

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİÜRETAN KÖPÜK MALZEMENİN
BULAŞIK MAKİNELERİNDE KULLANIMININ
FİZİKSEL ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
İNCELEMESİ**

Ender OĞUZ

Şubat, 2025

İZMİR

**POLİÜRETAN KÖPÜK MALZEMENİN
BULAŞIK MAKİNELERİNDE KULLANIMININ
FİZİKSEL ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
İNCELEMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Yüksek Lisans Programı

Ender OĞUZ

Şubat, 2025

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ENDER OĞUZ tarafından **PROF.DR. YUSUF ARMAN** yönetiminde hazırlanan
**“POLİÜRETAN KÖPÜK MALZEMENİN BULAŞIK MAKİNELERİNDE
KULLANIMININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELEMESİ”**
başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans
tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Yusuf ARMAN

Danışman

Doç. Dr. Okan ÖZDEMİR

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Hamza TAŞ

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Abdullah SEÇGİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda yol gösteren, önerileri ve tavsiyeleriyle daha iyiye ulaşmamı sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yusuf ARMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmadaki laboratuvar ölçümleri VESTEL Beyaz Eşya Bulaşık Makinesi Fabrikası Ar-Ge Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Konu ile ilgili Sayın Okan BALKAN ve Sayın Ömer Berhan ERİK'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmam sırasında teknik konularda ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Ümit Ufuk YAŞAR, Sayın Uğur Doğan Can DALBUDAK ve Sayın Soner BALTALI'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan, sevgi ve sabırla her an yanımda olan değerli annem Şengül OĞUZ'a teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte bana sağladığı manevi destek bu çalışmanın tamamlanmasında büyük etken oldu.

Ender OĞUZ

POLİÜRETAN KÖPÜK MALZEMENİN BULAŞIK MAKİNELERİNDE KULLANIMININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELEMESİ

ÖZ

Beyaz eşyalar, modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası olup günlük yaşantımızı önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır. Ancak, bu cihazların dünya genelinde büyük miktarlarda enerji tüketmesi, sürdürülebilirlik açısından önemli bir endişe kaynağı teşkil etmektedir. Özellikle enerji verimliliği düşük beyaz eşyaların kullanılmaya devam etmesi, küresel enerji tüketimini artırmakta ve doğal kaynakların aşırı kullanımına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, beyaz eşyaların enerji tüketimi dünya genelindeki enerji talebi ve çevresel etkiler açısından önemli bir faktördür. Bu alandaki sürdürülebilirlik çabaları, daha verimli ürünlerin geliştirilmesi ve kullanımının teşvik edilmesi yoluyla önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, bulaşık makinelerinin enerji verimliliğini artırmak için alternatif yalıtım malzemelerinin kullanımı da önem kazanmaktadır. Bu çalışma ev tipi bulaşık makinelerinde enerji verimliliğini arttırmak adına, yalıtım malzemesi olarak poliüretan köpük kullanımının enerji verimliliğine ve akustik yalıtıma etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada bulaşık makinelerinde mevcut yalıtım malzemeleri ve poliüretan köpük malzemeler sonlu elemanlar analizi ve laboratuvar koşullarında test edilip karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda bulaşık makinelerinde yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımı, termal izolasyonu artırarak enerji tüketimini düşürmüş ve kurutma performansını iyileştirmiştir. Ancak, akustik açıdan yeterli bir çözüm sunmamıştır.

Anahtar kelimeler: Akustik yalıtım, termal yalıtım, poliüretan, yalıtım, bulaşık makinesi

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF USING POLYURETHANE FOAM MATERIAL IN DISHWASHERS ON PHYSICAL PROPERTIES

ABSTRACT

Household appliances are an indispensable part of modern life, significantly facilitating our daily routines. However, the substantial energy consumption of these devices worldwide raises serious concerns regarding sustainability. In particular, the continued use of low-energy-efficiency household appliances increases global energy consumption and leads to excessive exploitation of natural resources. Therefore, the energy consumption of household appliances is a critical factor in terms of global energy demand and environmental impact. Sustainability efforts in this field contribute significantly through the development and promotion of more efficient products. In this context, the use of alternative insulation materials to improve the energy efficiency of dishwashers has gained importance. This study aims to examine the impact of using polyurethane foam as an insulation material on the energy efficiency and acoustic performance of household dishwashers. In the study, existing insulation materials and polyurethane foam materials were tested and compared through finite element analysis and laboratory conditions. Studies have shown that the use of polyurethane as an insulation material in dishwashers enhances thermal insulation, reducing energy consumption and improving drying performance. However, it has not provided a sufficient solution in terms of acoustics.

Keywords: Acoustic isolation, thermal isolation, polyurethane, isolation, dishwasher

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xii
KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Çalışmanın Planı.....	2
BÖLÜM İKİ - ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1 Bulaşık Makinesi Kavramı	4
2.2 Bulaşık Makinesinin Parçaları ve Çalışma Prensibi.....	4
2.3 Enerji Verimliliği Kavramı.....	6
2.4 Bulaşık Makinelerinde Kullanılan Yalıtım Malzemeleri	9
2.4.1 Sert Poliüretan Köpük.....	10
2.4.2 Esnek Poliüretan Köpük	10
2.4.3 Püskürtme Poliüretan Köpük (SPF).....	11
BÖLÜM ÜÇ - LABORATUVAR TESTLERİ	12
3.1 Ölçüm Düzenegi ve Ekipmanları.....	12
3.2 Sıcaklık ve Enerji Ölçümleri	15
3.3 Kurutma Testleri.....	20
3.3.1 Kurutma Hesaplaması.....	21

BÖLÜM DÖRT - SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	23
4.1 Modelleme	23
4.2 Analiz Bilgileri	25
4.2.1 Kabuller.....	25
4.2.2 Malzeme Özellikleri.....	25
4.2.3 Mesh Yapısı	26
4.2.4 Küvet İç Yüzey Sıcaklığı	30
4.2.5 Konveksiyonel Isı Transferi Sabiti	30
4.2.6 Zaman Adımı Hesabı	32
4.3. Durumların Modellenmesi.....	35
4.3.1 Durum 1	35
4.3.2 Durum 2	35
4.3.2 Durum 3	36
4.3.2 Durum 4	37
BÖLÜM BEŞ - AKUSTİK TESTLERİ	38
5.1. Test Bilgileri	39
5.2. Akustik Test Ortam Koşulları.....	41
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	43
6.1 Laboratuvar Testleri ve Ölçümleri.....	43
6.1.1 Laboratuvar Sıcaklık Ölçümleri.....	43
6.1.2 Laboratuvar Enerji Ölçümleri	46
6.1.3 Kurutma Test Sonuçları	47
6.2 Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları.....	50
6.2.1 Yan Panel Yüzey Sıcaklığı	50
6.2.2 Küvet Yüzeyi Isı Transferi.....	51
6.2.3 Sistemde Depolanan Enerji.....	52
6.3 Akustik Test Sonuçları	53
6.4 Değerlendirme	57
EKLER.....	58

Ek-1 Sofra takımı öğelerinin özellikleri	58
KAYNAKLAR	59



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Hidrolik Şema	5
Şekil 2.2 Havuz Grubu Detay Görseli.....	6
Şekil 2.3 Bulaşık Makinesi Enerji Etiketi (Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2017)	8
Şekil 3.1 Test Panoları ve Test Düzeneği (Kişisel arşiv, 2025).....	12
Şekil 3.2 Kullanılan Deterjan ve Patlatıcı (Kişisel arşiv, 2025)	13
Şekil 3.3 Alt Sepet yerleşimi (Kişisel arşiv, 2025)	14
Şekil 3.4 Üst Sepet Yerleşimi (Kişisel arşiv, 2025).....	15
Şekil 3.5 Durum 1 Yalıtımsız olması durumu(Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)	16
Şekil 3.6 Durum 1 Yalıtımsız olması durumu(Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)	16
Şekil 3.7 Durum 2 Mevcut durum (Sol) (Kişisel arşiv, 2025)	17
Şekil 3.8 Durum 2 Mevcut durum (Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)	17
Şekil 3.9 Durum 3 Sert Poliüretan Malzeme(Sol) (Kişisel arşiv, 2025).....	18
Şekil 3.10 Durum 3 Sert Poliüretan Malzeme(Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)	18
Şekil 3.11 Durum 4 Esnek Poliüretan Malzeme (Sol) (Kişisel arşiv, 2025).....	19
Şekil 3.12 Durum 4 Esnek Poliüretan Malzeme (Sağ) (Kişisel arşiv, 2025).....	19
Şekil 4.1 Bulaşık Makinesinin 3D modeli	23
Şekil 4.2 Sağ Yan Panel Görseli	24
Şekil 4.3. Sol Yan Panel Görseli.....	24
Şekil 4.4 En-Boy Oranı(Ortalama)	28
Şekil 4.5 En-Boy Oranı(En kötü).....	28
Şekil 4.6 Minimum Eleman Kalitesi(Ortalama)	28
Şekil 4.7 Minimum Eleman Kalitesi(En Kötü).....	29
Şekil 4.8 Eleman Sayısı	29
Şekil 4.9 Düğüm Noktası Sayısı	29

Şekil 4.10 Linear ve Quadratic Eleman Farkı	30
Şekil 4.11 Küvet Yüzeyi Isı Akısı	33
Şekil 4.12 Yan Panel Isı Akısı	34
Şekil 4.13 Yan Panel Dış Yüzeyi Sıcaklığı.....	34
Şekil 4.14 Durum 1 Kesit Görseli	35
Şekil 4.15 Durum 2 Kesit Görseli	36
Şekil 4.16 Durum 3 Kesit Görseli	36
Şekil 4.17 Durum 4 Kesit Görseli	37
Şekil 5.1 Yarı Yankısız Akustik Oda (Kişisel arşiv, 2025)	40
Şekil 5.2 Ölçüm Mikrafon Mesafeleri	41
Şekil 6.1 Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi Grafiği.....	43
Şekil 6.2 Birinci Isıtma Sıcaklık Değişimi Grafiği	44
Şekil 6.3 Birinci Isıtma Sıcaklık Değişimi Grafiği	45
Şekil 6.4 Kurutma Sıcaklık Değişimi Grafiği	46
Şekil 6.5 Zamana Bağlı Enerji Değişim Grafiği	47
Şekil 6.6 Yan Panel Sıcaklık Grafiği	50
Şekil 6.7 Küvet Yüzeyinden Kaybedilen Enerji Grafiği.....	51
Şekil 6.8 Sistemdeki Enerji Gösterimi	52
Şekil 6.9 Sistemde Depolanan Enerji Karşılaştırması	53

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Kurutma Değerlendirme Değerleri	21
Tablo 4.1 Analizde Kullanılan Malzeme Özellikleri	26
Tablo 4.2 Doğrusal Eleman Karşılaştırma Tablosu	27
Tablo 4.3 Doğrusal Olmayan Eleman Karşılaştırma Tablosu	27
Tablo 5.1. Akustik Test Ortam Koşulları.....	42
Tablo 6.1 Durum 1 Kurutma Performansı	48
Tablo 6.2 Durum 2 Kurutma Performansı	48
Tablo 6.3 Durum 3 Kurutma Performansı	49
Tablo 6.4 Durum 4 Kurutma Performansı	49
Tablo 6.5 Durum 1 Frekansa Bağlı Ses Seviyeleri	55
Tablo 6.6 Durum 2 Frekansa Bağlı Ses Seviyeleri	55
Tablo 6.7 Durum 3 Frekansa Bağlı Ses Seviyeleri	56
Tablo 6.8 Durum 4 Frekansa Bağlı Ses Seviyeleri	56

SEMBOL LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	: Sıcaklık birimi
D_R	: Referans makine kurutma ortalama kurutma puanı
D_T	: Test makinesi kurutma ortalama kurutma puanı
β	: Hava için Hacimsel genleşme katsayısı
T	: Sıcaklık
ν	: Kinematik vizkozite
Gr	: Grashof sayısı
ϑ	: Çizgisel hız
L	: Uzunluk
g	: Yer çekimi ivmesi
Pr	: Prandtl sayısı
Ra	: Rayleigh sayısı
Nu	: Nusselt sayısı
h	: Konveksiyonel ısı sabiti
L_{WA}	: Ses gücü seviyesi

KISALTMA LİSTESİ

vd	: Ve diğerleri
IEC	: International Electrotechnical Commission
EN	: European Norm
EPREL	: European Product Registry for Energy Labelling
PU	: Poliüretan
SPF	: Spray Polyurethane Foam
TS	: Türk Standartları
ISO	: International Standard Organization

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Enerji tüketiminin küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerindeki etkisi, özellikle kuraklıklar, kasırgalar, seller ve sıcaklık değişiklikleri gibi olayların daha sık gözlemlenmesiyle giderek daha belirgin hale gelmektedir. Bu olaylar, dünya genelindeki enerji tüketiminin çevresel etkilerini daha da gözler önüne sermekte ve bu durum, enerji tüketiminin iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için birçok ülkenin harekete geçmesine yol açmıştır. Hükümetler ve bireyler, bu etkileri minimize etmek adına çeşitli önlemler almakta ve bu doğrultuda toplumsal farkındalık hızla artmaktadır. Artan farkındalık, sürdürülebilir ve çevre dostu ürünlerin giderek daha yaygın bir tercih haline gelmesini sağlamaktadır. İnsanlar, su ve enerji gibi doğal kaynakları daha az tüketen ve çevreye daha az zarar veren ürünleri tercih etmekte, bu da gelişmiş ve çevre dostu ürünlere olan talebi artırmaktadır.

Beyaz eşyalar, özellikle büyük miktarlarda enerji tüketmeleri nedeniyle, sürdürülebilirlik açısından önemli bir endişe kaynağı oluşturmaktadır. Büyük ölçekli üretim ve kullanımın yanı sıra, eski ve enerji verimliliği düşük beyaz eşyaların kullanımı, toplam enerji tüketimini artırmakta ve doğal kaynakların aşırı kullanımına yol açmaktadır. Bu nedenle, beyaz eşyaların enerji tüketimi, dünya genelindeki enerji talebi ve çevresel etkiler açısından kritik bir faktör haline gelmektedir. Beyaz eşya sektöründe, sürdürülebilirlik çabaları, daha verimli ve çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması yönünde önemli bir ivme kazanmıştır. Ayrıca, yapılan araştırmalar da, son kullanıcı düzeyinde, daha az enerji tüketen ürünlere yönelik talebin arttığını göstermektedir. Bu artan talep, beyaz eşya üreticilerini daha verimli ve çevre dostu teknolojilere yönlendirmektedir.

Bulaşık makineleri, bu ürünlerden biri olarak özellikle dikkat çekmektedir. Elde yıkama ile karşılaştırıldığında, bulaşık makineleri, hem su hem de enerji tüketimini büyük ölçüde minimize etme kapasitesine sahiptir. Bulaşık makinelerinin kullanım kolaylığı, modern yaşamın yoğun temposunda zaman tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, enerji ve su tüketiminin minimize edilmesi, kaynakların tükenmesiyle birlikte giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu makineler, sürdürülebilir yaşamın

önemli bir parçası haline gelmiştir. Bunun yanı sıra, enerji verimliliği kadar, enerji etiketlerinde yer alan ses sınıfı da son kullanıcılar tarafından dikkate alınan bir diğer önemli parametre olmaktadır. Tüketiciler yalnızca enerji ve su verimliliği değil, aynı zamanda ürünlerin kullanım sırasında sağladığı konforu da göz önünde bulundurmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Beyaz eşya sektöründe, üreticiler, enerji ve su tüketimini mümkün olduğunca azaltmayı hedeflerken, aynı zamanda gelişmiş yıkama ve kurutma performansı sunmayı da amaçlamaktadır. Bu durum, yalnızca çevresel etkiyi azaltmaya yönelik değil, aynı zamanda kullanıcıların ihtiyaçlarına daha iyi karşılık verecek ürünler tasarlamaya yönelik bir çaba olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeni nesil bulaşık makineleri, hem düşük enerji ve su tüketimi hem de yüksek performans vaat eden teknolojilerle donatılmıştır. Bu gelişmeler, beyaz eşya sektöründe çevre dostu ürünlerin daha yaygın hale gelmesine ve sürdürülebilir tüketim alışkanlıklarının artmasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma yalıtım malzemesi olarak bitümen ve keçe yerine poliüretan köpük malzeme kullanılması durumunu enerji verimliliği ve akustik açıdan ele almaktadır. Bulaşık makinelerinde yalıtım malzemesi değişikliği termal ve akustik özellikler açısından bir bütün olarak ele alınmaktadır. Yapılan herhangi bir yalıtım değişikliğinin, termal ve akustik performans üzerinde olumlu veya olumsuz sonuçlar doğurması mümkündür. Bu nedenle, bu çalışmada gerçekleştirilen yalıtım değişikliği hem termal açıdan deneysel ve teorik olarak incelenmiş hem de akustik performans açısından test edilmiştir.

1.2 Çalışmanın Planı

Bu çalışma altı bölümden meydana gelmektedir. Bu kısımlar giriş, önceki çalışmalar, laboratuvar testleri, sonlu elemanlar analizi, akustik testleri, sonuç ve değerlendirme kısımlarından meydana gelmektedir.

İkinci bölümde konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan, enerji sınıfı hesaplamalarından, bulaşık makinesinin çalışma yapısından ve kısımlarından

meydana gelmektedir. Üçüncü kısımda mevcut ve alternatif yalıtım malzemeleri ile oluşturulmuş prototip makineler performans laboratuvarında teste alınıp termal ve enerji verimliliği açısından ölçümleri alınmış kurutma performansı açısından test edilmiştir. Dördüncü bölümde laboratuvar ortamında ölçümleri alınan test makineleri zamana bağlı sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Beşinci kısımda mevcut ve alternatif yalıtım malzemeleri kullanılan test makineleri akustik laboratuvarında test edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen test sonuçları ve analiz verileri karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.



BÖLÜM İKİ

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Bulaşık Makinesi Kavramı

Bulaşık makinesi, mutfak eşyalarının, özellikle tabak ve bardakların yıkanması amacıyla kullanılan bir cihaz olarak, ilk kez 1800'li yılların ortalarında Joel Houghtan'a ait bir patentle ortaya çıkmıştır. Bu patent, elle çalışan ve bulaşıkların üzerine su püskürten mekanik bir bulaşık yıkama sistemini tanımlamaktadır. 1886 yılında Josephine Cochrane, benzer şekilde, suyun bulaşıklara pompalanmasını sağlamak amacıyla elle çalıştırılan bir bulaşık makinesi tasarımı geliştirmiştir (Michel, vd., 2015).

Sürekli su püskürtme sistemine sahip bulaşık makinesi modelleri ise ilk kez 1924 yılında William Howard Livens tarafından geliştirilen evsel kullanıma uygun bir bulaşık makinesiyle şekillenmeye başlamıştır. 1920'li yıllardan sonra, bulaşıkların yerleştirilmesi için sepetler, su püskürtme işlemi için pervaneler, deterjan ekleme mekanizmaları ve yıkama işleminin sonunda kurutma fonksiyonları gibi ek özellikler bulaşık makinelerine entegre edilmiştir. Bu gelişmeler, 1970'li yılların sonunda günümüzün modern bulaşık makinesi sistemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır Harrington ve Brown (2007).

2.2 Bulaşık Makinesinin Parçaları ve Çalışma Prensibi

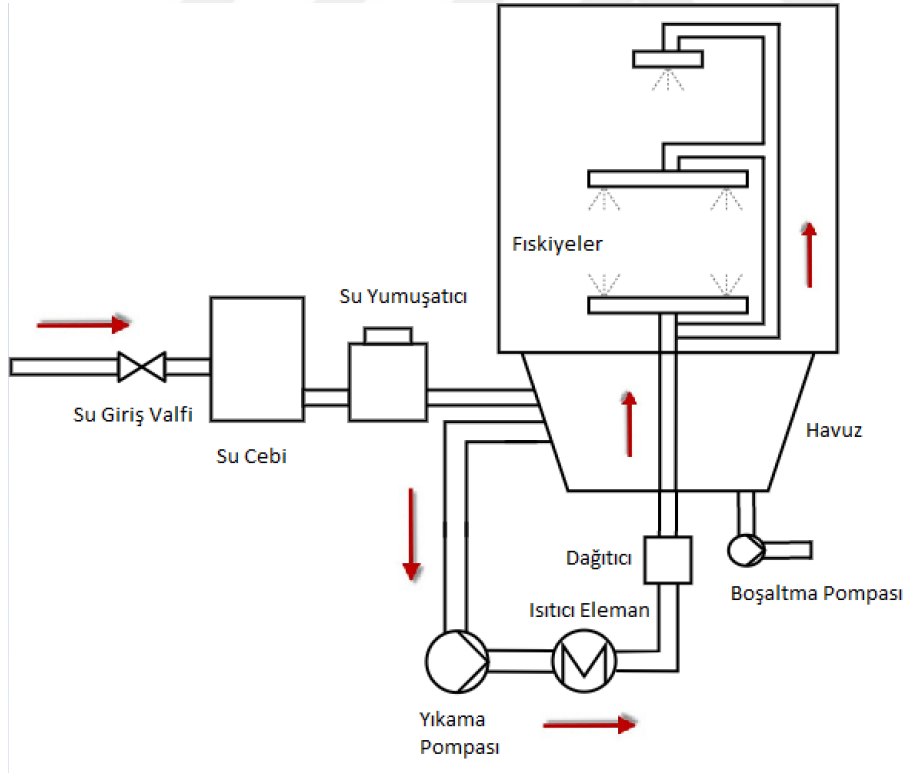
Bulaşık makinesinin hidrolik sistemi; bir giriş valfi, bir havuz, su yumuşatma sistemi, yıkama pompası, dağıtıcı, borular, spreyl kolları ve bir tahliye pompasından oluşmaktadır. Bulaşık makinesinin çalışma prensibi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır: Program başlatıldığında, önce önceki döngüden kalan atık su, tahliye pompası aracılığıyla sistemden uzaklaştırılır. Bu işlemin ardından su, su kaynağından giriş valfine iletilir ve daha sonra su cebi ve tuz kabını içeren su yumuşatma sisteminden geçer. Gerekli miktarda su alındıktan sonra, sirkülasyon pompası devreye girer ve hazne ile ısıtıcıdan suyu çekerek işlemi başlatır.

Devamında, yıkama pompası suyu havuzdan alarak spreyl kolları aracılığıyla bulaşık makinesinin iç kısmına dağıtır. Bu süreçte spreyl kolları dönerek suyu

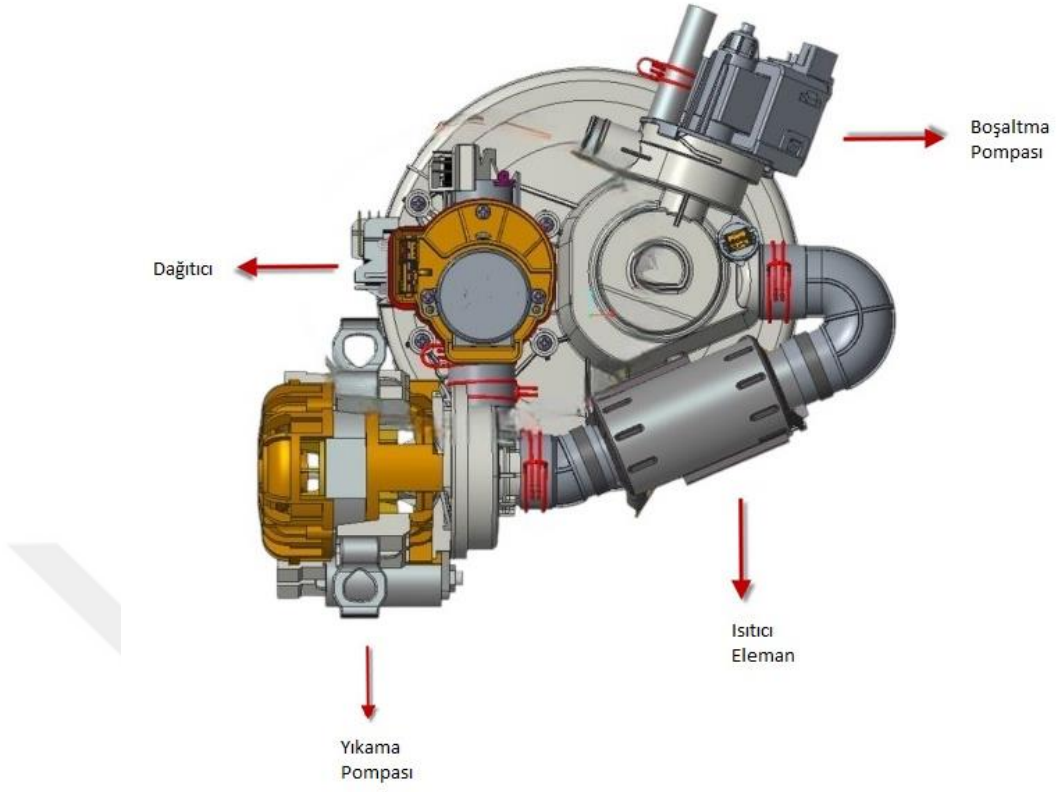
bulaşıklara püskürtür ve böylece temizlik işlemi gerçekleştirilir. Sonrasında, kullanılan su, yer çekimi kuvvetlerinin etkisiyle haznenin üzerinde yer alan filtreleme sisteminden geçer. Bu filtreleme sistemi, sudaki kaba ve ince partikülleri ayrıştırarak temizler. Su, tekrar hazneye yönlendirilir ve yıkama pompası belirli bir süre boyunca bu döngüyü tekrarlar.

Yıkama ve durulama işlemleri tamamlandıktan sonra, su tekrar hazneye boşaltılır ve tahliye pompası yardımıyla bulaşık makinesinin dışına atılır. Bu aşamalar, bulaşık makinesinin etkili bir temizlik ve durulama süreci sunmasını sağlamaktadır. Şekil 2.1 üzerinde suyun izlediği hidrolik yol gösterilmiştir.

Havuz grubu olarak isimlendirilen yapı üzerinde yıkama pompası, dağıtıcı, ısıtıcı eleman, ve boşaltma pompası bulunmaktadır. Havuz grubu yapısı ile ilgili detaylı yapı Şekil 2.2. üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Hidrolik Şema



Şekil 2.2 Havuz Grubu Detay Görseli

2.3 Enerji Verimliliği Kavramı

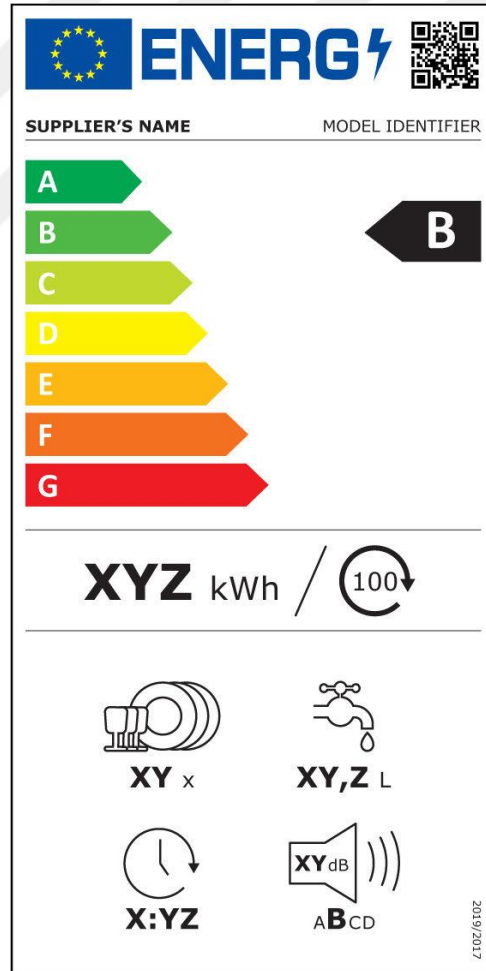
Sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği, iklim değişiklikleri ve sınırlı doğal kaynaklar nedeniyle günümüzde önemli kavramlar haline gelmiştir. Bu konulara yönelik ilgi, uluslararası konferanslarda, akademik araştırmalarda ve siyasi tartışmalarda giderek artmaktadır (Berkholz, 2015). Kyoto Protokolü'nün birçok ülke tarafından imzalanmasının ardından, Avrupa Birliği kapsamında eko tasarım, enerji etiketlemesi ve ev aletlerinin performans ölçümüne ilişkin çeşitli düzenlemeler ve direktifler hazırlanmıştır. Bu bağlamda, eko tasarım ve enerji etiketlemesi üzerine çalışan teknik komiteler tarafından bazı ön çalışmalar yayımlanmıştır (Stamminger, 2007). Beyaz eşya üreticileri için enerji ve su tüketiminin azaltılması temel hedefler arasında yer almaktadır (Dora, 2007).

Söz konusu düzenlemeler ve standartlar, bulaşık makinesi üreticilerini daha düşük enerji ve su tüketimi sağlayan ürünler geliştirmeye teşvik etmektedir. Bu doğrultuda, enerji ve suyun verimli kullanımı üzerine yapılan akademik çalışmalar ve endüstriyel uygulamalar hızla artmaktadır. Bulaşıkların elde veya bulaşık makinesi ile yıkanmasının su ve enerji tüketimine etkileri ile tüketici tercihleri de araştırmacılar tarafından detaylı şekilde incelenmektedir. Bu davranış ve tercihler, enerji ve su tüketimi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Güvenilir veriler elde edebilmek adına enerji tüketimi ile temizlik ve kurutma performanslarının standart yöntemler ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla güncel olarak IEC/EN 60436:2020 standardı olan “Ev Tipi Elektrikli Bulaşık Makinelerinin Performansının Ölçülmesi İçin Test Yöntemleri” kullanılmaktadır. Üreticiler, ürünlerinin enerji, temizlik ve kurutma performans sınıflarını belirleyebilmek için bu standardı uygulamak zorundadır. Standartta göre yıkama indeksi 1.12 kurutma indeksi ise 1.06 değerinin üzerinde olmalıdır. Burada belirtilen değerler test makinesinin standartlarca belirtilmiş referans makineye oranıdır. Enerji sınıfları ise enerji verimlilik indeksine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tablo 2.1 üzerinde enerji sınıfları ile enerji verimliliği indeksinin ilişkisi gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Enerji Sınıfları ve Enerji Verimliliği(Kaynak: Energy Labelling, 2019)

Enerji Sınıfı	Enerji Verimliliği İndeksi
A	$EEI < 32$
B	$32 \leq EEI < 38$
C	$38 \leq EEI < 44$
D	$44 \leq EEI < 50$
E	$50 \leq EEI < 56$
F	$56 \leq EEI < 62$
G	$EEI \geq 62$

Beyaz eşya üreticileri, enerji etiketlerinde enerji tüketimi, su tüketimi, program süresi, kapasite ve gürültü seviyesini belirtmekle yükümlüdür (Eko Tasarım - EU No 2019/2022, Enerji Etiketlemesi). Bu etiketin ürün üzerine yerleştirilmesi zorunlu olup, Avrupa pazarında ürünlerin satışa sunulabilmesi için bir gerekliliktir. Ayrıca, bu etiket üreticiler için rekabet avantajı sağlamakta ve tüketicilerin dikkatini çekmek amacıyla önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.3 üzerinde Eco Tasarım 2019/2017 yönetmeliğine uygun enerji etiketi örneği gösterilmektedir. Enerji etiketleri EPREL(European Product Registry for Energy Labelling) sistemine kaydedilmektedir. Etiketın sağ üst köşesinde bulunan kare kod ile sistem üzerinden modele ait diğer bilgilere erişmek mümkündür.



Şekil 2.3 Bulaşık Makinesi Enerji Etiketi (Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2017)

2.4 Bulaşık Makinelerinde Kullanılan Yalıtım Malzemeleri

Enerji verimliliği ve enerji etiketlerinde değişim regülasyon değişiklikleri ile birlikte bulaşık makineleri özelinde daha yüksek enerji sınıflarına ulaşmak, yani daha düşük enerji tüketimine erişmek amacıyla yenilikçi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojilere kirlilik sensörleri, daha verimli filtreler, verimli fiske sistemleri ve sepet tasarımları örnek olarak gösterilebilir.

Standart bir yıkama döngüsü içerisinde en yüksek enerji tüketen bileşen ısıtıcı elemandır(Kilic vd., 2020). Isıtıcının çalışma süresi ile enerji tüketimi arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Dolayısıyla, enerji verimliliğinin artırılmasında önemli bir yöntem, ısıtıcının devrede kalma süresinin kısaltılmasıdır. Ancak, kısa süreli çalıştırmanın etkisi, su sıcaklığının düşmesine yol açmaktadır. Su sıcaklığının düşük olması, bulaşık makinesinin hem yıkama hem de kurutma performansının olumsuz etkilenmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, ısıtıcının çalışma süresinin azaltılmasının belirli bir sınırı bulunmaktadır. Daha düşük enerji tüketimine ulaşmanın yollarından biri, ısı transferi ile yıkama ve kurutma sırasında makineden kaybedilen enerjinin engellenmesi, diğer bir deyişle ısı yalıtımının sağlanmasıdır(Wu vd., 1999).

Bulaşık makinelerinde yalıtım malzemesi olarak bitüm kullanılmaktadır. Bitüm malzeme temel olarak akustik izolasyon için kullanılmaktadır (Atamer vd., 2019). Bitüm, petrol rafinasyonu sonucunda elde edilen, viskoz, esnek ve su geçirmez özelliklere sahip organik bir malzeme olup, yüksek yoğunluğu ve elastik yapısı sayesinde titreşim ve ses yalıtımında etkin bir rol oynamaktadır. Makinenin küvet dış yüzeyine uygulanarak ses dalgalarının yayılmasını engellemekte ve titreşimleri sönümleyerek ses enerjisinin iletimini minimize etmektedir. Ayrıca, metal yüzeylerde rezonansı ve yankıyı azaltarak sessiz bir çalışma ortamı sağlamaktadır. Bitüm malzeme kullanılmasının dezavantajlarından birisi petrol türevi bir malzeme olmasından dolayı çevreci ve sürdürülebilir bir malzeme olmamasıdır. Diğer bir dezavantajı ise yüksek ısı iletim katsayısı olmasından dolayı ısı kaybına sebep olmasıdır. Bitüm malzemenin termal iletkenlik katsayısı $0.60 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ile $1.70 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ arasında kimyasal formülasyonu bağlı olarak değişkenlik göstermektedir) (Obi vd., 2021).

Poliüretan (PU) köpük, poliol ve izosiyanat gibi kimyasalların tepkimesiyle oluşan, hafif ve çok yönlü bir malzemedir. Bu tepkime sırasında ortaya çıkan gaz kabarcıkları köpük yapısını oluşturur. Poliüretan köpükler açık veya kapalı hücreli yapıya sahip olabilir ve bu yapıları, mekanik özelliklerini ve kullanım alanlarını belirler(Ates vd., 2022). Poliüretan köpükler kimyasal formülasyonlarına ve hücre yapılarına göre farklı mekanik ve termal özellikler göstermektedirler. Poliüretan yapıları temel olarak üç grup altında incelenmektedir.

2.4.1 Sert Poliüretan Köpük

Sert poliüretan köpük, yüksek termal yalıtım özellikleri sunan ve genellikle "sert köpük" olarak adlandırılan bir tür yalıtım malzemesidir. Bu malzeme, düşük termal iletkenliği sayesinde ısı transferini azaltarak enerji tüketimini düşürmekte ve bu nedenle yalıtım uygulamaları için popüler bir seçenek haline gelmektedir. Yapısal bütünlük sağlarken hafif bir yapıya sahip olmasına rağmen dayanıklılığını korumakta ve kapalı hücre yapısı sayesinde nem penetrasyonuna karşı direnç göstermektedir. Sert poliüretan köpüğün özel formülasyonları, alev geciktirici özellikler kazanmasını sağlayarak, yangın güvenliği gerektiren uygulamalarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu tür köpük, bina yalıtımında, soğutma panellerinin üretiminde, kompozit panellerde çekirdek malzeme olarak, boru yalıtımında ve havacılık ile otomotiv endüstrilerinde hafif yapısal bileşenler olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

2.4.2 Esnek Poliüretan Köpük

Esnek poliüretan köpük, doğal durumunda yumuşak ve esnek bir yapıya sahip olup, genellikle "esnek köpük" olarak adlandırılmaktadır. Bu malzeme, konfor ve minderleme gerektiren birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Esnek poliüretan köpüğün en belirgin özellikleri arasında, basınç altında şekil alabilme yeteneği ve basınç serbest bırakıldığında hızla orijinal şekline dönmesi yer almaktadır. Açık hücreli ve kapalı hücreli yapı alternatifleri sayesinde, açık hücreli köpük hava geçirgenliği sunarak yatak ve döşeme gibi uygulamalar için uygun bir seçenek oluştururken, kapalı hücreli köpük ise daha iyi yalıtım sağlama kapasitesine sahiptir. Bu köpük, çeşitli yoğunluk ve sertlik seçenekleriyle, yatak, döşeme,

otomotiv koltukları, ofis ve yemek masası sandalyeleri gibi birçok alanda konfor ve destek sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, tıbbi uygulamalarda hasta konforunu artırmak, kırılabilir ürünlerin korunmasında ambalaj malzemesi olarak görev almak ve ses yalıtımı uygulamalarında da önemli bir rol oynamaktadır. Esnek poliüretan köpüğün çok yönlülüğü ve özelleştirme olanakları, onu minderleme ve konforun kritik olduğu birçok endüstride popüler bir tercih haline getirmektedir.

2.4.3 Püskürtme Poliüretan Köpük (SPF)

Püskürtme Poliüretan Köpük (SPF), izosiyanat ve poliöl reçinelerinden üretilen çok yönlü bir yalıtım malzemesidir; bu iki bileşen karıştırıldığında, rijit veya esnek köpük oluşturma kapasitesine sahiptir. SPF, termal yalıtım, hava sızdırmazlık ve nem bariyeri işlevleri için kullanılmakta olup, iki ana türü bulunmaktadır: açık hücre püskürtme köpük, hafif ve süngerimsi yapısıyla mükemmel ses yalıtımı sağlarken, kapalı hücre püskürtme köpük ise daha yoğun ve rijit yapısıyla üstün termal yalıtım ve etkili bir hava-nem bariyeri sunmaktadır. Yüksek termal izolasyon değerine sahip olan SPF, uygun şekilde uygulandığında sızdırmaz bir mühür oluşturarak enerji verimliliğini artırmakta ve kapalı hücre SPF su geçirmez özellikleri sayesinde nem kontrolünde etkili olmaktadır; açık hücre SPF ise iç mekanlarda ses yalıtımı için ideal bir seçimdir. SPF, konut ve ticari bina yalıtımı, çatı kaplaması, boşluk ve çatlakları kapatma gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Etkinliği için profesyonel montaj gerektiren SPF, enerji tasarrufu, konfor ve dayanıklılık sağlama yeteneği ile inşaat endüstrisinde popüler bir malzeme konumundadır.

Yapılan çalışmada düşük termal iletkenliği ve yüksek akustik yalıtımı sebebiyle hem Sert(Rigid) poliüretan köpük hem de Esnek(Flexible) poliüretan köpük test test edilmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

LABORATUVAR TESTLERİ

3.1 Ölçüm Düzeneği ve Ekipmanları

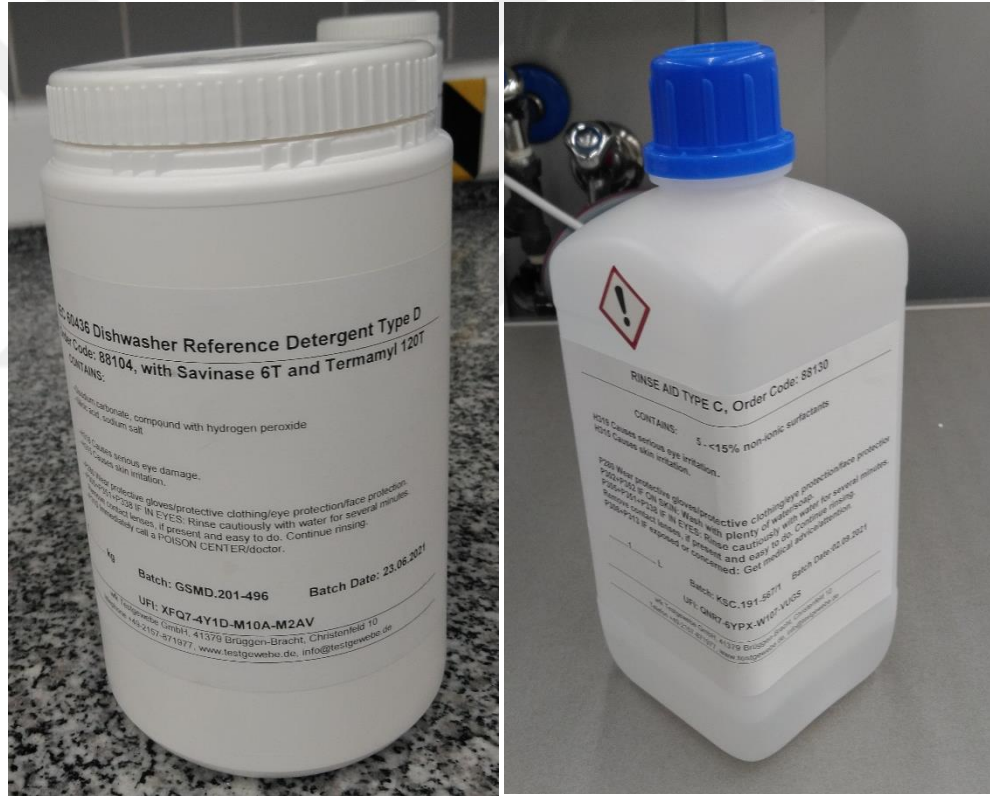
Çalışmada bulaşık makinesinin izolasyon yapısı dört farklı varyasyonda ele alınmıştır. Durum bir makinenin yalıtımsız olması, Durum iki küvet yüzeyinin bitümen ile izole edilmiş olması, Durum üç yalıtım malzemesi olarak sert poliüretan malzeme kullanılması ve durum dört ise yalıtım malzemesi olarak esnek poliüretan köpük kullanılması durumudur.

Dört farklı durum için prototip makineler oluşturulmuştur. Oluşturulan test makineleri eş zamanlı olarak laboratuvar ortamında test panolarında küvet iç sıcaklıkları ve toplam enerji tüketim ölçümleri alınmıştır. Şekil 3.1 üzerinde ölçümlerin gerçekleştiği test panoları ve test düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Test Panoları ve Test Düzeneği (Kişisel arşiv, 2025)

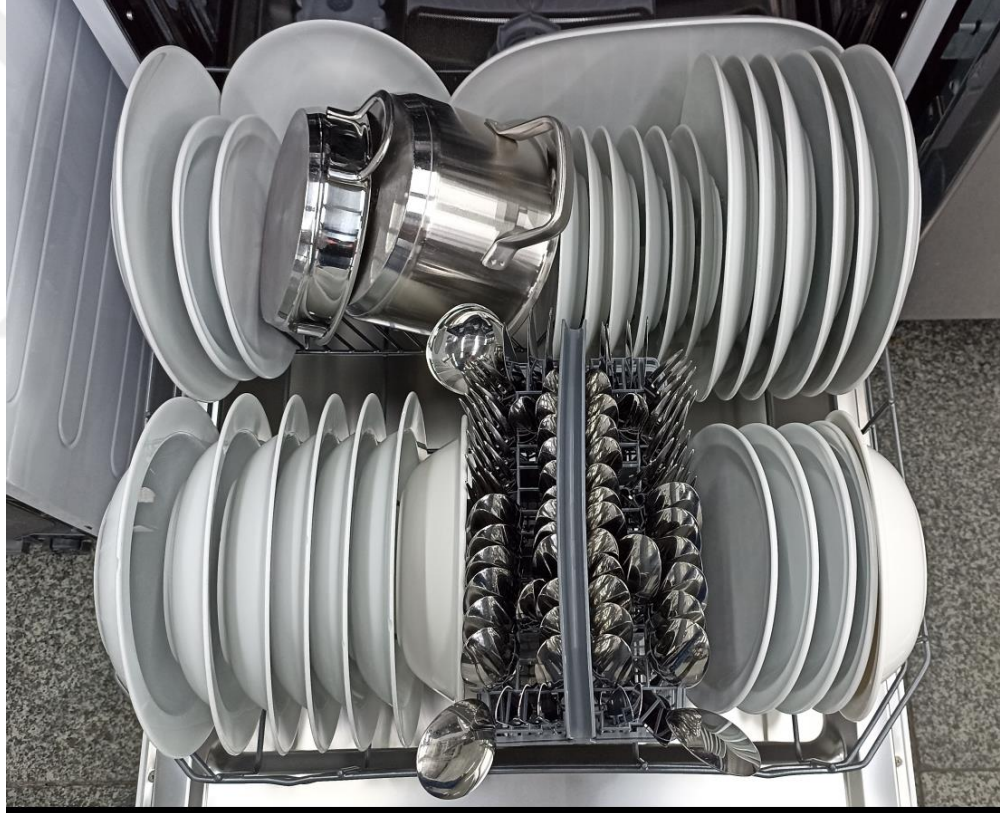
Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen testler, IEC/EN 60436:2020 "Ev Tipi Elektrikli Bulaşık Makinelerinin Performansının Ölçülmesi İçin Test Yöntemleri" standardına referansla yapılmıştır. Bu standarda göre, ortam sıcaklığı 23 ± 2 °C, bağıl nem oranı $\%55 \pm 5$, ve oda hava hızı en fazla 0,5 m/s olarak belirlenmiştir. Şebeke suyunun sıcaklığı 15 ± 2 °C, su basıncı ise 240 ± 20 kPa, su sertliği ise $2,5 \pm 0,5$ mmol/L olarak uygulanmıştır. Testlerin gerçekleştirildiği elektrik panolarından elde edilen voltaj değeri 230V, frekans ise 50 Hz'dir. Testlerde 21gr D tipi referans toz deterjan kullanılmıştır. Parlaticı olarak Formül III parlaticı kullanılmıştır. Deterjan ve parlaticı tipleri ve kullanım miktarları yine standartlarda belirtilmiştir. Deterjan ve parlaticı görselleri Şekil 3.2 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Kullanılan Deterjan ve Patlatıcı (Kişisel arşiv, 2025)

Testler, standarda uygun olarak "Eco" programında gerçekleştirilmiştir. Enerji tüketim hesaplamaları da bu program üzerinden yapılmaktadır. Test edilen prototip makineler, eş yazılım algoritmaları ile çalışmaktadır ve bu yazılıma göre "Eco" program süresi 3:25 dakikadır.

Enerji ve sıcaklık ölçümleri için yapılan testlerde, test makineleri, set malzemeleriyle doldurularak çalıştırılmıştır. Makineye yerleştirilen set sayısı, ürünün kapasitesine (kişi sayısına) bağlı olarak değişmektedir. Bu setlerin özellikleri EK-1'de detaylı bir şekilde sunulmuştur. Set malzemelerinin sayısı ve özellikleri, ilgili standartlarda belirtilen kriterlere uygun olarak belirlenmiştir. Testlerin gerçekleştirildiği 13 kişilik kapasiteye göre gerekli olan set sayısı 146 parça olarak belirlenmiştir. Setlerin yerleştirildiği sepetler ve sepet dizilimleri bütün test makinalarında eş tutulmuştur. Sepet yerleşimleri Şekil 3.3. alt sepet Şekil 3.4. üst sepet olarak şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Alt Sepet yerleşimi (Kişisel arşiv, 2025)



Şekil 3.4 Üst Sepet Yerleşimi (Kişisel arşiv, 2025)

3.2 Sıcaklık ve Enerji Ölçümleri

Dört farklı durum için dört adet test makinesi hazırlanmıştır. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 üzerinde birinci durum olan makinenin yalıtımsız olması durumu gösterilmiştir. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 üzerinde mevcut yalıtım malzemesi olan bitümen ile kaplı olması durumu gösterilmiştir. Sert poliüretan malzeme ile oluşturulan makinenin görselleri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 üzerinde gösterilmiştir. Esnek poliüretan malzeme test makinesi Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Durum 1 Yalıtımsız olması durumu(Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)



Şekil 3.6 Durum 1 Yalıtımsız olması durumu(Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)



Şekil 3.7 Durum 2 Mevcut durum (Sol) (Kişisel arşiv, 2025)



Şekil 3.8 Durum 2 Mevcut durum (Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)



Şekil 3.9 Durum 3 Sert Poliüretan Malzeme(Sol) (Kişisel arşiv, 2025)



Şekil 3.10 Durum 3 Sert Poliüretan Malzeme(Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)



Şekil 3.11 Durum 4 Esnek Poliüretan Malzeme (Sol) (Kişisel arşiv, 2025)



Şekil 3.12 Durum 4 Esnek Poliüretan Malzeme (Sağ) (Kişisel arşiv, 2025)

3.3 Kurutma Testleri

Dört farklı yalıtım durumu eş zamanlı olarak kurutma testlerine tabi tutulmuştur. Testler 13 kişilik kapasiteye uygun olacak şekilde “Eco” programda gerçekleştirilmiştir. Setlerin sepet yerleşimleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterildiği gibidir. Test koşulları IEC/EN 60436 standartlarına göre Bölüm 3.1’de bahsedilen koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Kuruma performansı testi, bir bulaşık makinesinin yıkama döngüsünde standart bir yükü ne kadar iyi kurutacağını belirlemek için yapılır. Kuruma performansı değerlendirmesi için yönergeler, EN 60436 standardında verilmiştir. İlk olarak, bir referans makinesi ve test makinesi bulunmaktadır. Referans makinesi, Miele G 1222 SC bulaşık makinesidir. Tüm bulaşık makinesi üreticileri, performans testleri için aynı makineyi referans olarak kullanmaktadır. Test makinesi ise üreticinin performansını değerlendirmek istediği makinedir. Ölçümlerimiz için dört adet test makinesi bulunmaktadır.

Bir bulaşık makinesinin kuruma performansı değerlendirmesi, tek bir teknisyen tarafından yapılmalıdır. Aynı kişi, referans makinesi ve test makinesinin performansını değerlendirmelidir. Değerlendirme, herhangi bir yansıma oluşumunu engellemek amacıyla aydınlatma altında, bulaşıkların görsel incelemesiyle yapılır. Kurutma değerlendirmesinin detayları Tablo 3.1 üzerinde gösterilmiştir.

Değerlendirme prosedürü şu şekildedir (IEC EN 60436, 2020):

- Yıkama programı tamamlandıktan sonra, elektriği kesip bulaşık makinesini 30 dakika boyunca dokunulmadan bırakılır. Her bir öge için değerlendirme süresi 8 saniye olmalıdır.
- Değerlendirme, alt sepet ile başlanarak yapılır. Değerlendirilen öğeler aynı yerde yerleştirilmelidir. Alt sepetin değerlendirilmesi tamamlandıktan sonra, üst sepetin değerlendirilmesi yapılır. Bu sıralama, su damlalarının bulaşıklar üzerine düşmesini önlemek amacıyla yapılmalıdır.

- Bütün sepetlerin değerlendirilmesi tamamlandıktan sonra, çatal bıçak takımı değerlendirilir.
- Tüm öğeler değerlendirildikten sonra, puanlar kuruma performansı değerlendirme tablosuna yazılır.

Tablo 3.1 Kurutma Değerlendirme Değerleri

Puan	Su Kalıntısı
2	Öge tamamen kurumuş, maksimum puan.
1	Ögede en fazla iki su damlası, bir ıslak çizgi veya 50 mm ² 'ye kadar ıslak bir alan bulunmaktadır.
0	Ögede iki veya daha fazla su damlası, bir damla ve ıslak çizgi veya 50 mm ² 'den büyük bir ıslak alan bulunmaktadır.

3.3.1 Kurutma Hesaplaması

N öge için toplam puan, denklem 3.1 ile hesaplanabilir. Sz, öge için toplam puanı temsil eder.

$$N = \sum_{z=1}^{22} S_z \quad (3.1)$$

Bir test için referans ve test makinesi için ortalama kuruma puanı, 3.2 ve 3.3 numaralı denklemlerle hesaplanabilir.

$$D_{R,i} = \frac{1}{2N} \sum_{z=1} D_{R,z} \quad (3.2)$$

$$D_{T,i} = \frac{1}{2N} \sum_{z=1} D_{T,z} \quad (3.3)$$

R harfleri, referans makinesini; T harfleri ise test makinesini temsil etmektedir. Z harfli gösterge, hem referans hem de test makineleri için 3.1 numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir. Ortalama kuruma puanı elde edildikten sonra, bir testin kuruma endeksinin logaritması 3.4 numaralı denklemle hesaplanabilir. DR,t, referans makinesi için hedef puan olup, değeri 0,82'dir.

$$\ln P_{\{d,i\}} = \ln \left(\frac{D_{T,i}}{D_{R,i}} \right) \quad (3.4)$$

N sayıda test için kuruma endeksi Pd, 3.5 numaralı denklemle hesaplanabilir.

$$\ln P_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln P_{d,i} \quad (3.5)$$

Son olarak, tüm testler için kuruma performans endeksi 3.6 numaralı denklemle hesaplanabilir.

$$P_d = \exp(\ln P_d) \quad (3.6)$$

Çalışmamızda, kuruma endeksi Pd her bir deney seti için hesaplanmakta ve elde edilen endeksler karşılaştırılmaktadır. Sunulan endeks hesaplama metodolojisi, ilgili standart içerisinde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

BÖLÜM DÖRT

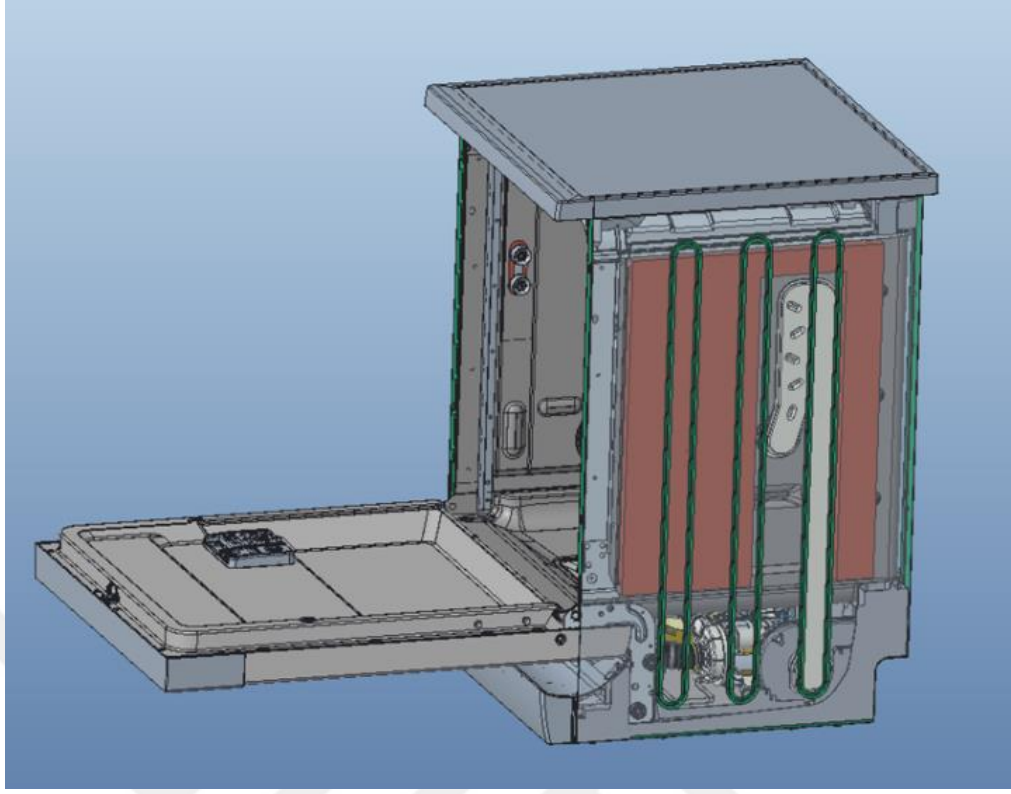
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

4.1 Modelleme

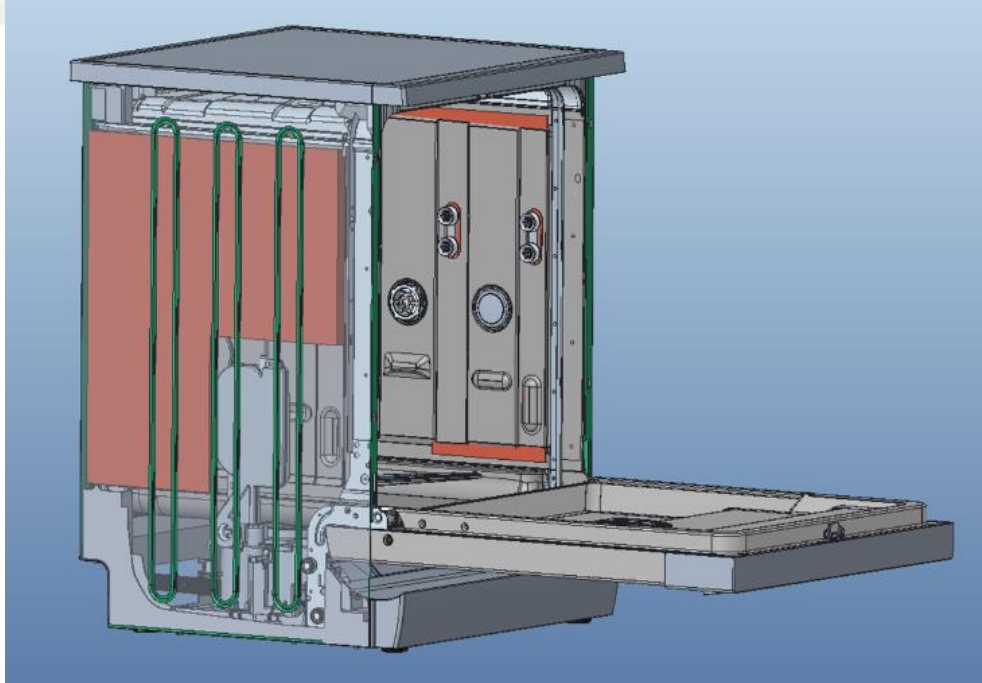
Enerji verimliliği ve akustik yalıtım sağlanması için yapılan çalışmada, test makinelerinin 3D modelleri Creo programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1 üzerinde bulaşık makinasının 3D modellemesi gösterilmektedir. Mevcut bitümen yapısına alternatif olarak çalışılan poliüretan yapısı küvet duvarı ve yan panel arasına eklenmiştir. Poliüretan kaplanan toplam yüzey alanı, iki yan yüzey arasındaki alan olarak 375.900 mm^2 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 üzerinde sağ ve soldan görünümeler gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Bulaşık Makinesinin 3D modeli



Şekil 4.2 Sağ Yan Panel Görşeli



Şekil 4.3. Sol Yan Panel Görşeli

4.2 Analiz Bilgileri

Test makinelerinin bir Eco program çalışması boyunca küvet iç yüzeyinden ve yan panel dış yüzeyinden geçen ısı akısı farkı hesaplanarak iki yüzey arasında depolanan enerji, yüzey sıcaklığı ve küvet yüzeyinden kaybedilen enerji elde edilmiştir.

4.2.1 Kabuller

ANSYS Workbench yazılımında zamana bağlı termal analiz modülü kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, test koşulları ile uyum sağlamak amacıyla belirli kabuller yapılmıştır. Çalışmada ortam sıcaklığı, test koşullarına paralel olarak sabit 23°C, hava hızı ise 0,5 m/s olarak tanımlanmıştır. Dış panelin hava ile temas eden yüzeylerinde konveksiyon yoluyla ısı transferi dikkate alınmıştır. Küvet ve poliüretan arasındaki temas yapışık, yan panel ve poliüretan bağlantısı ise temaslı (no separation) olarak modellenmiştir. Isı transferinin bir boyutlu gerçekleştiği varsayılarak, birinci durum haricinde diğer modellerin alt ve üst yüzeyleri mükemmel şekilde yalıtılmış (perfectly isolated) kabul edilmiştir. Birinci durumda hava ile modellenen kısmın alt ve üst yüzeyi ısı transferine açıktır. Analiz sonuçlarının doğruluğunu artırmak adına, her durum için küvet iç yüzey sıcaklık bilgileri laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilmiştir. Ayrıca, modelin sınır koşulları ve malzeme özellikleri, deneysel verilerle uyumlu olacak şekilde detaylı olarak tanımlanmıştır. Elde edilen veriler, sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki uyumun değerlendirilmesi amacıyla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

4.2.2 Malzeme Özellikleri

Zamana bağlı termal analiz kapsamında, ANSYS programında küvet, yan panel, esnek poliüretan, sert poliüretan ve bitüm malzemelerinin termal ve fiziksel özellikleri tanımlanmıştır. Bu özellikler; yoğunluk, termal iletkenlik ve özgül ısı kapasitesi olarak belirlenmiştir. Malzemelere ait detaylı parametreler Tablo 4.1'de sunulmaktadır. Analizde kullanılan malzeme özellikleri, literatür verileri ve üretici firma tarafından sağlanan teknik dokümanlar temel alınarak seçilmiştir. Ayrıca, modelin doğruluğunu artırmak amacıyla, tanımlanan malzeme özelliklerinin

laboratuvar test sonuçları ile uyumluluğu kontrol edilmiştir. Bu yaklaşımla, malzemelerin termal davranışlarının analiz sonuçlarına etkisi kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1 Analizde Kullanılan Malzeme Özellikleri

	Yoğunluk (kg.m ⁻³)	Termal İletkenlik (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Özgül Isı Sabiti, C_p (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
Yan Panel	7850	31,2	112
Küvet	7800	26,1	460
Bitümen	1050	0,34	2100
Sert Poliüretan	30	0,025	1500
Esnek Poliüretan	20	0,040	1800

4.2.3 Mesh Yapısı

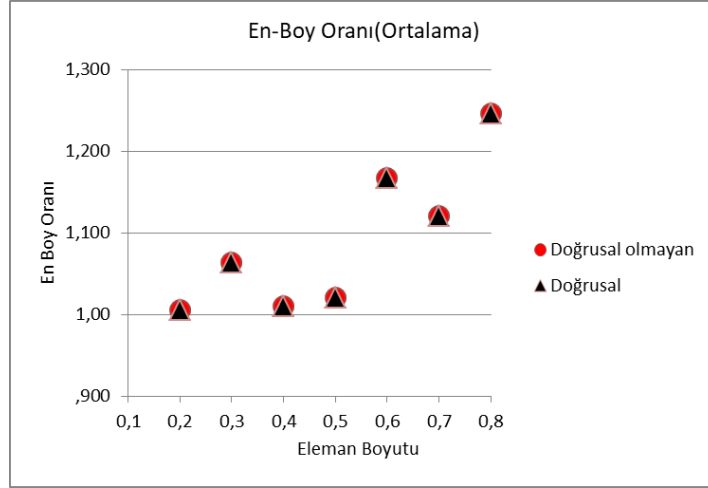
Sonlu elemanlar analizinde kullanılan eleman boyutu ve eleman tipine karar verilmesi için eleman boyutu 0,2 ile 0,8 arasında değişecek şekilde hem doğrusal(linear) hem de doğrusal olmayan(quadratic) elemanlar üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Kalite koşulu olarak en-boy oranı(ortalama), en-boy oranı(en kötü), minimum eleman kalitesi(ortalama), minimum eleman kalitesi (en kötü) olarak alınmıştır. Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de karşılaştırma değerleri verilmiştir. Doğrusal eleman ve doğrusal olmayan eleman karşılaştırması ise Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9’da yapılmıştır. Modelin geometrik yapısından dolayı linear eleman ve quadratic eleman kalitesi aynı çıkmaktadır. İki eleman arasındaki tek fark Quadratic elemanların yüzey ve kenar orta noktalarına düğüm noktası atamasından kaynaklanan düğüm sayılarıdır. İki eleman arasındaki fark Şekil 4.10 üzerinde gösterilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda ideal eleman boyutu olarak 0.4mm doğrusal eleman tercih edilmiştir.

Tablo 4.2 Doğrusal Eleman Karşılaştırma Tablosu

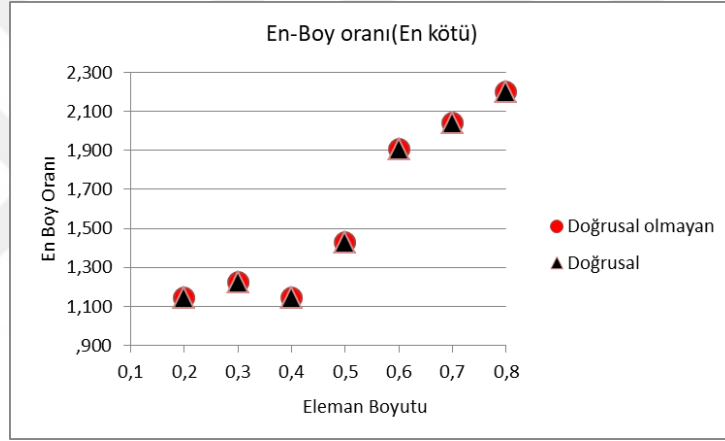
Linear Eleman Boyutu	En-Boy Oranı (Ortalama)	En-Boy Oranı (En kötü)	Min Eleman Kalitesi(Ortalama)	Min Eleman Kalitesi(En kötü)	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
0,8	1,246	2,198	0,970	0,748	1365	2128
0,7	1,121	2,041	0,986	0,775	1638	2520
0,6	1,167	1,905	0,983	0,818	2346	3528
0,5	1,021	1,429	0,997	0,926	4320	5985
0,4	1,010	1,143	1,000	0,989	8375	10920
0,3	1,064	1,225	0,998	0,978	20559	25024
0,2	1,006	1,143	1,000	0,989	67500	77418

Tablo 4.3 Doğrusal Olmayan Eleman Karşılaştırma Tablosu

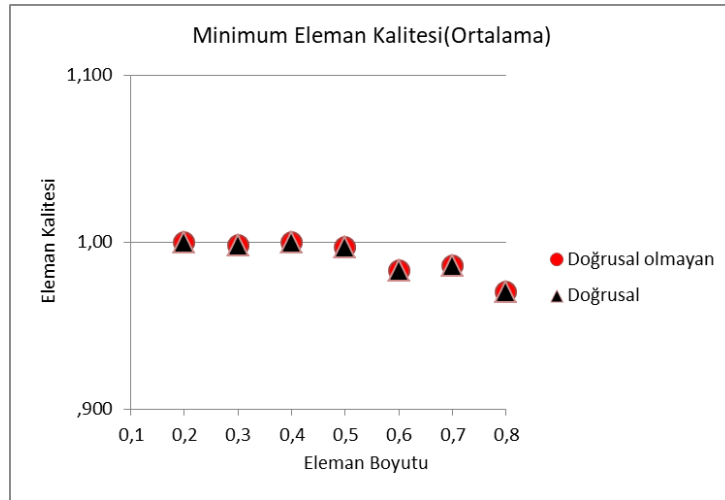
Quadratic Eleman Boyutu	En-Boy Oranı (Ortalama)	En-Boy Oranı(En kötü)	Min Eleman Kalitesi(Ortalama)	Min Eleman Kalitesi(En kötü)	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
0,8	1,246	2,198	0,970	0,748	1365	7660
0,7	1,121	2,041	0,986	0,775	1638	9102
0,6	1,167	1,905	0,983	0,818	2346	12818
0,5	1,021	1,429	0,997	0,926	4320	22143
0,4	1,010	1,143	1,000	0,989	8375	40972
0,3	1,064	1,225	0,998	0,978	20559	95416
0,2	1,006	1,143	1,000	0,989	67500	299433



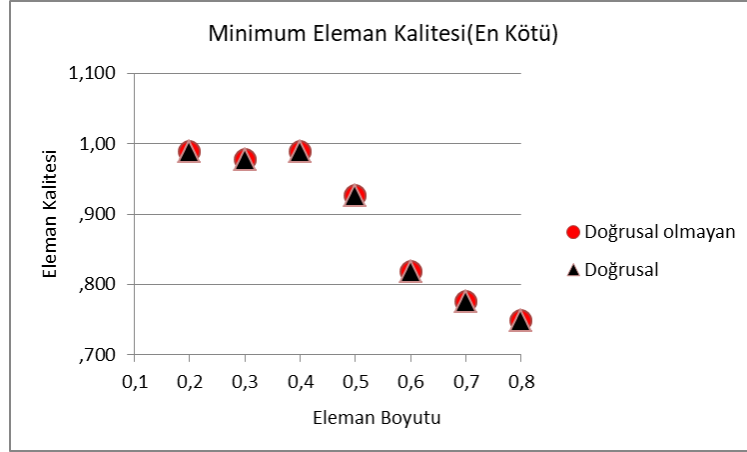
Şekil 4.4 En-Boy Oranı(Ortalama)



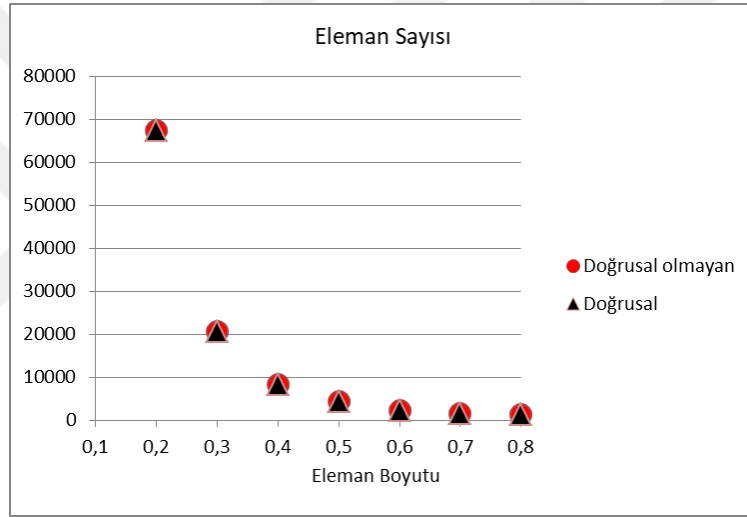
Şekil 4.5 En-Boy Oranı(En kötü)



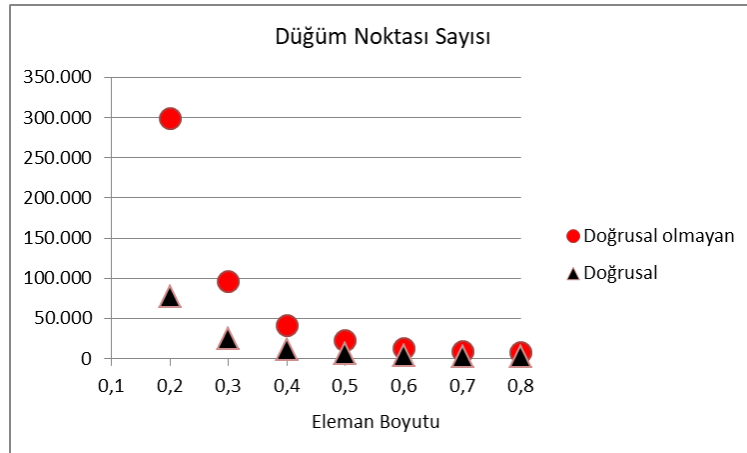
Şekil 4.6 Minimum Eleman Kalitesi(Ortalama)



Şekil 4.7 Minimum Eleman Kalitesi(En Kötü)



Şekil 4.8 Eleman Sayısı



Şekil 4.9 Düğüm Noktası Sayısı



Şekil 4.10 Linear ve Quadratic Eleman Farkı

4.2.4 Küvet İç Yüzey Sıcaklığı

Isı transferinin gerçekleştiği süre boyunca küvet içerisindeki sıcaklık da zamana bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Sıcaklığın zamana bağlı değişimi deneysel çalışma test panosu üzerinden kaydedilip, kurgulanan analize girdi olarak verilmiştir. Farklı malzeme türlerinde ve makine mevcut durumu için yapılan testlerde zamana bağlı iç sıcaklık değişimi, aynı yazılım algoritması kullanılmasına rağmen farklılık göstermiştir. Bu durumun temel sebebi ısı yalıtımının daha iyi sağlandığı durumlarda yazılımsal olarak istenilen sıcaklığı daha kısa sürede ulaşılmasıdır.

Bölüm 3.2'de sunulan dört farklı duruma ait küvet iç yüzey sıcaklık verileri, analiz programına giriş verisi olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama, 'Transient Thermal' modülünün sıcaklık sekmesi altında gerçekleştirilmiştir.

4.2.5 Konveksiyonel Isı Transferi Sabiti

Testlerin gerçekleştirildiği ve gerekli ölçümlerin alındığı test odası 23°C ve %55 bağıl nem koşullarına sahiptir. Standartlarınca oda içerisindeki izin verilen maksimum hava hızı 0,5 m/s olarak belirlenmiştir. Farklı yalıtım malzemesi kullanılması durumu yıkama döngüsü sürecinde yan panel yüzeyindeki sıcaklığı da değiştirmektedir. Fakat alınan sıcaklık ölçümlerine yan panel dış yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık değişik malzemeler arasında çok küçük olduğundan bu fark ihmal edilmiş, ortalama sıcaklığa göre konveksiyonel ısı sabiti hesaplanmıştır. Hesaplamalar konveksiyonel ısı transferi katsayısı doğal konveksiyon kabulüne göre

hesaplanmıştır(Cengel, Y. A. 1998). Analiz modelinde kullanılan 0.1m uzunluk için konveksiyonel ısı transferi katsayısı;

Hava için hacimsel genleşme katsayısı.

$$\beta \approx \frac{1}{T} \approx \frac{1}{296} \approx 0,00339K^{-1} \quad (4.1)$$

Ortam sıcaklığı ile yan panel dış yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı.

$$T_{yüzey} - T_{\infty} = 24,6 - 23 = 1,6^{\circ}C \quad (4.2)$$

Grashof aşağıdaki formukasyona göre hesaplanır.

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) \cdot L^3}{\nu^2} \quad (4.3)$$

Yer çekimi ivmesi sabit değer olarak kabul edilmiştir.

$$g \approx \frac{9,81m}{s^2} \quad (4.4)$$

Hava hızı ve sıcaklığa bağlı olarak kinematik vizkozite sayısı hesaplanmıştır.

$$\nu \approx 1,48 \times \frac{10^{-5}m^2}{s} \quad (4.5)$$

Buna göre Grashof(Gr) sayısı elde edilmiştir.

$$Gr \approx \frac{9,81 \cdot 0,00339 \cdot 1,6 \cdot 0,001}{2,19 \cdot 10^{-10}} \approx 0,24292111 \quad (4.6)$$

Konveksiyonun gerçekleştiği akışkan hava için Prandtl sayısı sabit alınmıştır

$$Pr \approx 0,707 \quad (4.7)$$

Elde edilen sonuçlara göre Rayleigh sayısı hesaplanmıştır.

$$Ra \approx Gr. Pr \approx 0,24292111.0,707 \approx 0,171745225 \quad (4.8)$$

Dikey yüzeyler için Nusselt sayısını hesabı;

$$Nu \approx C. Ra^n \left(C = 0,68 \quad n = \frac{1}{4} \right) \quad (4.9)$$

$$Nu \approx 0,68. (0,171745225)^{\frac{1}{4}} \approx 0,43775 \quad (4.10)$$

Bu değerlere konveksiyon sabiti hesaplanır.

$$h = \frac{Nu. k}{L} = \frac{0,43775.0,0258}{0,1} = 11,29 \frac{W}{m^2K} \quad (4.11)$$

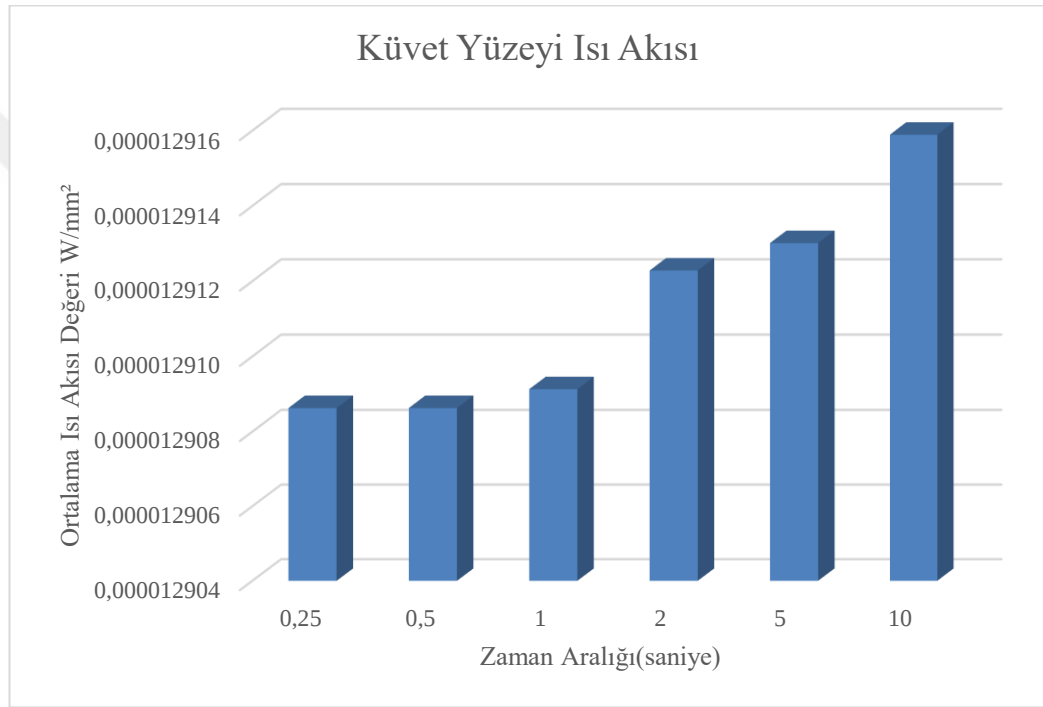
4.2.6 Zaman Adımı Hesabı

Termal analiz, zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiş olup, toplam analiz süresi, makinenin çalışma süresiyle eşdeğer olacak şekilde 12.300 saniye olarak belirlenmiştir. Bu süre zarfında, analizde kullanılacak birim zaman aralığının belirlenebilmesi amacıyla model, farklı birim zaman aralıklarıyla test edilmiştir. Bu birim zaman aralıkları sırasıyla 0,25 saniye, 0,5 saniye, 1 saniye, 2 saniye, 5 saniye ve 10 saniye olarak belirlenmiştir. Yapılan testler sonucunda, her bir zaman aralığı için modelin performansı ve hassasiyeti gözlemlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

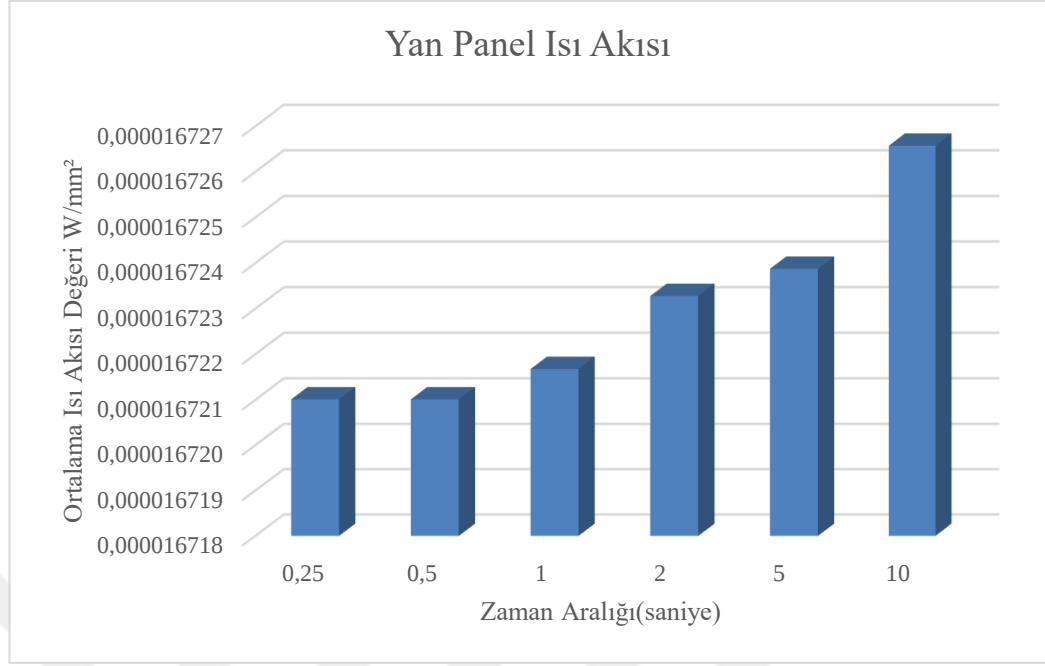
Analiz süresi boyunca gerçekleştirilen ölçümler, farklı yüzeylerden elde edilmiştir. Küvet dış yüzeyinden elde edilen ısı akısı ölçümü, Şekil 4.11'de sunulmuş, yan panel dış yüzeyinden yapılan ölçüm ise Şekil 4.12'te gösterilmiştir. Ayrıca, yan panel dış yüzeyinin sıcaklık ölçümü, Şekil 4.13'te yer almaktadır. Bu

ölçümler, zaman aralığının analize etkilerini değerlendirebilmek amacıyla karşılaştırılmıştır.

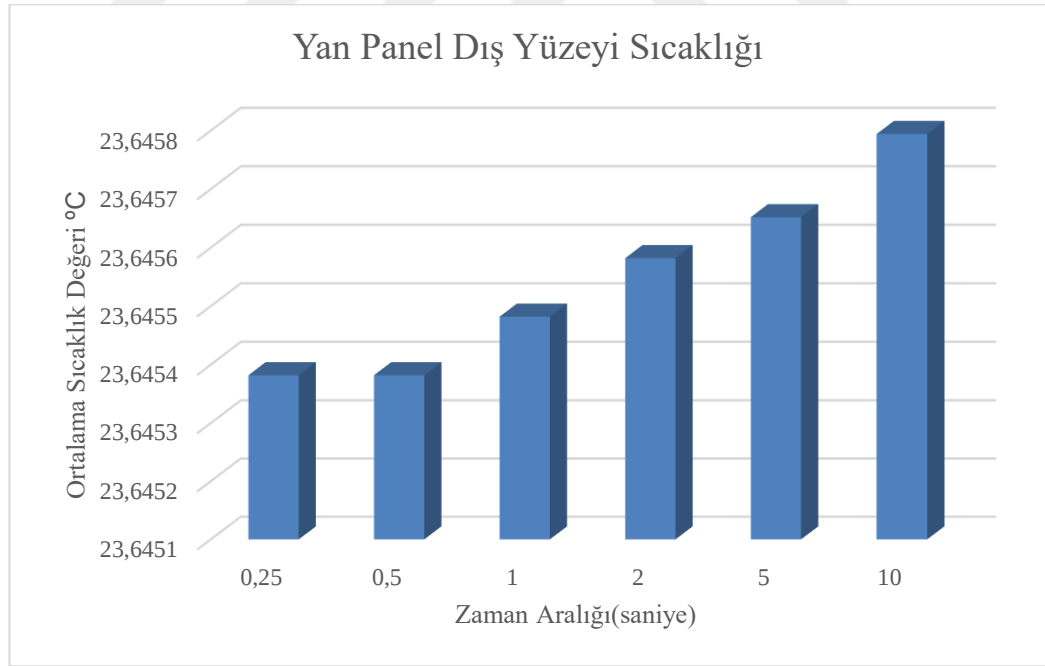
Yapılan karşılaştırmalar neticesinde, 1 saniyelik birim zaman aralığının, modelin doğruluğu ve işlem süresi açısından en uygun sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, sonraki analizlerde ve hesaplamalarda, 1 saniyelik zaman aralığı esas alınarak dört farklı ölçüm durumu bu zaman diliminde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.11 Küvet Yüzeyi Isı Akısı



Şekil 4.12 Yan Panel Isı Akısı

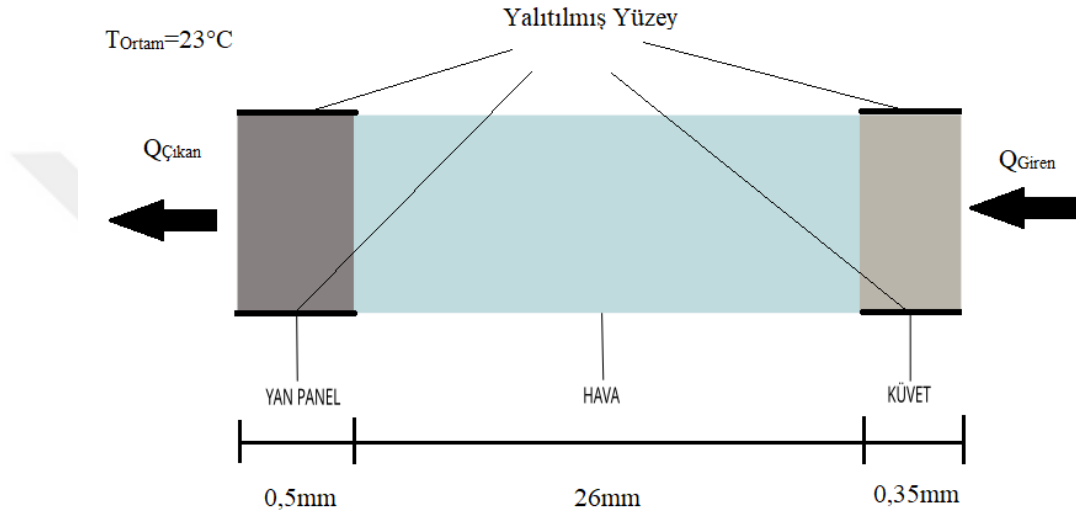


Şekil 4.13 Yan Panel Dış Yüzeyi Sıcaklığı

4.3. Durumların Modellenmesi

4.3.1 Durum 1

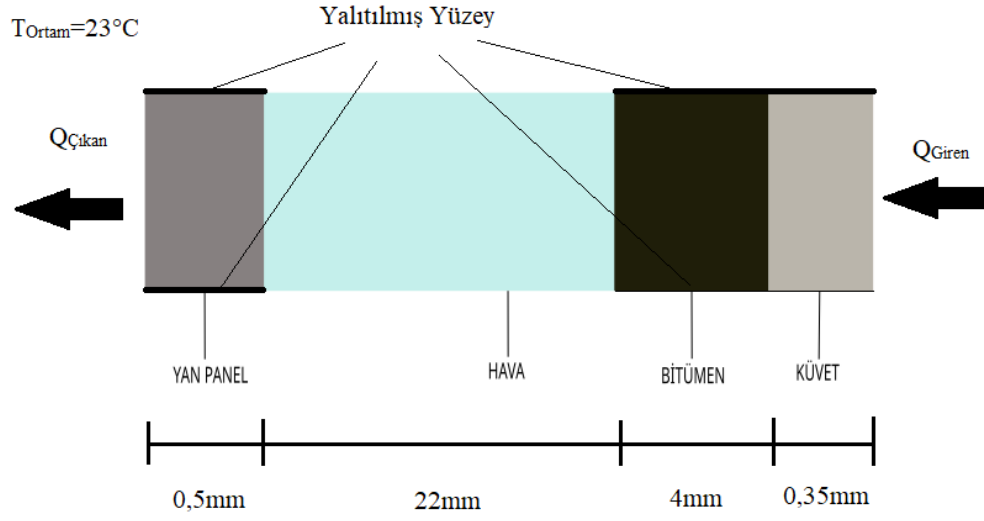
Birinci durum yani makinenin yalıtımsız olması durumu sonlu elemanlar analizinde incelenmiştir. Yapının modelinin kesit detayı Şekil 4.14 üzerinde gösterilmiştir. Burada küvet kalınlığı 0,35mm, yan panel kalınlığı 0,5mm, iki yüzey arasında kalan hava boşluğu ise 26mm olarak modellenmiştir.



Şekil 4.14 Durum 1 Kesit Görseli

4.3.2 Durum 2

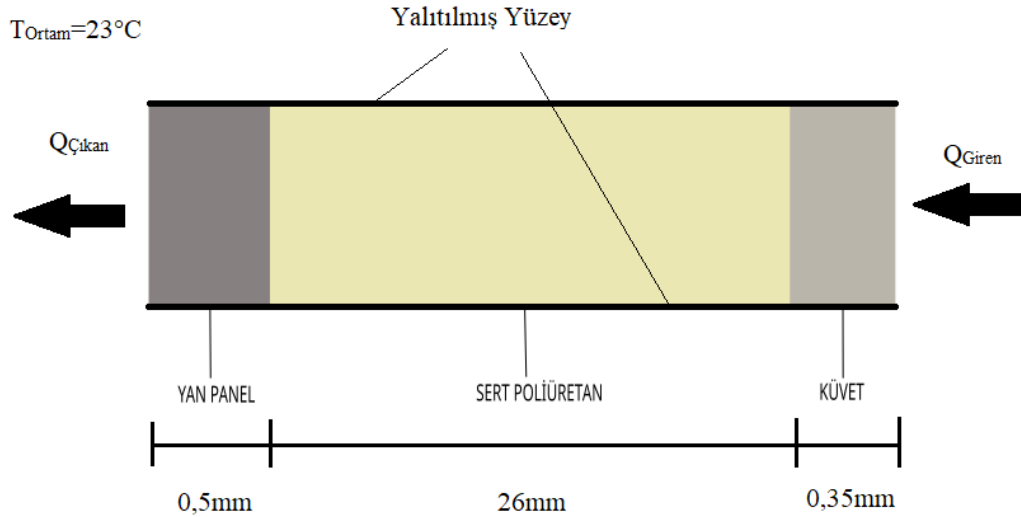
İkinci durumda, makinenin küvet dış yüzeyinin bitümen ile kaplı olması durumu incelenmiştir. Bu yapı için kesit detayına ait görsel, Şekil 4.15'de sunulmaktadır. Küvet ve yan panel kalınlıkları, durum 1 ile aynı olacak şekilde sırasıyla 0,35 mm ve 0,5 mm olarak modellenmiş olup, küvet dış yüzeyindeki bitümen tabakası ise gerçek koşullara uygun olarak 4 mm kalınlığında modellenmiştir.



Şekil 4.15 Durum 2 Kesit Görseli

4.3.2 Durum 3

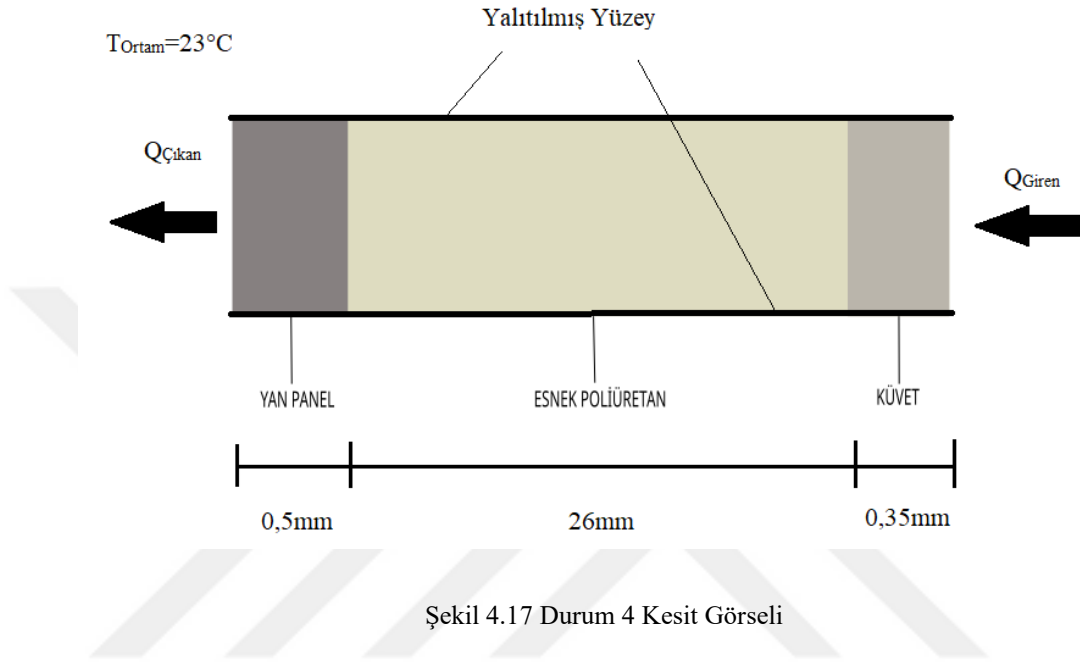
Üçüncü durumda küvet ve yan panel arasına sert poliüretan malzeme eklenmiştir. Küvet ve yan panel kalınlıkları diğer durumlarda olduğu gibi eştir. Üçüncü durum için kesit detay görseli Şekil 4.16 üzerinde verilmiştir.



Şekil 4.16 Durum 3 Kesit Görseli

4.3.2 Durum 4

Dördüncü durum, üçüncü durum ile benzerdir. Kuvet ve yan panel kalınlıkları diğer durumlar ile eştir. Yalıtım malzemesi olarak esnek poliüretan kullanılmıştır. Kesit detayı Şekil 4.17 üzerinde gösterilmiştir.



BÖLÜM BEŞ

AKUSTİK TESTLERİ

Beyaz eşya makineleri, özellikle çamaşır makineleri, bulaşık makineleri, buzdolapları ve kurutma makineleri gibi evde sıkça kullanılan cihazlar, çalışma sırasında farklı akustik frekanslarda ses yayabilirler. Bu sesler, hem cihazın içindeki hareketli parçalar (motorlar, fıskiyeler, kompresörler) hem de dış çevre ile etkileşimi (vibrasyonlar, hava akımları) sonucu ortaya çıkabilir. Akustik testler, bu seslerin şiddetini, frekans spektrumunu ve kullanım koşulları altında nasıl davrandığını ölçmek için yapılır.

Beyaz eşyaların akustik performansının değerlendirilmesi, kullanıcı memnuniyetini artırmak ve ev ortamında konforu sağlamak adına önemlidir. Özellikle modern tüketiciler, ses seviyelerinin düşük olmasını ve cihazların çalışırken fazla gürültü yapmamasını tercih etmektedir. Bu bağlamda, akustik testler, ürünlerin pazarda rekabetçi kalabilmesi için önemli bir kalite kriteri haline gelmiştir.

Akustik testler genellikle belirli standartlara göre yapılır. Bu testlerin en yaygın olarak referans gösterilen standartlarından biri, EN 60704-2-3'tür. Bu standart, özellikle beyaz eşya ürünlerinin akustik testleri için geçerli olan şartları ve test metodolojilerini tanımlar. Testler, genellikle yarı yankısız odalarda yapılır. Bu tür odalar, ses yansımalarını en aza indirerek, yalnızca test edilen cihazın ürettiği sesleri doğru bir şekilde ölçmeye olanak tanır.

Testlerin gerçekleştirildiği ortamda, sıcaklık, nem, basınç gibi çevresel parametreler de belirli standartlara göre kontrol edilmelidir. Beyaz eşyanın akustik performansının doğru bir şekilde ölçülmesi için ortam koşullarının sabit olması ve test sürecinde tutarlı bir şekilde izlenmesi gerekmektedir. Bu koşullar altında, cihazın çalışma süreleri boyunca belirli mikrofönlarla ses ölçümleri yapılır ve cihazın ürettiği ses seviyeleri kaydedilir. Ayrıca, testlerin yapıldığı odadaki yansımaz yüzeyler ve mikrofön konumları da standartlara uygun şekilde yerleştirilir.

Beyaz eşya ürünlerinin akustik performansını değerlendirmek için çeşitli parametreler ölçülür. Bu parametreler, cihazın ses seviyesinin, frekans dağılımının ve

zaman içindeki değişimlerinin belirlenmesine yardımcı olur. Akustik testlerde ölçülen başlıca parametreler aşağıda verilmiştir.

Ses Basınç Seviyesi cihazın çalışma sırasında ürettiği ses şiddetinin desibel (dB) cinsinden ölçülmesidir. Ses basınç seviyesi, genellikle A ağırlıklı desibel (dB(A)) cinsinden ifade edilir. Bu ölçüm, insan kulağının duyduğu frekanslara göre yapılan bir ölçümdür.

Frekans Spektrumu: Cihazın ürettiği sesin frekans bileşenlerinin analizi yapılır. Frekans spektrumu, düşük frekanslı (bas) ve yüksek frekanslı (treble) seslerin oranını ve etkisini gösterir. Düşük frekanslı sesler daha rahatsız edici olabilmekte olup, bu tür seslerin analizi, ses izolasyonu ve tasarım iyileştirmeleri için önemlidir.

Gürültü Seviyesi: Cihazın genel gürültü düzeyi, test sırasında belirli bir mesafede ölçülerek cihazın çevreye yaydığı sesin toplam şiddeti belirlenir. Bu parametre, özellikle cihazın uzun süreli kullanımı sırasında kullanıcı üzerindeki gürültü etkisini anlamaya yöneliktir.

5.1. Test Bilgileri

Test makinelerinin akustik testleri, EN 60704-2-3 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlgili standart gereğince, test ölçümleri, 'ECO Program' adlı deklerasyon programı üzerinden yapılmış ve yarı yankısız bir odada gerçekleştirilmiştir. Yarı yankısız odanın boyutları 6 m x 6 m x 4 m olup, toplam hacmi 144 m³'tür. Bu odanın duvar yüzeyleri, ISO 3745 standardına uygun olarak yansımaz astar ile kaplanmış olup, bu tasarım, düşük frekanslarda, özellikle 100 Hz'deki seslerin doğru bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, testler sırasında ortamda oluşabilecek ses yansımaları minimum seviyeye indirilerek, akustik ölçümlerin doğruluğu artırılmıştır.

Testlerin gerçekleştirildiği yarı yankısız oda, Şekil 5.1'de detaylı olarak gösterilmiştir. Bu ortamda yapılan akustik ölçümler, test makinelerinin performansının değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır ve akustik verilerin doğru bir şekilde elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Yarı yankısız odanın

özel tasarımı ve akustik koşulları, yapılan testlerin güvenilirliğini artırmakta ve frekans spektrumunun her noktasında hassas ölçüm yapılmasını sağlamaktadır.

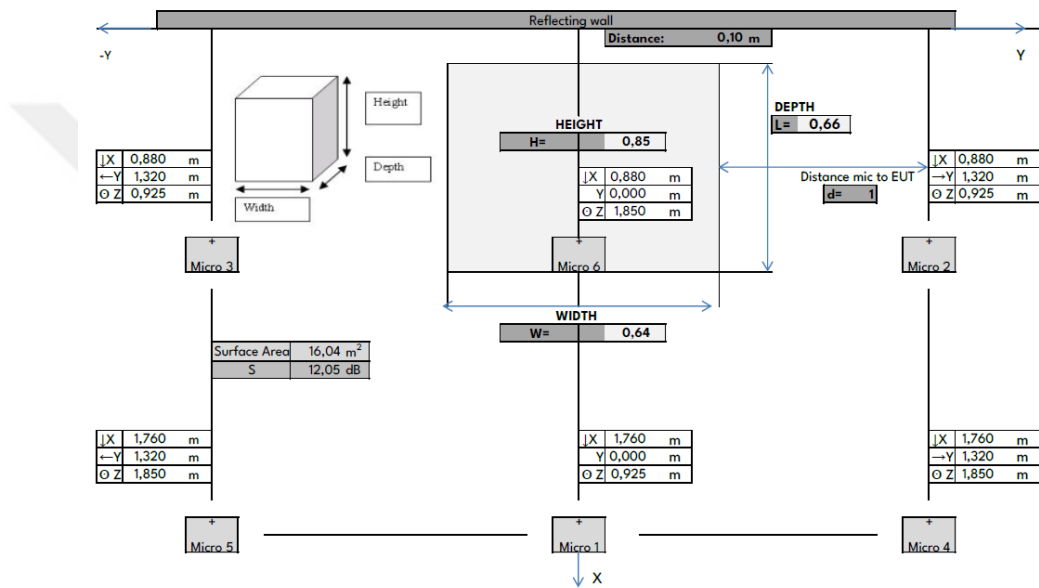


Şekil 5.1 Yarı Yankısız Akustik Oda (Kişisel arşiv, 2025)

EN 60704-2-3 standardına göre, test edilecek makine yarı yankısız oda içerisinde belirli bir konumda yerleştirilir. Bu yerleşim düzeni, testlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla titizlikle belirlenmiş olup, test makinesinin hemen 0,1 m arkasına yansıtıcı bir yüzey konumlandırılır. Bu yansıtıcı yüzey, ses dalgalarının doğru bir şekilde yönlendirilmesini ve ölçümlerin sağlıklı bir şekilde alınmasını mümkün kılar.

Ölçüm verileri, bağımsız altı farklı mikrofon aracılığıyla alınır. Mikrofonların yerleştirileceği konumlar, ilgili standarda uygun şekilde belirlenmiş olup, her mikrofonun test makinelerine olan mesafesi ve açısı, akustik ölçümlerin doğruluğunu sağlamak için standartta belirtilen kriterlere dayanmaktadır. Bu mikrofonlar, test sırasında çevresel etkenlerden minimum düzeyde etkilenecek, makinelerin ürettiği ses düzeylerini hassas bir şekilde kaydeder.

Şekil 5.2'de, test sırasında mikrofonların yerleştirildiği konumlar detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Mikrofonların doğru konumlandırılması, ses ölçümlerinin güvenilirliğini artırmakta ve farklı frekanslardaki ses düzeylerini doğru bir şekilde değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Ayrıca, mikrofonların stratejik yerleştirilmesi, ses dalgalarının oda içerisinde nasıl yayıldığını anlamak ve test edilen makinenin çevresel etkilerini analiz etmek açısından büyük önem taşır. Bu yöntemle elde edilen veriler, makinelerin akustik performansını objektif ve doğru bir şekilde değerlendirmek için kullanılır.



Şekil 5.2 Ölçüm Mikrafon Mesafeleri

5.2. Akustik Test Ortam Koşulları

Zamana bağlı termal analizi yapılan ve performans test laboratuvarında enerji ile sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirildiği test makineleri, dört farklı durum için akustik testlere tabi tutulmuştur. Bu testler, EN 60704-2-3 standardına uygun olarak yapılmıştır. İlgili standart, testlerin gerçekleştirileceği ortamın koşullarını ayrıntılı bir şekilde belirlemektedir. Bu parametreler arasında ortam sıcaklığı, atmosfer basıncı ve su sıcaklığı gibi önemli etkenler yer almakta olup, her bir parametrenin testlerin

doğruluğu üzerindeki etkileri dikkate alınarak, test öncesinde bu değerler titizlikle kontrol edilmiştir.

Dört farklı durum için gerçekleştirilen testlerde, her bir testin sonuçları bağımsız olarak alınmış ve her bir parametre ayrı ayrı ölçülmüştür. Böylece, her bir test durumu için ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliği artırılmıştır. Testlerde elde edilen veriler, standartta belirtilen deklarasyon değerleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, yapılan ölçümler ve elde edilen test sonuçları, Tablo 5.1'de belirtilmiştir.

Bu süreç, test makinelerinin farklı çalışma koşullarındaki performansını değerlendirmek ve çevresel etmenlerin makinelerin enerji tüketimi ve sıcaklık dengesi üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, testlerin EN 60704-2-3 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi, testlerin uluslararası kabul görmüş standartlarla tutarlılığını ve geçerliliğini sağlamaktadır.

Tablo 5.1. Akustik Test Ortam Koşulları

Parametre	Deklare Değer	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
Ortam Sıcaklığı (°C)	15-25	21-23	21-23	20-22	20-22
Atmosfer Basıncı (hPa)	860-1060	1000	1000	1000	1000
Bağıl Nem (%)	30- 70	50-60	55-60	55-65	50-55
Su sıcaklığı (°C)	10-25	15,5	15,5	15	15
Su basıncı (kPa)	190-290	200	200	210	200

BÖLÜM ALTI

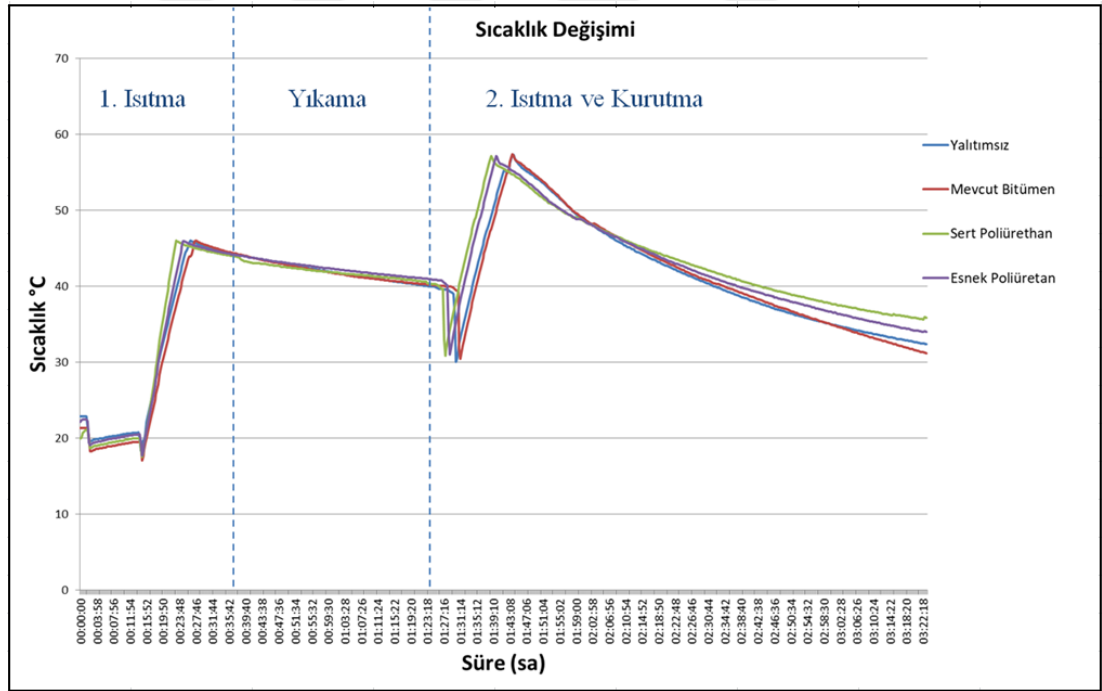
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

6.1 Laboratuvar Testleri ve Ölçümleri

Bölüm 3’te ifade veri dört farklı durum için oluşturulan test makinelerinin sıcaklık ve enerji ölçümleri 5 farklı günde gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi makinelerin peş peşe çalıştırılması durumunda makine içinin soğumamasından dolayı sıcaklık ve enerji sonuçlarının olması gereken değerlerden daha düşük çıkmasıdır. Alınan beş ölçümün ortalaması alınarak grafikler haline getirilmiştir.

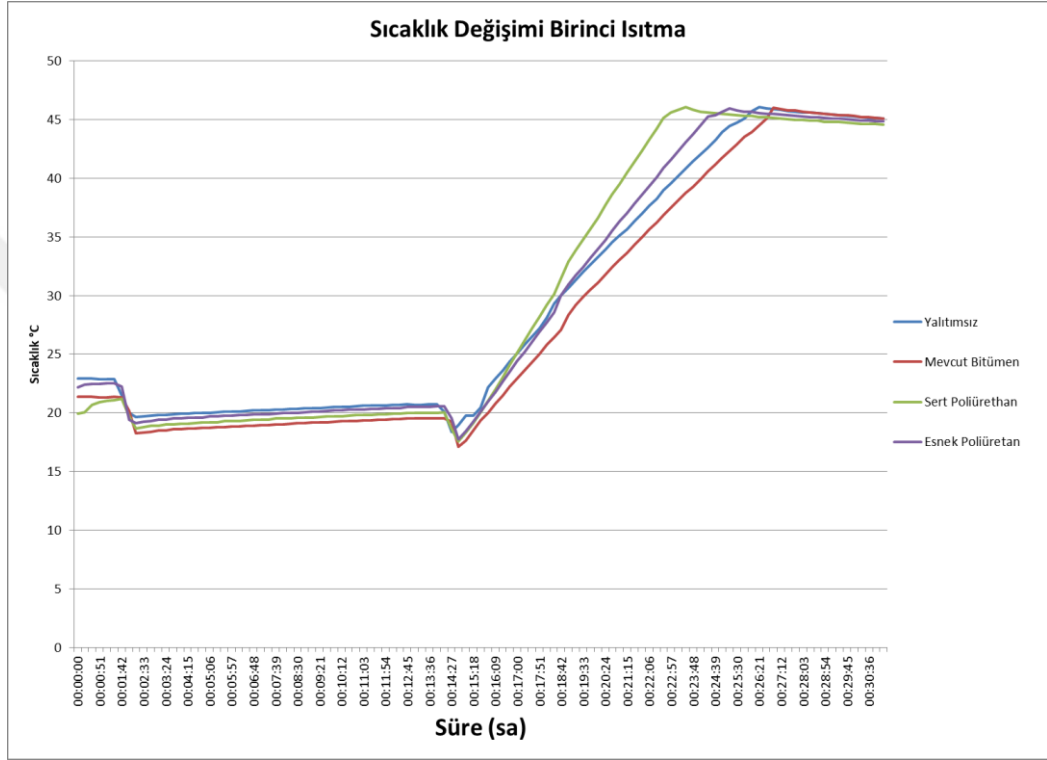
6.1.1 Laboratuvar Sıcaklık Ölçümleri

Dört durum için sıcaklığın zamana bağlı değişimi Şekil 6.1 üzerinde gösterilmektedir. Grafiğin daha detayla incelenmesi için toplam süre birinci ısıtma, yıkama, ikinci ısıtma ve yıkama olmak üzere üç kısma bölünmüştür.



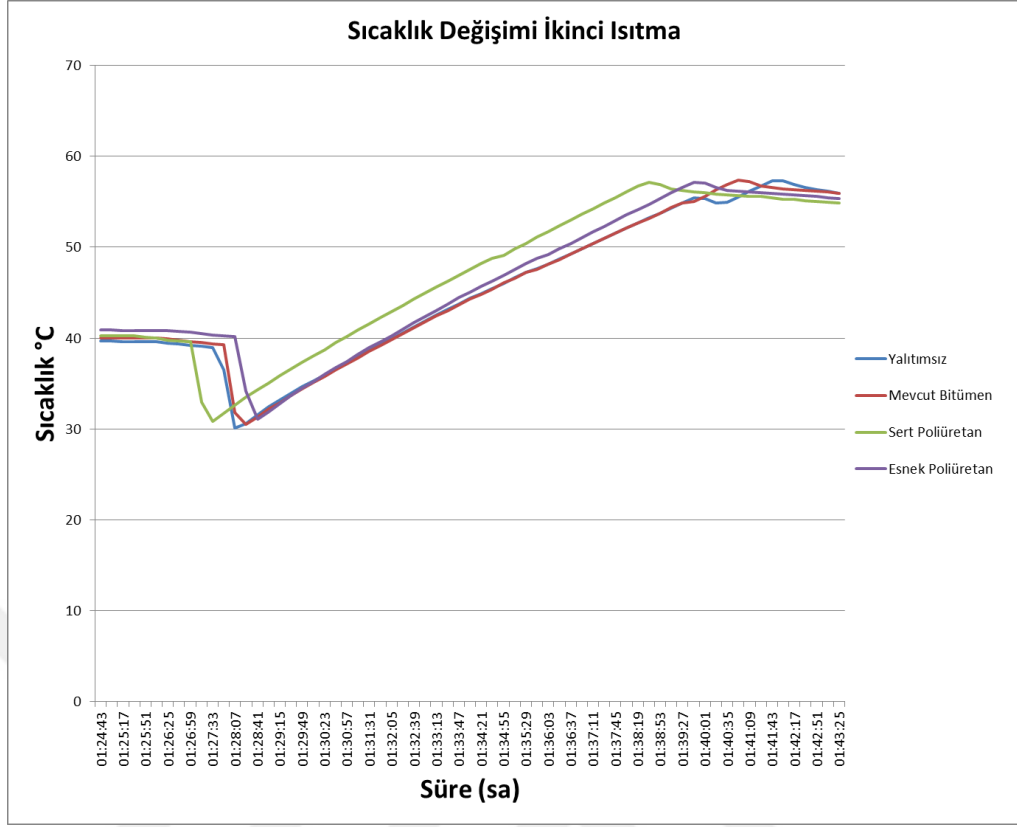
Şekil 6.1 Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi Grafiği

Yaklaşık olarak 15 ve 30. dakikalar arasında gerçekleşen birinci ısıtma incelendiğinde sert poliüretan yalıtım malzeme kullanılan makinede istenilen sıcaklığı daha kısa sürelerde ulaşıldığı görülmüştür. Esnek poliüretan kullanılan test makinesi ikinci sırada, yalıtımsız makine üçüncü bitümen kullanılan test makinesi ise en uzun sürede istenilen yıkama sıcaklığına ulaşmıştır. Birinci ısıtma grafiği Şekil 6.2 üzerinde gösterilmiştir.



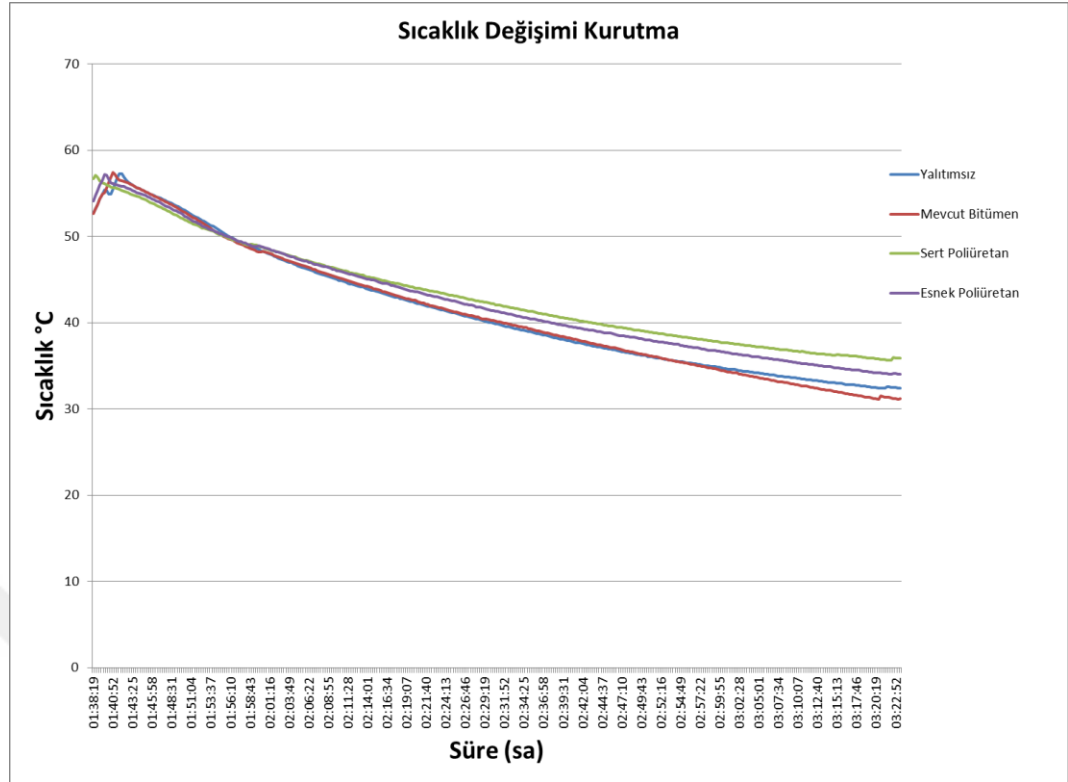
Şekil 6.2 Birinci Isıtma Sıcaklık Değişimi Grafiği

İkinci ısıtma kısmı incelendiğinde birinci ısıtma ile benzer bir durum ortaya çıkmaktadır. Poliüretan yalıtım malzemesi kullanılan makineler algoritmada hedeflenen sıcaklığa daha kısa sürede çıkmaktadır. Burada ilk ısıtmayı erken tamamlayan makineler ana yıkamaya daha önce başladığı için yıkamayı daha erken tamamlamıştır. İkinci ısıtmanın grafiği Şekil 6.3 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Birinci Isıtma Sıcaklık Değişimi Grafiği

Algoritma sıcak duruma sıcaklığında maksimum sıcaklığa çıkmasının ardından suyu sistemden boşaltarak kurutma fazına geçmektedir. Farklı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda program sonundaki sıcaklıklar da değişkenlik göstermektedir. Kurutma grafikleri Şekil 6.4 üzerinde gösterilmiştir. Buna göre Durum 3 yani sert poliüretan malzeme kullanılması durumunda program sonu sıcaklık 35,91 °C, esnek poliüretan malzeme kullanılması durumunda 34,01 °C, yalıtımsız olması durumunda, 32,39 °C ve bitümen malzeme kullanılması durumunda 31,24 °C olarak ölçülmüştür.

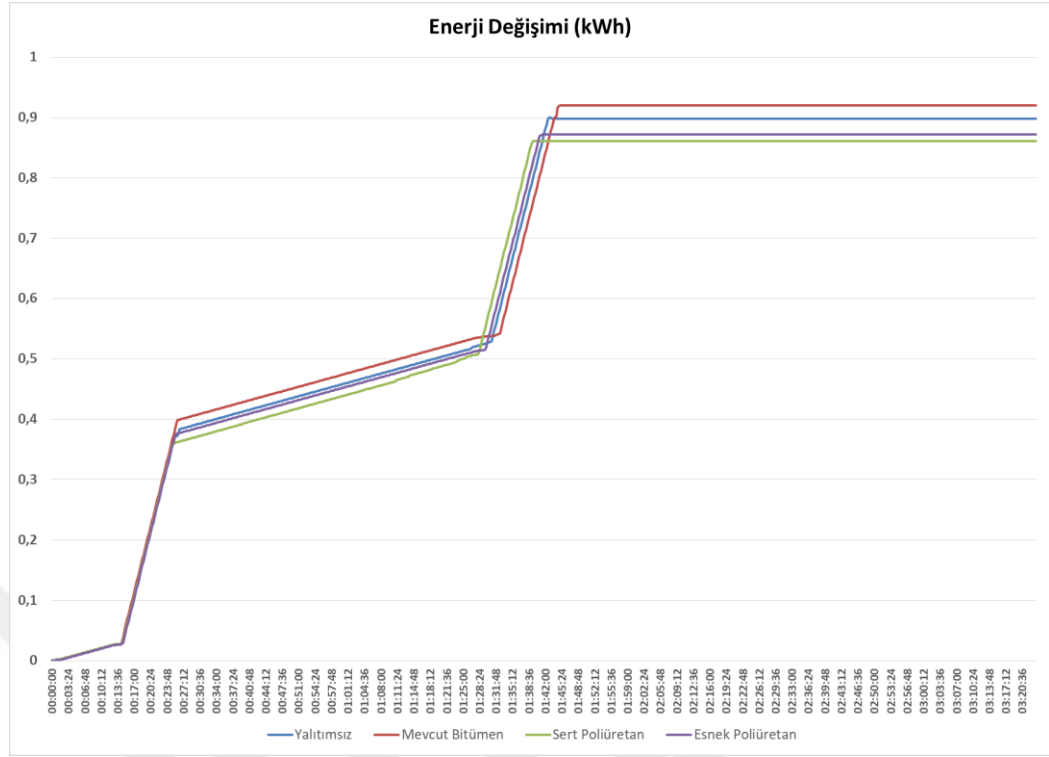


Şekil 6.4 Kurutma Sıcaklık Değişimi Grafiği

6.1.2 Laboratuvar Enerji Ölçümleri

Sıcaklık ölçümleri ile eş zamanlı olarak, test panoları üzerinden enerji tüketim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları, en düşük enerji tüketiminin sert poliüretan köpük kullanılan durumda elde edildiğini göstermektedir. Bu durumda enerji tüketimi 0,861 kWh olarak ölçülmüştür. İkinci sırada, enerji tüketimi 0,871 kWh olan esnek poliüretan köpük yer almaktadır. Yalıtım malzemesi kullanılmayan durum, enerji tüketiminin 0,897 kWh olarak ölçüldüğü üçüncü sırada yer alırken, en yüksek enerji tüketimi ise bitümen kullanılan durumda tespit edilmiştir. Bu durumda tüketim değeri 0,920 kWh olarak belirlenmiştir.

Sonuçlar sıcaklık ölçümleri ile karşılaştırıldığında termal yalıtımın iyi olduğu durumda küvet sıcaklığının korunduğu, bu sayede ısıtıcı elemanın daha kısa çalışarak istenilen sıcaklığı ulaştığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.5 üzerinde enerjinin zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Zamana Bağlı Enerji Değişim Grafiği

6.1.3 Kurutma Test Sonuçları

Beş farklı günde gerçekleştirilen kurutma testlerinde dört makine eş zamanlı olarak test edilmiştir. Test sürecinde, oda koşulları sürekli olarak izlenmiş ve kayıt altına alınmış, bu koşulların standartlarda belirtilen tolerans değerleri içinde kaldığı doğrulanmıştır. Kurutma hesaplamalarına ilişkin detaylar Bölüm 3.3'te açıklanmıştır. Test sonuçları, Tablo 6.1, Tablo 6.2, Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'te dört farklı durum için sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, sert poliüretan yalıtım malzemesi kullanılan durumdaki kurutma indeksi 1,09, esnek poliüretan kullanılan durumdaki kurutma indeksi 1,08, yalıtım malzemesi kullanılmayan durumdaki kurutma indeksi 1,07 ve bitümen kullanılan durumdaki kurutma indeksi ise 1,05 olarak hesaplanmıştır.

Kurutmayı etkileyen faktörlerden biri, makine içindeki sıcaklıktır. Bölüm 6.1.1'de verilen sıcaklık grafiği dikkate alındığında, poliüretan kullanılan makinelerde kurutma süresi boyunca sıcaklık düşüşünün daha belirgin olduğu ve programın

tamamlandığı andaki son sıcaklığın daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, kurutma performansını olumlu yönde etkilemiştir.

Tablo 6.1 Durum 1 Kurutma Performansı

Test Numarası	Test makinesi ($D_{t,i}$)	Referans Makine ($D_{R,i}$)	Referans Hedef ($D_{R,T}$)	İndeks	Tolerans (%)
1	0,88	0,81	0,82	1,07	0,63
2	0,84	0,83	0,82	1,02	5,15
3	0,89	0,84	0,82	1,09	-0,50
4	0,90	0,83	0,82	1,10	-1,63
5	0,86	0,81	0,82	1,05	2,89
Ortalama	0,87	0,82	0,82	1,07	1,31

Tablo 6.2 Durum 2 Kurutma Performansı

Test Numarası	Test makinesi ($D_{t,i}$)	Referans Makine ($D_{R,i}$)	Referans Hedef ($D_{R,T}$)	İndeks	Tolerans (%)
1	0,87	0,81	0,82	1,06	1,76
2	0,88	0,83	0,82	1,07	0,63
3	0,85	0,84	0,82	1,04	4,02
4	0,86	0,83	0,82	1,05	2,89
5	0,86	0,81	0,82	1,05	2,89
Ortalama	0,86	0,82	0,82	1,05	2,44

Tablo 6.3 Durum 3 Kurutma Performansı

Test Numarası	Test makinesi ($D_{t,i}$)	Referans Makine ($D_{R,i}$)	Referans Hedef ($D_{R,T}$)	İndeks	Tolerans (%)
1	0,90	0,81	0,82	1,10	-1,63
2	0,88	0,83	0,82	1,07	0,63
3	0,89	0,84	0,82	1,09	-0,50
4	0,90	0,83	0,82	1,10	-1,63
5	0,90	0,81	0,82	1,10	-1,63
Ortalama	0,89	0,82	0,82	1,09	-0,95

Tablo 6.4 Durum 4 Kurutma Performansı

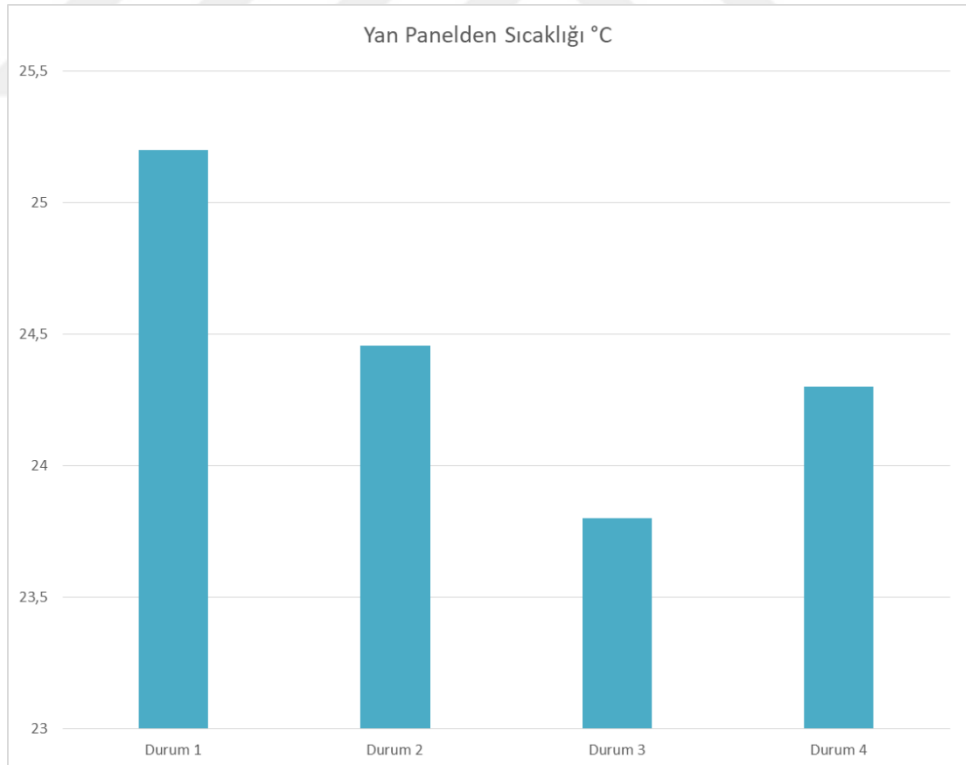
Test Numarası	Test makinesi ($D_{t,i}$)	Referans Makine ($D_{R,i}$)	Referans Hedef ($D_{R,T}$)	İndeks	Tolerans (%)
1	0,87	0,81	0,82	1,06	1,76
2	0,88	0,83	0,82	1,07	0,63
3	0,88	0,84	0,82	1,07	0,63
4	0,90	0,83	0,82	1,10	-1,63
5	0,89	0,81	0,82	1,09	-0,50
Ortalama	0,88	0,82	0,82	1,08	0,178

6.2 Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Yapılan sonlu elemanlar analizinde küvet iç ve dış yüzey geçen ısı akısı, yan panel ve dış ortam arasındaki ısı akısı yan panel yüzey sıcaklığı, sistemde depo edilen enerji gibi çeşitli parametreler incelenmiş ve dört farklı yalıtım durumu için karşılaştırılmıştır.

6.2.1 Yan Panel Yüzey Sıcaklığı

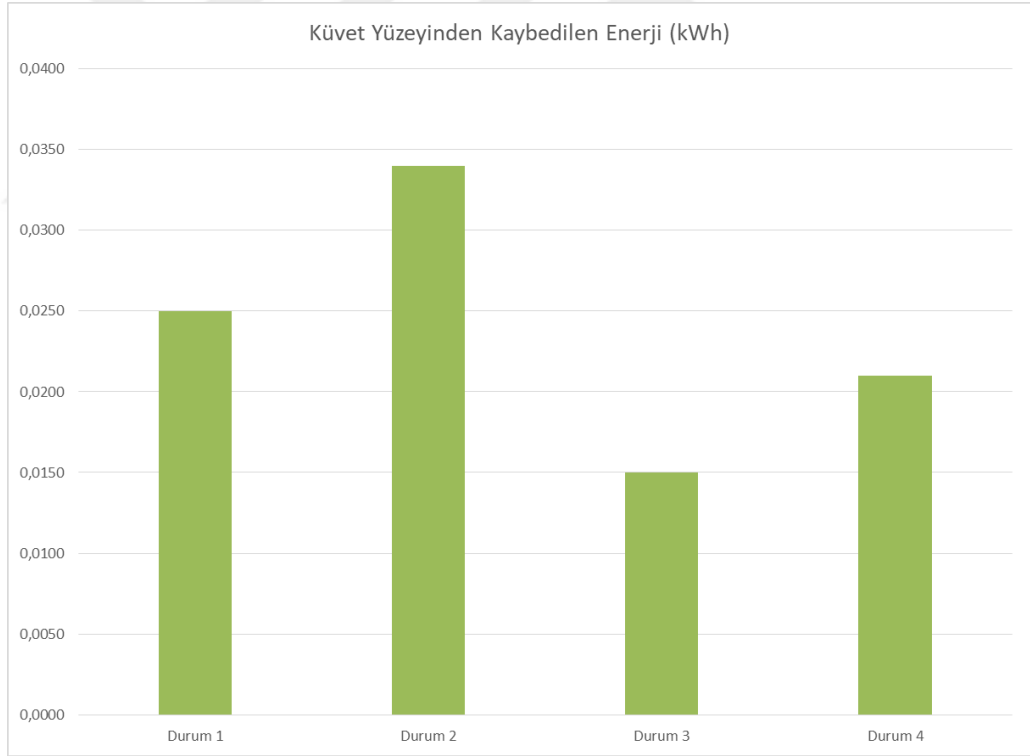
Zamana bağlı sonlu elemanlar analizi sonucunda yan panel yüzey sıcaklıkları karşılaştırması yapılmıştır. Analiz süresi 12300 saniyedir. Yüzey sıcaklıkları karşılaştırıldığında yan panel sıcaklığının en yüksek olduğu durum küvetin yalıtımsız olduğu durum en düşük olduğu durum ise sert poliüretan malzeme kullanıldığı durum olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık değerlerinin karşılaştırıldığı grafik Şekil 6.5 üzerinde verilmiştir.



Şekil 6.6 Yan Panel Sıcaklık Grafiği

6.2.2 Küvet Yüzeyi Isı Transferi

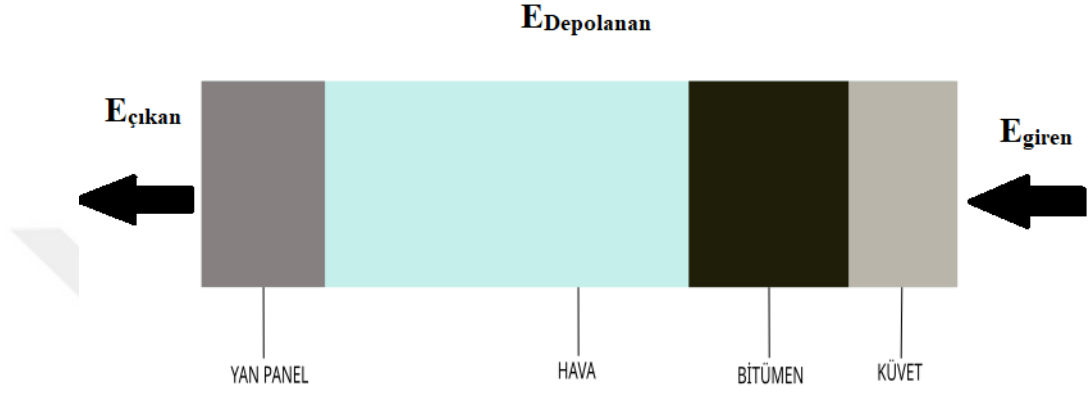
Kvetin dış yüzeyi ile yalıtım malzemesi arasındaki yüzeyde ısı transferi incelendiğinde, en yüksek ısı transferinin bitümen kullanıldığı durumda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi sırasında, bu yüzeye yerleştirilen bir ısı akısı sensörü aracılığıyla analiz boyunca ısı akısı ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin ortalaması alınmış ve ardından toplam yüzey alanı ile çarpılarak birim alandan tüm yüzeye ilişkin ısı transferi hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer, toplam süre ile çarpılarak söz konusu yüzeyden kaybedilen enerji miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji miktarının birimi kilovat-saat (kWh) olarak ifade edilmiştir. Küvet yüzeyinden kaybedilen enerji miktarının kullanılan yalıtım malzemelerine göre karşılaştırması, şekil 6.6'da sunulmuştur.



şekil 6.7 Küvet Yüzeyinden Kaybedilen Enerji Grafiği

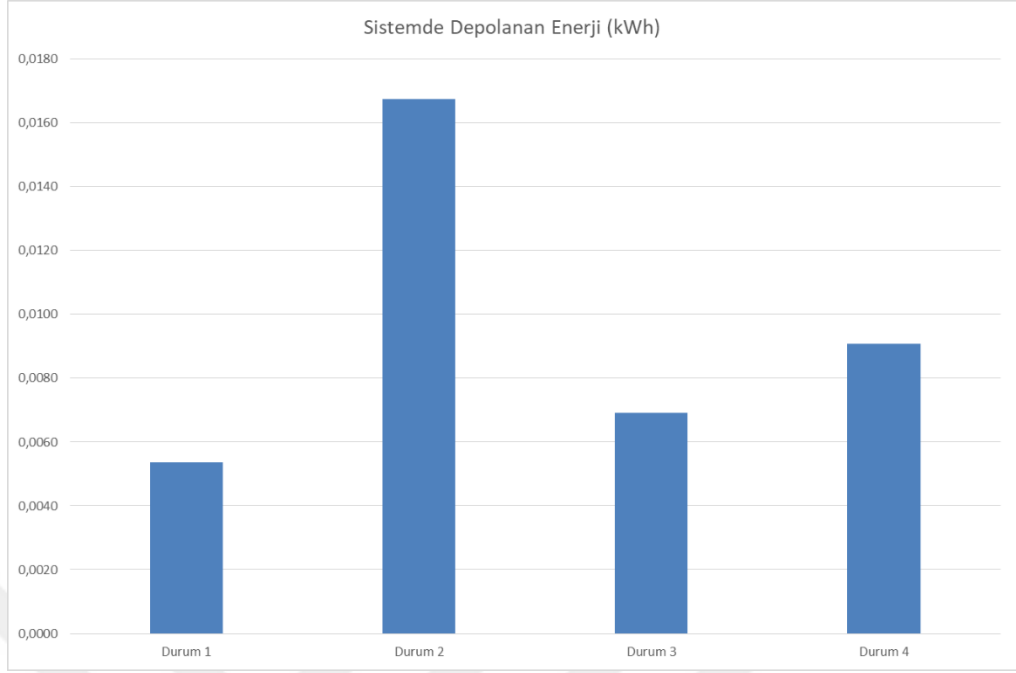
6.2.3 Sistemde Depolanan Enerji

Sistemde depo edilen enerji hesabı termodinamiğin birinci yasasında yer alan enerjinin korunumuna göre hesaplanmıştır. Buna göre ısı üretimi olmayan bir sistemde, sisteme giren ve sistemden çıkan enerjilerin farkı sistemde depolanan enerji miktarına eşittir. Şekil 6.7 üzerinde bu durum gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Sistemdeki Enerji Gösterimi

Sonlu elemanlar analizi sırasında, küvetin iç yüzeyi ile yan panelin dış yüzeyine yerleştirilen ısı akısı sensörleri sayesinde bu yüzeylerden geçen ısı akısı saniyelik olarak hesaplanmıştır. Analiz sonrasında, hesaplanan değerler yüzey alanı ve süre ile çarpılarak birim alan ve zamandan bağımsız şekilde kilovat-saat (kWh) cinsinde enerjiye dönüştürülmüştür. Sisteme giren ve sistemden çıkan enerji miktarlarının farkı alınarak sistemde depolanan enerji hesaplanmıştır. Şekil 6.8'de, dört farklı durum için sistemde depolanan enerji gösterilmiştir.



Şekil 6.9 Sistemde Depolanan Enerji Karşılaştırması

6.3 Akustik Test Sonuçları

Dört farklı yalıtım durumu için tasarlanan dört test makinesi, Bölüm 5'te açıklanan koşullar altında yarı yankısız bir akustik laboratuvarında teste tabi tutulmuştur. Farklı konumlara yerleştirilen mikrofonlardan elde edilen ölçümlerde, L_{WA} ifadesi A-ağırlıklı ses güç seviyesini ifade etmekte olup birimi desibeldir (dB). Ölçümler, 1/3 oktav bant aralığında gerçekleştirilmiştir.

Oktav kavramı, bir frekans bandını tanımlamak için kullanılırken, 1/3 oktav bandı, bir oktavın üç eşit parçaya bölündüğü frekans aralığını temsil eder. Bu çalışmada, ölçümler 100 Hz ile 10.000 Hz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Ses güç seviyesi, logaritmik bir ifade olduğundan, birimi desibeldir ve farklı frekanslardaki desibel değerleri doğrudan toplanamaz. Bu nedenle, önce desibel değerleri enerjiye dönüştürülür, ardından enerji değerleri toplanır ve son olarak toplam ses gücü seviyesi yeniden logaritmik olarak hesaplanır. Dönüşüm aşağıdaki şekilde gerçekleşir.

Ses gücü seviyesi (L_{WA}) enerjiye dönüştürülür. Burada P_0 referans ses gücüdür (10^{-12} W).

$$P = P_0 \cdot 10^{\frac{L_{WA}}{10}} \quad (6.1)$$

Enerji değerleri toplanır.

$$P_{toplam} = \sum P_i \quad (6.2)$$

Toplam enerji yeniden desibel formatına çevrilir.

$$L_{WA,toplam} = 10 \cdot \log_{10}(P_{toplam}) \quad (6.3)$$

Yarı yankısız akustik test odasında yapılan deneylerde dört farklı yalıtım durumu test edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Testler sonucunda, makinenin yalıtımsız olması durumunda toplam ses seviyesi 56,12 dB olarak ölçülmüştür. Bitümen malzeme kullanıldığında toplam ses seviyesi 50,04 dB, sert poliüretan malzeme kullanıldığında 55,25 dB ve esnek poliüretan malzeme kullanıldığında ise 54,75 dB olarak tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçlarının incelenmesi sonucunda, poliüretan malzemelerin akustik yalıtım performansının bitümen malzeme ile kıyaslandığında yetersiz olduğu ve yaklaşık 5 dB daha yüksek bir ses seviyesi sağladığı görülmektedir. Farklı yalıtım malzemelerine ilişkin frekanslara bağlı olarak ölçülen ses gücü seviyeleri, sırasıyla Tablo 6.5, Tablo 6.6, Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’de gösterilmektedir.

Tablo 6.5 Durum 1 Frekansa Bağlı Ses Seviyeleri

Frekans [Hz]	LW [dB(A)]
100	47,94
125	44,49
160	41,88
200	41,80
250	42,07
315	45,65
400	45,73
500	43,99
630	42,21
800	41,68
1000	40,19
1250	39,61
1600	41,70
2000	44,21
2500	44,14
3150	43,45
4000	40,73
5000	40,21
6300	37,66
8000	35,07
10000	32,12
Toplam	56,12

Tablo 6.6 Durum 2 Frekansa Bağlı Ses Seviyeleri

Frekans [Hz]	LW [dB(A)]
100	42,19
125	38,56
160	35,26
200	34,65
250	35,12
315	39,16
400	38,62
500	40,39
630	37,85
800	36,81
1000	34,51
1250	35,10
1600	36,67
2000	36,73
2500	35,88
3150	35,66
4000	34,22
5000	33,54
6300	31,38
8000	28,43
10000	26,59
Toplam	50,04

Tablo 6.7 Durum 3 Frekansa Bağlı Ses Seviyeleri

Frekans [Hz]	LW [dB(A)]
100	47,70
125	43,43
160	39,27
200	39,55
250	42,10
315	44,66
400	44,28
500	43,44
630	41,05
800	41,06
1000	40,99
1250	41,98
1600	41,87
2000	43,54
2500	43,75
3150	40,91
4000	38,24
5000	36,63
6300	33,24
8000	29,89
10000	26,52
Toplam	55,25

Tablo 6.8 Durum 3 Frekansa Bağlı Ses Seviyeleri

Frekans [Hz]	LW [dB(A)]
100	47,83
125	44,40
160	40,91
200	41,37
250	42,07
315	44,24
400	44,78
500	42,39
630	39,79
800	38,53
1000	37,24
1250	37,08
1600	38,81
2000	41,09
2500	41,16
3150	40,89
4000	39,10
5000	37,86
6300	36,00
8000	32,90
10000	30,14
Toplam	54,75

6.4 Değerlendirme

Laboratuvar testlerinde gerçekleştirilen sıcaklık ve enerji ölçümü verilerine göre yalıtım malzemesi olarak poliüretan malzeme kullanılması durumunda mevcut bitümen ve yalıtımsız duruma göre daha etkili bir termal izolasyon sağlanmıştır. Bu durum algoritma üzerinde belirlenmiş sıcaklık değerine daha kısa sürede ulaşılmasına, yüksek güç tüketen ısıtıcı elemanın ise daha kısa süre çalışmasına sebep olurken toplam enerji tüketimini ise düşürmüştür.

Termal yalıtımı daha iyi olan makinelerde olmayan duruma kıyasla kurutma fazında makine iç sıcaklığı daha düşük bir hızda azalmıştır. Bu durum kurutma performansını da olumlu yönde etkilemiştir.

Sonlu elemanlar analizleri incelendiğinde küvet dış yüzenden kaybedilen enerjinin en fazla olduğu durum bitümen malzemenin kullanıldığı durum olarak görülmüştür. Poliüretan malzemeye göre yüksek kütle ve yüksek özgül ısı özelliği sayesinde ısıyı enerjini üzerinde depolamıştır. Sert poliüretan malzeme ise bitümene kıyasla küvet dış yüzeyinden daha az ısı kaybetmiş ve üzerinde daha az ısı depolamıştır. Yalıtım malzemesi kullanılmaması durumunda ise az enerji depolanmış olduğu görülmüştür bu durum yan panelin diğer yalıtım malzemesi kullanılması durumlarına kıyasla daha fazla sıcaklığının yükselmesine sebep olmuştur.

Yarı yankısız odada gerçekleştirilen akustikleri incelendiğinde poliüretan malzemenin akustik izolasyonunun bitümen malzemeye göre daha az performanslı olduğu görülmüştür. Bitümen yerine sert poliüretan yalıtım malzemesi durumunda yaklaşık 5,2 dB, esnek poliüretan malzeme kullanılması durumunda ise 4,7 dB ses düzeyinde artış meydana gelmektedir.

EKLER

Ek-1 Sofra takımı öğelerinin özellikleri

Ürün Kimlik Numarası	Ürün Açıklaması	Malzeme	Çap/uzunluk (mm)	Ağırlık (g)	Yüzey Rengi
A 1	Yemek Tabağı	Porselen	250	530	Beyaz
A 2	Tatlı Tabağı	Porselen	190	250	Beyaz
A 3	Tatlı Kasesi	Corelle Camı	130	118	Beyaz
A 4	Kupa	Porselen	70	268	Beyaz
B 1	Çorba Tabağı	Porselen	230	460	Beyaz
B 2	Melamin Tatlı Tabağı	Melamin	195	315	Beyaz
B 3	Çay Tabağı	Porselen	140	140	Beyaz
B 4	Fincan	Porselen	78	120	Beyaz
A 5 + B 5	Bardak	Borosilikat Cam	60	110	Şeffaf
A 6 + B 6	Çatal	(18/10) Paslanmaz Çelik	188	41	Metalik
A 7 + B 7	Bıçak	(18/10) Paslanmaz Çelik	209	55	Metalik
A 8 + B 8	Çorba Kaşığı	(18/10) Paslanmaz Çelik	190	51	Metalik
A 9 + B 9	Tatlı Kaşığı	(18/10) Paslanmaz Çelik	156	34	Metalik
A 10 + B 10	Çay Kaşığı	(18/10) Paslanmaz Çelik	136	23	Metalik
S 1 a	Küçük Tencere	(18/10) Paslanmaz Çelik	160	820	Metalik
S 1 b	Fırın Kabı	(18/10) Paslanmaz Çelik	160	475	Metalik
S 2	Cam Kase	Borosilikat Cam	186	330	Şeffaf
S 3	Oval Tabak	Porselen	320	850	Beyaz
S 4	Melamin Kase	Melamin	213	170	Beyaz
S 5	Servis Kaşığı	(18/10) Paslanmaz Çelik	260	75	Metalik

KAYNAKLAR

- Ates, M., Karadag, S., Eker, A. A., & Eker, B. (2022). Polyurethane foam materials and their industrial applications. *Polymer International*, 71(10), 1157-1163.
- Abaqus Version 6.6 Documentation (12 Aralık 2024) Finite Elements and Rigid Bodies.<https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/books/gss/default.htm?startat=ch03s01.html>
- Atamer, S., Altinsoy, E., & Hirschfeld, J. (2019). Vibro-Acoustical Analyses of a Dishwasher. *DAGA*.
- Berkholz, P. (2015). Laboratory Investigation of Manual Dishwashing Habits and Its Resource Consumptions: A Study of Consumer Panels in Seven Global Regions. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Köln
- Bengtsson, P., Berghel, J., & Renström, R. (2015). A household dishwasher heated by a heat pump system using an energy storage unit with water as the heat source. *International Journal of Refrigeration*, 49, 19-27.
- Cengel, Y. A. (1998). Heat transfer: a practical approach. (No Title)
- Dalbudak, U. D. (2024). Development of a dishwasher drying system that utilizes wastewater thermal energy and experimental investigation of its performance (Master's thesis, Izmir Institute of Technology (Turkey)).
- Dora, C.M. (2007). Modelling of Factors Decreasing the Energy Consumption of a Washing Machines. (Master's thesis). A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of the Istanbul Technical University.
- Erik, Ö. B. (2019). Hydraulic design optimization and performance evaluation for a dishwasher (Master's thesis, Izmir Institute of Technology (Turkey)).
- EN 60436. Electric Dishwashers for Household Use Methods for Measuring the Performance.

Harrington, Lloyd, and Brown, Jack. Energy consumption of whitegoods - what is improving and what is not: analysis of 13 years of data in Australia. Sweden: N. p., 2007. Web.

ISO 3744: Acoustic — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure.

Kilic, V. T., Unal, E., & Volkan Demir, H. (2020). High - efficiency flow - through induction heating. IET Power Electronics, 13(10), 2119-2126.

Livens, W. H. (1924). Improvements in apparatus for washing household crockery and the like. FR579765. UK Intellectual Property Office.

Michel, A., Attali, S., & Bush, E. (2015). Energy efficiency of White Goods in Europe: monitoring the market with sales data. analysis and report by Topten International Services.

Stamminger, R. (2007). Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs (Tender TREN/D1/40-2005) LOT 14: Domestic Washing Machines and & Dishwasher Part I- Present Sutiuation Task 3: Economic and Market Analysis Rev 1.0.

Tutkak, E. (2010). Bulaşık Makinası Enerji Tüketimi–Yıkama Performansı İlişkisinin İncelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

US Department of Energy (22 Aralık 2024) *Look for the ENERGY STAR® symbol*. <https://www.energy.gov/energysaver/dishwashers>

Wu, J. W., Sung, W. F., & Chu, H. S. (1999). Thermal conductivity of polyurethane foams. International journal of heat and mass transfer, 42(12), 2211-2217.