



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**EV TİPİ BULAŞIK MAKİNELERİNDE  
DOĞAL TAŞINIM PRENSİBİNE GÖRE  
ÇALIŞAN YENİ BİR KURUTMA SİSTEMİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ VE KURUTMA  
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK  
ARAŞTIRILMASI**

**Fatih ENGİNSEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Fatih Enginsel tarafından hazırlanan “Ev Tipi Bulaşık Makinelerinde Doğal Taşınım Prensibine Göre Çalışan Yeni Bir Kurutma Sisteminin Geliştirilmesi ve Kurutma Performansının Deneysel Olarak Araştırılması” adlı tez çalışması 24/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Dilek Nur ÖZEN

#### Danışman

Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Fatih ENGİNSEL

Tarih: 03.06.2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# EV TİPİ BULAŞIK MAKİNELERİNDE DOĞAL TAŞINIM PRENSİBİNE GÖRE ÇALIŞAN YENİ BİR KURUTMA SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE KURUTMA PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

**Fatih ENGİNSEL**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY**

**2022, 71 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY  
Doç. Dr. Dilek Nur ÖZEN  
Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ**

Bulaşık makinesinin temel fonksiyonlarından bir tanesi kurutmadır. Kurutma işleminde bulaşık makinesine yerleştirilmiş yüklerin üzerindeki suyun buharlaşması ve buharlaşan suyun bir bölgede yoğunlaşması ya da kabin dışına transfer edilmesi hedeflenmektedir. Tez çalışması kapsamında doğal taşınım prensibi ile çalışan, düşük maliyetli, sürdürülebilir ve çevre dostu bir kurutma sistemi tasarlanmıştır.

Kurutma adımı öncesinde makine içinde yoğun miktarda nemli hava vardır. Yüklerdeki buharlaşmanın etkisiyle nem miktarı sürekli artmaktadır. Buharlaşmanın, dolayısıyla yüklerdeki kurutmanın devam edebilmesi için kabin içindeki nem oranının azaltılması gerekmektedir. Bu iki şekilde mümkündür. İlk yöntem nemli havanın makine içerisinde yoğunlaştırulmasını sağlamaktır. İkinci yöntem ise nemli havanın makine dışına atılmasıdır. Önerilen sistem ile makineye iki adet kurutma kanalı eklenmiştir. Eklenen kanallar sayesinde makine içindeki nemli hava dışarı atılmakta ve yerine taze hava alınmaktadır. Bu da kurutma performansını iyileştirmekte ve daha düşük enerji tüketimiyle kurutma yapılabilmesine olanak vermektedir. Tasarlanan yeni kurutma sistemi ile, mevcutta kullanılan sistemlerinin performansları EN 60436 numaralı standartta belirtilen yöntemle göre karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulaşık makinesi, doğal taşınım, doğal havalandırma, EN 60436, kurutma

## ABSTRACT

### MS THESIS

# DEVELOPMENT OF A NEW DRYING SYSTEM IN HOUSEHOLD TYPE DISHWASHERS WHICH IS WORKING TO THE NATURAL CONVECTION PRINCIPLES AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DRYING PERFORMANCES

**Fatih ENGİNSEL**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY**

**2022, 71 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY  
Assoc. Prof. Dr. Dilek Nur ÖZEN  
Asst. Prof. Dr. Nagihan BİLİR SAĞ**

One of the main functions of the dishwasher is drying. In the drying process, it is aimed to evaporate the water on the loads placed in the dishwasher and to condense the evaporated water in a region or to transfer it to the outside of the cabinet. Within the scope of the thesis, a low cost, sustainable and environmentally friendly drying system working with the principle of natural convection has been designed.

Before the drying step, there is a large amount of humid air inside the machine. With the effect of evaporation in the loads, the amount of moisture is constantly increasing. In order for the evaporation and thus the drying of the loads to continue, the humidity rate in the cabinet must be reduced. This is possible in two ways. The first method is to condense the moist air inside the machine. The second method is to exhaust the moist air out of the machine. With the proposed system, two drying channels were added to the machine. Thanks to the added channels, the moist air inside the machine is thrown out and fresh air is taken instead. This improves drying performance and allows drying with lower energy consumption. With the new drying system designed, the performances of the existing systems were compared according to the method specified in the EN 60436 standard.

**Keywords:** Dishwasher, drying, EN 60436, natural convection, natural ventilation

## ÖNSÖZ

Beyaz eşyalar, insanların ev hayatını kolaylaştırmak üzere tasarlanmış pişirme, temizlik, gıda muhafazası gibi ev işlerine hizmet eden makinelerdir. Evlerde kullanılan en önemli beyaz eşyalardan bir tanesi de bulaşık makineleridir. Bulaşık makinelerinde, bulaşıkların temizlenmesine ek olarak kurutulmasının sağlanması da temel bir fonksiyondur. Bu fonksiyonun sağlanması için çeşitli kurutma sistemleri geliştirilmiştir. Tez kapsamında doğal taşınım prensibi ile çalışan, düşük maliyetli, sürdürülebilir ve çevre dostu bir kurutma sistemi tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasının başarılı bir şekilde tamamlanması için görüş ve düşünceleri ile büyük katkıda bulunan; bilgisi, tecrübesi ve sabrını hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY'a minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

“Kamu-Üniversite-Sanayi İş Birliği ile Öğrenci Kabulü” programı kapsamında üniversiteler ile ARGE merkezlerini buluşturarak hem yüksek lisans eğitiminin alınmasına hem de şirketlerin katma değer elde etmesine katkıda bulunan Konya Teknik Üniversitesi yönetimine teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve çalışmaya destek olan Arçelik A.Ş. Bulaşık Makinesi İşletmesi'ne; ARGE Yöneticisi Dr. Önder Balioglu'na; katkı, eleştiri ve önerileri ile destek olan değerli takım arkadaşlarım Dr. Yusuf Koç, Tunahan BAŞER ve Mehmet AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı tüm hayatım boyunca ihtiyaç duyduğum her an yanımda olan, her türlü desteği esirgemediği sağlayan, çalışmanın tamamlanmasında en büyük motivasyon kaynağım olan ancak sonunu görmeye ömrü yetmeyen canım babam Hilmi ENGİNSEL'e ithaf ediyorum.

Fatih ENGİNSEL  
KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Araştırma Özeti .....	3
2.2. Literatür Araştırması .....	4
2.3. Patent Araştırması .....	6
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>22</b>
3.1. Bulaşık Makinesinin Genel Yapısı ve Çalışması .....	22
3.2. Bulaşık Makinelerinde Kurutma Adımı .....	25
3.3. Tez Kapsamında Geliştirilen Doğal Taşınım Prensipli Kurutma Sistemi .....	29
3.4. Bulaşık Makinesi Performans Ölçüm Yöntemi .....	39
3.4.1. Deney Şartları .....	39
3.4.2. Kurutma Performansının Değerlendirilmesi Kriteri .....	40
3.4.2. Kurutma Performansının Hesaplanması .....	43
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>44</b>
4.1. Ön Tasarım Çalışmaları .....	44
4.1.1. Emme Kanalı Ön Tasarımı .....	44
4.1.2. Yoğuşma Kanalı Ön Tasarımı .....	45
4.1.3. Deneysel Çalışmalar .....	47
4.2. Detay Tasarım Çalışmaları .....	50
4.2.1. Emme Kanalı Detay Tasarımı .....	50
4.2.2. Yoğuşma Kanalı Detay Tasarımı .....	52
4.3. CFD Çalışmaları .....	55
4.4. Deneysel Çalışmalar .....	60
4.4.1. Standart Koşullar .....	60
4.4.2. Tropik İklim Koşulları .....	64
4.4.3. Günlük Kullanım Koşulları .....	65
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>66</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>68</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

A	: Kesit alanı	(m <sup>2</sup> )
a <sub>b</sub>	: b puanını almış öge sayısı	
b	: Parça kurutma skoru	
C <sub>d</sub>	: Akış katsayısı	
g	: Yerçekimi ivmesi	(m/s <sup>2</sup> )
h	: Yükseklik	(m)
$\dot{m}$	: Kütleli debi	(kg/s)
N	: Toplam Parça Sayısı	
n	: Kurutma test sayısı	
P	: Basınç	(Pa)
$\rho$	: Yoğunluk	(kg/m <sup>3</sup> )
S <sub>z</sub>	: Kategoriye göre parça sayısı	
T	: Ortalama kurutma puanı	
T <sub>a</sub>	: Dış ortam hava sıcaklığı	(K)
T <sub>g</sub>	: Kontrol hacmi hava sıcaklığı	(K)
T <sub>i</sub>	: Kurutma puanı	
T <sub>Z</sub>	: Kategoriye göre alınan puan	
v	: Hız	(m/s)



## 1. GİRİŞ

Bulaşık makineleri, tencere, tabak, bardak, fincan, çatal, bıçak gibi yemek takımlarının temizlenmesi için geliştirilmiş makinelerdir.

Bulaşık makinelerinde yıkama çevrimi ön yıkama, ana yıkama, durulama ve kurutma adımlarının ardı sıra gerçekleşmesiyle tamamlanmaktadır. Elde yıkamanın aksine bulaşık makinelerinde mekanik bir ovma işlemi yoktur. Temizleme işlemi sıcak ve basınçlı su püskürtülmesi yolu ile gerçekleştirilir.

Bulaşık makinesinin temel fonksiyonlarından biri olan kurutma adımında sepetlere yerleştirilmiş yüklerin üzerindeki suyun buharlaşması ve buharlaşan suyun bir bölgede yoğunlaştırılarak ya da makine dışına transfer edilerek bertaraf edilmesi hedeflenmektedir. Kurutma adımı başlangıcında makinenin içerisinde yoğun miktarda nemli hava bulunmaktadır. Nem miktarı kurutma adımında yükler üzerindeki buharlaşmanın etkisiyle sürekli olarak artmaktadır. Yükler üzerindeki buharlaşmanın devam edebilmesi ve kurutmanın sağlanabilmesi için makine içindeki nemin kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu görevin yerine getirilmesi amacıyla çeşitli kurutma sistemleri geliştirilmiştir.

Statik kurutma sistemlerinde makinenin yan duvarlarının yüklere göre daha hızlı soğumasından faydalanılır. Soğuyan yüzeylerde gerçekleşen yoğunlaşma nedeniyle makine içindeki nemli hava derişimi azalır ve yükler üzerinde buharlaşma gerçekleşir. Bu sistemlerde kurutma işlemi ile ilgili ekstra hiçbir komponent kullanılmaz. Kurutmanın gerçekleşebilmesi için yıkama algoritmasında son durulama sıcaklığı çok yüksek ayarlanır. Bu şekilde yüklerin yüksek sıcaklığa ulaşması sağlanır. Makinenin yan duvarları yüklere göre daha hızlı soğuyacağı için yan duvarlarda yoğunlaşma gerçekleşir. Bu sistemlerde kurutma süreleri uzun ve harcanan enerji yüksektir.

Makine içindeki nemin dışarıya atılması için fanlı kurutma sistemleri (dinamik kurutma) geliştirilmiştir. Bu sistemlerde genellikle bir veya iki adet kurutma kanalı, kanal içerisinde ısıtıcı ve hava tahliyesini sağlayan fan yer alır. Kurutma kanallarından bir tanesinden makine dışına nemli hava tahliye edilir. Tahliye edilen nemli hava kurutma kanalı içerisinde bir ısıtıcı yardımıyla kurutulur ve nemi azaltılır. Bu sayede makinenin bulunduğu ortama yüksek nemli hava verilmemiş olur. Diğer kanal yardımıyla ise makine içerisine ortamdaki taze ve kuru hava takviyesi yapılır. Fanlı kurutma sistemlerinde kurutma performansı yüksektir ancak sistemde fan, ısıtıcı gibi yüksek maliyetli komponentler kullanılmaktadır.

Bu çalışma ile nemli havanın doğal taşınım prensibi ile dışarı atıldığı, statik kurutma sistemlerinden daha iyi, fanlı kurutma sistemleri ile ise benzer performansa sahip bir kurutma sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Sistemin bir diğer motivasyonu da sürdürülebilirlik hedeflerine hizmet ediyor olmasıdır. Kurutma işlemi doğal taşınım prensibi ile gerçekleşmektedir. Sistemde elektrik enerjisi ile çalışan herhangi bir komponent yer almamaktadır. Kurutma kanalları ise geri dönüşüm ile elde edilmiş hammaddeden üretilmektedir.

Tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde ilk olarak literatür araştırması özetlenmiştir. Literatür araştırmasını takiben bulaşık makinelerinin genel çalışma prensibi aktarılmıştır. Verilen ön bilgilendirme sonrasında statik ve dinamik kurutma sistemleri ile tez kapsamında önerilen yöntem detaylandırılmıştır. Deney tasarımı aşamasında öncelikle bulaşık makinesi enerji tüketimi ve kurutma puanının ölçülmesi yöntemi tariflenmiştir. Yapısal tasarım kriterleri doğrultusunda alternatif kanal tasarımları bilgisayar ortamında modellenmiş ve en uygun bulunan tasarım sistem tasarım çalışmalarına girdi oluşmuştur. Sistem performansını etkileyen en büyük faktör atmosfer açıklıklarının boyutu ve konumudur. Tasarlanan kanalın makine gövdesine bağlantı noktası ve çapındaki yapısal kısıtlamalar nedeniyle kanal performansının artırılması ancak kanalın tasarımı ile gerçekleştirilebilir. Bu sebeple kanal iç yapısında basınç kaybı oluşturacak bölgeler CFD yöntemi ile tespit edilmiş, kanalda uniform bir akış elde edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise deney sonuçları paylaşılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Araştırma Özeti

Bulaşık makinelerinde kurutma işleminin gerçekleştirilebilmesi amacıyla birçok farklı yöntem ve teknoloji bulunmaktadır. Bu yöntemler genel olarak su buharının belirlenmiş bir yüzeyde yoğunlaştırılması ya da makine hacminden dışarıya atılması prensibine dayanmaktadır.

Statik kurutma sistemlerinde makinenin iç duvarlarında yoğunlaşma sağlanarak havanın nemini atması sağlanır. Bu sistemlerde genellikle kurutma işlemi ile ilgili ekstra komponent kullanılmaz. Kurutmanın sağlanabilmesi için kurutma öncesindeki son durulama sıcaklığı fanlı kurutma sistemlerine göre daha yüksek (5-15°C) ayarlanır. Yüklere göre daha hızlı soğuyan yan duvarlarda yoğunlaşma gerçekleşir. Bu sistemlerde kurutma süreleri uzun ve harcanan enerji yüksektir.

Fanlı ve kapı açmalı kurutma sistemlerinde ise elektrik enerjisi ile çalışan komponentler (fan, klape, kapı açma mekanizması gibi) kullanılmaktadır. Kurutma adımında bu komponentler yardımıyla makine içerisinde bulunan nemli hava ortama atılır. Bu sistemlerde daha iyi bir kurutma performansı elde etmek için ısıtıcı ve nem tutucu malzemeler de kullanılabilir. Bu komponentler yüksek maliyete sebep olmaktadır. Aynı zamanda makinenin enerji tüketimini de arttırabilmektedir.

Yapılan kaynak araştırmalarında ürünün ticari niteliğinden dolayı genellikle bu teknolojilerin üretici firmalar tarafından geliştirilmiş olduğu ve patentlenerek literatüre sunulduğu görülmüştür. Bilimsel makalelerin ise genellikle ısı pompalı ve ısı geri kazanımlı kurutma sistemleri ile ilgili olduğu görülmüştür.

Literatür araştırmasında elde edilen bilgilerin özeti aşağıda sıralanmıştır:

1. Kabin içi hava dağılımı kurutma performansı açısından kritik bir parametredir. Havanın kabin içinde daha geniş bir alanda daha yüksek hızda hareket etmesini sağlayan, kabin içinde ölü bölge kalmasını engelleyen ve türbülanslı hava akışı sağlayan sistemler öne çıkmaktadır.
2. Kurutma performansı için önemli işlemlerden birisi de buharlaşan nemin bir bölgede yoğunlaştırılmasıdır. Buna yönelik yoğunlaşma yüzeyi oluşturulan

- sistemler bulunmaktadır. Soğuk su cepleri, yoğuşma kanalları, yoğuşma plakaları, ısı değiştiricisi sistemleri yoğuşma yüzeyi oluşturulan sistemlerdir.
3. Kapı açmalı kurutma sistemleri müşterinin tezgahında yoğuşma problemi yaratabilmektedir. Bu bölgede oluşan yoğuşma hem müşteriye rahatsızlık vermekte hem de zamanla kalıcı deformasyon oluşurmaktadır.
  4. Kurutma performansında ortam şartları (sıcaklık ve nem) doğrudan etkilidir. Ortamdaki havanın sıcaklık ve nem değerine göre kurutma parametrelerinin değiştirildiği uygulamalar bulunmaktadır.
  5. Alternatif teknoloji olarak kurutma adımı UV, mikrodalga, manyetik alan ve ozon gibi teknolojilerin kullanıldığı; mekanik bir etki oluşturmak adına titreşimin kullanıldığı çalışmalara da rastlanılmıştır.
  6. Literatürde doğal taşınımın tetiklediği kurutma sistemleri bulunmaktadır. Genellikle bu sistemlerde yoğuşan nem bir ısıtıcı tarafından kurutulmaktadır. Bu konuda geliştirilecek ısıtıcı kullanılmayan sistemler literatüre katkı sağlayabilir.

## 2.2. Literatür Araştırması

Bengtsson ve ark. (2015), bulaşık makinesinde kullanılan yıkama suyunun ısıtılmasında geleneksel ısıtıcı eleman kullanımı yerine ısı pompasının kullanılmasını deneysel olarak araştırmıştır. Sonuçlar, geleneksel bir elektrikli eleman kullanan bir bulaşık makinesi döngüsüne kıyasla toplam elektrik kullanımında %24'lük bir azalma olduğunu göstermiştir.

Bengtsson ve Berghel (2017), ısı pompalı bir bulaşık makinesi için yeni bir kurutma yöntemi önermiştir. Isı pompalı bulaşık makinesinde, kondenserde yıkama suyu ısıtılırken evaporatörde ise soğuk bir su deposu kaynağı oluşmaktadır. Önerilen yöntemde kurutma işlemi, bir fanın makine içindeki nemli havayı kapalı bir sistemde evaporatör üzerinden sirküle etmesiyle gerçekteşir. Sistem, yükler üzerindeki suyun, makine kabininde buharlaşıp ve daha sonra evaporatör soğuk yüzeyinde yoğuşması prensibi ile çalışır. Kurutma performansının değerlendirilmesinde EN50242'de tariflenen bulaşıklar üzerinde kalan görünür su damlalarının sayılmasını dikkate alan Avrupa standardı kullanılmıştır. Sonuçlar, ısı pompalı kurutma yönteminin mevcut kurutma yöntemine kıyasla daha verimli olduğunu göstermiştir. Kurutma başlangıç sıcaklığı ve kurutma süresinin, kurutma performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Rummler ve Stammer (2009), ev tipi bulaşık makinelerinde kurutma performansını ölçmek için yeni bir sistem geliştirmiştir. Geliştirilen sistemde bulaşık makinesi kurutma aşamasında yükler üzerindeki su kütlesinin azalma miktarını otomatik olarak ölçen bir donanım yer almaktadır. Donanım temel olarak bulaşık makinesindeki sepetlere bağlı yüksek hassasiyetli bir teraziden oluşur. Bu terazi tarafından ölçülen zamanla değişen ağırlık değerleri, kurutma aşaması sırasında su azalmasına karşılık gelen bir ağırlık fonksiyonu üretir. Araştırma sonucunda geleneksel olarak kullanılan "damlaları sayarak" kurutma performansını değerlendirme yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, durulama ürünlerinin performansı ile iyi bir korelasyon elde edildiği ifade edildi.

Jeong ve Lee (2014), literatürde bulaşık makinesinin enerji verimliliğini artırmaya odaklanan çalışmalarla karşılaştırıldığını ancak kurutma performansına yönelik çalışmaların nadir olduğunu belirterek, son durulama sıcaklığı, sirkülasyon akış hızı ve fan çalışma süresinin kurutma performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma, son durulama adımında yükler üzerinde depolanan enerjinin bulaşıklardaki suyun buharlaşmasından sorumlu olduğunu ve son durulama sıcaklığının kurutma performansını ve enerji tüketimini etkileyen ana faktör olduğunu göstermiştir.

De Paepe ve ark. (2003), bulaşık makinesinde atık sudan enerjinin geri kazanılması ve temiz suya aktarılmasını mümkün kılan bir ısı geri kazanım sistemi üzerine çalışmışlardır. Sistemin temel faydası soğuk suyu ısıtmak için harcanan elektrik ihtiyacını önemli ölçüde azaltmaktır. Çalışma ile atık sudaki ısının geri kazanımının hem enerji tüketimi hem de ekonomik olarak faydalı olduğu kanıtlanmıştır.

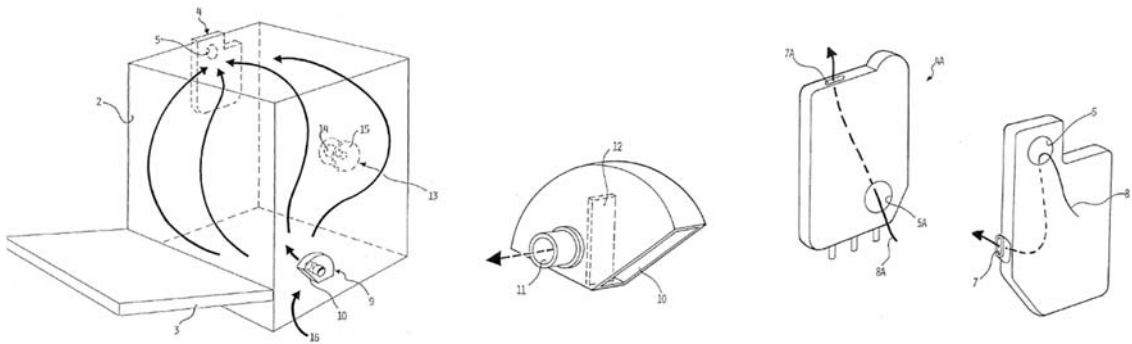
Flück ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada ısıtma kaynağı olarak sadece ısı pompası sisteminin bulunduğu bir bulaşık makinesinin enerji tüketimini teorik, sayısal ve deneysel olarak araştırmıştır. Çalışma, bahsedilen sistemin standart elektrikli bir ısıtıcı kullanan geleneksel bulaşık makinelerinden %50'ye kadar daha az elektrik enerjisi tüketimine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Hauer ve Fischer (2011), çalışmalarında adsorpsiyon yöntemi aracılığıyla bulaşık makinesinin enerji tüketimini azaltmayı hedeflemiştir. Geleneksel bulaşık makinelerinde kurutma adımı öncesinde gerçekleştirilen son durulama adımında su sıcaklığı kurutmanın sağlanabilmesi için yüksek tutulur. Yapılan çalışma ile bu su ısıtma aşaması atlandı ve bulaşıkların sıcak hava ile kurutulduğu bir adsorpsiyon aşaması eklendi. Nem tutucu malzeme olarak zeolit kullanıldı. Çalışma sonucunda enerji tüketimi, geleneksel bir bulaşık makinesine kıyasla %25 oranında düşürüldü.

Cranston ve ark. (2019), su ile çalışan cihazların evlerde en fazla enerji tüketimine sahip cihazlar arasında yer aldığını ve buna bağlı olarak bu cihazlardaki enerji tüketiminin azaltılması gerektiğini belirtmiştir. Bu doğrultuda bünyesinde ısı pompası içeren yüksek verimli bir çamaşır kurutma makinesinin, verimini daha da arttıracak bir teknoloji üzerinde deneysel ve teorik olarak çalışmışlardır. Bu teknoloji, ısı pompalı çamaşır kurutma makinesine nem tutan bir adsorpsiyon sisteminin eklenmesidir. Çalışmaya göre, geliştirilen teknoloji (hibrit) sayesinde geleneksel ısı pompalı çamaşır kurutma makinesine göre daha kısa çevrimli programlar elde edilebilir. Hibrit sistem, geleneksel ısı pompalı sisteme göre, 3 kg yüke sahip standart bir çamaşır kurutma makinesinde toplam enerji tüketimini %6,9 oranında azaltabilir. Bu rakam, adsorpsiyon yatağının rejenerasyonu için kullanılan enerjiyi de içerir. Rejenerasyon olmadan sistemin çamaşırları kurutması 19 dakika daha kısa sürer ve bu da toplam enerjide %18,3'lük bir azalma sağlar.

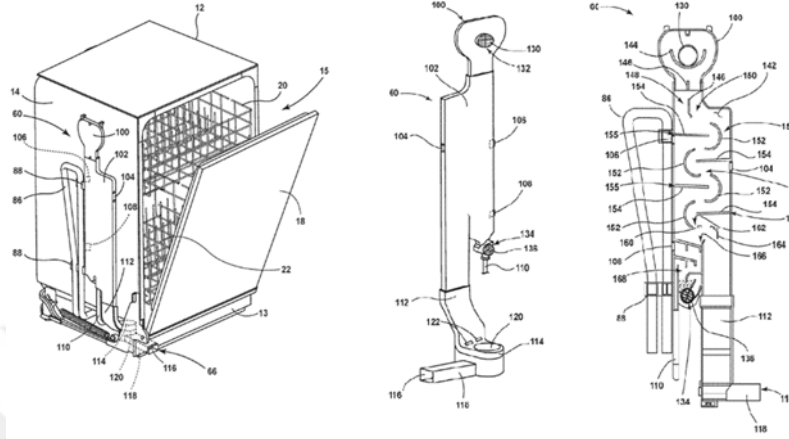
### 2.3. Patent Araştırması

Indesit firmasının 2001 yılı EP0752232(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makinede iki adet atmosfer açıklığı bulunmaktadır. Bu açıklıklardan ilki yan duvarın alt kısmında diğeri ise karşısındaki duvarın üst kısmındadır. Açıklıklar makine içi ve dış ortam ile temastadır. İç ve dış ortam arasında sıcaklık farkı olduğundan içeride bir doğal havalandırma beklenmektedir. İlk açıklıktan makine içerisine çevre havası alınırken ikinci açıklıktan dışarıya hava akışı gerçekleşmektedir. Kurutma adımı düşük kapasiteli bir ısı kaynağı (ampul) kullanılmaktadır.



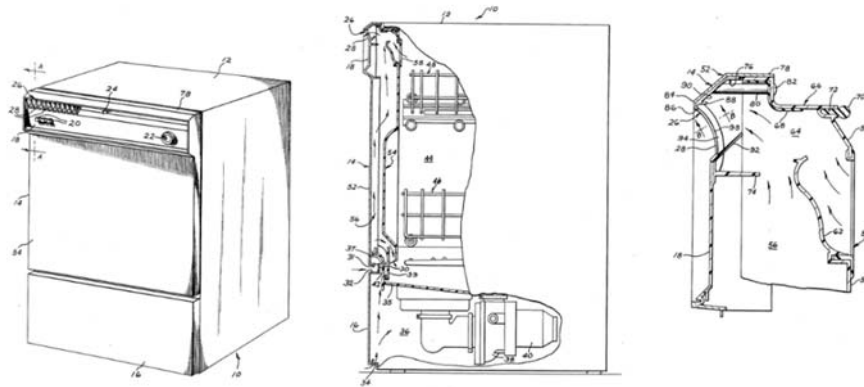
Şekil 2.1. INDESIT- EP0752232(B1) (2001) patent görseli

Whirlpool firmasının 2019 yılı US10512388(B2) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, çok fazla dönüşü olan kıvrımlı geometride bir yoğuşma kanalı tasarlanmıştır. Kanal boyunca birden fazla ve çeşitli noktalarda ortam havasını kanala alabilecek açıklıklar mevcuttur. Kanal boyunca yoğuşma sağlanarak havanın nemi alınmaktadır.



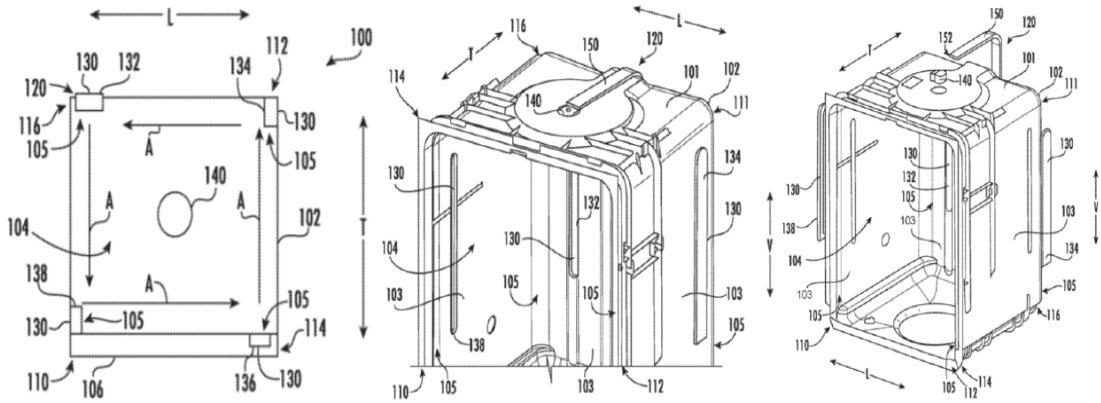
Şekil 2.2. WHIRLPOOL- US10512388(B2) (2019) patent görseli

General Electric firmasının 1979 yılı US4179821(A) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makinenin kapağının üstünde havalandırma açıklıkları vardır. Kurutma adımında ısınan nemli hava yükselmekte ve bu açıklıklardan dışarıya çıkmaktadır. Açıklıklar havanın doğal bir şekilde yönlendirilerek rahatça dışarıya çıkması için büyük yapılmıştır. Açıklıkta yoğuşmayı artırıcı bazı eklemeler detaylandırılmıştır. Ek olarak kapının altında bir hava kanalı yer almaktadır. Bu hava kanalından gelen taze ve kuru havayla makinenin kapağının üstünden çıkan sıcak ve nemli hava karışmakta ve dışarıya daha kuru bir hava atılmaktadır.



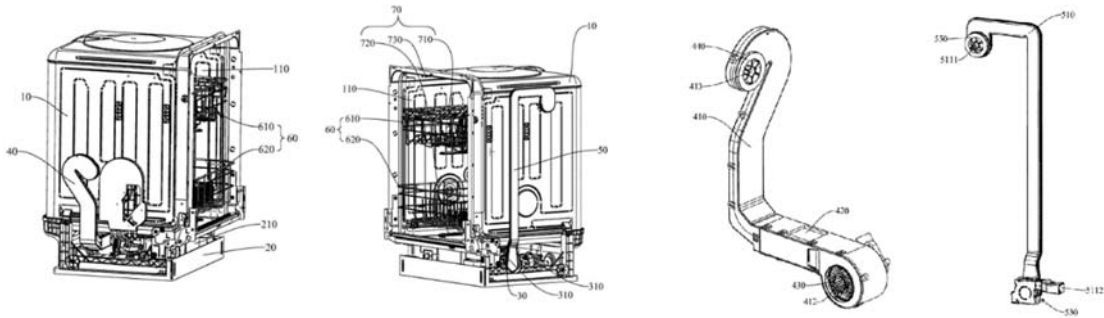
Şekil 2.3. GE- US4179821(A) (1979) patent görseli

Haier firmasının 2020 yılı US2020069147(A1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makinenin dört köşesine konumlandırılmış atmosfer açıklıkları bulunmaktadır. Açıklıkların üç tanesi makine içerisindeki duvarlarda, bir tanesi de kapıda yer almaktadır. Fan ise tavan kısmında yer almaktadır. Fanın çalışma süresi boyunca makine içerisinde türbülanslı bir akış oluşturulması ve kurutma performansının artırılması amaçlanmıştır.



Şekil 2.4. HAIER- US2020069147(A1) (2020) patent görseli

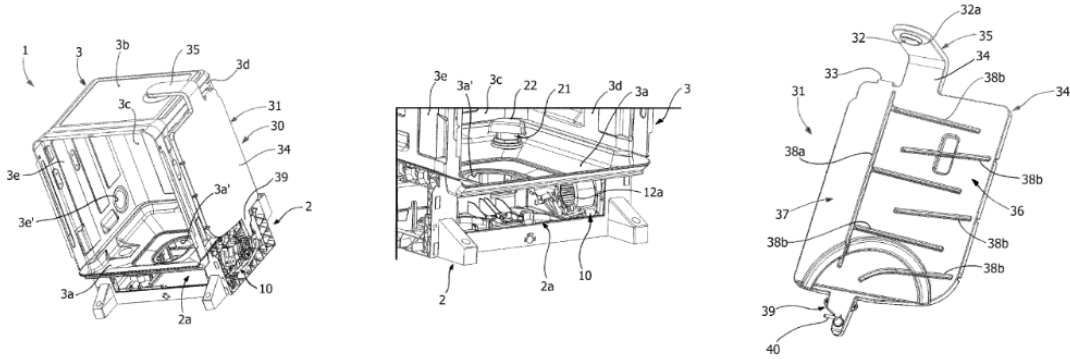
Midea firmasının 2018 yılı CN108814515(A) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makinede karşılıklı iki ayrı kurutma kanalı bulunmaktadır. Bu kanallardan ilki makine içerisindeki sıcak ve nemli havayı dışarıya atmaktadır. Diğer kanal ise alt bölgeden içeriye sıcak ve kuru hava almak için kullanılmaktadır. Çıkış kanalı giriş kanalına göre makinenin daha üst kısmındadır. Giriş kanalına entegre bir ısıtıcı bulunmaktadır. Isıtma görevini bu komponent yapmaktadır. İki ayrı kanal için iki ayrı fan kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. MIDEA- CN108814515(A) (2018) patent görseli

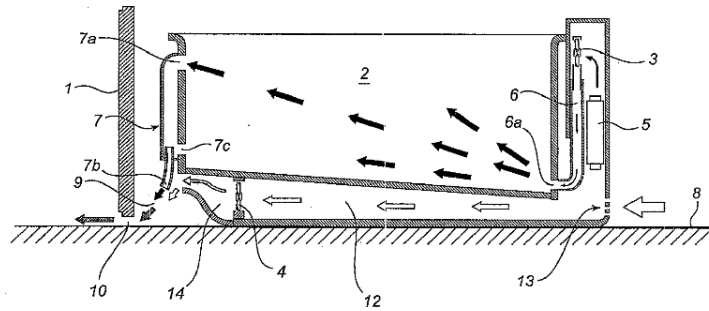


Whirlpool firmasının 2017 yılı EP3000377(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makinenin alt kısmında içeriye hava takviyesinin yapıldığı bir açıklık bulunmaktadır. Makinenin yan duvarında ise bir kurutma kanalı mevcuttur. Bu kurutma kanalına alt kısımdan bir fan bağlıdır. Kanalin üst kısmı ise makine tavanına bağlıdır. Bu açıklık aynı zamanda baca görevi de görmektedir. Kanalin alt kısmında bulunan fan makine içerisindeki nemli havayı makine üst kısmından emer. Kurutma kanalının içerisinde sürekli V şekli çizen bir yol bulunmaktadır. Bu sayede kanal içerisinde yoğunlaşma sağlanmaktadır.



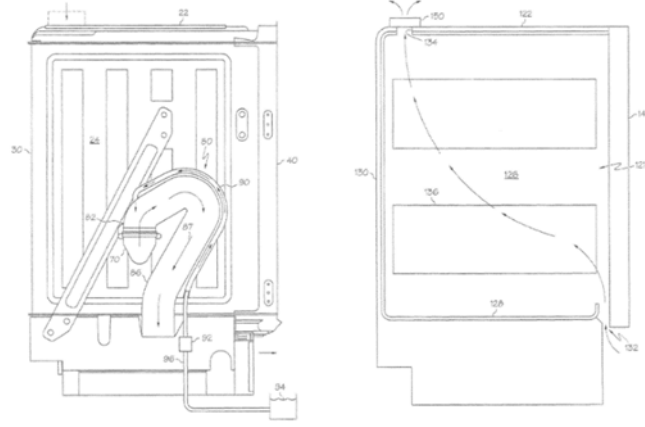
Şekil 2.6. WHIRLPOOL- EP3000377(B1) (2017) patent görseli

Electrolux firmasının 2014 yılı KR101464014(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, yüksek kurutma performansına ek olarak dışarıya atılan havanın sıcaklık ve nemini de uygun duruma getirmek amaçlanmıştır. Sistemde iki adet fan yardımıyla iki adet hava akışı sağlanmıştır. Bunlardan ilki fan vasıtasıyla yan duvarın alt tarafından içeriye kuru havanın emildiği ve karşı duvardaki daha yüksek bir noktadan nemli ve sıcak havanın atıldığı hava akışıdır. Diğeri ise ikinci fan ile makinenin alt kısmından taze havanın çekildiği ve ilk hava akışından çıkan sıcak ve nemli havayı seyreltmek üzere karışım bölgesine basılan akıştır. Bu şekilde hem etkin kurutma sağlanmakta hem de dışarıya düşük sıcaklık ve nemde hava çıkışı olmaktadır.



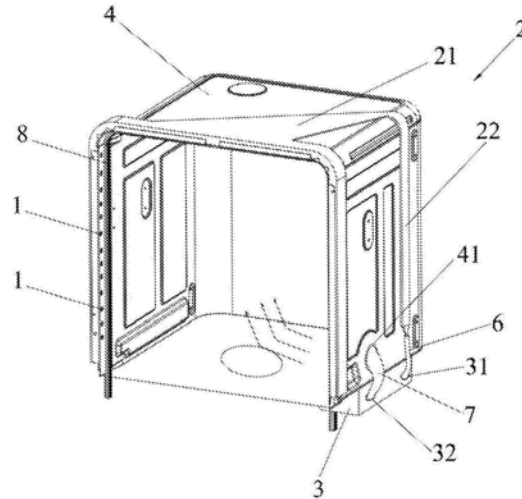
Şekil 2.7. ELECTROLUX- KR101464014(B1) (2014) patent görseli

Electrolux firmasının 2008 yılı US2008115811(A1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makinede iki adet atmosfer açıklığı mevcuttur. Bu açıklıkların bir tanesi kapının altında diğeri ise tavadadır. Açıklıklardan kapının altında olandan içeriye taze hava takviyesi olmakta, tavanda olandan ise dışarıya nemli ve sıcak hava çıkışı sağlanmaktadır. Sistemde hava akışını yönlendirmek üzere bir de fan mevcuttur.



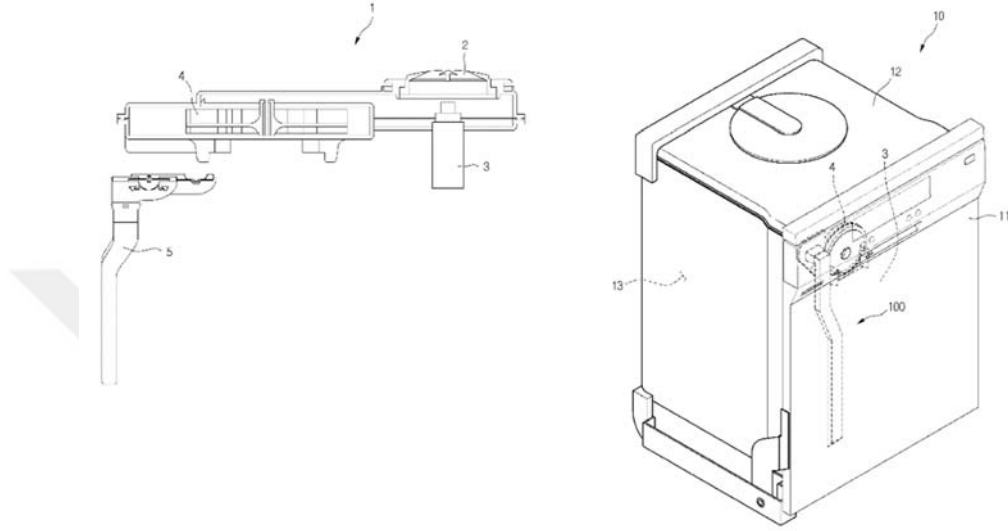
Şekil 2.8. ELECTROLUX- US2008115811(A1) (2008) patent görseli

Haier firmasının 2019 yılı CN110123232(A) numaralı buluşunda tariflenen bulaşık makinesi, kurutma adımında kapı açan bir sisteme sahiptir. Bu sistemlerdeki yüksek sıcaklık ve bağıl nemli havanın çevreye aniden yayılarak yoğuşmaya neden olup mobilyalara zarar vermesi sorununun önüne geçilmek için bir metot geliştirilmiştir. Buluşa göre makinenin kapısı açıldıktan sonra dışarıya çıkan hava, üzerinde delikler bulunan bir kanala girmekte ve kanalda ortam havasıyla karıştırılmaktadır. Sonrasında bu hava tekrardan makine içerisine gönderilmektedir. Bu sayede etkin ve güvenli bir kurutma sağlanmaktadır.



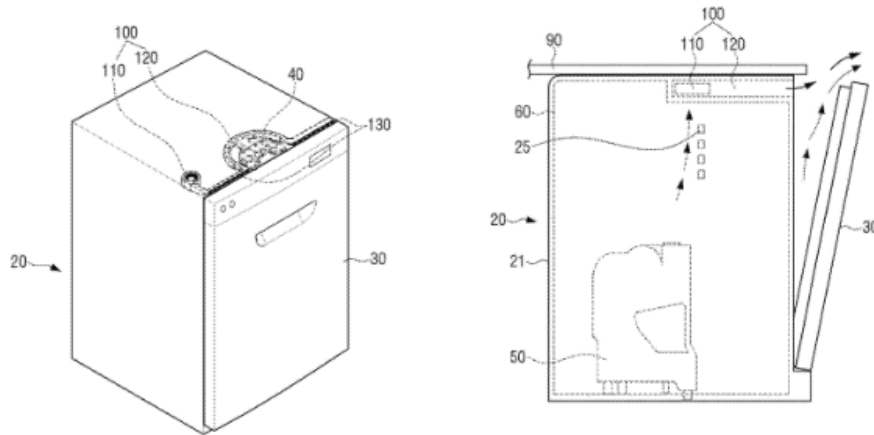
Şekil 2.9. HAIER- CN110123232(A) (2019) numaralı patentinin görseli

LG firmasının 2013 yılı KR101295935(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, bulaşık makinesindeki yoğuşma verimini arttırmak için geliştirilen bir sistem anlatılmaktadır. Bulaşık makinesinin kapağında bir yoğuşma kanalı bulunmaktadır. Bu kanalda dışarıdan taze hava ve makine içerisinden sıcak ve nemli hava emen iki adet fan yer almaktadır. Soğuk hava ile sıcak ve nemli havanın karışması sonucunda yoğuşma kanalı verimi artmaktadır.



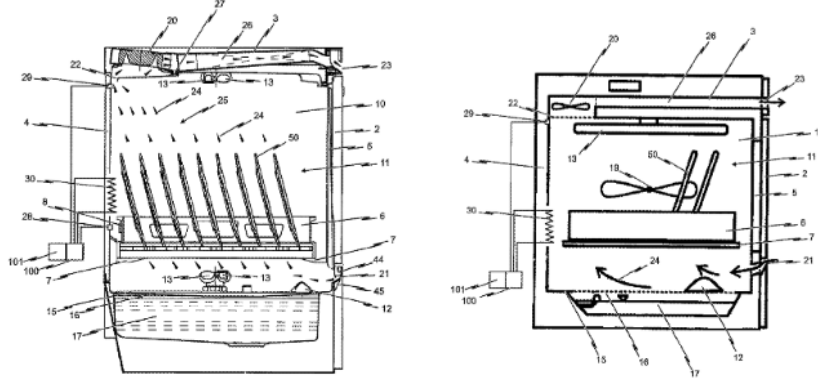
Şekil 2.10. LG- KR101295935(B1) (2013) numaralı patent görseli

Samsung firmasının 2019 yılı US2019104916(A1) numaralı buluşunda, bulaşık makinesinin kurutma adımının süresini kısaltmak amacıyla geliştirilmiş bir yöntem anlatılmaktadır. Kurutma sistemi olarak kapı açma yöntemi kullanılmaktadır. Buluşta tariflenen makinenin üst-ön bölgesinin dışarıya hava çıkışı olan kısmına bir kanal yapısı tasarlanmıştır. Bu yapı makine içerisinden sıcak ve nemli havayı emmekte aynı zamanda dışarıdan ortam havası da almaktadır.



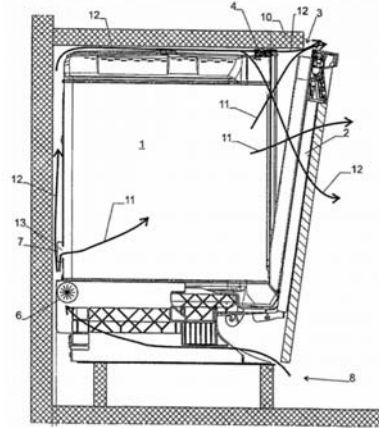
Şekil 2.11. SAMSUNG- US2019104916(A1) (2019) numaralı patent görseli

Premark firmasının 2019 yılı EP2790563(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makine kapısının alt tarafından makinenin içerisine taze hava takviyesinin yapıldığı bir konstrüksiyon bulunmaktadır. Makine içerisinde süre ve sıcaklığa göre kontrol edilen bir ısıtıcı mevcuttur. Makine üstünde ise bir yoğuşma kanalı vardır. Bu kanalda bulunan fan da ısıtıcı ile paralel çalışmaktadır. Fan başlangıçta daha yüksek hızlarda çalışırken sonrasında hızı düşürülmektedir. Yoğuşma kanalından geçen hava kapının üzerindeki bir açıklıktan dışarıya atılmakta veya içeriye basılmaktadır.



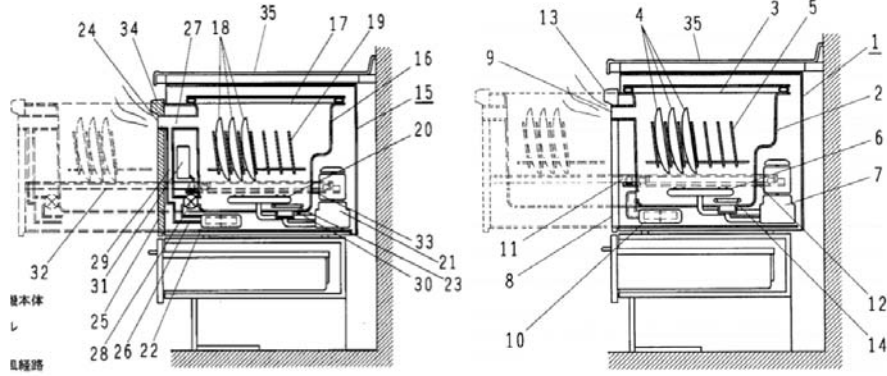
Şekil 2.12. PREMARK- EP2790563(B1) (2019) numaralı patent görseli

V-ZUG firmasının 2017 yılı CN102813494(B) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, kurutma süresi ve kurutma öncesi makine içi sıcaklığını düşürmeyi hedefleyen, aynı zamanda kapı açıklığı bölgesinde oluşan yoğuşmayı da engelleyen bir yöntem tariflenmiştir. Makine kurutma sisteminde kapı açma yöntemi kullanılmaktadır. Kurutma adımında bir fan yardımıyla dışarıdan alınan taze hava kullanılarak iki farklı akış oluşturulmaktadır. İlk akış dışarıya çıkan havanın sıcaklık ve nemini düşürmekte, ikinci akış ise kapı açıklığı bölgesindeki yoğuşmayı engellemektedir.



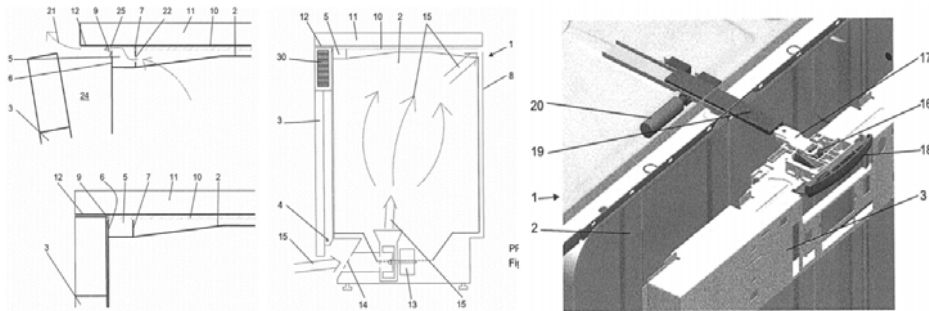
Şekil 2.13. V-ZUG- CN102813494(B) (2017) numaralı patent görseli

Panasonic firmasının 2010 yılı JP4458106(B2) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, bulaşık makinesinin üst tablasındaki yoğuşmayı önlemeyi amaçlayan bir sistem tariflenmiştir. Sistemde dışarıdan taze hava emen bir fan ve bu fanın bağlı olduğu iki kanal vardır. Kanallardan bir tanesi makine içerisine taze hava takviyesi yapmakta, diğeri ise sıcak hava tahliyesi yapılan bölgeye uzanmaktadır. İkinci kanalda dışarıya atılan sıcak hava ve taze hava karışmakta böylece tezgahdaki yoğuşma önlenmektedir.



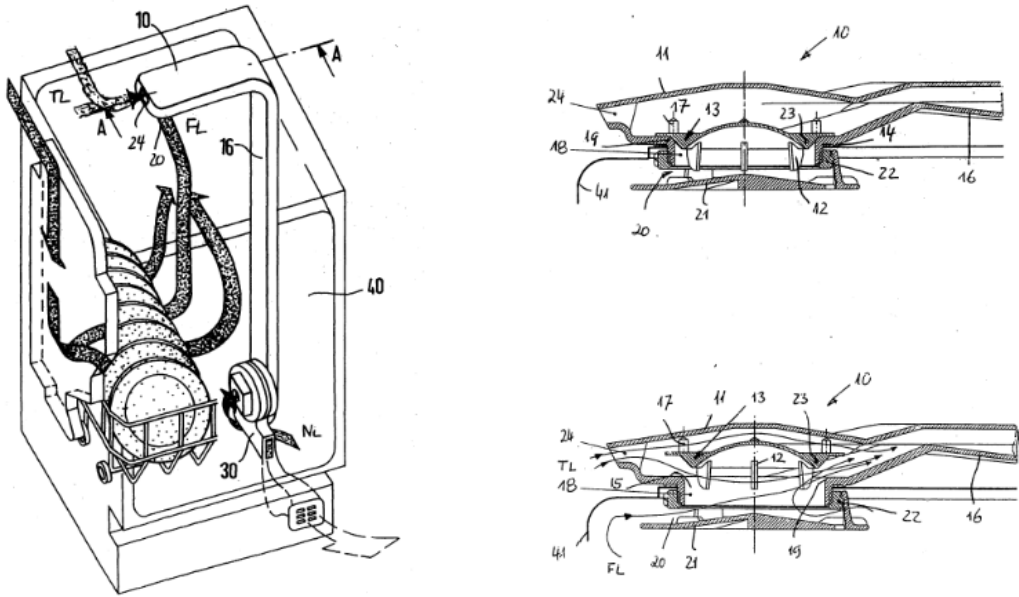
Şekil 2.14. PANASONIC- JP4458106(B2) (2010) numaralı patent görseli

Miele firmasının 2014 yılı US8671587(B2) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, kapı açılabilir kurutma yönteminde karşılaşılan yoğuşma probleminin önüne geçecek bir çözüm anlatılmıştır. Kurutma adımında makinenin kapısını önceden belirlenen bir mesafe kadar açan bir mekanizma bulunmaktadır. Bu kapı açma mekanizması çalıştırılmadan önce makine içine kapı altından taze hava emilmektedir. Bu durumda kapı açılmasa bile makine içerisi ile dış ortam arasında basınç farkı bulunduğu için kapının üstünden çok az miktarda da olsa sıcak hava çıkışı gerçekleşmektedir. Bu işlem öncesinde makinenin tavanı ısıtılmaktadır. Böylece kapı açıldığında dışarıya çıkan havanın yarattığı yoğuşma problemi kaybolmaktadır.



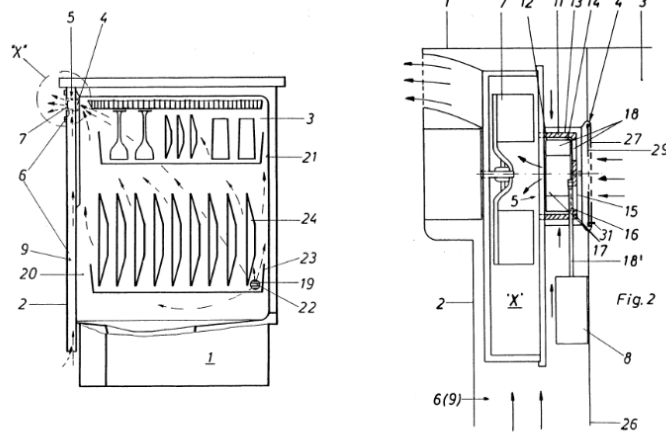
Şekil 2.15. MIELE- US8671587(B2) (2014) numaralı patent görseli

Whirlpool firmasının 2002 yılı EP0862893(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, tavandan dışarıya atılan havanın yoğuşmasının önlenmesini sağlayan bir sistem geliştirilmiştir. Makinede yer alan kurutma kanalının içerisinde bir valf diski bulunmaktadır. Bu disk fan çalıştığında yükselmekte, fan kapalıyken ise kaldırma kuvveti etkisiyle kapanmaktadır. Bu sayede, yoğuşma kanalına sıcak ve nemli hava ile sıcak ve kuru hava karışarak girmekte ve yoğuşma azalmaktadır.



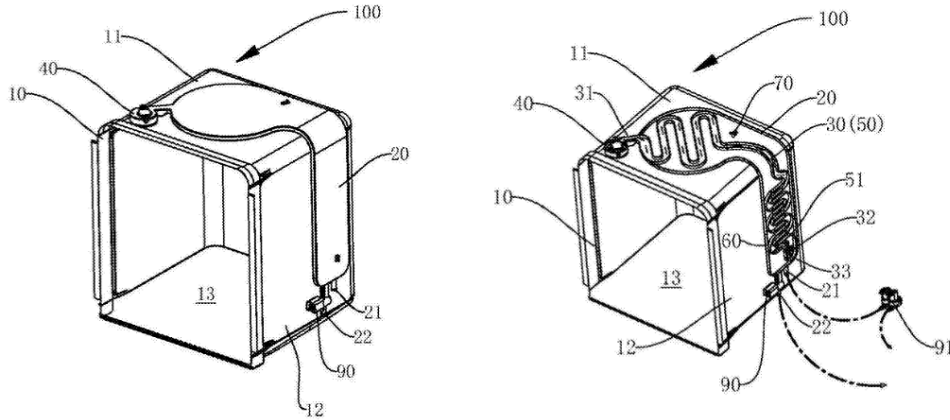
Şekil 2.16. WHIRLPOOL- EP0862893(B1) (2002) numaralı patent görseli

Miele firmasının 1998 yılı EP0521815(B2) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, kısa sürede etkili bir kurutma performansı elde etmek amacıyla makine kapağının üzerine bir fan yerleştirilmiştir. Bu fan yardımıyla makine kapağının üst kısmından dışarıya sıcak ve nemli hava atılmaktadır. Aynı zamanda kapağın içerisinde bir taze hava kanalı bulunmaktadır. Bu kanalın amacı ise içeriden fan yardımıyla emilen hava ile taze havanın karıştığı bir karışım bölgesi yaratmaktır. Bu karışım bölgesinde iki akış karıştıktan sonra dışarıya nem oranı daha az bir hava atılmaktadır. Ayrıca karışım odasında karışan hava miktarları düzenlenebilmektedir. Bu sayede dışarıya atılan havanın nemi artırılıp azaltılabilmektedir. Ek olarak makinenin arka alt bölümüne basınç farkını dengelemek için açıklık veya açıklıklar eklenmiştir. Buradan içeriye taze hava takviyesi olmaktadır.



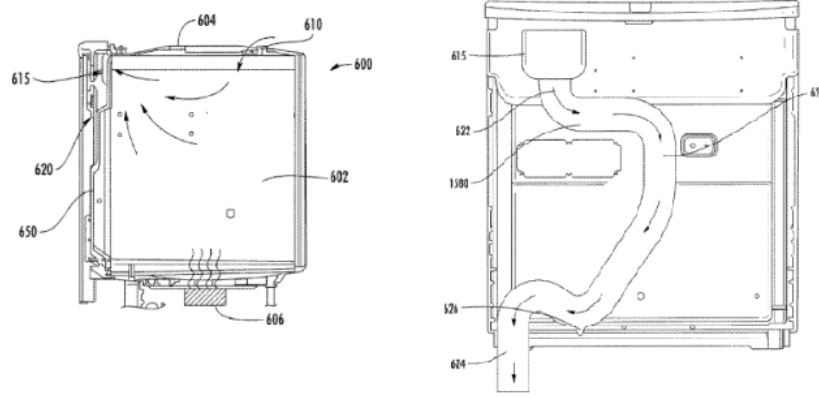
Şekil 2.17. MIELE- EP0521815(B2) (1998) patent görseli

Midea firmasının 2016 yılı CN105520704(A) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makine dış kısmında bir adet su cebi vardır. Bu su cebinin içerisinde ise kıvrımlı bir hava kanalı vardır. Hava kanalının etrafı su ile kaplıdır. Makinenin içerisindeki hava bir fan yardımıyla emilerek bu kanala aktarılmaktadır. Hava kanalında nemli hava yoğunlaştırılmakta ve nemi alınmış hava tekrardan makine içine basılmaktadır.



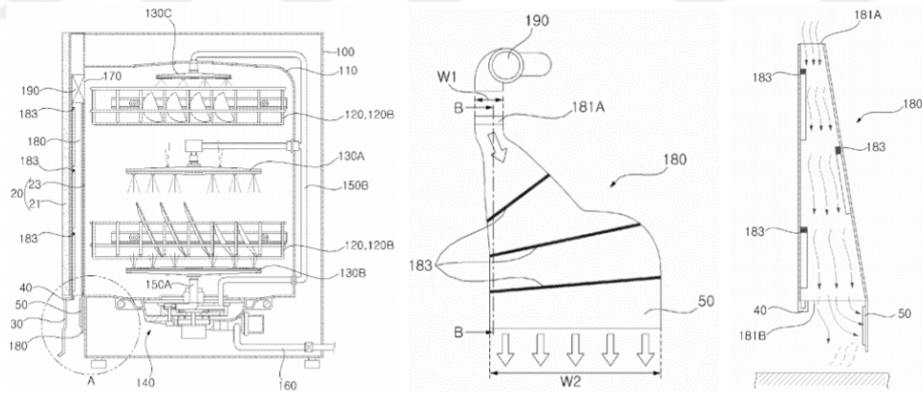
Şekil 2.18. MIDEA- CN105520704(A) (2016) numaralı patent görseli

Electrolux firmasının 2018 yılı US9907450(B2) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makinenin tabanına bir ısıtıcı bulunmaktadır. Kurutma adımında bu ısıtıcı yardımıyla makine içerisindeki hava ısıtılmakta ve ısınan hava yükselerek tavana gelmektedir. Tavanda kapının üzerinde bir adet fan bulunmaktadır. Bu fan ısınan nemli havayı emerek kapıya entegre edilmiş hava kanalına aktarmaktadır. Buradan yoğunlaşma yüzeylerine çarptığı için yoğunlaşan hava, kanalın altındaki açıklıktan makine dışına atılmaktadır. Aynı zamanda makine içerisindeki nemi ölçen bir sensör bulunmaktadır. Bu sensörden gelen veri yardımıyla ısıtıcı ve fanın çalışması kontrol edilmektedir.



Şekil 2.19. ELECTROLUX- US9907450(B2) (2018) numaralı patent görseli

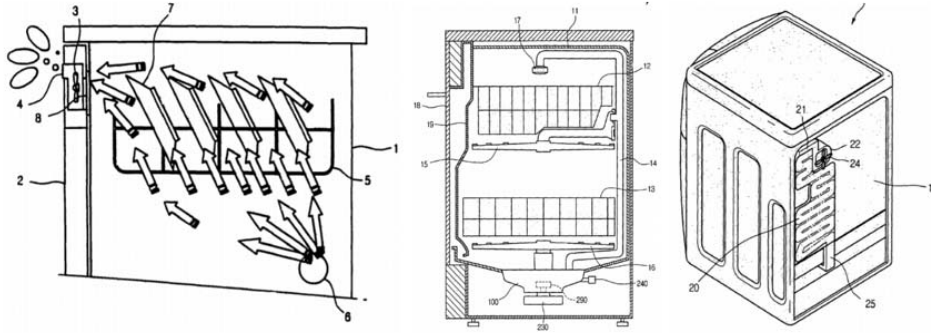
LG firmasının 2018 yılı KR101889778(B1) numaralı buluşunda, havanın makine içerisinden emilip bir kanal yardımıyla farklı bir noktadan tekrardan makine içine basıldığı kurutma sistemlerinin performansının düşük olduğundan bahsedilmiş, bu amaçla makine içerisinden emilen havanın direkt olarak dışarıya atıldığı bir sistem tasarlanmıştır. Makine kapısının olduğu bölgede bir yoğuşma kanalı bulunmaktadır. Kapının üst kısmında bulunan açıklıktan sıcak ve nemli hava yoğuşma kanalının içerisine girmektedir. Buradan da dışarıya tahliye olmaktadır.



Şekil 2.20. LG- KR101889778(B1) (2018) numaralı patent görseli

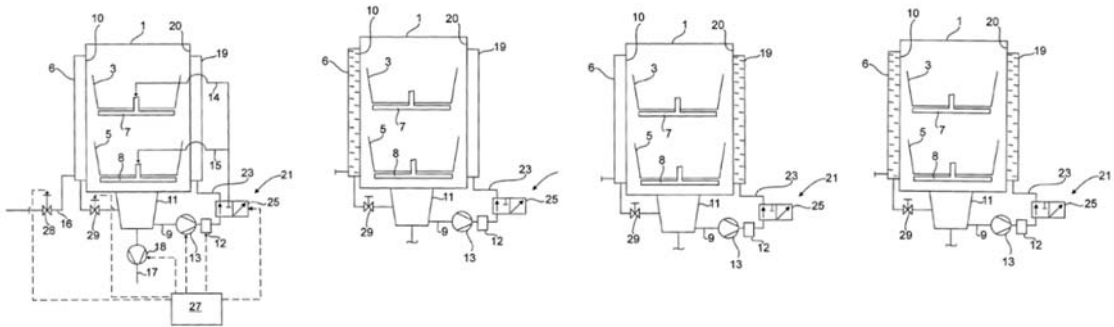
LG firmasının 2010 yılı US7767029(B2) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, bulaşık makinesinde daha iyi bir kurutma performansı elde etmek için fan ve tahliye pompasının sürülmesinde bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Patente göre, kurutma adımı boyunca zaman zaman tahliye pompası çalışmakta ve haznede biriken su tahliye edilmektedir. Makineye entegre bir fan ve yoğuşma kanalı sistemi vardır. Fan makine kapağının üst kısmında, yoğuşma kanalı ise makine kapağının içinde bulunmaktadır. Nemli hava yoğuşma kanalında yoğuşturulup fan yardımıyla dışarıya atılmaktadır.





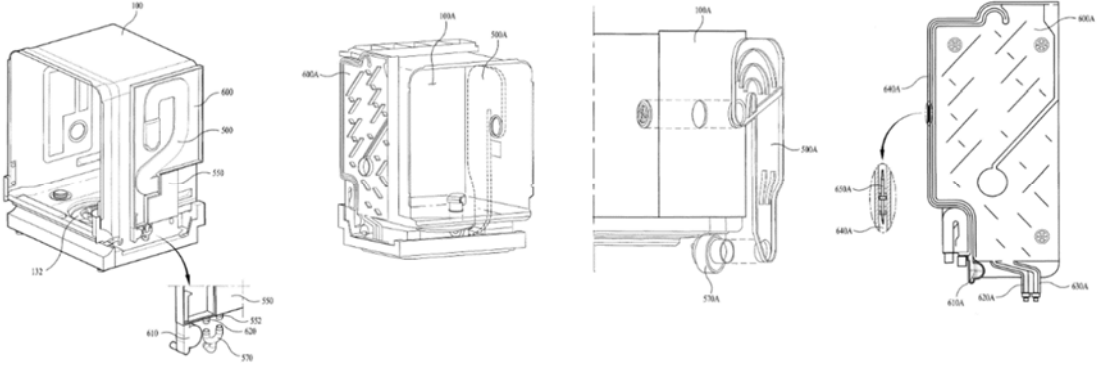
Şekil 2.21. LG- US7767029(B2) (2010) numaralı patent görseli

BSH firmasının 2016 yılı US9364133(B2) numaralı buluşunda, atık ısının kullanılması ve yoğuşmanın artırılmasını amaçlayan bir sistem geliştirilmiştir. Makinenin yanlarında su cepleri mevcuttur. Kurutma adımı bu ceplerin kullanımı özelleştirilmiştir. İlk kurutma adımı birinci cep doldurulmakta ve onun bitişiğindeki duvarda yoğuşma sağlanmaktadır. İkinci kurutma adımı birinci cepteki su tahliye edilmektedir. Üçüncü kurutma adımı ise diğer duvara bitişik ikinci su cebi doldurulmaktadır. Bu cebe bitişik duvarda yoğuşma sağlanmaktadır. Dördüncü kurutma adımı da ilk cebe tekrardan su alınmaktadır. Kurutma adımı toplamda dört aşamada tamamlanmaktadır.



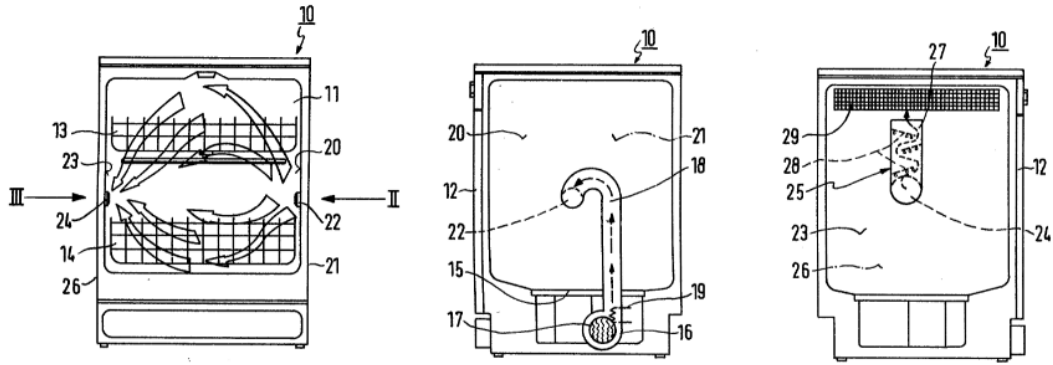
Şekil 2.22. BSH- US9364133(B2) (2016) numaralı patent görseli

LG firmasının 2012 yılı CN101862171(B) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, kurutma adımı havanın nemini almak için makinenin duvarına bir su cebi yerleştirilmiştir. Bu sayede yoğuşma sağlanmaktadır. Karşı duvarda da bir adet hava kanalı mevcuttur. Bu kanaldan nemli hava geçirilip tekrardan makine içerisine basılmaktadır.



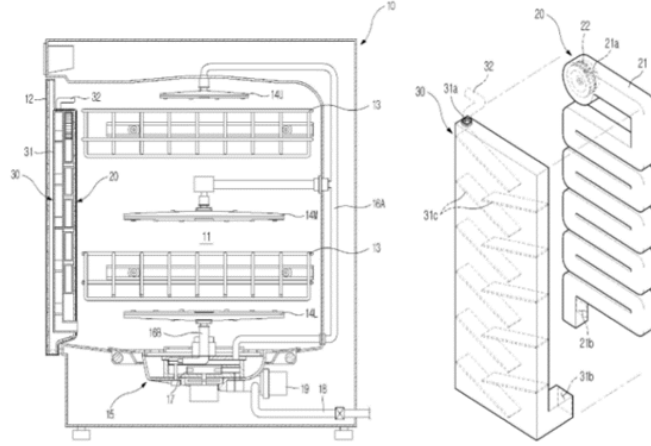
Şekil 2.23. LG- CN101862171(B) (2012) numaralı patent görseli

BSH firmasının 1986 yılı FR2491319(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makine içerisine taze hava alan ve içerisinde ısıtıcı olan bir kanal bulunmaktadır. Karşı duvarda ise nemli havanın tahliyesi için bir açıklık vardır. Bu açıklık bir yoğuşma kanalına bağlanmakta ve dışarıya nemli hava bu kanaldan geçirilerek atılmaktadır. Her iki kanalın ağzında bir filtre vardır. Bu şekilde içeriye ve dışarıya atılan havanın temiz olduğuna emin olunmaktadır.



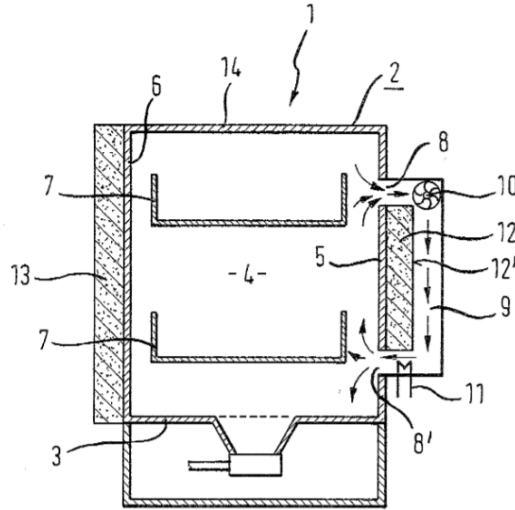
Şekil 2.24. BSH- FR2491319(B1) (1986) numaralı patent görseli

Samsung firmasının 2008 yılı KR20080067127A numaralı buluşunda tariflenen sistemde, bir yoğuşma ve bir soğutma kanalı bulunmaktadır. Soğutucu kanalın içerisinde taze su bulunmaktadır. Yoğuşma kanalından ise makine içerisindeki nemli hava geçirilmektedir. Havanın geçiş yolunu uzatmak ve yoğuşma yüzeyini arttırmak amacıyla yoğuşma kanalı kıvrımlı bir yapıda tasarlanmıştır.



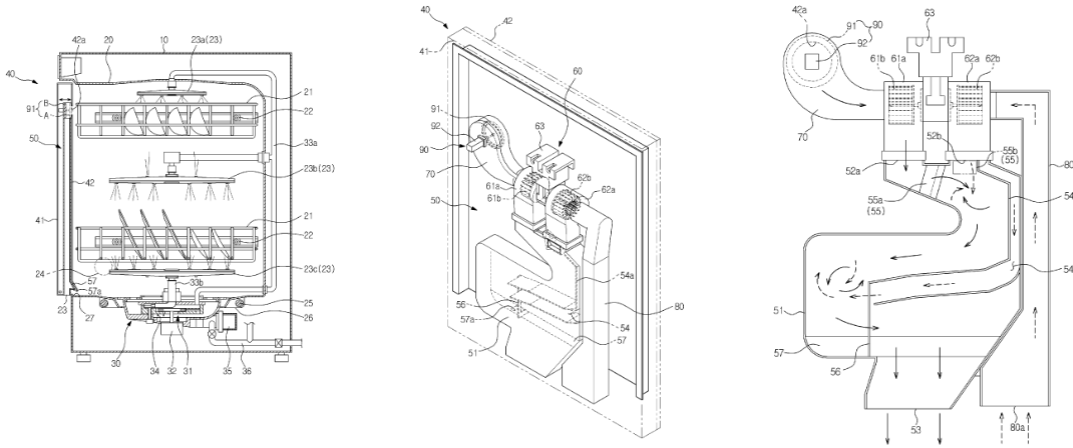
Şekil 2.25. SAMSUNG- KR20080067127A (2008) numaralı patent görseli

BSH firmasının 2010 yılı EP1833351(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, makinede iki adet ısı değiştirici görevi yapan su cebi vardır. Su ceplerinden bir tanesi makine içerisinde yoğuşma sağlamaktadır. Diğer ise makinenin karşı duvarında konumlandırılmış olup yoğuşma kanalı ve makine gövdesi ile temastadır. Nemli havanın yoğuşma kanalından geçerken su cebine temas etmesi yoğuşma verimini arttırmaktadır.



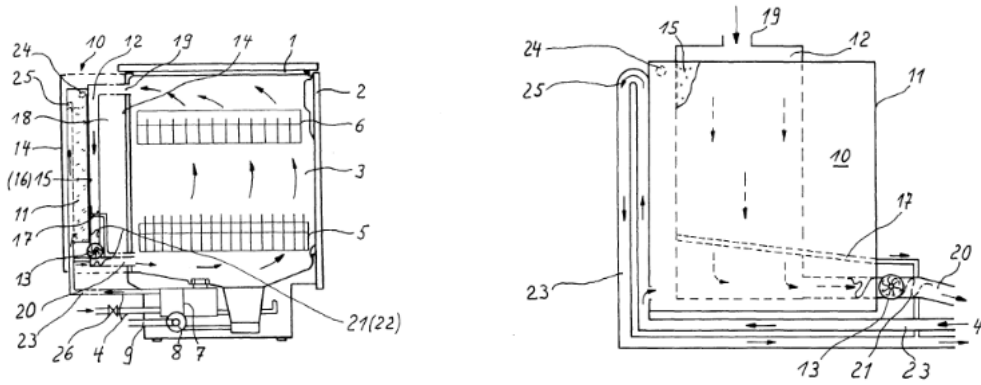
Şekil 2.26. BSH- EP1833351(B1) (2010) numaralı patent görseli

Samsung firmasının 2016 yılı US9364134(B2) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, yoğuşma kanalı ikiye ayrılmıştır. Kanalın bir bölümüne içerideki nemli hava alınmakta, diğer bölümüne ise dışarıdan taze hava alınmaktadır. Kanalın ortasında bu iki akış karışmakta ve dışarı atılmaktadır.



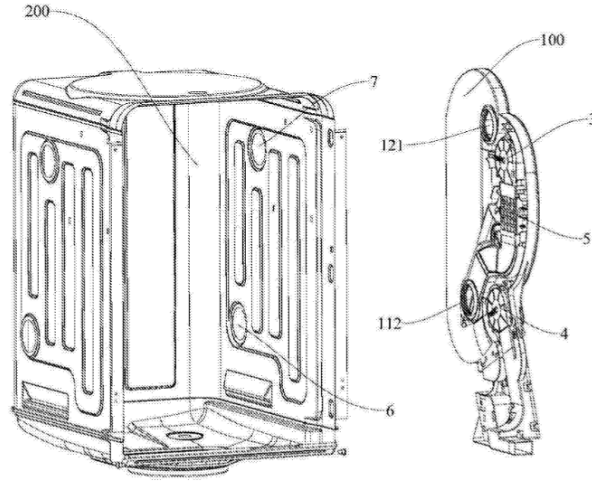
Şekil 2.27. SAMSUNG- US9364134(B2) (2016) numaralı patent görseli

Miele firmasının 2003 yılı EP1055389(B1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, yoğuşma yüzeyi oluşturmak için makinenin yanına su cebi eklenmiştir. Kurutma adımında bu cebe su doldurulmakta ve iç duvarda bir yoğuşma yüzeyi oluşturulmaktadır. Aynı zamanda içeriden nemli havanın alındığı kapalı çevrimli bir hava kanalı bulunmaktadır. Bu kanal da su cebiyle temastadır ve yoğuşma bu kanalda sağlanmaktadır.



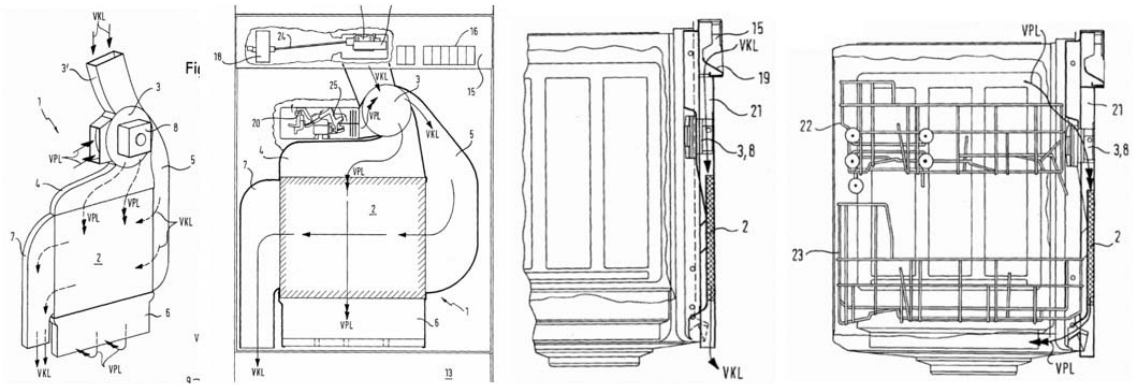
Şekil 2.28. MIELE- EP1055389(B1) (2003) numaralı patent görseli

Midea firmasının 2018 yılı CN108784605(A) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, iki adet hava kanalı bulunmaktadır. Hava kanallarından bir tanesinde makine içerisinden dışarıya, diğesinde ise dışarıdan makine içerisine hava akışı olmaktadır. Bu iki kanal birbiriyle temastadır ve aralarında ısı değıştirici gibi çalışmaktadır. Temasta oldukları bölgede kanatlı bir yapı mevcuttur. Bu yapı ısı transfer yüzeyini arttırmaktadır. İçeriye giren hava ısınarak girmekte, dışarıya atılan hava ise yoğuşup dışarı atılmaktadır.



Şekil 2.29. MIDEA- CN108784605(A) (2018) numaralı patent görseli

BSH firmasının 2001 yılı DE19946456(A1) numaralı buluşunda tariflenen sistemde, ısı değıştiricili bir kurutma sistemi kapıya entegre edilmiştir. Kurutma sisteminin içerisinde bir nemli hava, bir de taze hava akışı olan iki ayrı kanal bulunmaktadır. Bu iki akış birbirine dik şekilde gerçekleşmekte ve aralarında ısı transferi gerçekleşmektedir.



Şekil 2.30. BSH- DE19946456(A1) (2001) numaralı patent görselleri

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Bulaşık Makinesinin Genel Yapısı ve Çalışması

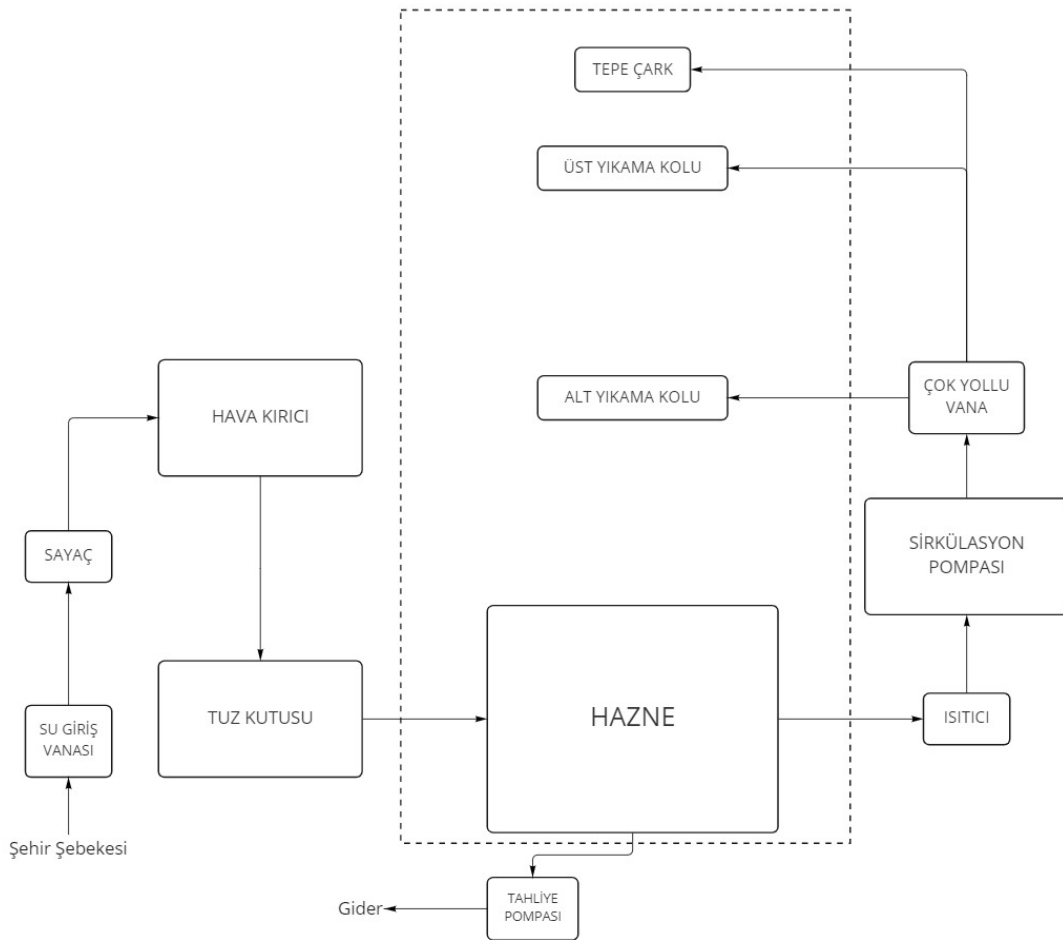
Bulaşık makineleri; ilk olarak 1850 yılında Joel Houghton tarafından patentlenen, tencere, tabak, bardak, fincan, çatal, bıçak gibi yemek takımlarının temizlenmesi için geliştirilmiş makinelerdir. El ile yıkamanın aksine bulaşık makinelerinde mekanik bir ovma işlemi yoktur. Temizleme işlemi makine içerisinde bulunan yıkama kollarından çıkan sıcak ve basınçlı suyun püskürtülmesi ile gerçekleştirilir. Makinede basınçlı su elde etmek için bir pompa ve suyu istenilen sıcaklığa çıkarmak için de bir ısıtıcı bulunur. Ayrıca kir ve lekelerin çözünmesi için özel deterjanlar kullanılır. Şekil 3.1’de örnek bir bulaşık makinesine ait görsel yer almaktadır.



Şekil 3.1. Örnek bir bulaşık makinesi (Arçelik)

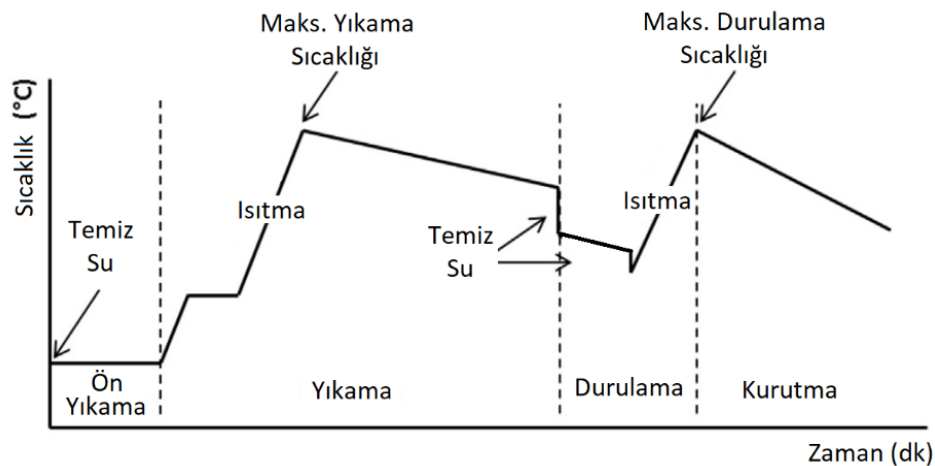
Bulaşık makineleri genel olarak; iç gövde sacları, ses ve ısı izolasyonu (bitüm, keçe), dış saclar ve üst tabla gibi tüm komponentlerin üzerine montajlandığı bir ana yapı grubu; kapı sacları, deterjan kutusu, kullanıcı ara yüzü, program seçim düğmeleri ve tutamaktan oluşan kapı ve ön panel grubu; yıkanacak bulaşıkların yerleştirildiği alt, üst ve çatal kaşık sepetlerinden oluşan yükleme grubu ve hazne, filtreler, tuz kutusu, su cebi, ısıtıcı, pompalar, alt ve üst yıkama kollarından oluşan su alma ve yıkama grubundan oluşur.

Standart bir bulaşık makinesi çevrimi genellikle tahliye adımı ile başlar. Bunun amacı yükleme sırasında makine içerisine akmış olabilecek kirli suyun bertaraf edilmesidir. Tahliye adımı sonrasında elektronik kontrol sistemi tarafından su giriş vanasına yol verilerek makine içerisine su alımı başlatılır. Makine içerisine alınan suyun miktarı su sayacı olarak adlandırılan bir debimetre ile kontrol edilir. Sayaç üzerinden geçen su, üzerinde hava kırıcı bulunan bir su yolunu takip ederek su yumuşatma sistemine (tuz kutusu) ulaşır. Hava kırıcının işlevi, herhangi bir anda su kesildiğinde makinadaki suyun şebekeye geri dönmesini engellemektir. Tuz kutusu, reçine ve tuz bölgesi olmak üzere iki bölmeden oluşmaktadır. Yumuşatma sistemine ulaşan su, tuz kutusunun reçine bölgesinden geçirilerek sertliği azaltılır ve su haznesine aktarılır. Belli periyotlarla özelliği kaybolan reçine bölgesine tuz kutusunda bulunan tuzlu su yönlendirilerek rejenerasyon işlemi yapılır.



Şekil 3.2. Bulaşık makinesi tesisat şeması

Su alma periyodunun ardından hazneye dolan su, sirkülasyon pompası tarafından yıkama kollarına basılır. Sirkülasyon pompasından çıkan suyun hangi yıkama koluna gideceğinin ayarlandığı component çok yollu vanadır. Çok yollu vana elektronik kontrol sisteminden gelen bilgiye göre suyu alt yıkama kolu veya üst yıkama koluna göndermektedir. Bazı modellerde üst pervane hattı üzerinde tepe püskürtme çarkı da bulunabilmektedir. Yıkama kolları yardımı ile tabaklara ulaştırılan su filtre sisteminden geçerek temizlenir ve tekrar pompa ile pervanelere basılır. Yıkama adımına bağlı olarak sıcak suyun ihtiyaç olduğu durumlarda, hazne ile sirkülasyon pompası arasında bulunan ısıtıcı kullanılarak su ısıtılır. Belirli bir yıkama periyodu sonrasında sirkülasyon durdurulur ve makinedeki kirli su hazneye bütünleşik olan tahliye pompası yardımı ile tahliye edilir. Şekil 3.2’de bulaşık makinesine ait tesisat şeması yer almaktadır.



Şekil 3.3. Bulaşık makinesi program akışı (Bengtsson ve ark., 2015)

Şekil 3.3’te bulaşık makinesinin program akış grafiği gösterilmiştir. Standart bir bulaşık makinesi programı dört adımından oluşmaktadır. Bu adımlar; ön yıkama, ana yıkama, durulama ve kurutma adımlarıdır (Bengtsson ve ark., 2015).

Ön yıkama işlemi soğuk su ile kaba kirlerin yüklerden uzaklaştırılması için yapılmaktadır. Çok kirli olmayan bulaşıklar yıkanacağı zaman ön yıkama adımı olmayan programlar tercih edilmelidir. Ana yıkama adımı ise suyun ısıtıldığı ve deterjan alımının yapıldığı adımdır. Kirlerin tamamen yüklerden uzaklaştırılması hedeflenir. Durulama adımı kendi içerisinde iki aşamaya bölünebilir. Birinci durulama aşamasında, ana yıkama sonrası yükler üzerinde kalan çıkmış kir taneleri ve deterjan kalıntılarının temizlenmesi



işlemi yapılmaktadır. Bu adım soğuk su ile yapılır. İkinci durulama aşamasında ise sıcak su ile tabaklar son kez deterjandan arındırılır. Suyun ısıtılması hijyen sağlamasına ek olarak aynı zamanda kurutma performansının artırılmasını da sağlar. Bu adımda durulama suyu içerisine parlaticı alımı da gerçekleştirilir. Parlaticı suyun yüzeylerde tutunmasını zorlaştırarak kurutmaya yardımcı olur. Ayrıca yemek takımının yıkama sonunda daha parlak görünmesini sağlar. Yıkama adımları sonrasında makine kurutma adımı ile program döngüsünü tamamlar.

### 3.2. Bulaşık Makinelerinde Kurutma Adımı

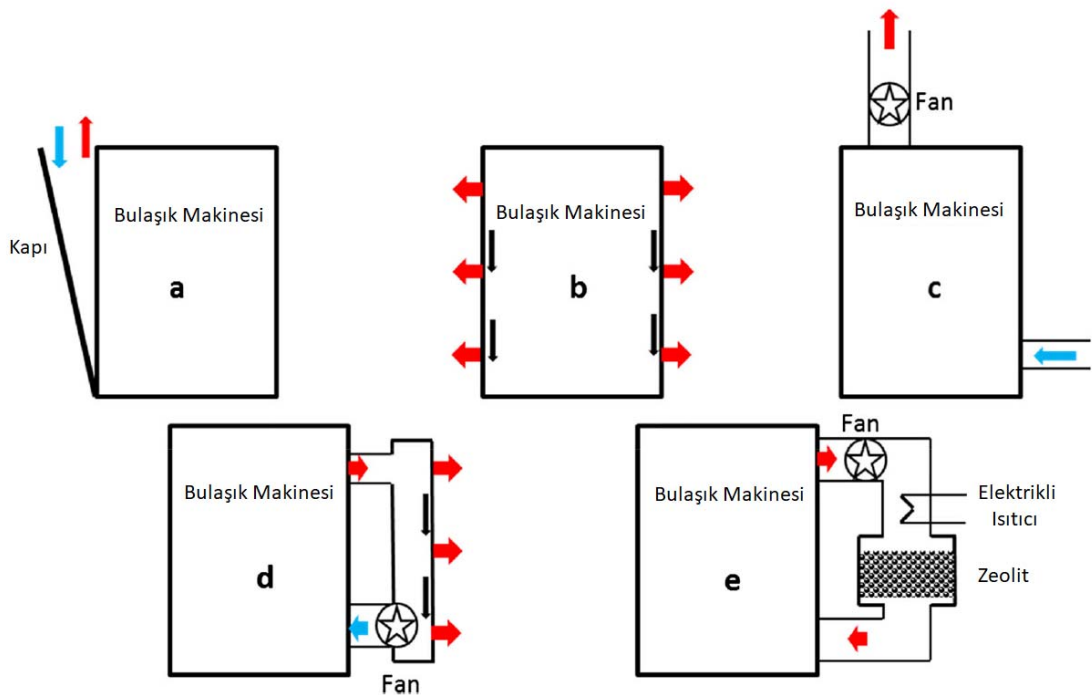
Bulaşık makinesinin temel fonksiyonlarından bir tanesi kurutmadır. Kurutma işleminde bulaşık makinesine yerleştirilmiş yüklerin üzerindeki suyun buharlaşması ve buharlaşan suyun bir bölgede yoğunlaşması ya da kabin dışına transfer edilmesi hedeflenmektedir. Kurutma adımı başlangıcında makinenin içerisinde yoğun miktarda nem bulunmaktadır. Nem miktarı, kurutma adımıyla yükler üzerindeki buharlaşmanın etkisiyle sürekli olarak artmaktadır. Yüksek bağıl nemdeki makine iç havasının, buharlaşan suyu tutabilmesi ve makinenin istenmeyen bölgelerinde veya yüklerin üzerinde yoğunlaşmaması için nemin kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli kurutma sistemleri geliştirilmiştir.

Kurutma, düşük termal verimle gerçekleşen enerji yoğun bir süreçtir (Sai ve Linga, 2010). Isı, kütle ve momentum transferlerini içerir. Gözenekli ya da su emebilen bir cismin kurutulmasında iki mekanizma söz konusudur. Bunlar suyun malzeme içinden taşınması ve yüzeyden buharlaşmasıdır (Mujumdar 2006). Ancak gözenekli olmayan yani su tutmayan bulaşıkları kuruturken sadece yüklerin yüzeyinde kalan suyun buharlaşması mekanizması gerçekleşir.

Bulaşık makinesinde yüklerin kurutulması mekanizması, ortamdaki gelen ısının bulaşıklara iletilmesini içermez. Bunun yerine son durulama adımıyla yükler üzerinde depolanan ısının, bulaşık yüzeylerindeki suyu buharlaştırması mekanizması gerçekleşir. Bu nedenle kurutma başlangıç sıcaklığı ile aynı olan son durulama sıcaklığı, bulaşıkları kuruturken önemli bir faktördür (Jeong ve Lee, 2014). Kurutma işleminin başlangıcında normal bir yemek tabağının bulaşık alanının %100'ü ıslaktır, ancak sonunda tabağın kuru olarak kabul edilebilmesi için, EN 60436 numaralı standarda göre yüzey alanının tamamı kuru olmalıdır.

Bulaşık makinesinin kurutma aşamasında buharlaşma ve yoğuşma olayları meydana gelir. Makine içindeki bazı ıslak yüzeyler çiy noktasının üzerindedir ve buharlaşmaya maruz kalırlar. Diğer yüzeyler ise çiy noktasının altındadır ve yoğuşma yaşarlar. Bulaşık makinelerinin kurutma sistemleri yükler üzerindeki buharlaşmayı teşvik etmek için geliştirilmiştir (Kumar ve ark, 2021). Yükler üzerindeki buharlaşmanın arttırılabilmesi için makine iç havasının bağıl neminin düşürülmesi gerekir. Bunu sağlamak için de makine içindeki nemli havanın makine dışarısına transfer edilmesi ya da makine duvarlarında kontrollü bir şekilde yoğuşturulması gerekir.

Bulaşık makinelerinde kurutma adımında kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler atmosfere açık veya kapalı, dinamik (fanlı) veya statik (fansız) olabilir. Bengtsson ve Berghel (2017), yaptıkları çalışmada bu sistemleri Şekil 3.4'te gösterildiği gibi şematik olarak gösterilmiş ve detaylı olarak incelemiştir. Bu gösterimde yer alan kurutma sistemlerinden farklı olan sistemler ise Şekil 3.5'te söz konusu çalışmadaki gösterime benzer şekilde oluşturulmuştur.



**Şekil 3.4.** Bulaşık makinesinde kullanılan mevcut beş kurutma sistemi: a) statik – açık devre, b) statik – kapalı devre, c) dinamik – açık devre, d) dinamik – kapalı devre, e) zeolit ile dinamik – kapalı devre – adsorpsiyonlu kurutma (Bengtsson ve Berghel, 2017)

Şekil 3.4b’de gösterilen statik kapalı devre kurutmada genellikle son durulama suyu sıcaklığı yüksek tutularak durulama sonrasında yıkanmış bulaşıkların yüzey sıcaklığının olabildiğince yüksek olmasından faydalanılır. Kurutma işlemi sırasında kapı kapalıdır. Bulaşık makinesinin gövde sıcaklığı yüksek sıcaklıkta durulamaya maruz kalmış bulaşıklardan soğuk olacağı için buhar gövde üzerinde yoğunlaşarak tabana iner ve sonrasında tahliye edilir. Bu sistemlerde kurutma süreleri uzun ve harcanan enerji yüksektir. Genellikle kurutma işlemi ile ilgili ekstra hiçbir komponent kullanılmaz. Pratik olarak statik kapalı devre kurutma yöntemleri, diğer kurutma yöntemlerinin içinde her zaman küçük bir kısmı oluşturur. Yüksek sıcaklıkta durulamanın olduğu statik kapalı devre kurutma sistemleri, cam bardaklar ve seramik tabaklarda iyi çalışırken plastik ürünler üzerinde verimleri düşüktür.

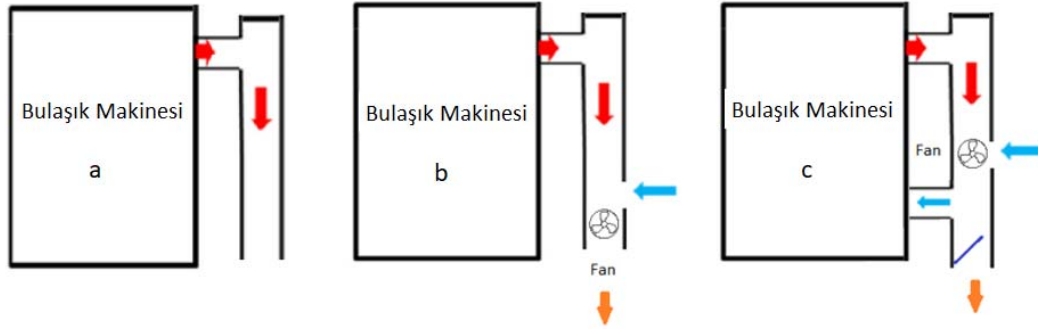
Statik kurutma işlemini esnasında otomatik olarak kapının açılması ile makine içindeki buharın dışarı atılmasına olanak sağlayan uygulamalar da vardır. Şekil 3.4a’da gösterilen bu uygulamalar statik-açık devre kurutma olarak isimlendirilir. Nemli havanın bulaşık makinesinden mutfığa verildiği bu yöntem, mutfak iklimlendirmesini etkiler ve mutfak tezgâh ve dolaplarına zarar verebilir. Bu sebeple bazı firmaların otomatik kapı açılan sistemlerde buharın doğrudan tezgâha ulaşmasını engellemek için makine üst tablasının olduğu bölgeden bir fan yardımıyla bir jet akış uyguladığı sistemler vardır. Bu sayede nemli havanın tezgâha zarar vermesini engellemiş olur.

Statik kurutmanın bazı özel uygulamalarında bir hava borusu da kullanılabilir. Makinenin üst kısmına doğal konveksiyon ile çıkan nemli buhar, bu bölgede yer alan bir delik ve bağlı olan hava kanalı sayesinde makine dışına gönderilir. Bu uygulamaya ait şematik gösterim Şekil 3.5a’da verilmiştir.

Statik sistemlerde kurutma performansının artırılması için makine yan duvarlarının daha çabuk soğutulmasını sağlayan yöntemler geliştirilmiştir. Yan duvarlarda gerçekleşen yoğunlaşmanın veriminin artırılabilmesi amacıyla bazı makinelerde yan duvarlarda büyük su cebi kullanımı vardır. Bu ceplere kurutma esnasında soğuk su alınır. Bulaşık makinesi yan duvarlarının bu sayede soğuması, yoğunlaşmanın daha verimli olmasını sağlar.

Şekil 3.4c’de gösterilen dinamik- açık devre kurutma sistemlerinde, hava borusu kullanan statik kurutmalı sisteme ek olarak bir fan kullanılır. Kullanılan fan ile doğal konveksiyon yerine zorlanmış konveksiyon ile ısı transferi sağlanarak kurutma sürelerinin kısaltılması hedeflenir. Bu sistemde de makine içindeki nemli hava fan tarafından emilir ve mutfak ortamına atılır. Şekil 3.5b’de gösterilmiş olan farklı bir

uygulamada ise makineden çekilen nemli hava, mutfakta bulunan kuru hava ile karıştırılarak dış ortama gönderilir. Bu sayede mutfak ortamına gönderilen havadaki nem derişimi azaltılmış olur. Bu sistemlerde statik kurutmalı sistemlere göre nispeten daha düşük sıcaklıklarda son durulama yapılabilir.

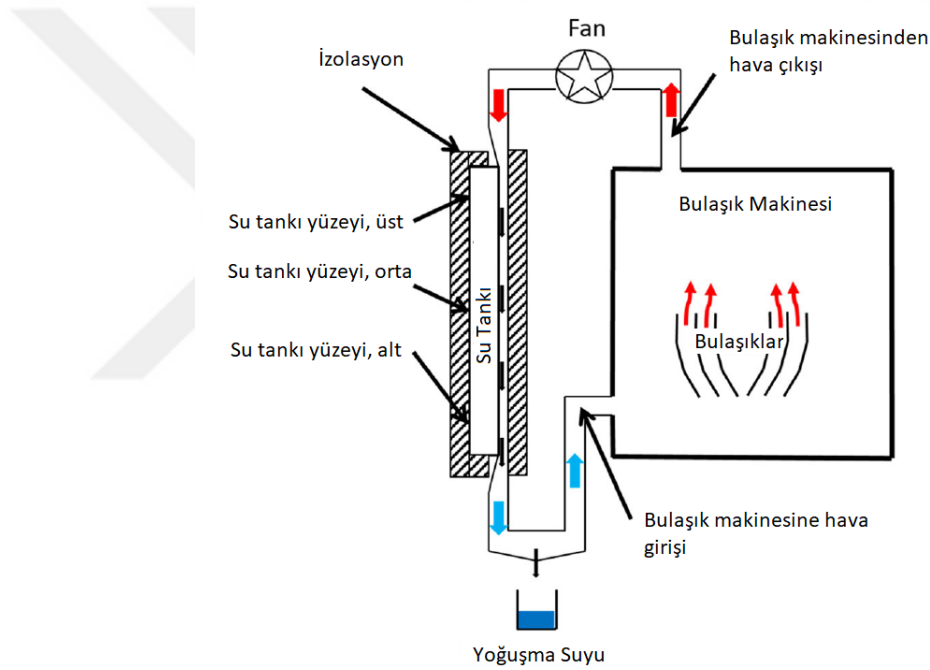


Şekil 3.5. Örnek kurutma sistemleri

Şekil 3.4d’de gösterilen dinamik- kapalı devre kurutma sistemlerinde ise makine içerisinden çekilen nemli hava bir kanaldan geçirilerek tekrar makine içine gönderilir. Bu kanalda oluşturulan geometrik eklentiler yardımıyla yoğuşma yüzeyi elde edilmiştir. Şekli 3.5c de benzer sistemin geliştirilmiş bir uygulaması gösterilmiştir. Bu uygulamada makineden çekilen nemli havanın bir kısmı direkt olarak mutfak ortamına verilirken, bir klape yardımıyla kalan kısmı ise kuru hava ile karıştırılarak tekrar makine içerisine gönderilir. Makine içine gönderilmiş olan nispeten kuru ve ılık hava sayesinde kurutma performansı artırılır. Bu yöntemin farklı versiyonlarında kurutma kanalının içinde fan ile beraber bir de ısıtıcı eleman bulunur. Genellikle fan makine içerisindeki nemli havayı emer. Kanalda bulunan ısıtıcı üzerinden geçirerek tekrar makine içerisine gönderir.

Dinamik- kapalı devre kurutma sistemlerinde nem tutucu malzemelerin kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur. Bunlardan en bilineni zeolit kullanımıdır. Makine içerisinden bir fan yardımıyla emilen nemli hava, içinde zeolit bulunan bir hazne üzerinden geçirilerek tekrar makine içine verilir. Zeolit, yapısı gereği su absorbe etme özelliğine sahip bir maddedir. Zeolit üzerinden geçen nemli hava, su buharını kaybederek kuru bir şekilde makine içine tekrar gönderilir. Bu sayede makine dışına herhangi bir egzoz olmadan kurutma işlemi başarılı bir biçimde tamamlanabilir. Zeolit, kurutma işlemi sonrasında ısıtılarak üzerindeki su buharı buharlaştırılarak yeniden kullanılabilir. Sisteme ait şema Şekil 3.4.e’ de gösterilmiştir.

Son yıllarda geliştirilen yeni bir yöntem ise bulaşık makinelerinde ısı pompası kullanımıdır. Isı pompası; kompresör, kondenser, evaporatör ve kılcal borudan oluşur. Kondenser bulaşık makinesi içerisinde yer alır. Evaporatör ise makine dışında bir su kabıdır. Kondenser, haznedeki yıkama suyunun ısıtılması için kullanılırken, evaporatör ise kurutma esnasında nemli havanın yoğuştuğu düşük sıcaklıklı bölgeyi oluşturmuş olur. Bir fan yardımıyla makine içinden emilen yüksek bağıl neme sahip hava, evaporatörün bulunduğu kaptan geçer, burada yoğuşur ve makineye bağıl nemi düşmüş şekilde geri döner. Bu sayede mutfak iklim şartları da bozulmamış olur. Bulaşık makinelerinde ısı pompası kullanımı yüksek enerji verimliliği sağlar. Şekil 3.6’da ısı pompalı bir bulaşık makinesinin kurutma devresi şeması gösterilmiştir.



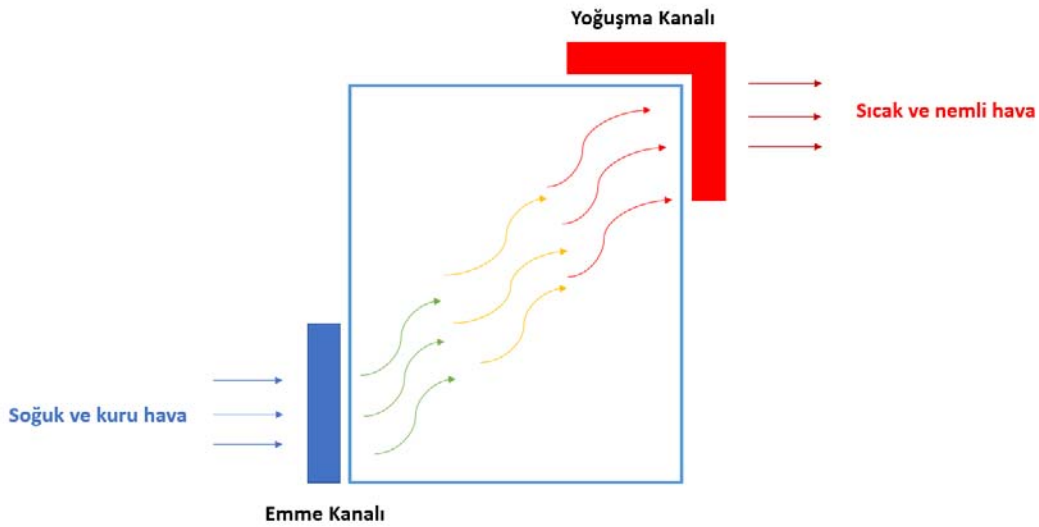
Şekil 3.6. Isı pompalı bulaşık makinesi kurutma sistemi (Bengtsson ve Berghel, 2017)

### 3.3. Tez Kapsamında Geliştirilen Doğal Taşınım Prensipli Kurutma Sistemi

Tez kapsamında yapılan çalışma ile dinamik kurutma sistemleri ile benzer performansa sahip ancak herhangi bir elektrikle çalışan komponent içermeyen, statik-bacalı bir kurutma sistemi geliştirilmiştir. Sistemde makine içindeki buharın dışarı çıkışı için bir baca ve hava takviyesi için de bir emiş açıklığı yer almaktadır. Bu sayede baca

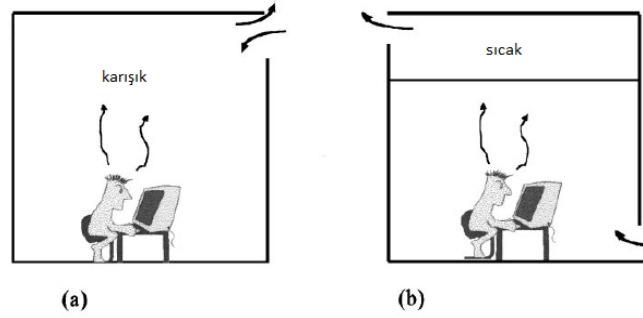
açıklığından makine içerisindeki sıcak ve nemli hava makine dışına tahliye olurken, hava emiş açıklığından makine içine taze hava girişi olmaktadır. Sistem temel olarak kabin içindeki buharın kurutma adımında kontrollü ve hızlı bir şekilde tahliye edilmesi prensibine dayanmaktadır.

Geliştirilen bu sistem yardımıyla makine içerisindeki nemli ve sıcak hava daha hızlı bir şekilde dışarıya tahliye olur. Nemli ve sıcak havanın yerini ise kuru ve soğuk olan ortam havası doldurur. Bu sayede makine içerisinde buharlaşan suyun hava içerisinde tutulma kapasitesi sürekli olarak artar ve yüklerin üzerinde tekrardan yoğuşmanın önüne geçilir. Ayrıca içeriye taze hava dolmasından ötürü yük sıcaklığı ile makine iç havasının sıcaklık farkı artar. Bu da yükler üzerindeki kütle transferini, yani buharlaşmayı hızlandıracak yönde bir etki gösterir. Bu şekilde kurutma performansı iyileşir. Şekil 3.7’de sistemin çalışma prensibini gösteren şema verilmiştir.



Şekil 3.7. Önerilen sisteme ait şema

Sistemin çalışması doğal taşınım prensiplerine dayanmaktadır. Eğer makineye bir baca açıklığı açılırsa, makine içerisindeki sıcak ve nemli hava yükselme eğiliminde olduğundan doğal taşınım yoluyla kontrol hacmini terk edecektir. Baca açıklığına ek olarak açılan bir emiş açıklığı ise atılan nemli havanın yerine kuru havanın alınmasını sağlar. Ayrıca bu açıklık kurutma süresini kısaltıcı etkiye de sahiptir.



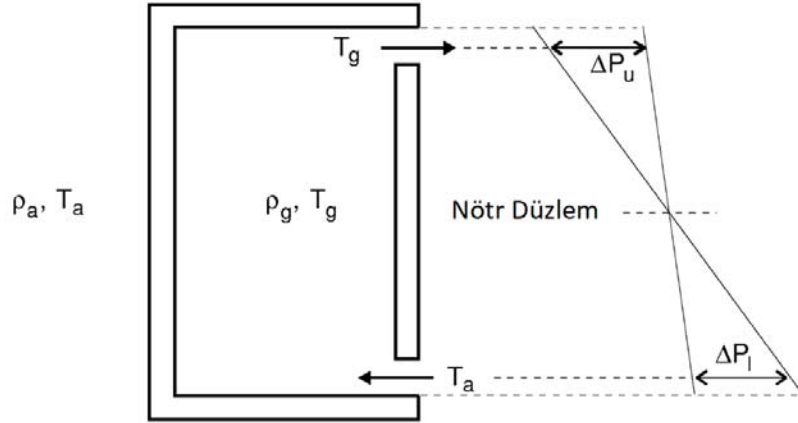
Şekil 3.8. Karışım (a) ve yer değiştirme (b) havalandırması (Linden, 1999)

Linden (1999), doğal havalandırma ile ilgili yaptığı çalışmasında Şekil 3.8a'da gösterilen havalandırma tipi ile Şekil 3.8b'de gösterilen havalandırma sisteminin farkını incelemiştir. Şekil 3.8a'da gösterilen sistemde kontrol hacmi içerisinde homojen bir sıcaklık oluşurken Şekil 3.8b'de ise üst kısımların daha sıcak olduğunu ifade etmektedir. Buna ek olarak Şekil 3.8a'daki sistemde odanın havalandırması için Şekil 3.8b'de gösterilen sisteme göre uzun zaman gerektiğini belirtmektedir.

Benzer olaylar farklı alanlarda da karşımıza çıkmaktadır. Güç santrallerindeki doğal çekişli soğutma kuleleri, buzdolaplarının ve soğuk hava depolarının kapılarının açılmasıyla gerçekleşen hava infiltrasyonu ve kuzine sobalar örnek olarak verilebilir.

Karlsson ve Quintiere (1999), yangın dinamiği hesaplamalarında doğal havalandırma prensiplerini kullanmıştır. Geliştirilen sistem de benzer şekilde doğal havalandırma yöntemlerindeki baca etkisi ya da yığın etkisi prensibine benzemektedir. Bu sebeple aşağıda detaylandırılan mühendislik hesaplamalarında Karlsson ve Quintiere'nin "Enclosure Fire Dynamics" kitabı kaynak olarak kullanılmıştır.

Doğal havalandırmada havanın bir açıklıktan içeri ve dışarı akışı basınç farkından dolayı gerçekleşir. Akışkanların hareketi her zaman yüksek basınçlı bölgeden düşük basınçlı bölgeye doğru gerçekleşir. Şekil 3.9'da üst ve alt bölgesinde açıklıkları olan bir kontrol hacmi gösterilmiştir. Bu kontrol hacmi geliştirilmiş olan kurutma sisteminin kaba bir modelidir. Şekilde, dış ortam hava yoğunluğu ve sıcaklığı  $\rho_a$  ve  $T_a$ , kontrol hacmi hava yoğunluğu ve sıcaklığı  $\rho_g$  ve  $T_g$  ile gösterilmiştir. Kontrol hacmi sıcaklığı dış ortam sıcaklığından daha yüksek ve sabit olduğu kabul edilirse, kontrol hacmine alt açıklıktan giren bir soğuk hava akışı ( $T_a$ ) ve üst açıklıktan çıkan bir sıcak hava akışı ( $T_g$ ) beklenir. Bunun nedeni hidrostatik basınç farkıdır (Karlsson ve Quintiere, 1999).



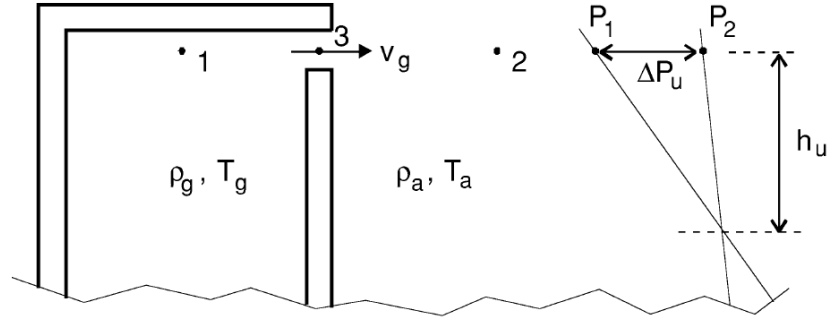
**Şekil 3.9.** Isıtılmış bir mahfazada hidrostatik basınç farkları (Karlsson ve Quintiere, 1999)

Kontrol hacmi içi veya dışındaki basınç profillerinde herhangi bir süreksizlik olmaması nedeniyle profiller nötr düzlem olarak adlandırılan belirli bir yükseklikte kesişecektir. Bu yükseklikte basınç farkları sıfırdır. Nötr düzlem Şekil 3.9'da gösterilen iki açıklık arasında herhangi bir yerde olabilir. Nötr düzlemin yüksekliği, açıklıklardaki akış direnci ve sıcaklık farkının büyüklüğü ile belirlenir. Örneğin alt açıklık büyükse veya düşük akış direncine sahipse nötr düzlem alt açıklığa yakın olacaktır.

Basınç farkı kontrol hacmi içi ve dışındaki yoğunluk farkından kaynaklanır. Yoğunluk farkına ise iç ve dış ortamdaki sıcaklık farkı sebep olur. Diğer bir deyişle ısınan havanın yükselme eğiliminde olmasının sebebi, hava içindeki moleküllerin genişip yoğunluğunun azalmasıdır. Aynı şekilde soğuyan hava da yoğunluğunun artması neticesinde alçalma eğilimindedir. Sıcak gazların kaldırma kuvvetinden veya daha doğrusu sıcak ve soğuk gazlar arasındaki yoğunluk farklarından dolayı basınç farkı oluşur.

Sistemdeki hava akışının basınç ve hız ilişkisini ifade etmek için Bernoulli denklemi kullanılmıştır. Esas olarak viskoziteden kaynaklanan kayıpların düşük olduğu havalandırma açıklıklarında, havanın laminer akışı inceleneceği için sürtünme kaybı olmadığı ve akışkanın sıkıştırılmaz olduğu kabul edilir (Karlsson ve Quintiere, 1999).





Şekil 3.10. Isıtılmış mahfazanın üst açıklığının detay görüntüsü (Karlsson ve Quintiere, 1999)

Bernoulli denklemi ilk olarak Şekil 3.10'daki 1 ve 2 noktaları için yazılarak bir eşitlik elde edilir. 1 ve 2 noktalarında hız sıfır olduğu için denklem (3.1) formunda yazılabilir.

$$P_1 - P_2 = h_2\rho_2g - h_1\rho_1g \quad (3.1)$$

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi 1 ve 2 noktalarında yükseklik eşittir. Bu durumda  $h_1=h_2=h_u$  olduğundan 1 ve 2 noktaları arasındaki hidrostatik basınç farkı  $\Delta P_u$  için ifade:

$$\Delta P_u = h_u(\rho_a - \rho_g)g \quad (3.2)$$

1 ve 3 noktaları arasında yazılan Bernoulli denkleminden bir eşitlik (3.3) daha elde edilir. Bu eşitliğin yazılmasında amaç kütle akış hızının hesaplanmasıdır.

$$P_1 + \frac{1}{2}v_1^2\rho_1 + h_1\rho_1g = P_3 + \frac{1}{2}v_3^2\rho_3 + h_3\rho_3g \quad (3.3)$$

1 noktasındaki hız değeri  $v_1=0$ 'dır. Kontrol hacmi içindeki hava yoğunluğu, kontrol hacmi çıkış noktasındaki hava yoğunluğu ile aynıdır ( $\rho_1=\rho_3=\rho_g$ ). Dolayısıyla eşitlik (3.4) halini alır.

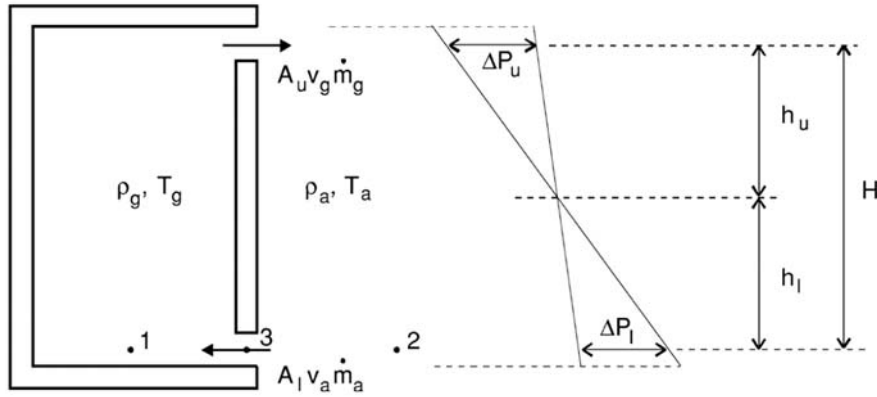
$$P_1 - P_3 = \frac{1}{2} v_3^2 \rho_3 \quad (3.4)$$

Son olarak, nötr düzlemden 1 ve 3 noktalarının yükseklikleri aynıdır ( $h_1=h_3=h_u$ ). Denklem sadeleştirilerek (3.5) halini alır.

$$\Delta P_u = \frac{1}{2} v_g^2 \rho_g \quad (3.5)$$

İlk elde edilen eşitlik ikinci eşitlikte yerine yazılarak havanın  $h_u$  yüksekliğindeki çıkış hızı ile ilgili (3.6) numaralı denkleme ulaşılır.

$$v_g = \sqrt{\frac{2\Delta P_u}{\rho_g}} = \sqrt{\frac{2h_u(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_g}} \quad (3.6)$$



Şekil 3.11. Notasyonların eklendiği alt ve üst açıklığın detay görüntüsü (Karlsson ve Quintiere, 1999)

Üst açıklık için yapılabeni benzer şekilde Bernoulli denklemi kullanılarak alt açıklık için de denklemler türetilir. Şekil 3.11, bazı ek notasyonlarla birlikte Şekil 3.10'un bir benzeridir. Üst noktaya atıfta bulunan değişkenler daha önce olduğu gibi “ $u$ ” alt indisine ve alt noktaya atıfta bulunanlar “ $l$ ” alt indisine sahiptir. Kontrol hacmi içindeki havayı “ $g$ ” indisi, dışındaki havayı ise “ $a$ ” indisi ifade eder.

Bernoulli denklemini ilk olarak Şekil 3.11'deki 1 ve 2 noktaları için yazılarak bir eşitlik elde edilir. 1 ve 2 noktalarında hız sıfır olduğu için denklem (3.7) formunda yazılabilir.

$$P_1 - P_2 = h_2\rho_2g - h_1\rho_1g \quad (3.7)$$

Şekil 3.11'de gösterildiği gibi  $h_1=h_2=h_1$  olduğundan 1 ve 2 noktaları arasındaki hidrostatik basınç farkı  $\Delta P_1$  için ifade şu hale gelir:

$$\Delta P_1 = h_1(\rho_a - \rho_g)g \quad (3.8)$$

2 ve 3 noktaları arasında yazılan Bernoulli denkleminde bir eşitlik (3.9) daha elde edilir. Bu eşitliğin yazılmasında amaç kütle akış hızının hesaplanmasıdır.

$$P_2 + \frac{1}{2}v_2^2\rho_2 + h_2\rho_2g = P_3 + \frac{1}{2}v_3^2\rho_3 + h_3\rho_3g \quad (3.9)$$

2 noktasındaki hız değeri  $v_2=0$ 'dır. Kontrol hacmi içindeki hava yoğunluğu, kontrol hacmi çıkış noktasındaki hava yoğunluğu ile aynıdır ( $\rho_2=\rho_3=\rho_a$ ). Dolayısıyla eşitlik (3.10) halini alır.

$$P_2 - P_3 = \frac{1}{2}v_3^2\rho_3 \quad (3.10)$$

Son olarak, nötr düzlemden 2 ve 3 noktalarının yükseklikleri aynıdır ( $h_2=h_3=h_1$ ). Denklem sadeleştirilerek (3.11) halini alır.

$$\Delta P_1 = \frac{1}{2}v_a^2\rho_a \quad (3.11)$$

İlk elde edilen eşitlik ikinci eşitlikte yerine yazılarak havanın  $h_1$  yüksekliğindeki giriş hızı ile ilgili (3.12) numaralı denkleme ulaşılır.

$$v_a = \sqrt{\frac{2\Delta P_u}{\rho_a}} = \sqrt{\frac{2h_1(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_a}} \quad (3.12)$$

Bir açıklıktan geçen kütle akışının temel doğa yasalarını kullanarak hassas bir şekilde hesaplanması Navier-Stokes denklemlerinin çözülmesiyle gerçekleştirilebilir. Bu çözümlerin gerçekleştirilmesinde büyük kapasitedeki bilgisayarlar kullanılır. Bernoulli denklemi yalnızca idealize edilmiş akış koşulları için geçerlidir. Bununla birlikte tüm mühendislik amaçları için yukarıda verilen denklemlerin bazı düzeltme katsayıları ile birlikte kullanımı da gerçek sonuçlara önemli ölçüde yaklaşım sağlar (Karlsson ve Quintiere, 1999).

Bir kontrol hacminde bulunan açıklıklar arasında basınç farkı olduğunda, akışkan yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine hareket eder. Pratikte akışkan ideal (sürtünmesiz, sıkıştırılmaz ve izotermal) değildir ve akışa karşı bir miktar direnç vardır. Bu direnç, temelde açıklığın yalnızca bir bölümünün akışın içinden etkin bir şekilde akmasına izin vereceğini belirten bir akış katsayısı ile hesaba katılır. Akış katsayısı  $C_d$  ile gösterilir.

Basınç farkının tüm kontrol hacmi yüksekliği boyunca sabit bir değer olduğu sistemlerde, hızın tüm yükseklik boyunca sabit olduğu da söylenebilir. Kontrol hacmi kenarlarına çok yakın bölgelerde bu durum söz konusu olamaz.  $C_d$  akış katsayısı bu durumda kenar etkisini hesaba katar. Bu durumda kütle akışı (3.13) numaralı denklemden yazılabilir:

$$\dot{m} = C_d A v \rho \quad (3.13)$$

Burada  $A$  kesit alanı,  $v$  kesit üzerindeki sabit hızı ve  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu ifade eder. Bu eşitlik hızın kontrol hacmi yüksekliği boyunca sabit olması durumunda kurulabilir. Aksi senaryolarda toplam kütle akışının elde edilebilmesi için hız profiline göre yüksekliğe göre değişimi dikkate alınmalıdır.

Buradan yola çıkarak denklem (3.6) ve (3.12) de elde edilen üst ve alt noktadaki çıkış hızlarından kütleli debiler:

$$\dot{m}_g = C_d A_u \rho_g \sqrt{\frac{2h_u(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_g}} \quad (3.14)$$

$$\dot{m}_a = C_d A_l \rho_a \sqrt{\frac{2h_l(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_a}} \quad (3.15)$$

Kütlenin korunumu yasası gereği giren kütleli debi ile çıkan kütleli debi birbirine eşittir. Bu durumda (3.14) ve (3.15) numaralı denklemler birbirine eşitlenirse yükseklik ve hava yoğunluklarının birbiri ile olan ilişkisini açıklayan (3.16) numaralı eşitlik elde edilir.

$$\frac{h_l}{h_u} = \left(\frac{A_u}{A_l}\right)^2 \frac{\rho_g}{\rho_a} \quad (3.16)$$

Bu bölümde elde edilen denklemler sayesinde aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır. Bu çıkarımlar tasarım aşamasına girdi oluşturmuştur:

- Debilerin artması, baca açıklığı yardımıyla makine dışına atılan nemli havanın ve hava emiş açıklığı yardımıyla makine içine alınan taze havanın miktarlarının artması demektir. Makine içerisindeki havanın giriş-çıkışının artması makine içerisindeki nemin sürekli olarak azaltılması ve makine içindeki havanın nem tutma kapasitesinin artması anlamına gelmektedir. Yani, yükler üzerinden buharlaşan suyun tekrardan yükler üzerinde yoğunlaşmasının önüne geçilmiş olur.

- Ayrıca, hava giriş-çıkışının hızlanması içeriye daha çok taze (soğuk ve kuru) hava dolması anlamına gelir. Bu sayede, makine iç sıcaklıkları daha hızlı bir şekilde düşer ve makine içindeki hava ile yükler arasındaki sıcaklık farkı artar. Bu da yükler üzerindeki kütle transferini, yani buharlaşmayı hızlandıracak yönde bir etki gösterir. Bu şekilde kurutma performansı iyileşir.
- Açıklıkların konumları önemli parametrelerdir ve denklemlerde çarpan durumunda bulunmaktadır. Baca açıklığı ile hava emiş açıklığı arasında yükseklik farkı bulunmalıdır ve baca açıklığı her zaman hava emiş açıklığından yukarıda olmalıdır. Aradaki yükseklik farkı arttıkça, kontrol hacmi içerisine giren (taze hava) ve dışarıya atılan (nemli hava) hava hızları, buna bağlı olarak debileri artacaktır ve daha hızlı bir hava giriş-çıkışı gerçekleşecektir. Bu sebeple, baca açıklığını mümkün olan en yüksek mertebeye, hava emiş açıklığını ise mümkün olan en alçak mertebeye konumlamak çarpan durumunda olan yükseklik parametresini büyütür. Bunun sonucu olarak hava hızları ve debi yükselir ve makine dışına atılan nemli hava ve makine içine alınan taze hava miktarları artar.
- Açıklıkların kesit alanları da önemli parametrelerdir ve denklemlerde çarpan durumunda bulunmaktadır. Baca ve hava emiş açıklıklarının kesit alanları hacimsel debi denklemlerinde çarpan durumunda olduğundan, bu açıklıklar büyütüldüğünde baca açıklığından makine dışına çıkan nemli havanın ve hava emiş açıklığından içeriye giren taze havanın hacimsel debileri de aynı oranda artar.
- Bahsi geçen sistemde, açıklıkların yükseklik farkları dışında konumları da önem taşımaktadır. Sistem her ne kadar yükseklik farkı olduğu sürece çalışır vaziyette olsa da konum düzenlemeleriyle sistemin performansı arttıracaktır. Baca açıklığı ile hava emiş açıklığının karşılıklı olarak konumlandırılması bu düzenlemelerden bir tanesidir. Makinenin tercihen alt bölümlerinde bulunan hava emiş açıklığından, nemli ve sıcak hava bulunan makineye taze (kuru ve soğuk) hava girişi olur. Nemli ve sıcak hava yükselme eğiliminde olacağından baca açıklığından dışarıya çıkar. Havanın akış patikası da bu doğal harekete göre gerçekleşir.

- Baca açıklığı ve hava emiş açıklıklarının karşılıklı olması havanın patikasını şekillendirir. Makinenin bir köşesindeki hava emiş açıklığından hava girip karşı köşesindeki baca açıklığından dışarıya çıktığı bir sistemde makine içerisindeki maksimum sayıda yük akış patikası üzerinde kalır. Bu sayede daha çok yük üzerinden hava akışı olur ve yükler üzerindeki kütle transferi artar. Yükler üzerindeki kütle transferinin artması, yükler üzerinden daha fazla su damlasının buharlaşacağı anlamını taşır. Yani kurutma performansı yükselir.

### **3.4. Bulaşık Makinesi Performans Ölçüm Yöntemi**

Bulaşık makinelerinin performansı; yıkama ve kurutma skorları, enerji ve su tüketimi, program süresi ve ses gücü seviyesine göre belirlenir. Ölçüm metodu olarak 2020 yılı itibari ile EN 60436 numaralı standart kullanılmaktadır.

Tasarlanan sistemin yıkama performansı ve su tüketimine etkisi yoktur. Bu sebeple yıkama performansı ve su tüketimi araştırılmayacaktır. Sistemin ses seviyesini yükseltmesi ile ilgili bir risk öngörülmemektedir. Fanlı kurutma sistemlerine göre ses seviyesinde düşüş beklenmektedir. Tez konusu tasarlanan sistemin ses seviyesinin düşürülmesi hedefi yoktur. Bu sebeple ses gücü seviyesi de araştırılmayacaktır.

Tez çalışması kapsamında statik, fanlı ve tez kapsamında geliştirilen doğal taşınımlı sisteminin kurutma skoru hesaplanacaktır. Buna ek olarak her üç sistemin enerji tüketimi de karşılaştırılacaktır.

#### **3.4.1. Deney Şartları**

Performans testlerine başlamadan önce EN 60436 standardında belirlenen aşağıda sıralanan şartlar oluşturulmalıdır:

1. İlk kez kullanılan bir bulaşık makinesi test laboratuvarında kirli yüklü bir şekilde referans deterjan ve parlaticı kullanılarak en az üç tam çevrim çalıştırılmalıdır. Aynı makinede yapılan iki test serisi arasında ise makine en az iki kez çalıştırılarak temizlenmesi sağlanmalıdır.

2. Yıkama ve kurutma puanlarının hesaplanmasında birbiri ardına sıralı testler yapılabileceği gibi (yıkama ve kurutma) ayrı ayrı testler de (yıkama ya da kurutma) yapılabilir. Ancak yıkama ve kurutma puanı ile birlikte su ve enerji tüketimi de belirlenecek ise sıralı testler yapılmalıdır. Sıralı testlerde kirli yükler kullanılırken yalnızca kurutma puanının hesaplanacağı ayrı yapılan bir testte ise temiz yükler kullanılabilir. Test prosedürünün sıralı adımları arasında test edilen makine ile ilave başka bir test yapılmamalıdır.
3. Şebeke frekansı  $50 \text{ Hz} \pm \%1$  oranlı frekansa, şebeke voltajı  $230 \text{ V} \pm \%1$  de ayarlanmalıdır.
4. Testler esnasında ortam sıcaklığı  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ve bağıl nem:  $\%55 \pm 5$  sağlanmalıdır.
5. Su giriş sıcaklığı  $15 \pm 2^\circ\text{C}$ , sertliği  $2.5 \pm 0.5 \text{ mmol/l}$ , basıncı  $240 \pm 20 \text{ kPa}$  aralığında olmalıdır.
6. Testlerde standartta belirtilen referans deterjan ve parlaticı kullanılmalıdır. Deterjan miktarı üretici firma tarafından önerildiği kadar olmalıdır. Otomatik ayarlanabilir parlaticı dozajlama ünitesi bulunan makinelerde parlaticı üretici firma tarafından önerildiği ölçüde dozajlanmalıdır.

### 3.4.2. Kurutma Performansının Değerlendirilmesi Kriteri

Kurutma performansının değerlendirmesinde EN 60436 numaralı standartta tanımlanan ışık kaynağı kullanılır. Program süresi tamamlandıktan 30 dakika sonra makine kapağı açılır. Değerlendirmeye alt sepetteki parçalardan başlanır. Daha sonra üst sepetteki parçalar, en son ise kaşık-çatal ve servis takımları değerlendirilir. Bir parçanın değerlendirilmesi için ortalama 8 s harcanmalıdır.



Çizelge 3.1. Kurutma Performansı Değerlendirme Kriterleri

Skor	Su kalıntısı miktarı
2	Tamamen kuru
1	2 su damlası veya 1 hareketli su izi veya 50mm <sup>2</sup> alana kadar ıslak bölge
0	İkiden fazla su damlası veya 1 su damlası ve 1 hareketli su izi veya 2 hareketli su izi veya Bardak ya da fincan çukur bölgelerinde su birikintisi veya 50mm <sup>2</sup> alan üzerinde ıslak bölge

Yükler kuruluk düzeyine göre kuru, orta ve nemli olarak değerlendirilir.

- Kuru: bir parçanın tamamen kuru olmasını belirtir ve puanlamada “2” puan alır.
- Orta: bir parçanın iki damlaya kadar su veya hareketli bir su izi içermesini belirtir (toplam ıslak alan 50 mm<sup>2</sup> den az olmalıdır) ve puanlamada “1” puan alır.
- Nemli: bir parçanın iki damladan fazla su, bir damla su ile hareketli bir su izi, iki hareketli su izi veya fincan, bardak çukur bölgelerinde kalmış suyu veya toplam ıslak alanın 50 mm<sup>2</sup> den fazla olmasını belirtir ve puanlamada “0” puan alır.

Çizelge 3.1’de belirtilen değerlendirme kriterlerine uygun olarak Çizelge 3.2 doldurulur.

Çizelge 3.2. Kurutma Performansı Değerlendirme Formu

Parça Tanımı EN 60436 (EK-A)	Parça No	Kurutulan Parçalar	Kategoriye göre parça sayısı	b puanını almış öğe sayısı, a <sub>b</sub>			$T_z = \sum a_b \times b$
			S <sub>z</sub>	2	1	0	
A1	1	Yemek Tabağı					
A2	2	Tatlı Tabağı					
A3	3	Tatlı Kasesi					
A4	4	Kupa					
A5+B5	5	Bardak					
A6+B6	6	Çatal					
A7+B7	7	Bıçak					
A8+B8	8	Çorba Kaşığı					
A9+B9	9	Tatlı Kaşığı					
A10+B10	10	Çay Kaşığı					
B1	11	Çorba Kasesi					
B2	12	Melamin Tatlı Tabağı					
B3	13	Fincan Tabağı					
B4	14	Kahve Kupası					
S1a	15	Küçük Kap					
S1b	16	Fırın Kabı					
S2	17	Cam Kâse					
S3	18	Oval Tabak					
S4	19	Melamin Kâse					
S5	20	Servis Kaşığı					
S6	21	Servis Çatalı					
S7	22	Sos Keçesi					
		N=	S <sub>z</sub> =				$\sum T_z$ =
Notlar:						Test No:	

### 3.4.2. Kurutma Performansının Hesaplanması

Sofra takımının her bir parçası için  $T_z$  değeri (3.17) formülüne göre hesaplanır. Bu formülde  $a_b \times b$  her bir parça için 0-2 arasında verilen puan ile bu puanı alan parça sayısının çarpımını ifade eder.

$$T_z = \sum a_b \times b \quad (3.17)$$

Toplam yıkanan parça sayısı  $N$  ile ifade edilir. (3.18) numaralı formül ile hesaplanır.

$$N = \sum S_z \quad (3.18)$$

Bir deneye ait kurutma puanı  $T_i$ , her bir parça türü için hesaplanan  $T_z$  değerleri kullanılarak (3.19) numaralı formül ile hesaplanır.

$$T_i = \frac{1}{2N} \sum T_z \quad (3.19)$$

Test edilen makine için kurutma puanı  $T$ ,  $n$  deney sonunda elde edilen  $T_i$  değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. (3.20) numaralı formül ile hesaplanır.

$$T = \frac{1}{n} \sum T_i \quad (3.20)$$

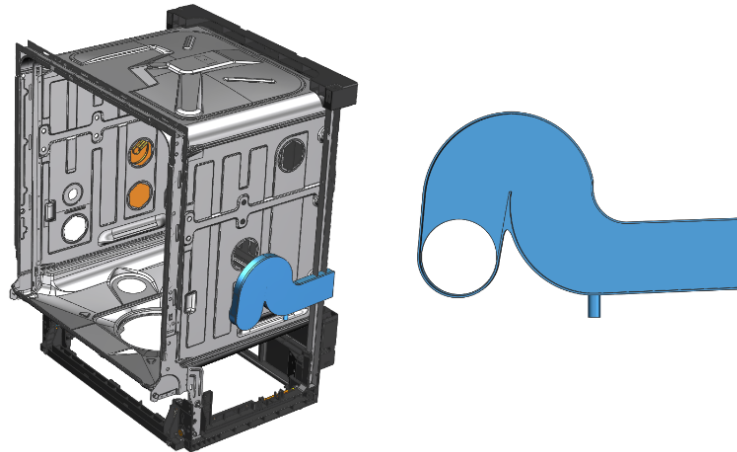
## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Ön Tasarım Çalışmaları

Ön tasarım çalışmaları kapsamında, tasarlanan kurutma sisteminin fonksiyonelliğinin ispatlanması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda sistemi oluşturan emme ve yoğuşma kanallarının öncül tasarımları yapılmış ve prototip üretimleri gerçekleştirilmiştir. Prototipler üzerinden yapılan sıcaklık ve nem ölçümleri ile sistemin fonksiyonelliği araştırılmıştır.

#### 4.1.1. Emme Kanalı Ön Tasarımı

Ön tasarım çalışmalarında deve boynu geometrisinde bir hava emme kanalı tasarlanmıştır. Deve boynu şeklinde yapılan tasarımın amacı makine dışarısına kaçacak olan yıkama suyunun engellenmesidir. Şekil 4.1'deki tasarıma ait görseller yer almaktadır.



Şekil 4.1. Emme kanalı ön tasarımı

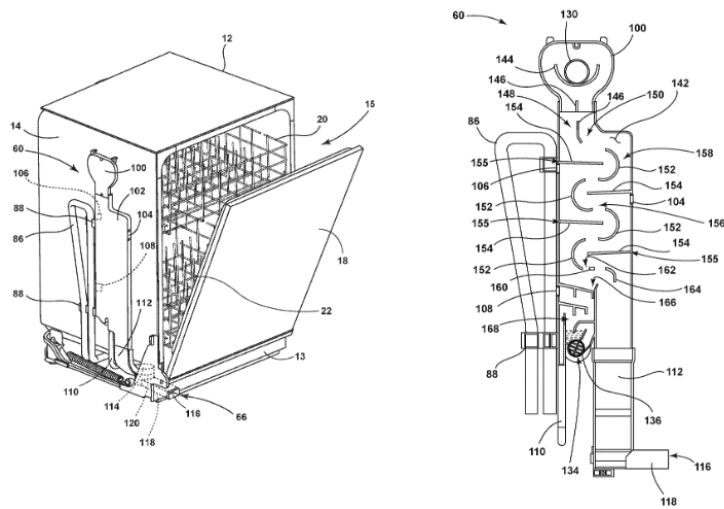
Eklenen deve boynu geometrisinin makine içerisine giren taze havaya direnç oluşturabileceği düşünülmüştür. Bu sebeple makine içerisine girecek olan havanın karşılaşıcağı direnci azaltacak şekilde alternatif bir tasarım daha çalışılmıştır. Bu tasarımda deveboynu geometrisi yerine suyun çıkışına engel olacak ancak makine

içerisine girecek olan havaya ise minimum seviyede direnç oluşturacak şekilde akış yolları oluşturulmuştur.

Bu aşamada kullanılacak kanal tasarımının kararın verilmesi amacıyla kanalın atmosfere açık olan kesit alanları değiştirilerek bazı öncül testler yapılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda makine gövdesine bağlanan açıklığın çapı aynı kaldığı sürece atmosfere açılan kesit alanının küçültülmesinin performans etkisi olmadığı ancak açıklık tamamen kapatıldığında sistemin çalışmaz hale geldiği gözlenmiştir. Bu sebeple su kaçak riskini daha çok engellediği düşünülen deve boynu geometrisi ile ön tasarım çalışmalarına devam edilmiştir.

#### 4.1.2. Yoğuşma Kanalı Ön Tasarımı

Baca açıklığından tahliye edilen sıcak ve nemli havanın makine dışarısındaki yüzeylerde yoğuşma riski mevcuttur. Bu nedenle makineden tahliye edilen havanın nemi alınmış şekilde dış ortama atılması gerekmektedir. Sistem için uygulanabilecek optimal nem alma çözümü yoğuşma kanalı uygulamalarıdır. Şekil 4.2’de örnek bir bulaşık makinesine ait bir yoğuşma kanalı gösterilmiştir. Ancak bu yoğuşma kanalı fan ile çalışmaktayken tez kapsamında tasarlanan sistemde havanın doğal taşınım etkisi ile tahliyesi hedeflenmektedir. Bu sebeple yoğuşma kanalı tasarımı yapılırken havanın doğal çıkış patikası takip edilmelidir. Yoğuşma kanalının uzatılması ve patika üzerine engeller eklenmesi havanın çıkış debisine direkt olarak etki etmekte ve debiyi düşürmektedir.

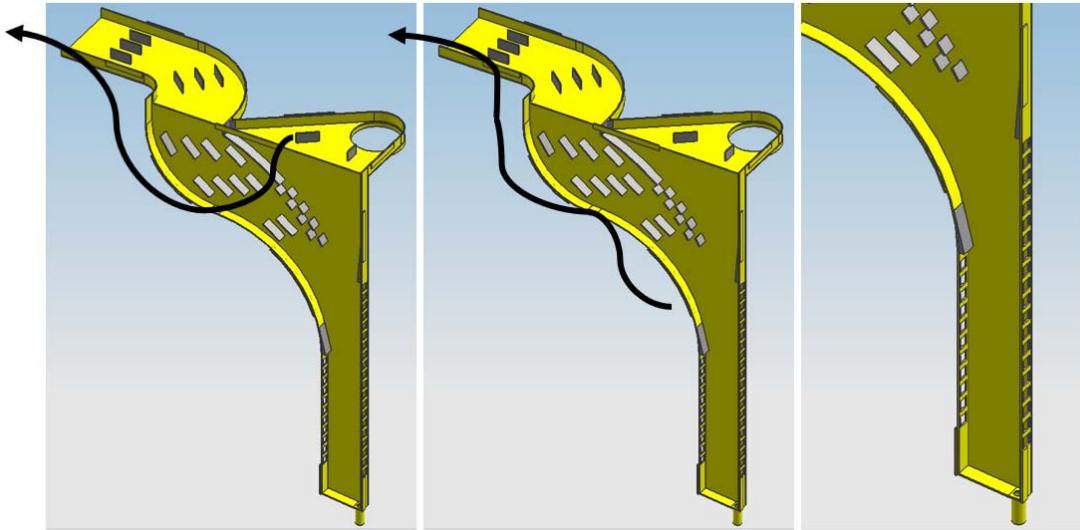


Şekil 4.2. WHIRLPOOL- US10512388(B2) (2019) patent görseli

Yoğuşma kanalından geçen havanın nemini almak için çeşitli çözüm yöntemleri vardır. Tasarımda düşünülen çözümler iki temel prensibe dayanmaktadır. Bunlardan ilki kanalın içerisine eklenen federler yardımıyla temas yüzeylerini arttırmak ve temas yüzeylerinde yoğuşma yaratmaktır. Daha çok yüzeye çarpma şansı olan hava viskoz kuvvetlerin etkisiyle daha fazla yoğuşabilmekte ve daha az nemli olarak tahliye edilmektedir. Diğer yöntem ise tahliye edilen nemli havanın yoğuşma kanalı içerisinde ortam havasıyla karıştırılarak daha seyreltilmiş bir biçimde dışarıya atılmasını sağlamaktadır.

Alınan ilk prototiplerde kanal içerisinde yoğuşmayı arttıracak yapılar yer almamaktadır. Bu nedenle sistemin kurutma performansı yüksekken, kanaldan atılan nem miktarı tasarım sınırının üstündeydi.

İlk olarak kanal içerisindeki temas yüzeyini arttırmak ve bu yüzeylerde yoğuşma sağlayarak tahliye edilen havanın nemini azaltmak için kanal içerisine feder şeklinde yapılar eklenmiştir. Kanal içi hava akış yönüne engel oluşturmayacak şekilde feder yapıları eklendiğinde performans aynı seviyede kalırken yoğuşma miktarlarının da bir miktar azaldığı gözlenmiştir. Akış yönüne dik ve çok fazla basınç düşümü oluşturan feder eklemeleri ile yapılan tasarım değişikliğinde ise yoğuşma miktarı sıfırlanmış ancak performansta da dramatik düşüşler gözlenmiştir.



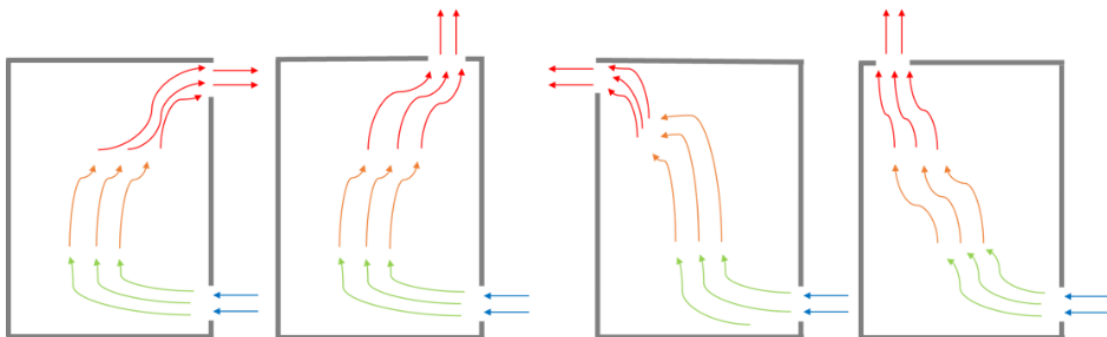
Şekil 4.3. Yoğuşma kanalı ön tasarımı

İkinci olarak yoğuşma kanalının alt bölgelerine hava emiş açıklıkları eklendiği nemli hava ile taze hava karıştırıldığı bir yapı tasarlanmıştır. Makineden nemli hava çıkışı Şekil 4.3'te gösterilen kanalın üst kısmındaki dairesel delikten gerçekleşmektedir. Nemli hava ok ile gösterilen patikayı izleyerek kanalın dışına tahliye olmaktadır. Bu patikayı izlemesinin nedeni sıcak ve nemli havanın yükselme eğiliminde olmasıdır. Kanalın alt tarafına açılan deliklerden ise kanalın içerisine taze hava takviyesi olmaktadır. Makine içerisinden gelen nemli hava venturi prensibi ile alt bölgeden kuru havayı çekmektedir. Kanalın alt bölgesinde açılan deliklerden kanal içerisine taze hava girme sebebi negatif basınç kaynaklıdır. Yoğuşma kanalında kurulan bu sistemin, makine içerisinde kurulan doğal kurutma sisteminin farklı bir uyarlaması olduğu düşünülebilir. Böylece dışarıya atılan havanın nemi seyreltilmiş olur. Kanal tasarımına emiş açıklıkları eklendiğinde performans düşüşü gözlenmeden atılan nemli hava miktarının minimum seviyeye indiği görülmüştür.

Özetle detay tasarım safhasında nem çıkışı ve hem de performans ile ilgili bir optimizasyon yapılması gerekliliği öngörülmektedir.

#### 4.1.3. Deneysel Çalışmalar

Tasarlanan kanalın çalıştığını ispatlamak üzere Şekil 4.4'te gösterilen baca ve hava emiş açıklıklarının alternatif yerleşim tiplerinden en sağda bulunan sistemin prototipi hazırlanmıştır. Şekil 4.5'te hazırlanan prototip makine gösterilmiştir. Hazırlanan prototipten sıcaklık ve nem ölçümleri alınarak sistemin beklendiği şekilde çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir.

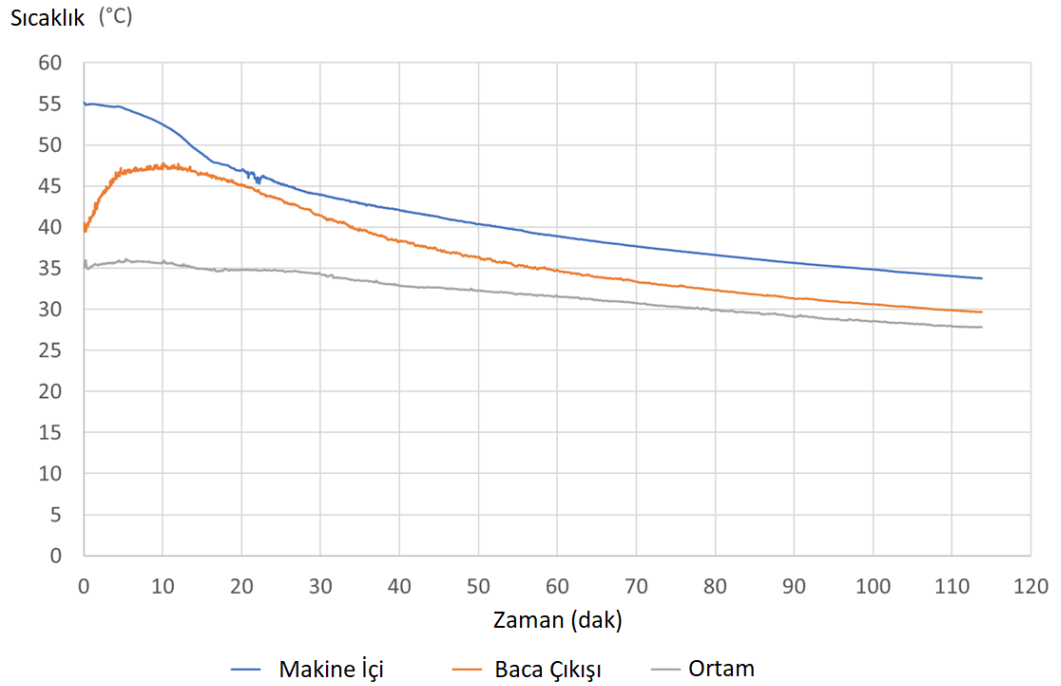


Şekil 4.4. Emme ve yoğuşma kanalı için akış patikası önerileri



Şekil 4.5. Prototip test makinesi

İlk olarak sadece kurutma çevriminde ölçümler alınmıştır. Yoğuşma kanalına makine içerisinden nemli havanın girdiği açıklığa, taze havanın vakumlandığı açıklığa ve kanalın çıkış açıklığına termokupullar yerleştirilmiştir. Sıcaklık değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.

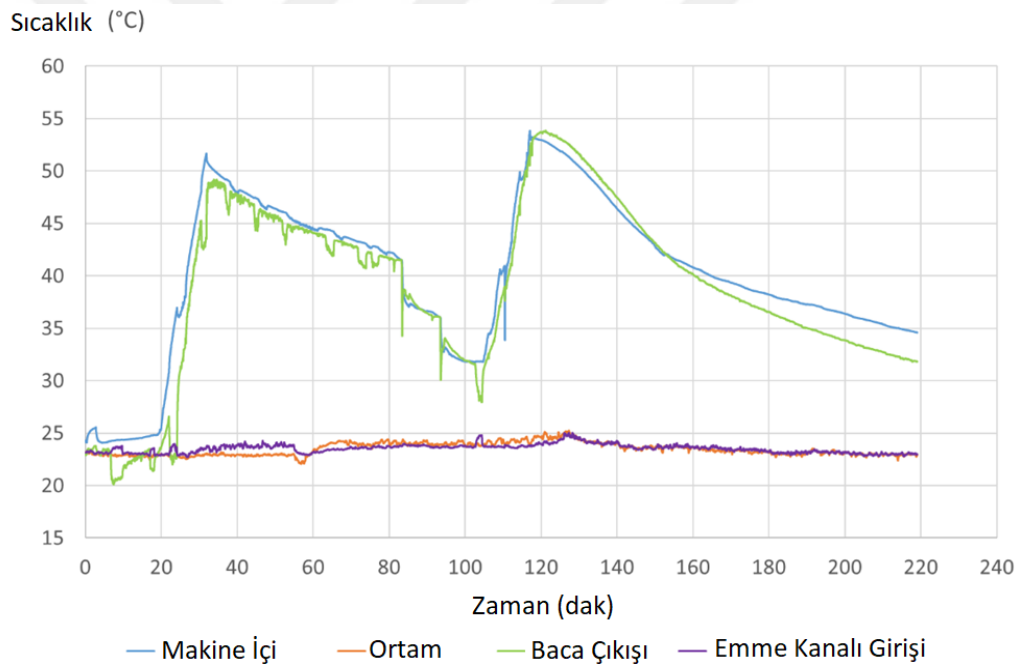


Şekil 4.6. Kurutma adımı boyunca sıcaklık ölçümleri



Kanaldan dışarıya atılan havanın sıcaklığı beklendiği şekilde makine içerisindeki hava ile makine yan bölümünden giren taze havanın karışımından elde edilen bir sıcaklıktır. Makine yan bölümünün test odasından daha sıcak olmasının sebebi yıkama süresinde makine duvarlarının ısınarak yan bölümündeki havayı da ısıtmasıdır. Testler ankastre bir ürün üzerinde yapıldığı için makine üzerine yerleştirilen kabin de yalıtım etkisi yaratmaktadır. Doğrulama amacıyla açıklıkların önüne cam yüzeyler konmuş ve yoğuşma olmadığı gözlenmiştir. Test sonuçlarına göre tasarlanan kurutma sisteminin işlevini yerine getirdiği ispatlanmıştır.

İlk testlerin ardından yıkama çevrimi süresince ölçümler alınarak sistemin çalışma durumu incelenmiştir. Sıcaklık sensörleri makinenin bulunduğu ortama, makine içine, yoğuşma kanalı çıkışına ve emme kanalı girişine yerleştirilmiştir. Ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Yıkama programı boyunca sıcaklık ölçümleri

Yoğuşma kanalı çıkışında yer alan sensör makine iç sıcaklıklarına benzer bir trendde sıcaklık değişimi göstermektedir. Emme kanalı girişindeki sensör ise kabin iç sıcaklığından bağımsız olarak sadece dış ortam sıcaklığını okumaktadır. Bu demektir ki; makinenin baca açıklığından makine dışarısına sıcak ve nemli hava tahliyesi, hava emiş açıklığından ise makine içerisine taze hava takviyesi olmaktadır. Sonuçlar sistemin tam olarak beklendiği gibi çalıştığını göstermektedir.

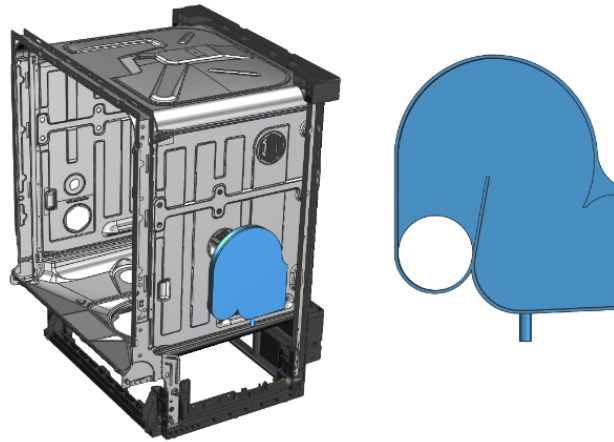
## 4.2. Detay Tasarım Çalışmaları

Ön tasarım çalışmaları kapsamında tasarlanan kurutma sisteminin prototipleri üretilmiş ve deneyler ile sistemin fonksiyonelliğinin ispatlanmıştır. Bu bölümde emme ve yoğuşma kanallarının ön tasarımdan son tasarıma kadar uğradığı değişimlerden bahsedilmiştir.

### 4.2.1. Emme Kanalı Detay Tasarımı

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi sistemde emme kanalının kullanılmasındaki amaç; makine içerisinden çıkan nemli ve sıcak havanın yerini ortamdan çekilen taze havanın doldurmasıdır.

Emme kanalından maksimum performans alabilmek için makinenin olabildiğince en alt seviyesine konumlandırılması gerekir. Fakat bulaşık makinesi su ile çalışan bir makinedir ve yıkama adımı hava emiş deliğine gelecek olan su makine dışına taşma riski taşımaktadır. Bu problemin önüne geçmek adına emme kanalı güvenli bir yükseklikte olmalı ve sıçramalar ile kanal içine giren suyu makine dışarısına kaçırmayacak bir yapıda tasarlanmalıdır. Ön tasarım çalışmalarında bahsedilen prensipte çalışan bir hava kanalı kullanılmıştı (Şekil 4.1). Tasarımda kanalın içerisinde kaçabilecek olan suyu kesen bir deve boynu yapısı, deve boynunu aşan suyun kanal dışına taşmasını önleyecek olan eğim ve eğimden akıp gelen suyu toplayıp makine haznesine aktaracak bir su tahliye deliği bulunmaktaydı.

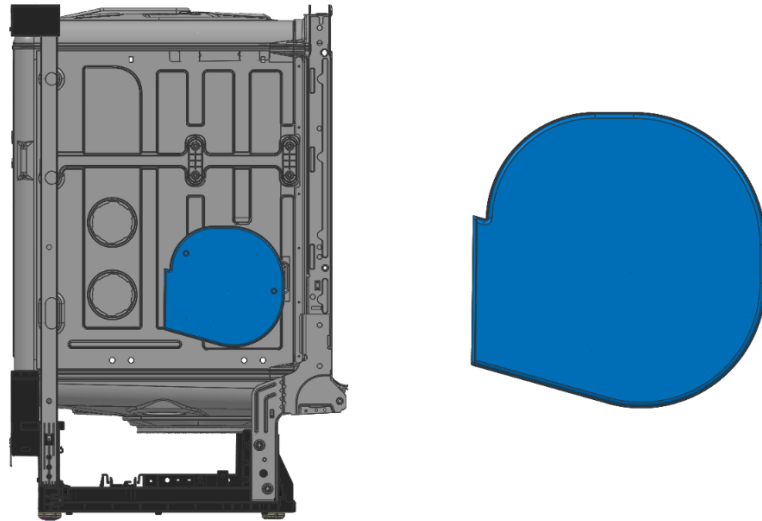


Şekil 4.8. Kısaltılmış emme kanalı

Şekil 4.1 incelendiğinde, tasarlanan kanal ile makinenin sağ arka dikmesi girişim yapmaktadır. Şekil 4.8’ de ise bu girişimin engellendiği kısaltılmış bir emme kanalı versiyonu gösterilmiştir. Dikme yapıları makinenin dayanımıyla direkt olarak ilişkili parçalar olduğundan kanal tasarımında düzenlemeye gitmek ve dikme parçasını kesmemek daha uygulanabilir bir çözümdür.

Tasarımda yapılan bir diğer değişik ise emme kanalının makinenin sağ duvarından sol duvarına alınmasıdır. Kararın verilme nedeni yoğuşma kanalı ile ilişkilidir ve “Yoğuşma Kanalı Detay Tasarımı” bölümünde ayrıntılı bir biçimde aktarılmaktadır.

Bu model ile yürütülen deneylerden elde edilen kurutma performans sonuçları ön tasarım çalışmalarında kullanılan modele göre 3-4 puan daha aşağıdadır. Performans kaybının sebebi, emme kanalının montaj yüksekliğinin, bir önceki tasarıma göre daha yukarıda olmasıdır. Teorik hesaplamalardan da bilindiği üzere kanalın konumunu yukarıya taşımak sisteme giren hava debisini azaltacaktır. Deney sonucu bu bilgiyi doğrular niteliktedir. Bu sebeple tasarımı güncellenmiş emme kanalı ön tasarım testlerindeki konumuna tekrar alınmıştır. Bu durumda kaybedilen 3-4 puanlık kurutma performansı yapılan testler sonucunda geri kazanılmıştır. Makinede yer alan atmosfer açıklıklarının yükseklik ve kesiti değişmediği sürece kanalların sağ ya da sol duvarda olmasının kurutma performansında etki yaratmadığı yapılan deneylerde gözlenmiştir.



Şekil 4.9. Emme Kanalı – Son tasarım

Yoğuşma kanalında yapılan geliştirmeler ışığında emme kanalının tasarımı güncellenmeye devam edilmiş Şekil 4.9’daki tasarıma ulaşılmıştır. Bu tasarımın en büyük

avantajı kanal içerisinde biriken suyun drenajı ile ilgilidir. Önceki tasarımlarda kanal içerisinde birikecek olan su, kanala bağlanan bir hortum yardımıyla hazneye aktarılırken; son tasarımda kanala eklenen yapısal bir düzenleme ile kanal içerisinde biriken suyun makine içerisine geri gönderilmesi yer çekimi etkisi ile hortum kullanmaksızın sağlanmıştır. Ayrıca kanal geometrisine makine yıkama suyunun dışarıya çıkmasını engelleyecek şekilde birtakım federler eklenmiştir.



**Şekil 4.10.** Emme kanalı prototipi

Buna ek olarak emme kanalı içindeki hava akışı CFD yöntemiyle optimize edilmiştir. Hava akışının optimize edilmesinde federlerin konum ve açıları değiştirilmiştir. Kanal boyutları ve geometrisi analiz sonuçlarına göre revize edilmiştir. İlerleyen bölümlerde yapılan CFD çalışmaları detaylandırılmıştır. Şekil 4.10'da son tasarıma göre alınmış prototip görselleri yer almaktadır.

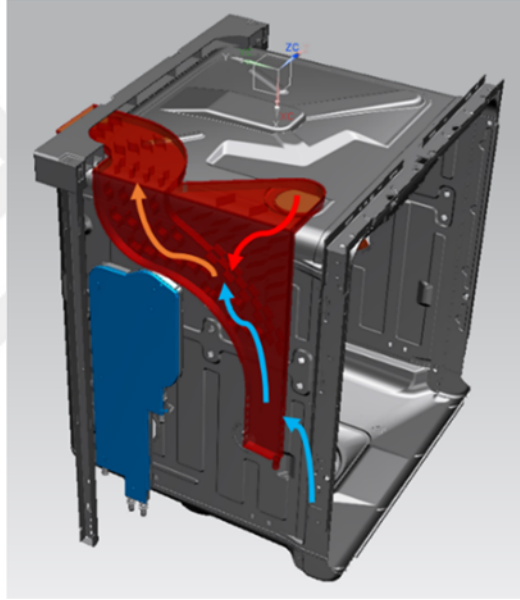
#### **4.2.2. Yoğuşma Kanalı Detay Tasarımı**

Önceki bölümlerde açıklandığı üzere yoğuşma kanalının kullanılmasındaki amaç; makine içerisinden atılan nemli havanın, ortam havasına kontrollü bir biçimde karışmasını sağlamaktır. Kanal içerisinden geçen yüksek nemli hava, kanal içinde bulunan temas yüzeylerinde yoğuşarak nemini atmaktadır.

Yüksek kurutma performansının elde edilmesi ve makine dışına atılan nem miktarının azaltılması birbiri ile ters orantılı mekanizmalardır. Yüksek kurutma performansı elde etmek için nemli havanın mümkün olan en kısa yoldan makine dışına

tahliye edilmesi gerekmektedir. Ancak bu durumda makine dışına çok fazla nem atılır ve bu durum müşteri mobilyasına zarar verebilir. Atılan nem miktarını azaltmak için ise akış patikasının uzatılması ve yoğuşmayı arttırıcı yüzeylerin eklenmesi gerekmektedir. Bu sebeple tasarımda her iki isteri de sağlayacak bir optimizasyon yapılması gerekmektedir.

Şekil 4.11’de gösterilen tasarım yoğuşma kanalının ön tasarım çalışmalarının son halidir. Şekildeki kırmızı ok ile gösterilen patikadan makine içerisindeki nemli hava gelmektedir. Mavi ok ile gösterilen patikadan ise taze ortam havası vakumlanmaktadır. Turuncu ok ile gösterilen patika ise makine içerisinden gelen nemli hava ve ortamdan çekilen taze havanın karışımını temsil etmektedir.



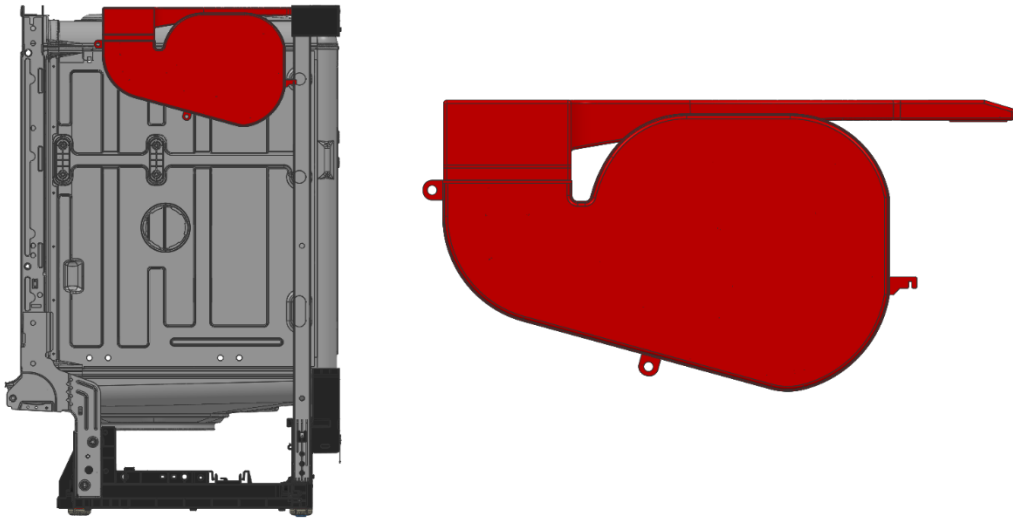
**Şekil 4.11.** Ön tasarım çalışmaları kapsamında kullanılan yoğuşma kanalı

Tasarımın bu hali istenen kurutma performansı ve standart koşullarda yoğuşma miktarı kısıtlarını karşılamaktadır. Ancak kanal konstrüksiyonu çok büyük ve maliyetlidir. Bu sebeple hem yatırım hem de parça maliyetlerini azaltacak buna ek olarak kurutma performansını düşürmeyecek alternatif kanal konumları ve yapıları çalışılmıştır.

İlk olarak ön tasarım aşamasında makinenin sol duvarında olan yoğuşma kanalı makine sağ tarafına alınmıştır. Aynı şekilde makine sağ duvarında bulunan emme kanalı da makine sol tarafına alınmıştır. Bu sayede makine üzerinde mevcutta bulunan fan emme delikleri kullanılabilir olmuştur. Yapılan testler, yoğuşma kanalının sağ duvara taşınmasının performans kaybına neden olmadığını göstermiştir.

İkinci olarak kanalın boyutlarını küçültmek ve daha kompakt bir forma sokmak adına kanalın taze hava takviyesi için kullanılan bölümünün iptal edilmesi düşünülmüştür. Bu durumda kanaldan dışarı atılan nemli hava miktarının artacağı öngörülerek, hava akış yolu uzatılmış, kanal boyunca yoğuşmayı arttıracak federler eklenmiştir.

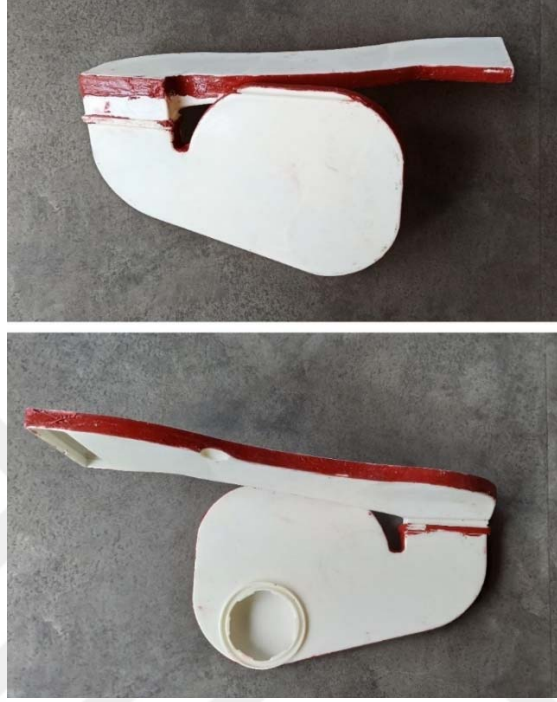
Kanal tasarımının bu aşamasında, kanalın üretim ve yatırım maliyetlerine odaklanılmıştır. İlk adımda hem maliyeti düşürmek hem de olası sızdırma problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla kanal içerisinde biriken suyun drenajı ile ilgili yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bir önceki tasarımda kanal içerisinde biriken suyun tahliyesi kanala eklenen bir hortum ile yapılmaktayken yeni tasarımda suyun drenajını sağlayacak yapısal bir geliştirme yapılmıştır. Kanal içerisinde biriken su yoğuşma kanalı içerisindeki eğimli bir geometriden makine içerisine geriye akmaktadır. Bu yapıya benzer bir yapı aynı zamanda emme kanalına da eklenmiştir. Bu sayede, her iki kanaldaki hortum bağlantıları tasarımdan çıkartılmıştır.



Şekil 4.12. Yoğuşma Kanalı – Son tasarım

Ancak gelinen son noktada kanal geometrisinin değişmesi ve basınç kaybına sebep olan federlerin eklenmesi kurutma performans değeri istenen sınır değerinin altında kalmıştır. Bu nedenle, kanal içerisindeki akışı iyileştirmek adına CFD analiz çalışmaları yürütülmüştür. Şekil 4.12’de, CFD analiz çalışmaları sonucunda tasarlanan kanal

gösterilmiştir. Yoğuşma kanalı geliştirilen son haliyle birlikte istenen kurutma performansını sağlamıştır. Yapılan CFD çalışmaları sonraki bölümlerde detaylandırılmıştır. Şekil 4.13'te tasarıma göre alınmış prototip görselleri yer almaktadır.



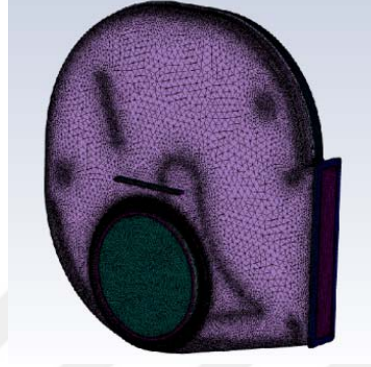
Şekil 4.13. Yoğuşma kanalı prototipi

### 4.3. CFD Çalışmaları

Bulaşık makinesinde kurutma adımı düşünüldüğünde, kütle transferi, ısı transferi ve akışkan hareketi gibi birden fazla fiziksel olay eş zamanlı gerçekleşmekte ve bu olayların karakteristikleri de yöntemlere göre farklılık göstermektedir. Bu sebeple bir bütün olarak bulaşık makinesinin sayısal analizini gerçekleştirmek yerine kurutma sistemi için tasarlanmış olan emme ve yoğuşma kanalları ayrı ayrı ele alınmıştır.

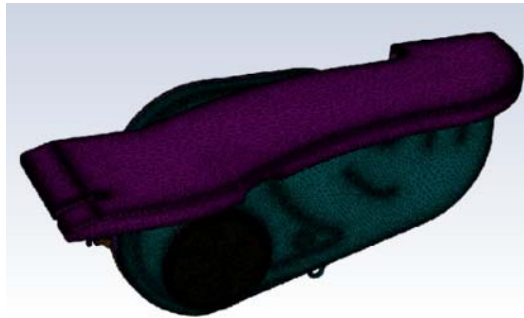
CFD çalışmalarının yapılmasındaki amaç kanal tasarımında basınç kaybına sebep olabilecek geometrileri elemine etmektir. Analizlerde herhangi bir sayısal beklenti yoktur. Sadece hava akışları incelenmiştir. Bu sebeple analizlerde kullanılan modelin doğruluğu ile ilgili bir çalışma da yapılmamıştır.

CFD çalışmaları geometrik sadeleştirmeler ile başlanmıştır. Bu sadeleştirme işleminde giriş-çıkış kesitleri gibi kritik noktalar korunmuştur. Geometrik sadeleştirme işlemi sonrasında ağ yapısının örülmesine başlanmıştır. Öncelikle kanalların yüzey elemanları oluşturulmuş, kalitesi yeterli görülmeyen elemanlar manuel olarak düzeltilmiştir. Yüzey ağının örülmesinin ardından, akışkan ve katı hacimler için de ağ yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 4.14. Emme kanalı mesh elemanları

Şekil 4.14'te emme kanalına, Şekil 4.15'te ise yoğuşma kanalına ait sadeleştirilmiş analiz geometrisi ve ağ yapısı gösterilmiştir. Çizelge 4.1'de ise ağ yapısındaki elemanlara ait bilgiler yer almaktadır.



Şekil 4.15. Yoğuşma kanalı mesh elemanları

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere emme kanalına 7,480,596 eleman, yoğuşma kanalına ise 8,245,414 adet eleman atılmıştır. Eleman sayısının fazla olmasının nedeni sonucun mesh yoğunluğundan bağımsız olmasının sağlanmasıdır. Her iki ağ yapısı için



maksimum çarpıklık değeri kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Analizlerde sayısal bir sonuç beklenmediği için ağ yapısı kalitesi uygun olarak değerlendirilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Eleman Sayısı ve Kalitesi

<b>Kanal Tipi</b>	<b>Eleman Sayısı</b>	<b>Maksimum Çarpıklık</b>
Emme Kanalı	7,480,596	0.82
Yoğuşma Kanalı	8,245,414	0.84

Kanal içinde hareket eden akışkan kuru hava kabul edilip, sıkıştırılmaz 25°C ortam koşulundaki hava özelliklerine göre tanımlanmıştır. Analizler kararlı durum için çözdürülmüş olup zamana bağlı bir model oluşturulmamıştır.

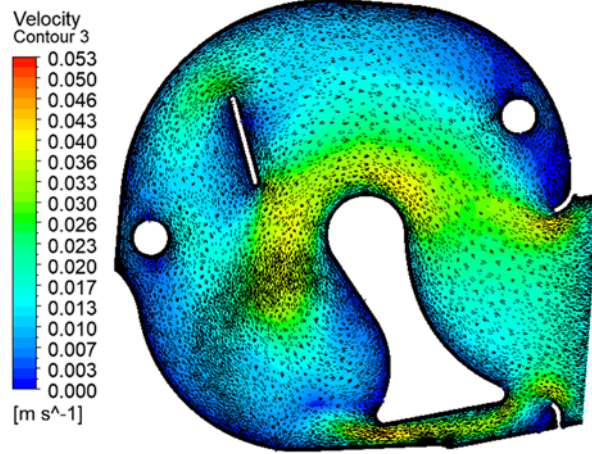
Yapılan testlerde kanal çıkışında 24.5 mg/s lık bir debi ile hava atıldığı görülmüştür. Analizlerde sadece hava akışı inceleneceği için ölçülen değerler zamana bağlı olarak değişmediği ve sabit olduğu kabul edilmiştir.

Ölçülen hız değerine göre hesaplanan Re sayısı 130.9'dur.  $Re < 2300$  olduğu için akış laminer olarak kabul edilmiştir.

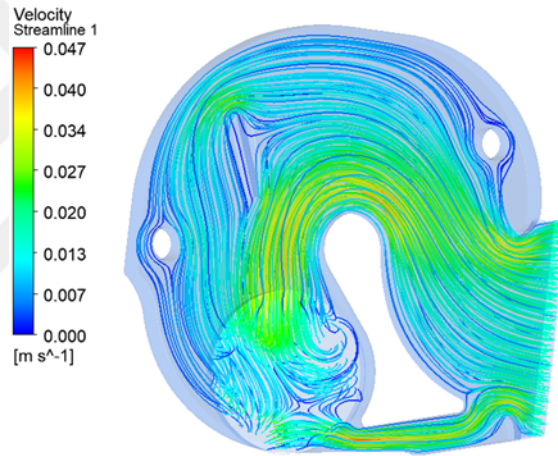
Süreklilik ve momentum denklemleri eş zamanlı olarak çözülmüştür. Herhangi bir sıcaklık kontrolü yapılmayacağı için enerji denklemleri kapalıdır.

Sınır koşulu olarak kanal girişinde "Mass Flow Inlet" ve kanal çıkışında ise "Pressure Outlet" tanımlanmıştır.

Emme kanalı orta kesitinden alınan hız dağılımları Şekil 4.16'daki gibidir. Hız vektörleri incelendiğinde akışın büyük bir kısmında hızın stabil olduğu, büyük hız değişimlerinin olmadığı kolayca söylenebilmektedir. Buna ek olarak Şekil 4.17'de yer alan akış çizgileri incelendiğinde de kanaldaki hava akışının stabil olduğu ve herhangi bir akış ayrılmasının ya da türbülansın gerçekleşmediği açıktır.



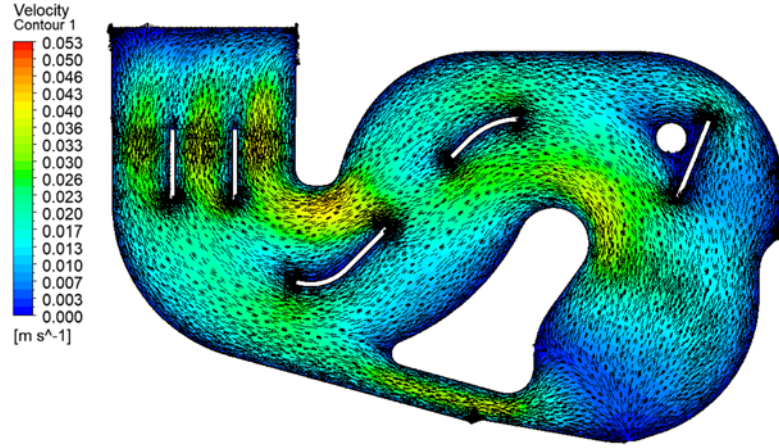
Şekil 4.16. Emme kanalı hız vektörleri



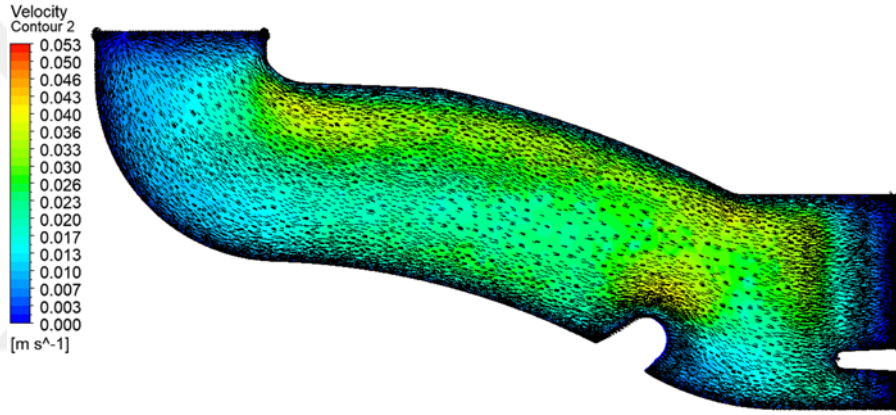
Şekil 4.17. Emme kanalı akış çizgileri

Yoğuşma kanalı yapısı gereği makinenin yan ve üst düzlemine paralel bir geometridedir. Kanalın yan kısmının orta kesitinden alınan hız dağılımları Şekil 4.18'deki gibidir. Kanalın üst kısmının orta kesitinden alınan hız dağılımları ise Şekil 4.19'daki gibidir.

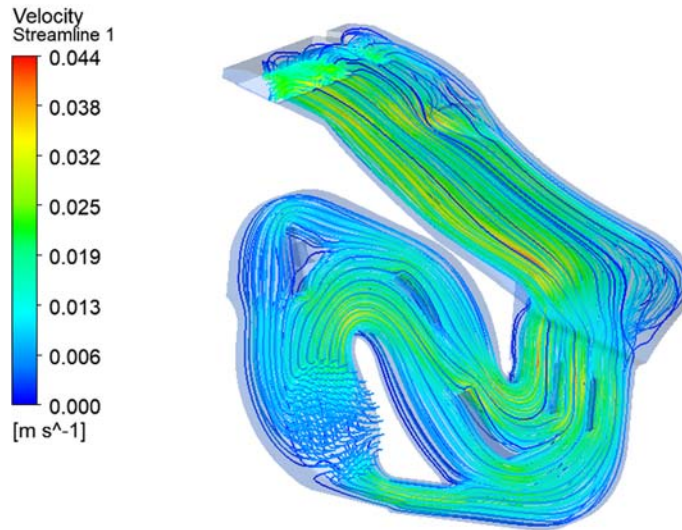
Emme kanalında olduğu gibi yoğuşma kanalında da hız dağılımları incelendiğinde kanalda hemen her bölgede hızın stabil olduğu, büyük hız değişimlerinin olmadığı kolayca söylenebilmektedir. Buna ek olarak Şekil 4.20'de yer alan akış çizgileri incelendiğinde, kanaldaki hava akışının stabil olduğu ve herhangi bir akış ayrılmasının ya da türbülansın gerçekleşmediği açıktır.



Şekil 4.18. Yoğuşma kanalı yan kesit hız vektörleri



Şekil 4.19. Yoğuşma kanalı üst kesit hız vektörleri



Şekil 4.20. Yoğuşma kanalı akış çizgileri

Son tasarıma ulaşılan dek tasarım üzerinde analizler yapılmış, yapılan analizlerde tespit edilen ve akışta düzensizliğe sebep olan yapılar elimine edilmiştir. Aktarılan CFD sonuçları son tasarıma yapılan analizlere aittir. Elde edilen tasarımdaki hava akışı sistemin çalışması için yeterli bulunmuştur.

#### **4.4. Deneysel Çalışmalar**

Bu bölümde tasarlanan sistemin kurutma performansına yönelik sonuçları incelenmiştir. Tez kapsamında geliştirilen sistem ile, statik ve fanlı sistemler kıyaslamalı şekilde incelenmiştir. Makineler ilk olarak standart test koşullarında test edilmiştir. Her ne kadar makinelerin aldıkları enerji etiketleri standart laboratuvar koşullarında ve standardın belirlediği yük tipleri ve dizilimleriyle olsa da makineler günlük hayatta bu şartlarda kullanılmamaktadır. Kullanıcılar makineleri laboratuvar ortamına göre daha sıcak/soğuk ve daha nemli/kuru ortamlarda kullanabilmektedir. Bu sebeple klimatize iklim kabininde kritik olan tropik ortam sıcaklığında testler yapılmıştır. Ek olarak, kullanıcıların kullandığı yüklerin malzemeleri standartta bulunmayan plastik veya teflon gibi malzemeler olup dizilimleri zorlayıcı olabilmektedir. Bu sebeple kullanıcı tipi yükler ve dizilim kullanılarak gerçek koşullardaki performanslar da değerlendirilmiştir.

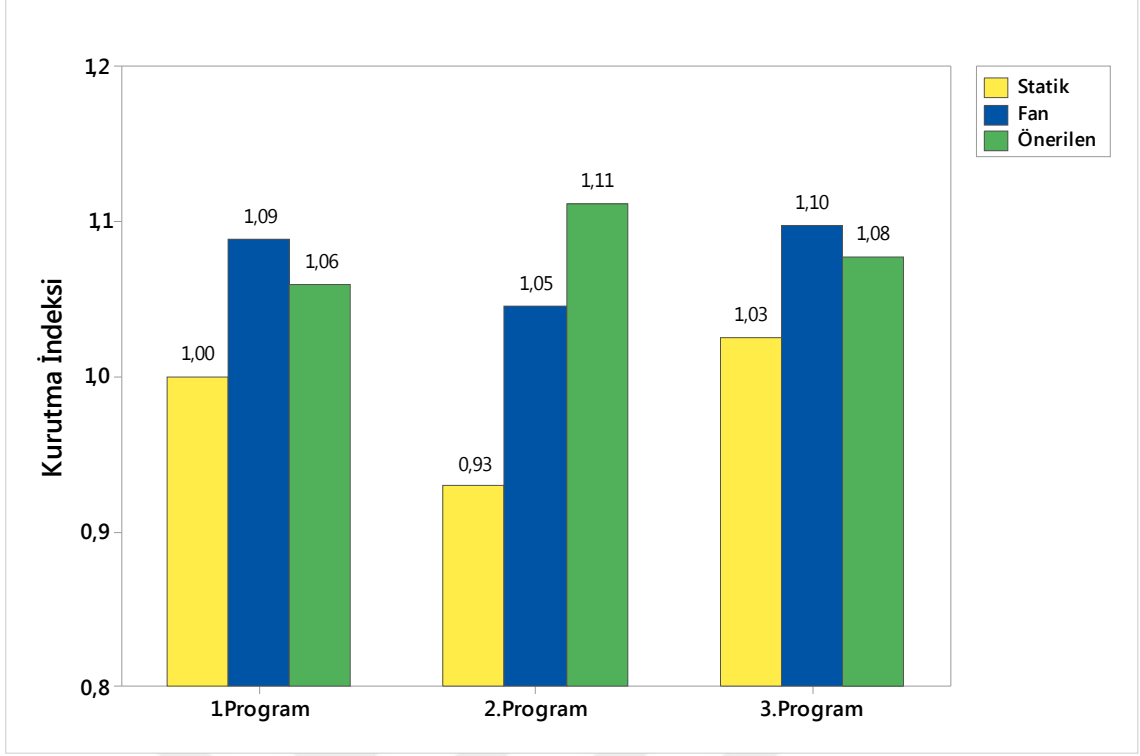
Sonuçların daha anlaşılır olması için hesaplanan kurutma skorları belirlenen bir sisteme göre indekslenmiştir. Bu sayede artış-azalış oranları daha belirgin olarak anlaşılabilmiştir.

##### **4.4.1. Standart Koşullar**

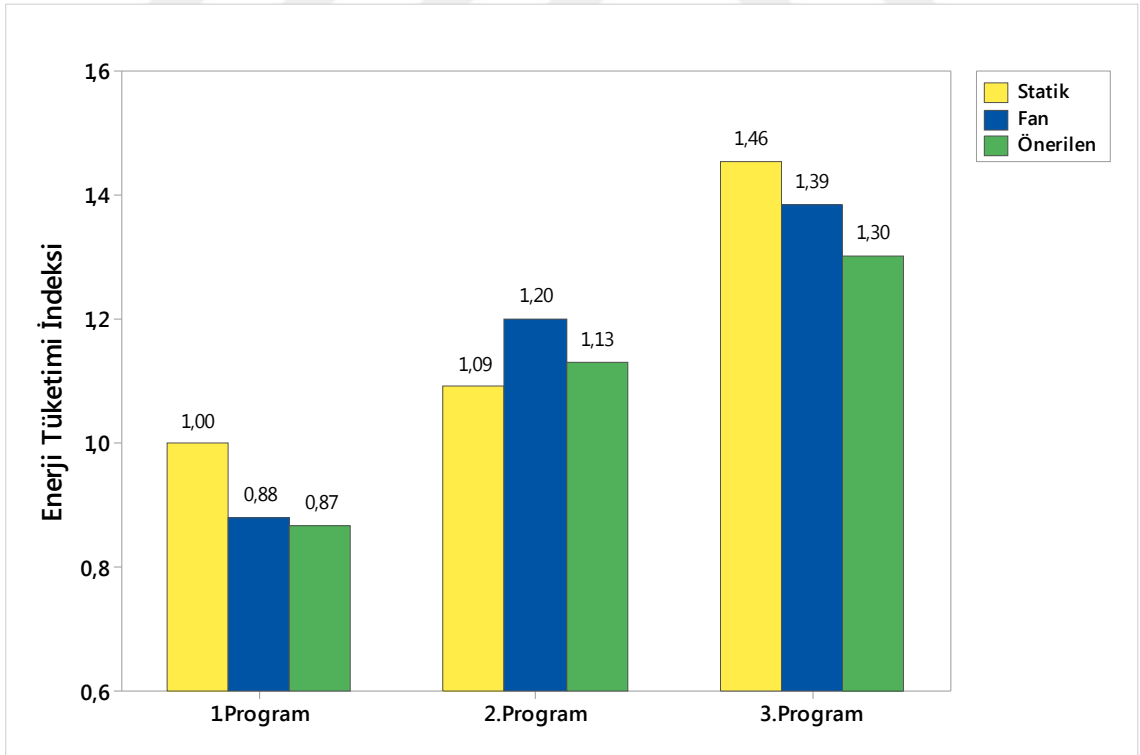
EN 60436 numaralı standartta belirtilen koşullarda tez kapsamında önerilen doğal taşınımlı kurutma sistemi, fanlı kurutma sistemi ve statik sistem kıyaslanmıştır. Karşılaştırılması yapılan her üç sistem de 3'er kez teste alınmış ve ortalama kurutma performans puanları hesaplanmıştır.

Karşılaştırmanın anlaşılır olması için hesaplanan kurutma puanları ve ölçülen enerji tüketimleri statik sistem 1.program sonucu 1 birim olacak şekilde indekslenmiştir.

Şekil 4.21'de her üç sistemin üç farklı yıkama programındaki karşılaştırmalı performans sonuçları yer almaktadır. Şekil 4.22'de ise karşılaştırmalı enerji tüketimleri verilmiştir.



Şekil 4.21. Standart koşullarda karşılaştırmalı kurutma performansları

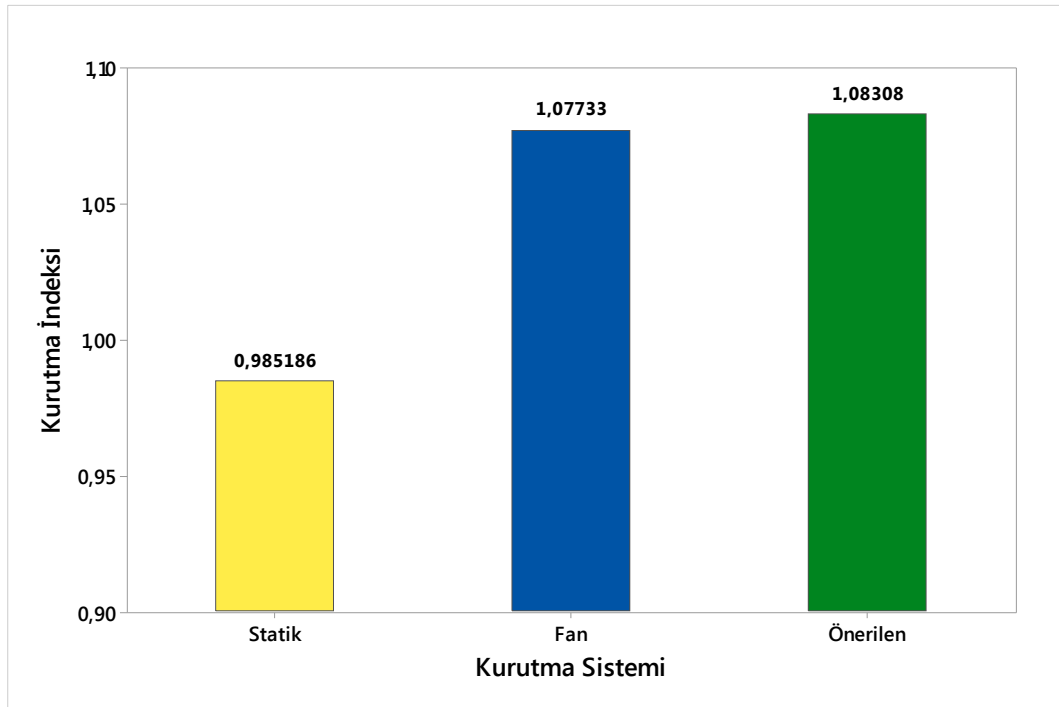


Şekil 4.22. Standart koşullarda karşılaştırmalı enerji tüketimleri

Önerilen kurutma sistemi, standart koşullarda yapılan testlerde tüm yıkama programlarında statik kurutma sistemine oranla daha yüksek kurutma performans vermektedir. Önerilen kurutma sistemi ile fanlı kurutma sistemi karşılaştırıldığında ise ikinci programda önerilen sistem daha yüksek performans alırken, birinci ve üçüncü programlarda fanlı kurutma sistemi daha üstündür.

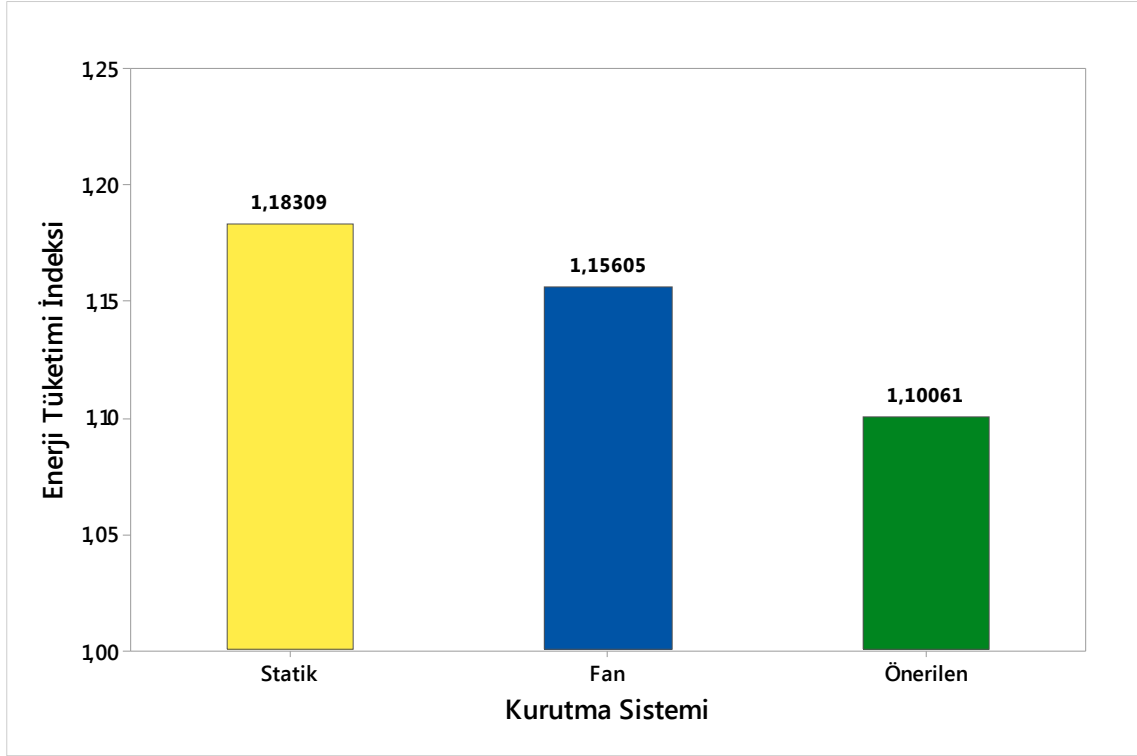
Fanlı ve önerilen doğal taşınımlı kurutma sistemi enerji tüketimleri karşılaştırıldığında önerilen sistem, tüm programlarda fanlı sistemden daha az enerji tüketir. Birinci ve üçüncü programlarda statik kurutma sistemi en çok enerjiyi harcayan programdır. Bunun sebebi son durulama sıcaklığının bu sistemde yüksek olmasıdır. İkinci programda ise statik sistemin enerji tüketiminin düşük olmasının sebebi, ikinci programın süresinin statik kurutmanın gerçekleşmesi için gerekli sürenin altında bir program olmasıdır. Kurutma tam manasıyla gerçekleşmediği için enerji tüketimi de düşük çıkmaktadır. Bu programda son durulama sıcaklığının artırılması ve program süresinin uzatılmasıyla istenilen kurutma performansı elde edilebilir. Ancak bu taktirde enerji tüketimi artacaktır.

Karşılaştırmanın yapıldığı üç yıkama programının ortalama kurutma indekslerine ait grafik Şekil 4.23'te verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere önerilen sistem ve fanlı sistemin kurutma performansları birbirine çok yakındır. Statik sistemin ise kurutma performansı diğer iki sistemden düşüktür.



Şekil 4.23. Ortalama kurutma indeksi

Benzer şekilde karşılaştırmanın yapıldığı üç yıkama programının ortalama enerji indekslerine ait grafik ise Şekil 4.24’te verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere önerilen sistem ortalama enerji tüketimi en düşük kurutma sistemidir. En çok enerji tüketen sistem ise statik kurutmadır.



Şekil 4.24. Ortalama enerji indeksi

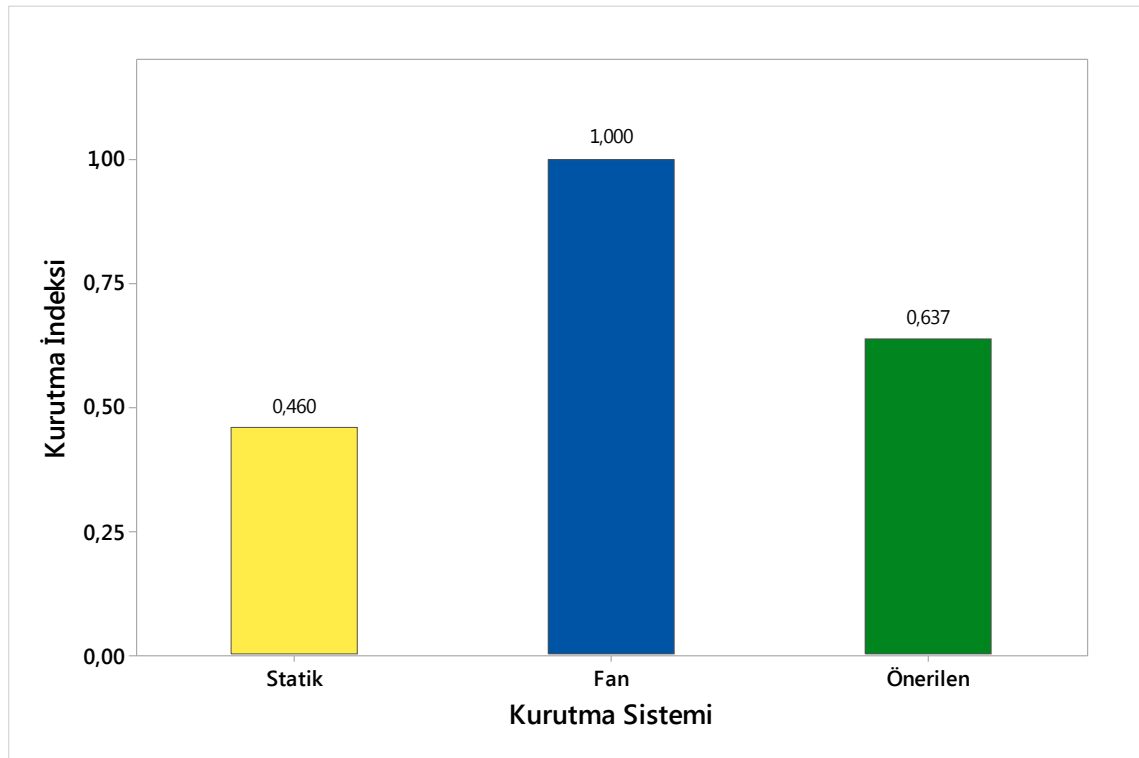
Özet olarak standart koşullarda sistemlerin performansları karşılaştırıldığında:

- Statik kurutma tüm programlarda en düşük kurutma performansına sahiptir.
- Fanlı kurutma sistemi birinci ve üçüncü yıkama programlarında en yüksek performansa sahiptir.
- Önerilen kurutma sistemi ikinci programda en yüksek performansa sahiptir.
- Enerji tüketimleri birinci ve üçüncü programlarda statik – fanlı – önerilen sistem şeklinde sıralanmaktadır.
- İkinci programda statik kurutma sistemini en az enerji tüketmektedir.

#### 4.4.2. Tropik İklim Koşulları

Önerilen sistem, yoğuşma ile kurutma sağladığı için sıcak iklim koşullarında performans kaybı yaşaması beklenir. Bu sebeple klimatize test odasında 40°C sıcaklık ve %80 nem koşulunda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.25'te üç kurutma sisteminin tropik iklim koşulları sonuçlarını göstermektedir. Karşılaştırmanın anlaşılır olması için hesaplanan kurutma puanları fanlı sistem sonucu 1 birim olacak şekilde indekslenmiştir.



Şekil 4.25. Tropik iklim koşullarda karşılaştırmalı kurutma performansı

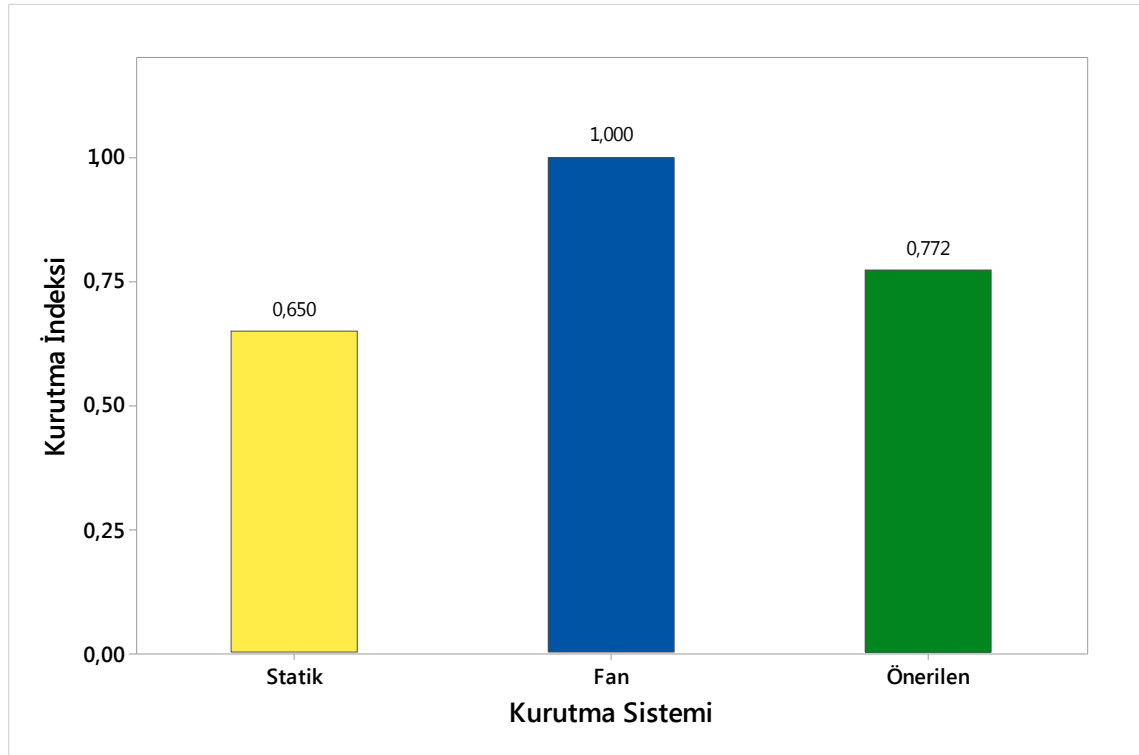
Tropik koşullar her üç kurutma sistem karşılaştırıldığında statik kurutma sistemi ve önerilen kurutma sistemi 40°C sıcaklık ve %80 nem koşulunda performans kaybı yaşamaktadır. Statik sistemdeki kayıp daha fazladır.



#### 4.4.3. Günlük Kullanım Koşulları

Şekil 4.26'da üç kurutma sisteminin kullanıcı alışkanlıklarına göre yapılan deneylerinin sonuçları gösterilmiştir.

Karşılaştırmanın anlaşılır olması için hesaplanan kurutma puanları fanlı sistem sonucu 1 birim olacak şekilde indekslenmiştir.



Şekil 4.26. Müşteri koşulu karşılaştırmalı test sonuçları

Kullanıcı koşullarına göre yapılan testler sonucunda statik ve önerilen sistemin müşteri koşullarında fanlı sisteme göre performansının düşük olduğu grlmştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Önerilen kurutma yönteminde doğal bir hava akış patikası oluşturularak kurutma adımında nemli havanın kabin içinde tahliye edilmesi sağlanmaktadır. Nemli hava bir yoğuşma kanalı vasıtasıyla tahliye edilirken kabin içine taze hava alınabilmesi amacıyla bir emme kanalı sisteme entegre edilmiştir.

Kurutma kanallarının bağlantısı için makinede oluşturulan açıklıkların kesit alanı ve konumu sistemden geçecek debi değerini doğrudan etkileyen parametredir. Bunun yanı sıra kanalların geometrisi ve basınç düşümü de debiyi etkileyen diğer parametrelerdir.

Kanal tasarımında havanın geçtiği yolun uzunluğu ve eklenen yoğuşma artırıcı geometriler sayesinde temas yüzeyi ve hava patikası artırılabilir. Bu sayede kanaldaki yoğuşma miktarı artırılabilir.

Sistem sıcaklık ve nem farkı ile tetiklenmektedir. Kurutma adımının başında nem atma hızı yüksekken, kurutma adımı sonuna doğru kabin içiyle bulaşık makinesi ortamı arasındaki sıcaklık ve nem farkı azaldığı için nem atma hızı düşmektedir.

Programdan bağımsız olarak ortalama performanslar karşılaştırıldığı önerilen sistem ve fanlı sistemin kurutma performansları birbirine çok yakındır. Statik sistemin ise kurutma performansı diğer iki sistemden düşüktür.

Benzer şekilde ortalama enerji tüketimi de programdan bağımsız olarak değerlendirildiğinde, önerilen kurutma sistemi en az enerji harcayan sistemdir. En çok enerji tüketen sistem ise statik kurutmadır.

Yıkama programları özelinde değerlendirildiğinde, önerilen kurutma sistemi, standart koşullarda yapılan testlerde tüm yıkama programlarında statik kurutma sistemine oranla daha yüksek kurutma performans vermektedir.

Statik kurutma tüm programlarda en düşük kurutma performansına sahiptir.

Önerilen sistemin fanlı kurutma sistemi ile standart koşullarda tüm yıkama programlarında benzer performansı verdiği söylenebilir. İkinci programda önerilen sistemin performansı daha yüksektir. Birinci ve üçüncü programlarda ise fanlı kurutma sistemi daha üstündür. Ancak kurutma skorları arasındaki fark azdır.

EN 60436 numaralı standarda göre kurutma performansının değerlendirilmesi program bitiminden 30 dakika sonra yapılır. Tasarlanan sisteminin en büyük avantajı barındırdığı atmosfer açıklıkları sebebiyle denge noktasına gelene kadar kurutma işleminin kendiliğinden devam etmesidir. Bu sebeple fanlı kurutma sistemine göre

yaklaşık 30 dakika fazladan kurutma işlemi yapabilmektedir. İkinci programda önerilen kurutma sisteminin performansının fanlı sistemden üstün olmasının sebebi budur.

Fanlı ve önerilen sistemin enerji tüketimleri karşılaştırıldığında önerilen sistem, tüm programlarda fanlı sistemden daha az enerji tüketir.

Önerilen kurutma sisteminde yer alan kanallarda atmosfer açıklıkları bulunmaktadır. Bu atmosfer açıklıkları sadece kurutma adımında değil yıkama adımında da atmosfere açık durumdadır. Açıklıkların fonksiyonel olarak kurutmanın gerçekleşmesi için gereklidir ancak enerji kaybına sebep olmaktadır. Bu sisteme eklenecek klape yapıları ile yıkama adımında kanalların atmosfer ile bağlantısı kesilebilir. Ancak eklenecek klape yapıları elektrikle kontrol edilen ekipmanlar içerir ve maliyet artışına sebep olabilir.

Önerilen sistemin performansı standart şartlarda fanlı kurutma sistemi ile benzer sonuçlar vermektedir ancak zorlaştırılmış iklim koşulları ve kullanıcı yükleri ile yapılan testlerde hem fanlı hem de önerilen sistemin performansı standart koşul testlerine göre düşmektedir. Ancak performans kaybı önerilen kurutma sisteminde daha fazladır.

**KAYNAKLAR**

- Arçelik, [https://www.arcelik.com.tr/media/resize/7614010177\\_LO3\\_20220219\\_153355.png/1000Wx1000H/image.png](https://www.arcelik.com.tr/media/resize/7614010177_LO3_20220219_153355.png/1000Wx1000H/image.png) [Ziyaret Tarihi: 41 Haziran 2022].
- 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.
- Bengtsson, P. ve Berghel, J., 2017, Concept study of a new method for drying dishware in a heat pump dishwasher, *Energy Efficiency*, 10 (6), 1529–1538.
- BS EN 60436:2020+A11:2020, Electric dishwashers for household use, Methods for measuring the performance.
- Cranstona, J., Askalany, A., Santoria, G., 2019, Efficient drying in washer dryers by combining sorption and heat pumping, *Energy*, 183, 683– 692.
- CN101862171(B), Dishwasher, LG Electronics, 2012.
- CN102813494(B), Dishwasher with door gap ventilation, V-ZUG, 2017.
- CN105520704(A), Drying device for dish washing machine and dish washing machine provided with drying device Midea, 2016.
- CN108784605(A), Drying device for dish washing machine and dish washing machine with same, Midea, 2018.
- CN108814515(A), Dishwasher drying device and dishwasher with the same, Midea, 2018.
- CN110123232(A), Air circulating type dish washing machine, Haier, 2019.
- De Paepe, M., Theuns, E., Lenaers, S., Van Loon, J., 2003, Heat recovery system for dishwashers, *Applied Thermal Engineering*, 23 (6), 743–756.

- DE19946456(A1), Domestic dishwasher has fan in door above heat exchanger to suck moist and fresh air from near upper part of door and force moist air and fresh air horizontally through heat exchanger, BSH, 2001.
- EP0521815(B2), Dishwasher with an opening or similar connecting the washing compartment with the ambient air, Miele, 1998.
- EP0752232(B1), Dishwashing machine having a natural ventilation drying system, Merloni Elettrodomestici SPA (Indesit), 2001.
- EP0862893(B1), Dish-washing machine, Whirlpool, 2002.
- EP1055389(B1), Programmable dishwasher with device for drying the dishes, Miele, 2003.
- EP1833351(B1), Dishwasher Comprising A Drying Apparatus, BSH, 2010.
- EP2790563(B1), Commercial dishwasher with a fresh-air drying system, and method for operating a dishwasher of this kind, Premark, 2019.
- EP3000377(B1), Dishwashing machine with drying system, Whirlpool, 2017.
- Flück, S., Kleingries, M., Dober, E., Wellig, B., 2017, Dishwasher with integrated heat pump, *HPT Magazine*, 35(1), 40–44.
- Flück, S., Kleingries, M., Dober, E., Gau, I., Bon, P., Loichinger, A., Wellig, B., 2017, Household dishwasher with a monovalent heat pump system, *Proceedings 12th IEA Heat Pump Conference, International Energy Agency*, Rotterdam, Netherlands.
- FR2491319(B1), Dishwashing machine with ventilation and drying system - uses external air drawn through filter and heated before drying dishes, and labyrinth condenser on air outlet, BSH, 1986.
- Hauer, A. ve Fischer, F., 2011, Open adsorption system for an energy efficient dishwasher, *Chemie Ingenieur Technik*, 83 (1□2), 61–66.

Jeong, S. W. ve Lee, D. H., 2014, Drying performance of a dishwasher with internal air circulation, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31 (9), 1518–1521.

JP4458106(B2), Dishwasher, Panasonic, 2010.

Karlsson, B., Quintiere, J., 1999, Enclosure Fire Dynamics, *CRC Press*, 93–102.

KR101295935(B1), Dish washer, LG Electronics, 2013.

KR101464014(B1), Drying system for a dishwasher, Electrolux, 2014.

KR101889778(B1), Dishwasher, LG Electronics, 2018.

KR20080067127A, Dish-washing machine, Samsung Electronics, 2008.

Kumar, N., Rendall, J., Turnaoglu, T., Gluesenkamp, K. R., Patel, V. K., Abuheiba, A., Gehl, A., 2021, Measurements of Evaporation and Condensation Mass Transfer Resistances for Surfaces in Residential Dishwashers, *18th International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, Purdue.

Linden, P. F., 1999, The Fluid Mechanics of Natural Ventilation, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 31 (1), 201–238.

Mujumdar, A. S., 2006, Handbook of industrial drying, *CRC Press, 3rd edition*, Boca Raton, Florida, US

Rummler, B. ve Stamminger, R., 2009, A physical method for measuring the drying performance in household dishwashers, *Tenside Surfactants Detergents*, 46 (1), 7–12

Sai, P. S. T., Linga, A., 2010, Studies on drying kinetics of solids in a rotary dryer, *3rd International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies, Theory and Applications, ThETA3*, Cairo, Egypt, 389.

US10512388(B2), Dishwasher with condensing drying system, Whirlpool, 2019.

US2008115811(A1), Dishwasher apparatus including a fan for a drying cycle, Electrolux, 2008.

US2019104916(A1), Dishwasher, Samsung Electronics, 2019.

US2020069147(A1), Dishwasher appliance with a vortex air dryer, Haier, 2020.

US4179821(A), Dishwasher vent arrangement, Gen Electric, 1979.

US7767029(B2), Dishwasher and method of controlling the same, LG Electronics, 2010.

US8671587(B2), Method for implementing a drying program section in washing equipment with a condensation drying device, Miele, 2014.

US9364133(B2), Washing method for a dishwashing machine, BSH, 2016.

US9364134(B2), Dishwasher having drying device, Samsung Electronics, 2016.

US9907450(B2), Dishwasher, a door assembly for the dishwasher, and an associated method for drying dishware, Electrolux, 2018.