gücü ve ısı kayıpları ile yıkama adımlarının sürelerine bağlı bir ifade elde edilmiştir.

$$E_{net} = t_0 \cdot \left[\left(\dot{W}_p - \dot{Q}_{k_1} \right) \frac{t_1}{t_0} + \left(\dot{W}_p + \dot{W}_e - \dot{Q}_{k_2} \right) \frac{t_2}{t_0} + \left(\dot{W}_p - \dot{Q}_{k_3} \right) \frac{t_3}{t_0} \right]$$

Tez çalışmasının son kısmında ise yıkama endeksine etki eden parametrelerin ve etkilerinin tespit edilebilmesi amacıyla tam faktöriyel deney tasarımı metotları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Soğuk ve sıcak yıkama adımlarının süreleri ile yıkamada ulaşılan maksimum su sıcaklığı etkileri araştırılacak faktörler olarak seçilmiştir. Analiz sonucunda yıkama endeksi için oluşturulan modelde etkisi en yüksek faktörün yıkama suyu sıcaklığı olduğu, bunu sıcak yıkama süresi, su sıcaklığı ve soğuk yıkama süresi etkileşimi ile su sıcaklığı ve sıcak yıkama süresi etkileşiminin takip ettiği belirlenmiştir.

$$YE_m = 2,065 + 0,027T_{max} + t_0 \left[\left(0,021 - 3,837 \cdot 10^{-4} T_{max} \right) \frac{t_1}{t_0} + \left(0,008 - 8,127 \cdot 10^{-5} T_{max} \right) \frac{t_3}{t_0} \right]$$

Oluşturulan bu model, soğuk ve sıcak yıkama süreleri ile maksimum su sıcaklığının yıkama endeksi üzerinde etkisini yaklaşık % 94 oranında açıklamaktadır.

Yapılan tez çalışması sonunda, yıkama parametrelerine bağlı olarak enerji ve yıkama performansı ifadeleri elde edilmiştir. Bu ifadelerin kullanımı ile yıkama adımı süreleri ve sıcaklık değerleri bilinen bir programın yıkama adımıyla tüketilecek enerji ve yıkama endeksi değerlerinin öngörülmesi mümkün olacaktır.

Bu alışma, güç değerleri sabit olan su sirkülasyon pompası ve elektrikli ısıtıcı ile gerçekleştirilmiştir. Bulaşık makinasında enerji tknetimi – yıkama endeksi ilişkisinin geliştirilmesi için yapılacak çalışmalarda bu iki elemanın değişik g düzeylerinde incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

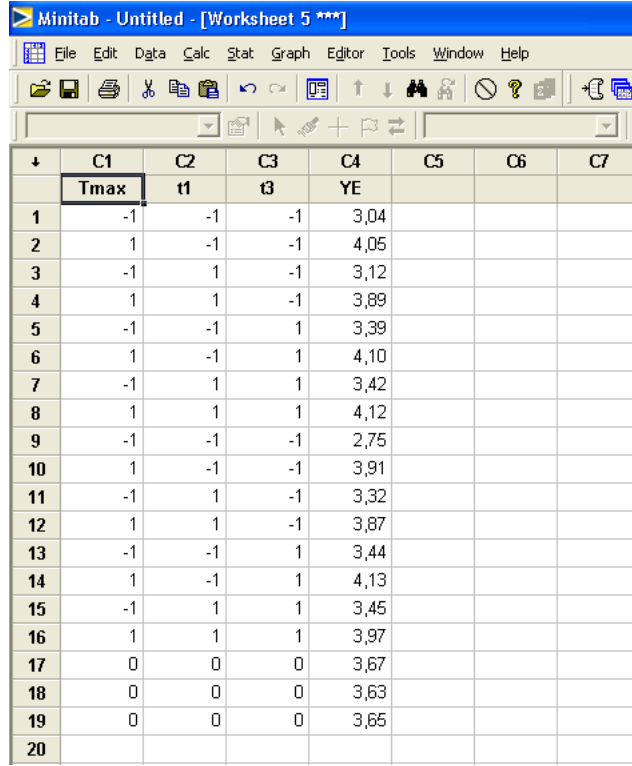
- [1] **Url-1** <<http://www.sophisticatededge.com/who-invented-the-dishwasher.html>>, son erişim tarihi 23.04.2010.
- [2] **Livens, W.H.**, 1924. Improvements in apparatus for washing household crockery and the like, *French patent*, No: 579765 dated 23.10.1924.
- [3] **Url-2** <<http://www.ceced.org/>>, Energy and environment, son erişim tarihi 11.05.2010.
- [4] **Rosen, M.J.**, 1989. Surfactants and interfacial phenomena. John Wiley&Sons, New York.
- [5] **Cox, M. F.**, 1986. Surfactants for hard surface cleaning: Mechanisms of solid soil removal, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 63, 559-565.
- [6] **Verma, S. ve Kumart, V. V.**, 1998. Relationship between oil-water interfacial tension and oily soil removal in mixed surfactant systems, *Journal of Colloid and Interface Science*, **207**, 1-10.
- [7] **Stamminger, R.**, 2004. Is a machine more efficient than the hand?. <http://www.homeenergy.org/article_preview.php?id=180&article_title=Is_a_Machine_More_Efficient_Than_the_Hand?>, son erişim tarihi 16.02.2010.
- [8] **Stamminger, R.**, 2007. Facts and figures on cleaning of dishes by hand and machine in Germany, *International Detergency Conference 43rd.*, Almanya, s.79-90.
- [9] **Arçelik A.Ş.**, 2006. Ankara Bulaşık Makinesi İşletmesi-Ürün Geliştirme Bölümü Ürün Tanımları Dökümanı.
- [10] **MEGEP**, 2007. Elektrik elektronik teknolojisi, Ankara.
- [11] **De Paepe, M., Theuns, E., Lenaers, S. ve Loon J.V.**, 2003. Heat recovery system for dishwashers, *Applied Thermal Engineering*, **23**, 743-756.
- [12] **Waidea, P, Lebotb, B. ve Hinnellsc, M.**, 1997. Appliance energy standards in Europe, *Energy and Buildings*, **26**, 45-67.
- [13] **Persson, T.**, 2007. Dishwasher and washing machine heated by a hot water circulation loop, *Applied Thermal Engineering*, **27**, 120-128.
- [14] **Persson, T. ve Ronnelid M.**, 2007. Increasing solar gains by using hot water to heat dishwashers and washing machines. *Applied Thermal Engineering*, **27**: 646-657.
- [15] **Dean, V. ve Voss, D.**, 1999. Design and analysis of experiments, pp. 8-14, Springer, New York.
- [16] **Arçelik A.Ş.**, 2008. Altı Sigma Karakuşak Eğitim Notları, İstanbul.

- [17] **Doebelin, E. O.**, 1995. Engineering experimentation planning execution reporting. pp 226-239. McGraw Hill, New York.
- [18] **Minitab 15**, 2007. Tutorials, yazılım programı.
- [19] **Url-3**, 2004. Important terminology in DOE, <<http://www.acc.umu.se/~tnkjtg/chemometrics/editorial/aug20023.html>>, son erişim tarihi 16.05.2010.
- [20] **Minitab**, Technical support document – What’s orthogonality?. <<http://www.minitab.com/support/documentation/answers/What%20is%20Orthogonality.pdf>> son erişim tarihi 16.05.2010.
- [21] **Ersoy, E.**, 2010, Kişisel görüşme.
- [22] **EN 50242**, 2005. Electric dishwashers for household use: Test methods for measuring the performance, European Standart, Brussels.
- [23] **Özbek, H. ve Keskin, S.**, 2007. Standart sapma mı yoksa standart hata mı? *Van Tıp Dergisi*, **14**(2):64-67.
- [24] **Url-4**, 2009. Statistics Tutorial: Estimate Regression Slope, <<http://stattrek.com/AP-Statistics-4/Estimate-Slope.aspx?Tutorial=Stat>> , son erişim tarihi 16.05.2010.

EKLER

EK A. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı Analizleri

Tez çalışması kapsamında yapılan analizler, yaygın bir istatistik programı olan Minitab programında hazırlanmıştır. T_{max} , t_1 ve t_3 faktörleri iki düzeyli ve orta noktalı olarak tam faktöriyel deney tasarımı ile incelenmiştir. Deney tasarımına ait çalışma sayfası Şekil A.1’de verilmiştir.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	T_{max}	t_1	t_3	YE			
1	-1	-1	-1	3,04			
2	1	-1	-1	4,05			
3	-1	1	-1	3,12			
4	1	1	-1	3,89			
5	-1	-1	1	3,39			
6	1	-1	1	4,10			
7	-1	1	1	3,42			
8	1	1	1	4,12			
9	-1	-1	-1	2,75			
10	1	-1	-1	3,91			
11	-1	1	-1	3,32			
12	1	1	-1	3,87			
13	-1	-1	1	3,44			
14	1	-1	1	4,13			
15	-1	1	1	3,45			
16	1	1	1	3,97			
17	0	0	0	3,67			
18	0	0	0	3,63			
19	0	0	0	3,65			
20							

Şekil A.1 : Minitab deney tasarımı çalışma sayfası.

Şekil A.1’de sunulan çalışma sayfası kullanılarak; t_1 , t_3 ve T_{max} faktörlerinin yıkama endeksine etkisinin olup olmadığının araştırılması için Minitab programında yapılan analiz sonucu aşağıda sunulmuştur.

Çizelge A.1 : Tam faktöriyel deney tasarımı analiz sonucu.

Factorial Fit: YE versus Tmax; t1; t3

Estimated Effects and Coefficients for YE (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3,62230	0,02320	156,13	0,000
Tmax	0,76619	0,38309	0,02320	16,51	0,000
t1	0,04317	0,02158	0,02320	0,93	0,374
t3	0,25719	0,12860	0,02320	5,54	0,000
Tmax*t1	-0,12950	-0,06475	0,02320	-2,79	0,019
Tmax*t3	-0,10971	-0,05486	0,02320	-2,36	0,040
t1*t3	-0,07014	-0,03507	0,02320	-1,51	0,162
Tmax*t1*t3	0,08453	0,04227	0,02320	1,82	0,098
Ct Pt		0,02518	0,05839	0,43	0,675

S = 0,0928030 PRESS = 0,343993
R-Sq = 97,00% R-Sq(pred) = 88,02% R-Sq(adj) = 94,60%

Tam faktöriyel deney tasarımı analizi sonuçları incelendiğinde, Minitab çıktısı olarak verilen ilk sonuç tablosunda; tüm faktörler ve bu faktörlerin aralarındaki ikili ve üçlü etkileşimler için ilk olarak bir etki değerinin (*Effect*) hesaplandığı görülmektedir. Etki değerinin hesaplanmasında Eşitlik (A.1) kullanılmaktadır [16].

$$Etki_A = \frac{\sum(y)_{A=+1}}{n_{A=+1}} - \frac{\sum(y)_{A=-1}}{n_{A=-1}} \quad (A.1)$$

$\sum(y)_{A=+1}$: A = +1 koşulundaki çıktılarının toplamı

$n_{A=+1}$: A = +1 koşulundaki gözlem sayısı

$\sum(y)_{A=-1}$: A = -1 koşulundaki çıktılarının toplamı

$n_{A=-1}$: A = -1 koşulundaki gözlem sayısı

Verilen analiz sonucu incelendiğinde T_{max} faktörünün çıktı üzerindeki etkisi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Etki_{T_{max}} = \frac{(4,05 + 3,89 + 4,10 + 4,12 + 3,91 + 3,87 + 4,13 + 3,97)}{8} - \frac{(3,04 + 3,12 + 3,39 + 3,42 + 2,75 + 3,32 + 3,44 + 3,45)}{8}$$

$$Etki_{T_{max}} = \frac{32,04}{8} - \frac{25,91}{8}$$

$$Etki_{T_{max}} = 0,76625$$

Benzer şekilde t_1 ve t_3 faktörlerinin yıkama endeksi üzerine etkisi de aynı eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır. Faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin yıkama endeksi üzerine etkilerinin hesaplanması için ise; yukarıdaki çizelge etkileşimlere göre tekrar düzenlenmektedir. Şekil A.1'de verilen çalışma sayfasının etkileşimlerin etkisinin hesaplanması için tekrar düzenlenmiş hali Şekil A.2'de görülmektedir.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Tmax	t1	t3	Tmax*t1	Tmax*t3	t1*t3	Tmax*t1*t3	YE	
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	3,04	
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	4,05	
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	3,12	
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	3,89	
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	3,39	
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	4,10	
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	3,42	
8	1	1	1	1	1	1	1	4,12	
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	2,75	
10	1	-1	-1	-1	-1	1	1	3,91	
11	-1	1	-1	-1	1	-1	1	3,32	
12	1	1	-1	1	-1	-1	-1	3,87	
13	-1	-1	1	1	-1	-1	1	3,44	
14	1	-1	1	-1	1	-1	-1	4,13	
15	-1	1	1	-1	-1	1	-1	3,45	
16	1	1	1	1	1	1	1	3,97	
17	0	0	0	0	0	0	0	3,67	
18	0	0	0	0	0	0	0	3,63	
19	0	0	0	0	0	0	0	3,65	
20									

Şekil A.2 : Etkileşimlerin yıkama endeksi üzerindeki etkisi.

T_{max} , t_1 ve t_3 faktörlerinin etkileşimlerinin çıktı üzerindeki etkilerinin incelenmesi için Eşitlik A.1 aynı şekilde kullanılabilir. Buna göre T_{max} ve t_1 etkileşiminin etkisi ($T_{max} * t_1$) aşağıda hesaplanmıştır.

$$Etki_{T_{max} * t_1} = \frac{(3,04 + 3,89 + 3,39 + 4,12 + 2,75 + 3,87 + 3,44 + 3,97)}{8} - \frac{(4,05 + 3,12 + 4,10 + 3,42 + 3,91 + 3,32 + 4,13 + 3,45)}{8}$$

$$Etki_{T_{max} * t_1} = \frac{28,46}{8} - \frac{29,50}{8}$$

$$Etki_{T_{max} * t_1} = -0,13$$

Hesaplamalar sonucunda $T_{max}^* t_l$ etkileşiminin yıkama endeksi üzerindeki etkisi -0,13 olarak tespit edilmiştir.

Etki kolununun Eşitlik (A.1) ile her bir faktör ve faktörlerin etkileşimleri için hesaplanmasının ardından katsayı kolununun hesaplanması için Eşitlik (A.2)'den faydalanılmaktadır [16].

$$Katsayı = \frac{Etki}{2} \quad (A.2)$$

Katsayı değerlerinin hesaplanmasından sonra, katsayısının standart hatası (*SE Coefficient*) kolonu hesaplanmaktadır. Katsayının standart hatası; elde edilen katsayıların kesinliğinin bir göstergesi olup, her zaman pozitif değere sahiptir. Bu değer küçülmesi, yapılan tahminlerin kesinliğinin arttığını göstermektedir.

Burada standart sapma ile standart hatanın farklı tanımlar olduğunu belirtmek gerekmektedir. Standart sapma bir çalışma grubundaki her bir verinin ortalamaya göre ne kadar uzaklıkta olduğunu, yani bir diğer deyişle dağılımın ne yaygınlıkta olduğunu gösteren bir ölçüttür. Standart hata ise aynı populyondan seçilecek, aynı büyüklükteki örneklerin ortalamalarının yayılmasını gösteren ölçüttür. Ortalamanın standart hatası, ortalamanın dağılımındaki varyasyonu göstermekte ve örneklem sayısının artışı ile küçülmektedir [23]. Standart hatanın küçük olması populyon parametresine ait yapılacak olan tahminlerin kesinliği ve güven aralığının sınırlarının bulunması açısından önemlidir [18].

Katsayının standart hatası, katsayı değerinin önemli ölçüde sıfırdan farklı olduğunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Başka bir anlatımla, faktörün çıktı üzerinde etkili olup olmadığını belirten parametredir. Katsayının standart hatasının (KSH) formülü Eşitlik (A.3)'teki gibi verilmektedir [24].

$$KSH = \frac{\sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-2}}}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (A.3)$$

y_i : i gözlemindeki bağımlı değişken değeri

\bar{y}_i : i gözlemindeki bağımlı değişkenin hesaplanan değeri

x_i : i gözlemindeki bağımsız değişken değeri

\bar{x} : bağımsız değişkenin ortalama değeri

n : gözlem sayısı

Eşitlik (A.3)'te \bar{y}_i yıkama endeksinin; T_{max} , t_1 ve t_3 cinsinden ifadesi olup, bu değerlerin hesaplanabilmesi için analiz sonucunda elde edilen aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır. Eşitlikteki katsayılar (*Coefficients*), Çizelge A.1'den analiz sonucunun sunulduğu tablodan alınmaktadır.

$$YE_hesap = 3,622 + 0,383T_{max} + 0,02t_1 + 0,13t_3 - 0,07T_{max}t_1 \\ - 0,06T_{max}t_3 - 0,04t_1t_3 + 0,04T_{max}t_1t_3$$

Bu denklem kullanılarak hesaplanan yıkama endeksi değeri ve gerçek yıkama endeksi değeri kullanılarak Çizelge A.2 hazırlanmıştır.

Çizelge A.2 : KSH değerleri hesaplama sonuçları.

Tmax	t1	t3	YE	YE_hesap	(YE - YE_hesap) ²
-1	-1	-1	3,04	2,89	0,02070
1	-1	-1	4,05	3,98	0,00467
-1	1	-1	3,12	3,22	0,01088
1	1	-1	3,89	3,88	0,00012
-1	-1	1	3,39	3,41	0,00063
1	-1	1	4,10	4,12	0,00021
-1	1	1	3,42	3,43	0,00021
1	1	1	4,12	4,04	0,00518
-1	-1	-1	2,75	2,89	0,02070
1	-1	-1	3,91	3,98	0,00467
-1	1	-1	3,32	3,22	0,01088
1	1	-1	3,87	3,88	0,00012
-1	-1	1	3,44	3,41	0,00063
1	-1	1	4,13	4,12	0,00021
-1	1	1	3,45	3,43	0,00021
1	1	1	3,97	4,04	0,00517
0	0	0	3,67	3,62	0,00219
0	0	0	3,63	3,62	0,00001
0	0	0	3,65	3,62	0,00063
TOPLAM					0,08803

Çizelge A.2'deki hesaplamalardan yararlanılarak katsayıların standart hatası Eşitlik (A.3) ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$KSH = \frac{\sqrt{0,08803}}{\sqrt{16-2}} \Rightarrow KSH = 0,02$$

Bu şekilde katsayıların standart hatası hesaplandıktan sonra t değerlerinin bulunması için verilen Eşitlik (A.4) kullanılmaktadır.

$$t - \text{değeri} = \frac{\text{Katsayı}}{KSH} \quad (\text{A.4})$$

Katsayının, kendi standart sapmasına bölümü t-değerinin vermektedir. Bulunan bu t istatistiği ile p değeri t dağılım tabloları kullanılarak belirlenmektedir.

Belirlenen p değeri ile, Bölüm 3.5'te ayrıntılı olarak anlatılan hipotez testleri değerlendirilir. Yukarıda sunulan analiz sonuçları incelendiğinde, orta noktanın (Ct Pt) yıkama endeksi üzerindeki etkisi için belirlenen p değerinin 0,675 olduğu görülmektedir. Buna göre; $p > \alpha \Rightarrow 0,675 > 0,05$; H_0 hipotezini red etmeme kararı alınmalıdır. Yani, orta nokta etkisinin yıkama endeksi üzerinde etkisinin olmayabileceği, etkili denmesi durumunda alınacak riskin %67,5 olacağı söylenmektedir. Bu risk, mühendislik analizlerinde 0,05 (%95 güven aralığı) olarak kabul edilen α risk değerinin üzerinde olduğu için orta nokta etkisi modelden çıkartılarak analiz tekrarlanır.

Yapılan hesaplamalar bütün faktör ve etkileşimleri için tekrarlanarak modelde etkili olan parametreler ve katsayıları belirlenmiştir. Oluşturulan model Bölüm 4.3.3'te sunulmuştur.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Erman TUTKAK

Doğum Yeri ve Tarihi: Afyon, 07.01.1982

Lisans Üniversitesi: İTÜ Makina Mühendisliği



Yayın Listesi:

- Ülger, Z., **Tutkak, E.**, Birci, E., Güneri, M., Kaya, Ö., 2010: A Dishwasher. *Avrupa patenti*, No: 2185052, 19.05.2010.
- Güneri, M., Ülger, Z., Tatar, H., **Tutkak, E.**, 2010: A Household appliance using ozone gas. *Dünya patenti*, No:2010052146, 14.05.2010.
- Ülger, Z., **Tutkak, E.**, Elgün, M., Kaya, M., Özgürel, G., 2010: Dishwasher using ozone water. *Dünya patenti*, No:2010049318, 06.05.2010.
- Ülger, Z., **Tutkak, E.**, Birci, E., 2010. A Washing machine. *Dünya patenti*, No: 2010003944, 14.01.2010.
- Ülger, Z., **Tutkak, E.**, Avcı, Ş., Yıldız, E., Birci, E., Güneri, M., 2009. A Washing machine. *Dünya patenti*, No:2009132952, 05.11.2009.