

**T.C.**  
**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SENSÖRLÜ VE ŞEFFAF KAPAKLI BUZDOLABI PROJESİ**

**BİTİRME PROJESİ**

**Aslıhan KALINTAŞ**

**Ayşe KURTUL**

**Büşranur DOĞRUÖZ**

**Tuğçe MANDAL**

**(I. ÖĞRETİM)**

**HAZİRAN 2021**

**TRABZON**

**T.C.**  
**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SENSÖRLÜ VE ŞEFFAF KAPAKLI BUZDOLABI PROJESİ**

**Aslıhan KALINTAŞ**

**Ayşe KURTUL**

**Büşranur DOĞRUÖZ**

**Tuğçe MANDAL**

**(I. ÖĞRETİM)**

**Danışman: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU**

**Bölüm Başkanı: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU**

**HAZİRAN 2021**

**TRABZON**

## ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmelerin mühendisliğin amacına uygun bir şekilde, çevreye duyarlı ve kullanıcı açısından çok daha işlevsel olması gerektiği her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır. Bu nedenle mühendislik ürünü sistemler bugün olduklarından daha güvenli, işlevsel ve verimli olmak zorundadırlar.

Bu proje çalışmasında gündelik yaşantımızda önemli bir yeri olan buzdolaplarında enerjinin verimli kullanılabilmesi için yeni bir düzenleme yapılması amaçlanmıştır. Bunun için büro tipi bir buzdolabında hareket sensörü ile çalışan iç aydınlatma ve buzdolabının iç görünürlüğüne sağlayan şeffaf bir kapak tasarımı yapılmıştır. Bu sayede kullanıcı tarafından buzdolabının kapağı açılmadan içindeki gıda ürünlerinin yeri dışarıdan görülmekte ve dolayısıyla buzdolabı kapağının açık kalma süresi en aza indirilmiş olmaktadır. İç aydınlatmanın harekete duyarlı sensör ile sağlanması da buzdolabı yakınında bulunan kullanıcıya bağlı olarak iç aydınlatmanın çalışmasını sağlayarak kullanımı kolaylaştırmaktadır.

Proje çalışmamızda tecrübe ve bilgi birikiminden yararlandığımız proje danışmanımız Prof. Dr. Burhan Çuhadaroğlu'na teşekkürü bir borç biliriz.

Aslıhan KALINTAŞ

Ayşe KURTUL

Büşranur DOĞRUÖZ

Tuğçe MANDAL

Trabzon 2021

## ÖZET

### SENSÖRLÜ ve ŞEFFAF KAPAKLI BUZDOLABI PROJESİ

Bu proje çalışmasında temel amaç buzdolabında enerji tasarrufu sağlayacak basit tasarım önlemlerinin göstermektir. Buzdolabına şeffaf kapak uygulaması sayesinde oda ile buzdolabının kabini arasında açma/kapama işlevi esnasındaki gereksiz soğuk hava transferinin önlenmesi amaçlanmıştır. Projenin özgün değer taşıması için konu ile ilgili literatür ve patent araştırması yapılmıştır. Çalışmada gerekli olan kısıtlar ve koşullar belirlenmiştir. Buzdolaplarındaki en temel mekanizma Termodinamik esaslara göre çalışan soğutma çevrimidir. Basit buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi en yaygın olarak kullanılan soğutma çevrimi olup, soğutma uygulamalarının büyük çoğunluğunda uygulanmaktadır. Bu nedenle çalışmamızdaki proje hesapları soğutma yöntemlerinden buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi esas alınarak yapılmıştır. Buzdolabının dış gövde tasarımı için boyutlar ve buzdolabında kullanılacak parçalar tasarlanmıştır. Bu parçalar Solidworks programında üç boyutlu olarak çizilmiştir. Buzdolabı kasasında kullanılacak gövde ve yalıtım malzemeleri de belirlenerek buzdolabı kasası da Solidworks programında üç boyutlu çizilmiştir. Buzdolabı içerisindeki sıcaklık ayarını yapmamıza olanak sağlayan parça termostattır. Termostata ait detaylı araştırma yapılmıştır. Buzdolabının çalışması için motora bağlı bir elektrik devresine ihtiyaç duyulmakta olup, bu elektrik devre şemasına da çalışma kapsamında yer verilmiştir. İç görünürlük şeffaf kapak ile sağlanmıştır; fakat buzdolabının içinin daha rahat görülebilmesi için gerekli olan iç aydınlatmanın da dışarıdan kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için buzdolabının yan yüzeyine bir hareket sensörü yerleştirilmiştir. Bu hareket sensörü buzdolabı içindeki aydınlatmaya bağlanmıştır. Buzdolabının yakın civarında hareket algılayan sensör içerideki aydınlatmayı otomatik olarak açmaktadır. Sensör devresi Proteus programında çizilmiş olup kodu Arduino programında yazılmıştır. Şeffaf kapak için malzeme seçimi yapılırken ısı geçirgenlik ve dayanıklılık ön planda tutulmuştur. Buzdolabı yalıtımı için ise hem ısı geçirgenliğe hem de malzemenin verimine dikkat edilmiştir. Araştırmalar sonucunda kapakta şeffaf bir plastik olan pleksiglass malzeme ve buzdolabı yalıtımı için poliüretan köpüğün kullanılmasına karar verilmiştir. Kapak tasarımları detaylı bir şekilde Solidworks programında çizilmiştir. Altı adet şeffaf kapak tasarımı yapılmıştır. Her kapağa ait soğutma yükü hesaplanmıştır.

Tasarımlar arasından seçim yapmayı kolaylaştırmak ve en verimli kapağı seçebilmek için tasarımlara ait değerlendirme tablosu oluşturulmuştur. Bu değerlendirme tablosunda gerekli yorumlara yer verilmiş olup, en uygun tasarım seçilmiştir.

Çevresel etki analizinde buzdolabında kullanılan hiçbir malzemenin çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı değerlendirilmiştir. Buzdolabında kullanılan standart ve özel üretim elemanların maliyet analizi yapılmıştır. Tüm malzemeler birim fiyat üzerinden hesaplanarak toplam yaklaşık maliyet elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda bu çalışmada amaçlanan ölçütleri sağlayacak şekilde model bir buzdolabı kasası üretimi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Buzdolabı, Enerji Tasarrufu, Şeffaf Kapak, Hareket Sensörü

## SUMMARY

### PROJECT OF REFRIGERATOR WITH SENSOR AND TRANSPARENT COVER

The main purpose of this project work is to show simple design measures that will save energy in the refrigerator. Thanks to the application of a transparent cover on the refrigerator, it is purposed to prevent unnecessary cold air transfer between the room and the cabinet of the refrigerator during the on/off function. In order for the project to have original value, literature and patent research on the subject were conducted. The necessary constraints and conditions were determined in the study. The most basic mechanism in refrigerators is the refrigeration cycle that works according to thermodynamic principles. The simple vapor compression refrigeration cycle is the most widely used refrigeration cycle and is applied in the vast majority of refrigeration applications. For this reason, the project calculations in our study are based on the vapor compression refrigeration cycle, which is one of the cooling methods. Dimensions and parts to be used in the refrigerator are designed for outer body design of the refrigerator. These parts were drawn in three dimensions in the Solidworks program. The body and insulation materials to be used in the refrigerator case were determined. The refrigerator case was also drawn in three dimensions in the Solidworks program. The part that allows us to adjust the temperature inside the refrigerator is the thermostat. Detailed research on the thermostat has been made. An electrical circuit connected to the motor is needed for the refrigerator to work, and this electrical circuit diagram is also included in the scope of the study. Internal visibility is provided by the transparent cover; However, the interior lighting, which is necessary for a better view of the interior of the refrigerator, should be controlled from the outside. For this, a motion sensor is placed on the side surface of the refrigerator. This motion sensor is connected to the lighting inside refrigerator. This sensor immediately detects movement near the refrigerator and automatically turns on the lighting inside. The sensor circuit was drawn in the Proteus program and the code was written in the Arduino program. While choosing the material for the transparent cover, thermal permeability and durability were prioritized. For refrigerator insulation, attention was paid to both the thermal permeability and the efficiency of the material. As a result of the research, it was decided to use plexiglass material, which is a transparent plastic, on the cover and polyurethane foam for refrigerator insulation. Cover

designs are drawn in Solidworks program in detail. Six transparent cover designs were made. The cooling load for each door is calculated. In order to make it easier to choose among the designs and to choose the most efficient cover, an evaluation table of the designs was created. Necessary comments are included in this evaluation table and the most suitable design is selected.

In the environmental impact analysis, it has been evaluated that none of the materials used in the refrigerator are harmful to the environment and human health. Costs analysis of standard and special production elements used in the refrigerator was made. All materials were calculated over the unit price and the total approximate cost was obtained. As a result of the studies, a model refrigerator case was produced that meets the criteria purposed in this study.

**Keywords:** Refrigerator, Energy Saving, Transparent Cover, Motion Sensor

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	I
ÖZET .....	II
SUMMARY .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
TABLolar DİZİNİ .....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XII
1. AMAÇ ve KAPSAM .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Literatür Taraması .....	3
1.3. Kısıtlar ve Koşullar .....	9
1.4. Temel Kavramlar .....	13
1.4.1. Fiziksel Özellikler .....	13
1.4.2. Termodinamik Yasaları .....	17
1.5. Buzdolabında Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler .....	19
1.5.1. Çevresel Etkiler .....	20
1.5.2. Tasarım İle İlgili Faktörler .....	21
1.5.3. Kullanım Faktörleri .....	23
2. HAFTALIK ÇALIŞMA PROGRAMI .....	25
3. SOĞUTMA VE ESASLARI .....	26
3.1. Isı Makinaları, Isı Pompaları ve Soğutma Makinaları .....	27
3.2. Soğutma Çevrimleri .....	30
3.3. Soğutma Yöntemleri .....	32
3.4. Soğutmada Kullanılan Makinalar .....	33
3.5. Buhar Sıkıştırılmalı (Mekanik) Soğutma .....	34
3.6. Mekanik Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminin Ana Elemanları .....	38
3.6.1. Kompresörler .....	39
3.6.2. Kondenser (Yoğuşturucu) .....	42
3.6.3. Kılcal (Kapiler) Boru .....	48



3.6.4. Evaporatör (Buharlaştırıcı).....	49
3.7. Kurutucu ve Süzgeç.....	50
3.8. Soğutucu Akışkan.....	51
4. MÜHENDİSLİK HESAPLARI VE ANALİZLERİ.....	52
4.1. Tasarım Çalışması.....	52
4.2. Üç Boyutlu Şeffaf Kapak Tasarımları.....	65
4.3. Yapılan Mühendislik Hesaplamaları.....	68
4.4. Buzdolabı Tasarımı.....	74
5. ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ.....	78
6. MALİYET ANALİZİ.....	78
7. ÜRÜN İMALATI.....	80
7.1. Sistem Bileşenleri.....	80
7.2. Kullanılan Malzemeler.....	84
7.3. Maliyet.....	86
7.4. Haftalık Çalışma Programı.....	87
8. SONUÇLAR.....	88
9. KAYNAKLAR.....	89
10. EKLER.....	95
ÖZGEÇMİŞLER.....	98

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Marketlerde Kullanılan Ticari Buzdolabı ve Ev Tipi Şeffaf Kapaklı Buzdolabı Örnekleri .....	4
Şekil 2. KR20060116349 No'lu Patente Ait Kapı İçi Şeffaf Kapılı Buzdolabı .....	4
Şekil 3. CN101373117 No'lu Patente Ait Şeffaf Kapı Tasarımı .....	5
Şekil 4. 08564 No'lu Patente Ait Şeffaf Kapılı Led Modüllü Buzdolabı .....	5
Şekil 5. 17744 No'lu Patente Ait Şeffaf Kapılı Buzdolabı .....	6
Şekil 6. Buzdolabında Şeffaf Döner İç Kapı Tasarımı Görseli .....	6
Şekil 7. Door-in-Door Tasarımlı Buzdolabı .....	7
Şekil 8. Yakınlık Sensörlü Buzdolabı .....	8
Şekil 9. 08942 No'lu Patente Ait Engel Algılama Sensörlü Buzdolabı .....	8
Şekil 10. Kabin Yüğü ile Enerji Tüketiminin Değişimi .....	11
Şekil 11. Gıdanın Nemi (%) ile Havanın Bağıl Nemi (%) Arasındaki İlişkiyi Gösteren Sorbsiyon İzotermi .....	21
Şekil 12. Buzdolabının Termostat Ayar Konumu ile Enerji Tüketiminin Değişimi .....	24
Şekil 13. Soğutma Makinası ve Isı Pompasının Şematik Gösterimi .....	29
Şekil 14. Carnot ve Ters Carnot Çevrimlerinin P-V Diagramları .....	31
Şekil 15. Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Kompresörlü Soğutma Sistemi Prensip Şeması ....	35
Şekil 16. Soğutma Çevriminin T-s (Sıcaklık-Entropi) Diagramı .....	36
Şekil 17. Soğutma Çevriminin P-h (Basınç-Entalpi) Diagramı .....	36
Şekil 18. Gerçek Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevriminin T-s Diagramı .....	37
Şekil 19. Soğutma Devresinin Buzdolabı Üzerinde Şematik Gösterimi .....	38
Şekil 20. Tasarım Projesinde Kullanılan Yarı Hermetik Tip Kompresör .....	41
Şekil 21. Su Soğutmalı Kondenser Uygulamaları .....	43
Şekil 22. Evaporatif Kondenselerin Şematik Gösterimi .....	44
Şekil 23. Kondenserdeki Isı Transferinin Aşamaları .....	45
Şekil 24. Ev Tipi Buzdolaplarında Kullanılan Statik Tip Dikey ve Sarmal Hava Soğutmalı Kondenseler .....	46

Şekil 25. Tasarım Projesinde Kullanılan Tel Tipi Dinamik Kondenserin Demontaj ve Montaj Görünümü .....	47
Şekil 26. Kılcal Boru .....	49
Şekil 27. Kanatçıklı Tip Evaporatör .....	50
Şekil 28. Tasarım Projesinde Kullanılan Levha Tip Evaporatör .....	50
Şekil 29. Tasarım Projesinde Kullanılan Drayerin Görünümü .....	51
Şekil 30. Soğutma Devrelerinde Kullanılan Termostat Ve Fonksiyonel Yapısı .....	53
Şekil 31. Buzdolabının Elektrik Şemasının Çizimi .....	55
Şekil 32. Hareket Sensörü Devresinin Proteus Adlı Programda Çizimi .....	55
Şekil 33. Yalıtım Camı Birim Kesiti .....	58
Şekil 34. Ara Boşluk Çıtası Fotoğrafi ve Şematik Kesiti .....	59
Şekil 35. a) Isı ve Güneş Kontrol Kaplamalı Yalıtım Camı b) Isı Kontrol Kaplamalı Yalıtım Camı .....	60
Şekil 36. Akrilik Plastik Levha .....	61
Şekil 37. a) Oluklu Polikarbonat Levhalar b) Solid Polikarbonat Levhalar .....	61
Şekil 38. a) Poliüretan Köpük b) Genleştirilmiş Polistiren .....	63
Şekil 39. Buzdolabı Kapak Contası .....	64
Şekil 40. Açılabilir Yuvarlak Sürgülü Dört Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı .....	65
Şekil 41. Açılabilir Kavisli Sürgülü Dört Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı .....	65
Şekil 42. Açılabilir Düz Sürgülü Dört Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı .....	66
Şekil 43. Açılmaz Şeffaf Kapak Tasarımı .....	67
Şekil 44. Açılabilir İki Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı .....	67
Şekil 45. Açılabilir Dikey Sürgülü İki Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı .....	68
Şekil 46. Yan Yüzeylerde Meydana Gelen Isı Transferinin Gösterimi .....	69
Şekil 47. Buzdolabının Üst Kısımında Meydana Gelen Isı Transferinin Gösterimi .....	70
Şekil 48. Buzdolabı Gövde ve Raflarını Üç Boyutlu Görünümü .....	74
Şekil 49. Buzdolabı Kapağının Üç Boyutlu Görünümü .....	74
Şekil 50. Buzdolabı Arka Bölümünün Görünümü ve Tasarım Elemanlarının Gösterimi ..	75
Şekil.51. Buzdolabı Sağ Kesit Görünümü .....	75

Şekil 52. a) Üst Ön Kesit ile Sızdırmazlıkların Görünümü	
b) Üst Arka Kesit Detay Görünümü .....	76
Şekil 53. a) Tasarımda Kullanılan Menteşenin Görünümü	
b) Şeffaf Sürgü Kapağın Görünümü .....	76
Şekil 54. Buzdolabı Arka Kısımının Görünümü .....	77
Şekil 55. Sensörlü Şeffaf Kapak Buzdolabı Tasarımının 3 Boyutlu Montaj Resmi .....	77
Şekil 56. Kapak ve Gövde Görüntüsü .....	80
Şekil 57. Kapak Çerçevesi Görüntüsü .....	80
Şekil 58. Pleksiglass Bölmelerin Görüntüsü .....	81
Şekil 59. Kapağın Kulplu Görüntüsü .....	81
Şekil 60. Kapak Contası Görüntüsü .....	81
Şekil 61. Kapak Kulp Görüntüsü .....	81
Şekil 62. Rafların Görüntüsü .....	82
Şekil 63. Menteşe Görüntüsü .....	82
Şekil 64. Tekerleklerin Görüntüsü .....	82
Şekil 65. Hareket Sensörü ve Led Görüntüsü .....	83
Şekil 66. Arka Sac Üretim Görüntüsü .....	83
Şekil 67. Arka Sacın Boyanmış Görüntüsü .....	83
Şekil 68. Modelin Son Montaj Görüntüsü .....	84

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Test Standartlarının Karşılaştırılması .....	9
Tablo 2. İklim sınıfları .....	10
Tablo 3. Trabzon'un Yıllık Ortalama İklim Değerler .....	10
Tablo 4. Soğutma Kapasitesinin Kanat Aralığı ile Farklı Hızlardaki Değişimi .....	11
Tablo 5. Değişik Yoğuşma Sıcaklıklarında Soğutma Kapasitesinin Değişimi .....	12
Tablo 6. Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi .....	19
Tablo 7. Isı Kontrol Kaplamalı Yalıtım Camının Ara Boşluk Dolgularına Göre Isı Geçirgenlik Katsayıları .....	58
Tablo 8. Isı ve Güneş Kontrol Kaplamalı Yalıtım Camının Ara Boşluk Genişliklerine ve Dolgularına Göre Isı Geçirgenlik Katsayıları .....	58
Tablo 9. Pencere Sistemlerinin U değerleri .....	60
Tablo 10. İzolasyon Malzemelerinin Karşılaştırılması .....	63
Tablo 11. İzolasyon Malzemelerinin Oda Sıcaklığında Isı İletkenliklerinin Karşılaştırılması .....	64
Tablo 12. Tasarım Değerlendirme Tablosu .....	72
Tablo 13. Sensörlü Şeffaf Kapaklı Buzdolabı Maliyet Tablosu .....	79
Tablo 14. Üretim Boyunca Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....	85
Tablo 15. Modelin Üretim Maliyeti .....	86

## SEMBOLLER DİZİNİ

$P_b$	: Basınç [Pa]
$F$	: Kuvvet [N]
$S$	: Yüzey Alanı [ $m^2$ ]
$V$	: Hacim [ $m^3$ ]
$n$	: Gazın Mol Sayısı
$R$	: Gaz Sabiti [J/mol*K]
$h$	: Yükseklik [m]
$g$	: Yer çekim İvmesi [ $m/s^2$ ]
$\rho$	: Yoğunluk [ $kg/m^3$ ]
$H$	: Entalpi Değişimi [J]
$U$	: İç Enerji [J]
$P*\Delta V$	: Toplam Potansiyel Enerji [J]
$T$	: Sıcaklık [ Kelvin; Santigrat]
$Q$	: Net Isı Alışverişi [W]
$P_g$	: Güç [J/s]
$W$	: İş [J]
$E$	: Sistem Enerjisi [J]
$m$	: Kütle [kg]
$V$	: Hız [m/s]
$Q_y$	: Yüzeylerden meydana gelen ısı kazancı [W]
$U$	: Toplam Isı Geçiş Katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$T_d$	: Dış Ortam Sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_i$	: İç Ortam Sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$h_d$	: Dış Yüzey Isı Yayınlama Katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$h_i$	: İç Yüzey Isı Yayınlama Katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$A$	: Alan [ $m^2$ ]
$k_1$	: Cidar Katmanlarının Isı İletim Katsayısı [W/mK]
$l$	: Cidar Kalınlığı [mm]
$Q_{hd}$	: Hava Değişiminden Meydana Gelen Isı Kazancı [W]
$C_{p3}$	: Havanın Özgül Isısı [kJ/kg*K]

- $Q_{\dot{u}}$  : Ürünlerde Meydana Gelen Isı Kazançları [W]  
 $m$  : Ürün Miktarı [kg]  
 $C_{p3}$  : Donmuş Durumdaki Özgül Isı [kJ/kg\*K]

## 1. AMAÇ VE KAPSAM

Enerji verimliliği, ürün ve hizmetlerin sağlanması için gereken enerji miktarını azaltma hedefidir. Enerji verimliliğinde artış, genellikle daha verimli bir teknoloji veya tasarım süreci benimsenerek, enerji kayıplarını azaltmak için yaygın olarak kabul edilen yöntemlerin uygulanmasıyla gerçekleşir. Böylece enerji kullanımını azaltmak enerji maliyetlerini düşürecek ve tüketiciye maliyet tasarrufu sağlayacaktır [1]. Bu sebeple daha az enerji tüketen makineler üretmek firmalar tarafından genel hedef haline gelmiştir.

Gelişmiş ülkelerde, 1990'larda konutlardaki enerji tüketiminin sadece %16'sını ev aletleri oluştururken, bu oranın 2000'li yıllara gelindiğinde enerji verimliliğine rağmen %21'lere yükselmiştir [2]. Evlerde büyük cihazlarda enerji tüketimi ise 2000'li yıllara göre neredeyse yarı yarıya düşmüştür. Enerji tüketimi özellikle 15 yaşından büyük cihazlarla yeni cihazlar karşılaştırıldığında, yüksek verimli çamaşır makinesi ve buzdolabında enerji tüketimi %65 oranında düşmüştür [3].

Bu projede gündelik hayatımızın merkezinde olan buzdolapları için enerji tasarrufu sağlamak amaçlanmıştır. Bu tasarruf da buzdolabının sürekli açılıp kapanmasıyla meydana gelen ısı kaybı azaltılarak sağlanacaktır. Buzdolabı kapağına yerleştirilen yalıtımlı şeffaf kapak ile bir iç görünürlük elde edilecek böylece kapağın açık kalma süresi kısaltılacaktır.

Oluşturulan saydamlık ile odadaki doğal ışık sayesinde içerisi görülürken, soğutma hacminde bulunan bir lamba ile karanlık ortam ve ışık yetersizliğinde dahi aydınlatma yapılabilecektir. Lamba buzdolabının yan tarafında bulunan yakın menzilli hareket sensörü ile çalışacaktır.

### 1.1. Giriş

İnsanoğlu ilk zamanlarından bu yana yaşamak için barınma ve beslenmeyi ön planda tutmuştur. Barınma için kendilerini güvende hissedebilecekleri ortamlarda hayatlarını sürdürmüştür. Beslenme konusunda ise besinlerin bozulmadan uzun süre dayanması için konserve, salamura veya tuzlama gibi yöntemler uygulamıştır.

İnsanlar her yiyecek için konserve, salamura ve tuzlama işlemini uygulayamadığı için farklı arayışlar içine girmişlerdir. Bazı tarihçilere göre Yunanlılar, Romalılar ve İbraniler gibi uygarlıklar karları çukurlarda biriktirerek ve çeşitli yalıtım malzemeleri kullanılarak



çukurları kaplamışlardır. Bu işlem doğal soğutma işlemi olarak adlandırılmaktadır. Burada amaçlanan soğutma adı verilen ve ısının başka yere transfer edilerek ortam sıcaklığının düşürülmesi anlamına gelen işlemle gıdaların daha uzun süre korunmasıdır. Daha sonra yapay soğutma çalışmaları başlamıştır. İlk olarak 1755 yılında İskoç Profesör William Cullen soğutma işleminin gerçekleştirildiğini gösteren bir deney yapmıştır. Bu deneyi yaparken kısmi vakum yaratmak için dietil kap üzerine yerleştirilmiş bir pompa kullanılarak kaynama noktasına erişen sıvıların buharlaşma ısıyla absorbe edilmesinin ardından kabın etrafının soğumaya başladığını gözlemlemiştir. Bu deney başarılı olmuş fakat pratikte kullanılmamıştır.

1913 yılında modern buzdolabı benzeri elektrik ile çalışan ve ahşap gövdesinin üzerinde kompresör tipi soğutucu bulunan bir buzdolabı tasarlanmıştır [4,5]. Buzdolapları buharın sıkıştırılmasıyla çalışan, iç hacmini soğuk tutup içindekilerin uzun zaman muhafaza edilmesini sağlayan soğutma makineleridir.

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte buzdolaplarının iç hacimleri büyümüş ve aynı zamanda yiyeceklerin depolanma ömürleri soğutucu akışkanın buzdolabı çevresinde devir daim yapmasıyla beraber artış göstermiştir.

Günümüz buzdolaplarının çalışma prensibini detaylı bir şekilde ele almak gerekirse; buzdolabında bulunan kılcal borular sayesinde buzdolabının çevresinde hareket eden özel bir akışkan madde kompresör yardımıyla sistem içerisinde sürekli olarak döndürülür. Bu işlem gerçekleşirken aynı zamanda buzdolabının içerisinde oluşan ısı dışarıdaki havaya aktarılır. Böylece buzdolabının içerisindeki hava olması gereken sıcaklığa düşene kadar ısı kaybetmeye devam eder ve soğumaya başlar. Kompresöre uygulanan basınç sonucunda soğutucu madde yoğunlaştırıcıya gönderilir ve orada sıkıştırılır. Dönel kılcal borulardan geçmekte olan madde dışarıya ısı vermeye başlar. Dışarıya doğru ısı transferi gerçekleştiğinden dolayı soğutucu madde soğuma aşamasına geçer ve buzdolabının arkasından içeriye doğru yol alan küçük tüpün içine girerek orada ilerlemeye devam eder. Akışkanın tüpün içerisine girmesiyle tüp genişlediği için daha fazla alan açılır ve moleküller arası daha az sürtünme gerçekleştiği için sıcaklık düşer. Buharlaştırma işlemini evaporatör adlı parçada gerçekleşir. Evaporatör buzluk bölümünü çevreleyen bir tür tüp çeşididir. Akışkan madde burada buharlaşarak çevreden ısı almaya eğilimli hale gelir. Böylece evaporatörün yüzeyi ve çevresi soğumaya başlar. Soğuyan hava buzdolabını çevreleyen dönel borular sayesinde alt kısımlara iner ve sıcak hava yukarı çıkar. Yukarı çıkan havanın

sıcaklığı akışkan maddeyi ısıtır. Buzdolabı kendi içerisinde sürekli bu döngüyü gerçekleştirir [6].

## **1.2. Literatür Taraması**

Literatür araştırmasında ağırlıklı olarak projenin temeli olan şeffaf kapak tasarımlı ve sensor bulunduran buzdolapları incelenmiştir. Enerji tasarrufu amacı ile yön bulan bu projede yalıtımı destekleyerek performansı artıracak malzemeler de araştırmaya eklenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda buzdolabı soğutma sistemleri, ısı transferi ve boş hacimdeki soğuk hava akışı, sızdırmazlık elemanı olan contalara yönelik inceleme ve geliştirmeye yönelik akademik çalışmalarla karşılaşmış ancak özelden sisteme eklenecek yeniliğe yani farklı amaçlarla kullanılan buzdolaplarında şeffaf kapı uygulamalarına ve sisteme sensörün dahil edildiği çalışmalara yer verilmiştir.

Araştırmalar; makale, tez ve patent ilanları gibi çeşitli kaynaklarla yapılmış, projeye en yakın tasarım, yayın ve uygulamalar aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır

### **Şeffaf Kapak Uygulamaları ve Patent Araştırması**

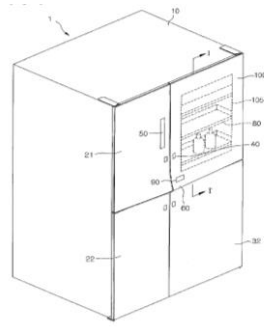
Yalıtımlı camlar piyasaya sürülmesinden sonra ısı yalıtımı ve estetik görünümün birleştiği uygulama alanlarında karşımıza çıkmıştır. Yalıtımlı camlar, aralarında hava boşluğu ya da ağır gazlar bulunan iki veya üç camdan oluşmaktadır. Isı geçişini yüksek oranda azaltan camlar Low-E gibi kaplamalarla daha da iyileştirilebilir.

Şekil 1’de gösterildiği üzere ticari buzdolaplarında sıkça kullanılan şeffaf kapaklı buzdolapları market gibi işletmelerde büyük bir tasarruf ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. İçindeki ürünlerden elde edilen gelir ile kendi ücretini ve kullandığı elektriği karşılayabilmekte, kullanıcıya ekonomik bir sorun yaşatmamaktadır. Fakat ev tipi buzdolaplarında şeffaf kapaklı tasarımlara ticari amaçlı buzdolaplarında olduğu kadar sık rastlanmamaktadır. Yine de özellikle Amerika’da Sub-Zero ve Frigidaire gibi markalar şeffaf kapaklı tasarımlarla karşımıza çıkmaktadır.[11]



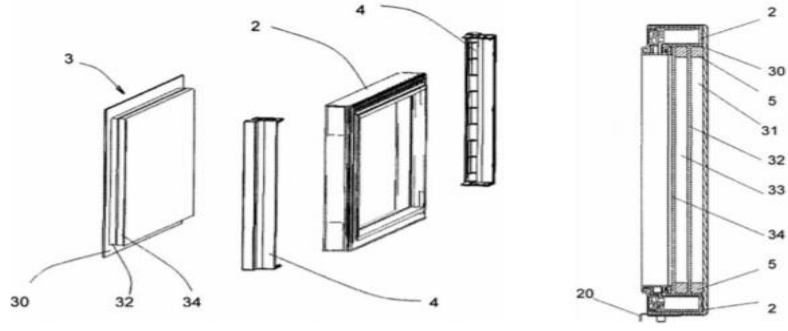
Şekil 1. Marketlerde Kullanılan Ticari Buzdolabı ve Ev Tipi Şeffaf Kapaklı Buzdolabı Örnekleri [11]

Şekil 2’de LG firması tarafından 2006 yılında patenti alınan bir tasarımda iki kapılı bir buzdolabı görülmektedir. İç kapısında arasında hava boşluğu bulunan çift cam tercih edilirken, dış kapakta normal bir buzdolabı kapağı kullanılmıştır. Böylece boşa açılıp kapanmalarda kaybedilen ısının önüne geçilmiştir. Normalde ışıksız olan iç kavitenin, kullanıcının bir ışık kaynağını aktif hale getirmesiyle aydınlanarak iç kısmın görünmesi sağlanır [7].



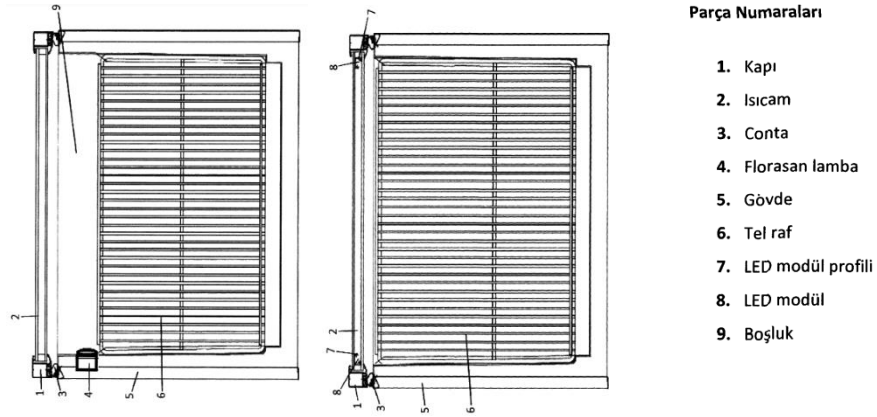
Şekil 2. KR20060116349 Numaralı Patente Ait Kapı İçi Şeffaf Kapılı Buzdolabı [7]

Şekil 3’te 2011 yılında BSH firması fırın ve buzdolabı gibi ev aletlerinde kullanılabilecek cam panelli kapı konstrüksiyonu sunmuştur. Buzdolaplarında da uygulanabileceği belirtilen bu tasarımda yalıtım arasında hava, argon gazı ya da helyum gazı bulunan Low-E kaplamalı üç cam ile sağlanmaktadır [8].



Şekil 3. CN101373117 Numaralı Patente Ait Şeffaf Kapı Tasarımı [8]

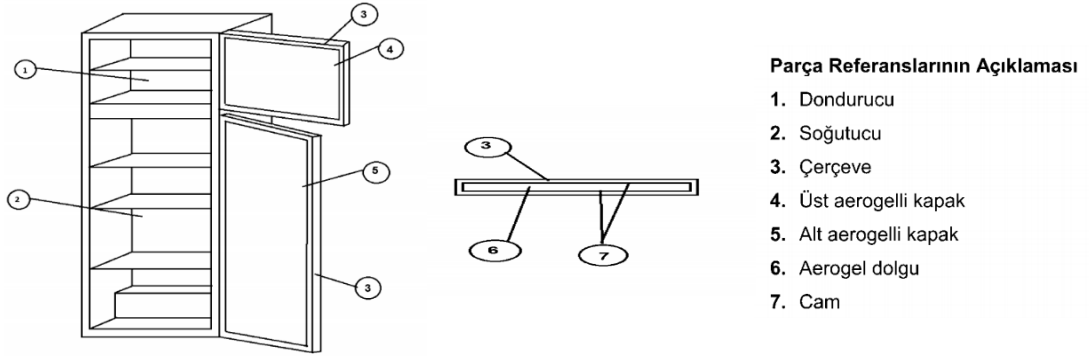
Şekil 4’te gösterilen patent görseli ICM Enerji ve Soğutma Teknolojileri Sanayi Anonim Şirketi’nin 2012 yılında cam kapılı bir ticari buzdolabı için almış olduğu patenttir. Ev büro tipi buzdolaplarına uygulanabilir olan bu tasarımda içerisi LED modülleriyle aydınlatılan yalıtımlı cam kapak kullanılmıştır [9].



Şekil 4. 08564 Numaralı Patente Ait Şeffaf Kapılı Led Modüllü Buzdolabı [9]

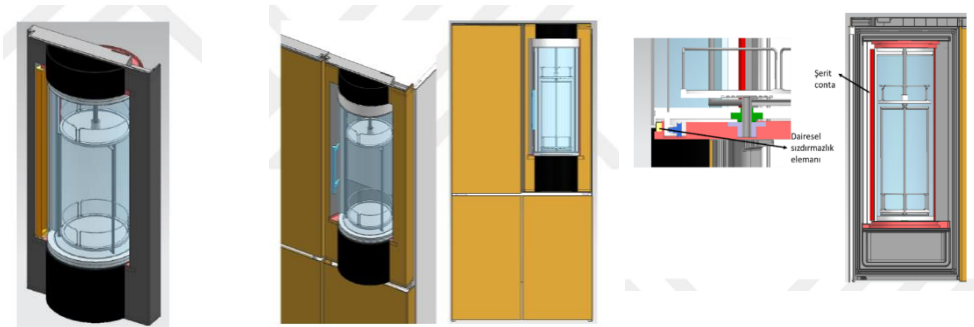
Şekil 5’te gösterilen patent görseli Whirlpool Beyaz Eşya Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi’nin 2015’te cam kapak tasarımlı ev tipi buzdolabı patentine aittir. Şeffaf kapağın tasarımı konusunda akla ilk gelen yalıttır. Camın plastik malzemeye göre daha iletici olduğu bilinir. Patenti alınan üründe yalıtım adına arasında aerojel dolgu bulunan çift camlı

kapak kullanılmaktadır. Bu sayede hem enerji verimliliği hem estetik bir görünüm sağlanmıştır [10].



Şekil 5. 17744 Numaralı Patente Ait Şeffaf Kapılı Buzdolabı [10]

2018 yılında Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezinde Murat Koşar, Şekil 6’da gösterilmiş olan “buzdolabında şeffaf döner bir kapı içi kapı tasarımından bahsetmiştir. Bu tasarım dönme mekanizmasını karşılaması için bu 4 kapaklı buzdolabının bir kısmına silindirik bir bölme yerleştirilmiştir. “Door in door” olarak da bilinen kapı içi kapı tasarımı yapılmış, kapakta gerek yalıtım gerekse terleme nedeniyle dairesel formlu çift cam malzeme kullanılmış, şerit ve mıknatıslı contalar ile yalıtım iyileştirilmiştir [11].



Şekil 6. Buzdolabında Şeffaf Döner İç Kapı Tasarımı Görseli [11]

2019 yılında LG marka buzdolabı içeriğinin kapı açılmadan görülebildiği bir tasarım için alternatif bir yöntem oluşturmayı hedeflemiş ve bu konuda bir buzdolabı patenti almıştır. Patentın konusu halihazırda mevcut olan şeffaf kapaklı buzdolabı tasarımına eklenebilecek yenilikler üzerinedir.  $TiO_2$ ,  $SiO_2$  vb. maddeler katarak cam renginin değişimi, ekran görünürlüğünün artırılması için cama mühürleme işlemi ve tortulanarak pürüzsüz yüzey elde edinimi gibi farklı teknikler kullanılarak imal edilmiş estetik görünümlü bir buzdolabıdır [12].

LG firmasının başka bir tasarımında buzdolabından sıklıkla alınan içecekler ve atıştırmalıklar için cam bir bölme tasarlanmıştır. Şekil 7’de gösterildiği üzere “Door-in-Door” üzerindeki “Instawiev” fonksiyonu ile cama iki kez tıklanıldığında içerideki LED ışıklar açılır, on saniye sonunda otomatik olarak kapanır [13].



Şekil 7. “Door-in-Door” tasarımı buzdolabı [14]

### **Buzdolabında Hareket Sensörü Uygulamaları ve Patent Araştırması**

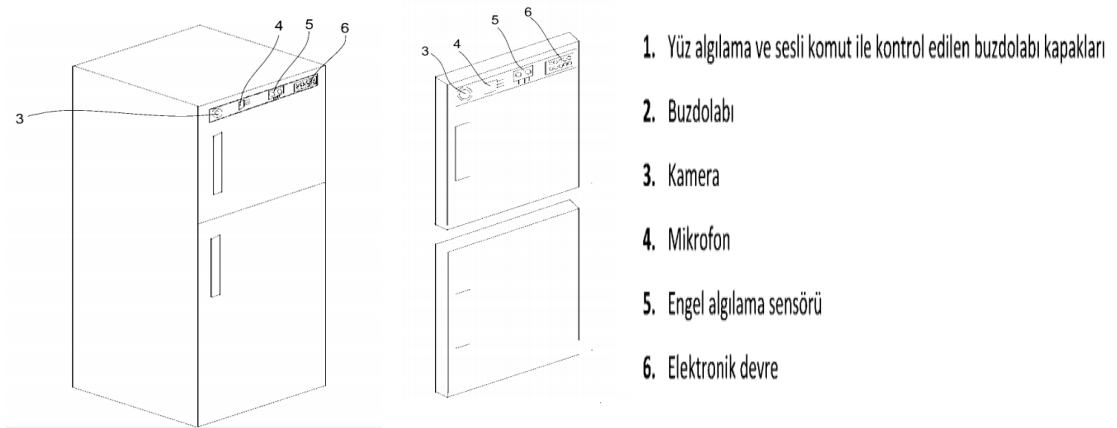
Buzdolapları kullanıcıların ürünü buzdolabından alma senaryosu, kullanım kolaylığı bakımından iyileştirmeye açık bir yön olarak düşünülebilir. Bu açıdan projemizde buzdolabının yan tarafına konulacak olan yakınlık sensörü ile LED modüller veya lamba çalıştırılacak ve gün ışığının olmadığı ya da yetersiz olduğu durumlarda içerisi görülebilecektir. Böylece her açılıp kapandığında lamba yanmayacak ve gün ışığından faydalanılarak elektrik tasarrufu sağlacaktır. Ayrıca cam ekran ile istenen ürünlerin seçimi kapak açılmadan yapılabilecek dolayısıyla hem zamandan hem de soğutma için gerekli olan güçten de tasarruf sağlanmış olacaktır.

Şekil 8’de Frigidaire markası şeffaf kapaklı bir buzdolabında yakınlık sensörü ile aktive olan bir aydınlatma sistemi kullanmıştır. Sensör buzdolabının alt tarafında bulunmakta ve kullanıcı sensörü ayağıyla uymaktadır. Bu sayede elleri serbet olan kullanıcı buzdolabında istediği boyuttaki ürünü zorlanmadan alabilmektedir [15].



Şekil 8. Yakınlık Sensörlü Buzdolabı [15]

Şekil 9’da gösterilen görsel Selahattin Sönmez tarafından 2019 yılında yapılan bir buzdolabında temas gerektirmeden kapağın açılıp kapanması sağlanmıştır. Buzdolabının içinde bulunan engel algılama sensörü sayesinde buzdolabının karşısında kapanmaktadır [15].



Şekil 9. 08942 Numaralı Patente Ait Engel Algılama Sensörlü Buzdolabı [16]

Yapılan bu araştırmalar ve icatlar sonucunda öğrenilen bilgileri projemizde benzer amaçlarla kullandık. Buna rağmen tasarımıımızdaki farklılıklarla projenin temel olarak benzerlik göstermesinde kaçınılmıştır.

### 1.3. Kısıtlar ve Koşullar

Çalışmamız, belirli kısıtlar ve koşullar altında yapılacaktır. Bunları, buzdolabının soğutma performansı, sıcaklık dağılımı, enerji verimliliği, kabin yükünün enerji tüketimi, evaporatör tasarımı, kondenser tasarımı, iklim koşulları, buzdolabının boyutu ve maliyeti olarak sıralayabiliriz.

Avrupa Birliğinde ve ülkemizde, enerji verimlilik standartları bulunmaktadır. Bu gelişen standartlar ile birlikte enerji etiketleri kullanmak zorunlu hale gelmiştir. Soğutucular, standartlarda belirtilen çalışma koşullarına bağlı olarak enerji ve performans testlerine, iklim sınıfı performans testlerine tabi tutulmaktadır. Fakat biz çalışmamızda bu testleri yapamayacağımız için standartlar sadece bilgi olarak belirtilmiştir. Test standartlarının karşılaştırılması Tablo 1’de verilmektedir [17]. Günümüzde kullanılan standartların detaylarından EK-1 ‘de kısaca bahsedilmiştir.

Tablo 1. Test Standartlarının Karşılaştırılması

Test Standartı	Yıl	Bölge	Ortam Sıcaklığı °C	Soğutucu Bölme Sıcaklığı °C	Dondurucu Bölme Sıcaklık °C
ISO 8561	1995				-6
ISO 15502	2005	ULUSLARARASI	25 ± 0.5	5	-12
IEC 62552	2007		32 ± 0.5		-18
10 CFR 430.3	2004	ABD	32.2 ± 0.6	3,9	-17,8
			32.2 ± 0.6		
CSA C-300-08	2008	KANADA	26.7 ± 0.6	3,3	-9,4
			19.4 ± 0.6	7,2	-15
		AVUSTRALYA ve			
AS/NZS 4474.1	2007	YENİ ZELANDA	32 ± 0.5	3	-15
					-6
					-12
					-18
JIS C 9801	2006	JAPONYA	15 ve 30 ± 1.0	4	-5
				7	-9
					-15
IEC FDIS 62552-1	2014	ULUSLARARASI	16 ± 0.5	4	-6
			32 ± 0.5		-12
					-18



Standartlarda bulunan iklim sınıfı testleri, buzdolabının satılacağı pazara göre farklı iklim sınıflarında olabilir ve iklim sınıflarına uygun olan ortam sıcaklıklarında yapılmalıdır. IEC 62552 standartında belirtilen bu iklim sınıfları Tablo 2’de gösterilmiştir. Testlerdeki cihaz, hedef olan sıcaklık değerlerini sağlamak zorundadır. Çalışmamızı gerçekleştireceğimiz iklim koşulları, buzdolabı tasarımında önemli bir yere sahiptir. Bu, göz önünde bulundurularak Tablo 3’te Trabzon’un yıllık ortalama iklim değerleri verilmiştir [18].

Tablo 2. İklim sınıfları

Cihazın Ortam Sıcaklık Aralığı °C	Bulunduğu İklim Koşulları °C
10 - 32	SN (Alt Ilıman)
16 - 32	N (Ilıman)
16 - 38	ST (Alt Tropikal)
16 - 43	T (Tropikal)

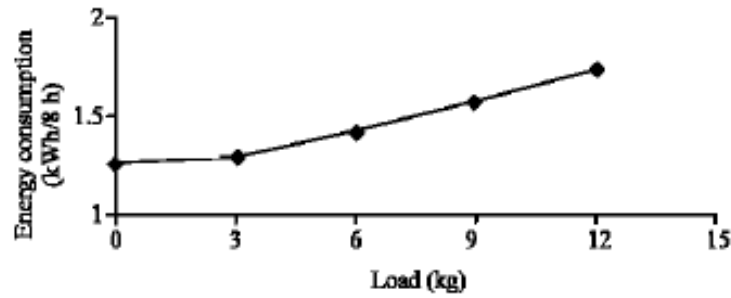
Tablo 3. Trabzon’un Yıllık Ortalama İklim Değerleri

TRABZON	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1970 - 2011)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.3	7.3	8.6	11.9	15.8	20.4	23.2	23.4	20.3	16.5	12.3	9.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.7	10.9	12.3	15.7	19.0	23.5	26.3	26.8	23.9	20.1	16.1	12.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.4	4.3	5.6	8.8	12.8	17.0	20.0	20.4	17.2	13.5	9.3	6.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.7	3.1	3.4	4.2	5.6	6.8	5.8	5.4	4.9	4.3	3.6	2.6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.7	13.1	14.2	15.9	12.6	11.3	8.7	8.7	12.6	14.1	12.8	11.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m <sup>2</sup> )	74.0	61.3	58.6	60.0	51.3	50.1	37.3	46.1	77.6	120.4	100.2	83.7
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1970 - 2011)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.2	26.2	33.1	37.2	37.8	35.9	37.0	34.8	33.2	32.7	30.3	26.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.6	-6.1	-5.0	-2.0	5.4	10.3	13.5	13.8	8.5	3.8	1.0	-3.1

Bir diğer önemli konu ise buzdolabı içerisindeki sıcaklık dağılımıdır. Buzdolabının içindeki gerçek ısı transferi, soğutma sistemi tasarımı ile sağlanmaktadır. Ayrıca bir buzdolabının içi tasarlanarak uygun bir sıcaklık dağılımı elde edilebilir [19]. Sıcaklık

dağılımının uygun şekilde elde edilmesi, gıdaların tazeliğini korumasını sağlar ve bu durum insan sağlığı açısından hayati bir öneme sahiptir [20].

Buzdolaplarında, kabin yüküne bağlı olarak enerji kayıpları söz konusudur. Buzdolabı kapısı açılırken ısınır ve kapandığında tekrar istenen sıcaklıkta soğur. Açma-kapama döngüsü nedeniyle daha fazla enerji kaybına neden olmaktadır. Ayrıca kabin daha fazla yüklendiğinde daha fazla termal yük kazanır ve istenilen sıcaklığı kontrol etmek için kabin yükünün artmasıyla enerji tüketimi artar. Şekil 10'da kabin yükünün enerji tüketimine etkisi gösterilmiştir [21].



Şekil 10. Kabin Yüğü ile Enerji Tüketiminin Değişimi

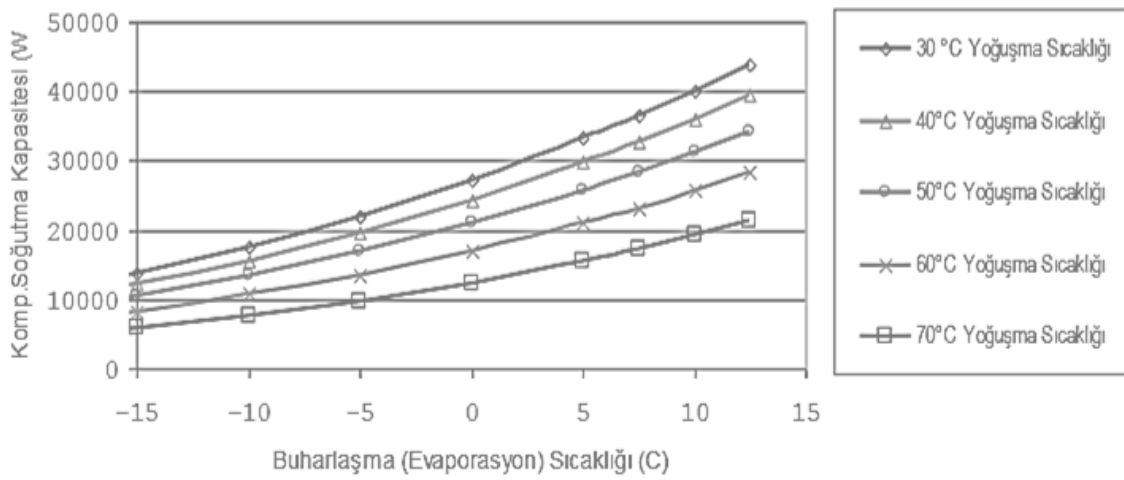
Horuz I. ve Kurem E. tarafından 1998 yılında yapılan deneyler sonucu evaporatörde bulunan kanatların aralığı, havanın hızı ve boru çapı artırıldığında, ısı geçişinin arttığı fakat buzlanma yüksekliği arttığına ise soğutma kapasitesinin düştüğü gözlenmiştir. Tablo 4'te soğutma kapasitesinin kanat aralığı ile farklı hızlardaki değişimi verilmiştir [24].

Tablo 4. Soğutma Kapasitesinin Kanat Aralığı ile Farklı Hızlardaki Değişimi

	Kanat aralığı (mm)	Hava Hız (m/s)		
		0,1	0,3	0,5
Soğutma Kapasitesi (W)	2	147,412	170,466	197,125
	5	68,255	80,128	83,698
	6	60,689	67,967	71,006
	7	55,114	61,076	63,497
	8	48,592	54,681	56,088
	9	45,481	51,220	53,823
	10	40,872	46,096	48,754
	12,5	36,024	40,658	42,096
	15	32,985	38,583	39,960
	kanatsız	16,717	18,349	23,766

Sistemin çalışacağı ortam sıcaklığına bağlı olarak kondenzasyon sıcaklığı seçimi değişmektedir. Bu durumda uygulamalarda genel olarak yoğuşma sıcaklığı 30-60 °C arasında kabul edilmektedir. Yoğuşma sıcaklığı belirlenmesinde göz önüne alınan faktörler: ortam sıcaklığı, soğutucu akışkanın termofiziksel özellikleri, seçilmiş olan kompresörün özellikleri, kondenser boyutlarıdır. Tablo 5’te değişik yoğuşma sıcaklıklarında soğutma kapasitesinin değişimi gösterilmiştir [26].

Tablo 5. Değişik Yoğuşma Sıcaklıklarında Soğutma Kapasitesinin Değişimi



Buzdolabının kullanım alanına göre çeşitli boyutları vardır. Ev tipi buzdolapları, büro tipi buzdolapları ve ticari amaçlı buzdolapları olarak sıralayabiliriz. Her tip buzdolabı için seçilen buharlaştırıcı, yoğunlaştırıcı, motor, kompresör, kılcal borular hem boyut olarak hem de maliyet olarak farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada büro tipi bir buzdolabı tasarlanacaktır. Bunun için teknik şartname incelenmiştir. Ürünüümüz şeffaf kapaklı ve beyaz olacaktır. Hacim olarak 90lt tercih edilmiştir. Ürün içindeki aydınlatma standartları LED ampul şeklindedir ve hareketi algılayınca çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Elektrik girişi yaklaşık 220-240 volt ve 50Hz’dir [27]. Maliyet hesabı daha sonra yapılacak olup dosyada teslim edilecektir.

## **1.4. Temel Kavramlar**

### **1.4.1. Fiziksel Özellikler**

#### **Isı**

Kütlesi ve hacmi olan tanecikli yapılara madde denir. Madde hangi halde olursa olsun maddeyi oluşturan tanecikler (atom veya molekül) hareket halindedir ve bu hareket serbestliği nedeniyle tanecikler kinetik enerjiye sahiptir. Hareket serbestliği maddenin hallerine göre farklılık göstermektedir ve hareket serbestliği en çok gaz halinde görülürken en az katı halde görülmektedir. Doğanın kanunu gereği hareket eden atomlar ısınır ve buna bağlı olarak ısınan taneciklerde hareketlilikte artış olduğu gözlemlenir. Sonuç olarak ısı, taneciklerin kinetik enerjilerinin toplamına eşittir [28,29].

#### **Sıcaklık**

Sıcaklık bir cismin sıcaklığının ya da soğukluğunun bir ölçüsüdür. Isının bir göstergesi olarak da ifade edilebilir. Daha farklı bir biçimde ifade etmek gerekirse bir referans noktasının üstünde veya altında değişen sıcaklık değeridir. Soğutma tekniğinde en çok kullanılan sıcaklık birimleri Celsius (santigrat) ve Fahrenheit'tır [28,29].

#### **Ağırlık**

Ağırlık bir cisme uygulanan kütle çekim kuvvetidir. Ağırlık birimi Newton ve simgesi N'dir [30].

#### **Basınç**

Katı, sıvı ve gazlar ağırlıkları nedeniyle buldukları yüzeye kuvvet uygularlar. Eğer ki bu kuvvet bir yüzey üzerine dik olarak etki ediyorsa, birim alana düşen miktarına basınç denir. Bütün yüzeye dik olarak etki eden kuvvet ise basınç kuvveti olarak isimlendirilmektedir.

Basıncı formül şeklinde yazacak olursak  $P_b = \frac{F}{S}$  şeklindedir. Burada  $P_b$  basıncı, F yüzeye etki eden basınç kuvvetini ve S ise yüzey alanını ifade etmektedir. Basıncın birimi Pascal'dır ( $\text{kg/m}^2$ ) sembolü ise Pa olarak gösterilmektedir. Soğutma tekniğinde genel olarak  $\text{kg/cm}^2$  kullanılmaktadır.

Gazlarda, sıvılarda ve katılarda basınç bulma işlemi farklılık göstermektedir. Katılarda basınç; buldukları zemine uyguladıkları dik kuvvet olan ağırlığın yüzey alanına bölünmesi halinde bulunurken gazlarda basıncın hesaplanması için gerekli olan formül ise  $P_b * V = n * R * T$  şeklindedir. Burada  $P_b$  basıncı, V gazın bulunduğu hacmi, n gazın mol sayısı, R gaz sabiti ( $8.3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}}$ ) ve T Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Maddenin sıvı halinde basıncı ise sıvının ağırlığından dolayı bulunduğu kabın her noktasına uyguladığı kuvvettir. Formül olarak ise  $P_b = h * g * \rho$  şeklindedir. Burada ise  $P_b$  yine basıncı temsil ederken h sıvının yüksekliğini, g yer çekim ivmesini,  $\rho$  yoğunluğu temsil etmektedir [31].

## Hacim

Hacim bir cismin boşlukta kapladığı alandır. Maddelerin hacimleri sıcaklık ve basınçla değişebilir. SI birim sistemine göre temel hacim birimi metreküptür ( $\text{m}^3$ ) fakat sıvı ve gazlarda hacim birimi olarak genellikle  $\text{m}^3$  değerine eş değer olan litredir (l). Pratikte maddelerin hacmini ölçmek için  $\text{m}^3$ 'ün alt katları olan  $\text{cm}^3$  ve  $\text{dm}^3$  kullanılır. Soğutma tekniğinde ise genellikle  $\text{cm}^3$  kullanılmaktadır [32].

## Özgül Isı

Özgül ısı, öz ısı ya da ısınma ısısı şeklinde adlandırılabilir. CGS birimlerine göre bir maddenin 1 gramının sıcaklığı  $1^\circ\text{C}$ , SI birimine göreyse 1 kilogramının sıcaklığını 1K arttırmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarına özgül ısı denmektedir. Özgül ısı maddenin bulunduğu fiziksel hal, basınç ve sıcaklığa göre az da olsa değişim göstermektedir. Öz ısı birimi kullanılan birim sistemine göre  $\frac{\text{J}}{\text{gK}}$ ,  $\frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}$  veya  $\frac{\text{Cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$  vb. şekillerde olabilir [33].

## Entalpi

Entalpi maddenin yapısında depoladığı her türden enerjinin toplamıdır. Entalpi maddenin miktarına, fiziksel haline, basıncına ve ortamın sıcaklığına bağlıdır ve  $\Delta H$  ile simgelenir. Maddelerin entalpilerinin hesaplanması oldukça zordur bu yüzden genellikle entalpi çalışmalarında maddenin değiştirilebilen ısı potansiyelinin kapsadığı termal entalpiler kullanılır. Formüsel olarak  $\Delta H=U+P*\Delta V$  şeklinde ifade edilir. Buradaki  $\Delta H$  maddenin entalpi değişimini,  $U$  maddenin iç enerjisini,  $P*\Delta V$  ise maddenin sahip olduğu toplam potansiyel enerjiyi göstermektedir. Entalpi maddenin miktarına, fiziksel haline, basıncına ve ortamın sıcaklığına bağlıdır.  $\Delta H (+)$  işaretli ya da  $\Delta H>0$  ise olay endotermiktir. Fakat  $\Delta H (-)$  işaretli ya da  $\Delta H<0$  ise o olay ekzotermiktir [34].

## Entropi

Entropi fizikte bir sistemin mekanik işe çevrilemeyecek termal enerjisini temsil eden termodinamik terimidir. Genellikle bilim insanları düzensizliği entropi adı verilen nicelik ile ölçerler. Sistemlerdeki düzensizlik arttıkça faydalı yani faydalı enerji miktarı azalır. Bütün enerji değişimlerinde çevre ile sistemin entropi değişimlerinin toplamı daima pozitifdir. Bu da evrendeki entropinin sürekli artmasına sebep olur. Termodinamiğin ikinci yasasına göre ise entropi şu şekilde ifade edilir;

$dS = \frac{dQ}{T}$  Formülündeki  $Q$  tersinir sistemler içindir. Tersinmez olaylar için  $Q$ 'yu tersinir  $Q$ 'ya çevirmemiz gerekmektedir. Buradaki  $dS$  çevredeki entropi değişimini,  $T$  ısının transfer edildiği yerdeki sıcaklığı ve  $Q$  ise sistemin ısı içeriğini temsil etmektedir [35].

## Isıl Geçirgenlik Katsayısı

Yapılarda ve soğutucu tarzı makinelerde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla ısı yalıtımı önemli bir yere sahiptir. Isı yalıtımı için hesaplanması gereken ısıl geçirgenlik katsayısı ya da başka bir deyişle ısıl iletim katsayısı bir malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğinin göstergesidir ve birimi  $W/mK$ 'dir. Bu değer her malzeme için farklı bir değere sahiptir ve bir malzemenin ısıl iletkenlik hesap değeri ne kadar küçükse, ısıyı o kadar az ilettiği bilinen bir gerçektir [36].

## **Isıl Köprü**

Isı köprüleri ortalama ısı iletiminden çok daha yüksek ısı iletiminin olduğu bölgelerdir. Dolayısıyla ısı köprülerinin bulunduğu bölgeler de ısı yalıtımı zayıftır. Yapılan deneyler sonucunda ısı köprüsü oluşan bölgelerde enerji maliyetinin artması, buharın yoğunlaşması sonucu küflenme meydana gelmesi, bu bölgelerde toz ve kir birikmesi gibi olumsuzluklar oluşturur. Isı köprüsü üç şekilde meydana gelmektedir. Bunlar; geometriye bağlı ısı köprüsü, malzemeye bağlı ısı köprüsü ve konvektif ısı köprüsüdür.

Genellikle inşaat sektöründe karşımıza çıkan ısı köprüsünün bizim çalışmamızdaki önemi ısı kayıplarıdır. Bu kayıpların sebebi ise seçilen malzemenin veya elemanın geometrisi olabileceği gibi, çoğunlukla farklı ısı iletkenliğine sahip malzemelerin bir arada kullanılmasından kaynaklanmaktadır [37,38].

## **Doyma Sıcaklığı**

Belirli bir basınçta saf maddenin ısıtılması ile buharlaşmaya başladığı sıcaklık doyma sıcaklığı olarak adlandırılır. Buharlaşmanın başlangıcı olan bu duruma doymuş sıvı durumu denir. Buharlaşma başladıktan sonra, sıvının tamamı buharlaşmadan faz değişimi olmaz. Yoğuşma sınırında olan bu buhara ise doymuş buhar denir. Bundan sonra ısıtma sürdürülürse sıcaklık artar. Yoğuşma sınırında olmayan bu buhara kızgın buhar denir [39].

## **Doyma Basıncı**

Bilinen bir sıcaklıkta, saf maddenin kaynama başladığı basınç değerine doyma basıncı denilmektedir [39].

## **Yoğuşma**

Yoğuşma, havanın içinde bulunan su buharının, ortam sıcaklığı ve nem miktarına bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklıktan daha düşük sıcaklıktaki bir yüzeye temas etmesiyle meydana gelen hal değişimidir.

Isı yalıtımı yapılmazsa ya da ısı yalıtımı yetersiz yapılırsa yoğuşma buzdolabının yüzeyinde oluşur. Yoğuşmayı önlemek için; doğru ısı yalıtım malzemesi seçilmeli, yalıtım kalınlığı doğru hesaplanmalı ve yalıtımda ısı köprüleri oluşmamalıdır [40].

## İş

Kuvvetin cisim üzerine etki etmesi sonucu kuvvetin uygulandığı yönde meydana gelen değişiklik sonucunda cisim iş yapmaktadır. İşin birimi 'joule'dür [41].

## Güç

Yapılan bir işin geçen süre ile oranına güç adı verilmektedir. Birimi  $\frac{\text{Joule}}{\text{saniye}}$ 'dir. Formül olarak ifade etmek gerekirse;

$P_g = \frac{dE}{dt}$  şeklindedir. Bu formüle göre P gücü, dE işi ve dt zamanı temsil etmektedir[42].

### 1.4.2. Termodinamik Yasaları

Yunan kökenli termodinamik kelimesi ısı anlamına gelen termo ve güç anlamına gelen dinamik kelimelerinin birleşmesi ile oluşmuştur. Isıyı işe dönüştürmek için yapılan çalışmalar sonucu termodinamik bilim dalı olarak ortaya çıkmıştır. Termodinamik çalışmaları boyunca yapılan deneyler sonucunda dört temel yasa olarak günümüzde kullanılmaya devam etmektedir [43].

#### Termodinamiğin Sıfıncı Yasası

Tarihsel olarak en geç bulunan yasa olmasına rağmen diğer yasalarla bağlantılı olduğu için sıfıncı yasa olarak kabul edilmiştir. Bu yasa termal denge kavramına dayanmaktadır. Bu kavrama göre iki ayrı cisim birbiriyle ısı dengedeysen bir üçüncüsü eklendiğinde de birbirleriyle ısı dengede olmaya devam ederler prensibine bağlıdır. Yani bu cisimler arasında ısı alışverişi olduğunun göstergesidir [44]. Isı akışının sıcaktan soğuğa doğru olur ve bunun temel nedeni: Sıcaklık atomlardaki elektronların kinetik enerjisi ile alakalıdır.



Elektronlar, her aman temel enerji seviyesinde olacak şekilde davranırlar. Bu yüzden kinetik enerjinin fazlasını aktarma ve tekrar eski seviyesine dönmeye çalışırlar. Sıcaklık malzeme içindeki atomların titreşmesi ile iletilir. Dolayısıyla ısı akışı, sıcak cisimden soğuk cisme doğrudur [45].

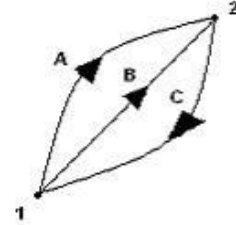
### Termodinamiğin Birinci Yasası

Termodinamiğin birinci yasadını ifade etmek gerekirse: “Enerji var iken yok, yok iken var edilemez, ancak bir halden diğeri bir hale dönüştürülebilir.” Bu yargıya göre sistem ya da madde enerji kazanırsa bu enerji dışarıdan gelmek zorundadır [44].

Bir sistemin iç enerjisi, sisteme verilen ısı ve çevre tarafından uygulanan işin toplamıdır.

$$U_2 - U_1 = Q + W$$

Bu formüldeki  $U_2 - U_1$  sistemdeki iç enerji değişimini, Q çevrim boyunca net ısı alışverişini ve W çevrim boyunca net iş alışverişini sembol etmektedir.



Sistemin herhangi bir hal değişimindeki enerjisi de;

$$Q_{1-2} - W_{1-2} = E_1 - E_2 = (U_1 - U_2) + \frac{1}{2} * m(V_2^2 - V_1^2) + m * g * (h_2 - h_1)$$

Buradaki  $Q_{1-2}$  sistemin hal değişimindeki ısı alışverişini,  $W_{1-2}$  sistemin hal değişimindeki iş alışverişini,  $E_1$  sistemin ilk haldeki enerjisini,  $E_2$  sistemin son haldeki enerjisini, m kütlesini, V hızını, g yer çekim inmesini ve h yüksekliği temsil etmektedir.[45]

### Termodinamiğin İkinci Yasası

Termodinamiğin ikinci yasadını, hal değişimlerinin herhangi bir yönde değil de sadece belirli bir yönde gerçekleşebileceğini belirtir. Ayrıca bu yasa entropi olarak isimlendirilen kavramı tanımlamaktadır. Sistem ve çevresindeki entropi değişimi ya “sıfır” ya da “pozitif” olmalıdır [43]. Ayrıca bu yasa enerjinin korunumu olarak da bilinir [45].

## Termodinamiğin Üçüncü Yasası

Bu yasa sonucunda öğreniriz ki bir maddeyi mutlak sifira kadar soğutmak imkânsızdır. Mutlak sıfır noktası cisimlerin entropisini tanımlamak için konulmuş olası en düşük sıcaklıktır. Gerçek hayatta ise sıcaklık mutlak sifira doğru yaklaşırken, entropi sifirdan farklı bir değer olur [46]. Laboratuvar ortamında yapılan mutlak sifira yaklaşım çalışmalarını sonucu en fazla  $2,0 \cdot 10^{-8}$  K sıcaklığına kadar düşüş elde edilmiştir fakat henüz mutlak sifira ulaşlamamıştır [44].

### 1.5. Buzdolabında Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler

Okul zamanlarından da öğrenildiği gibi ve basit bir anlatımla enerji, bir sistemin iş yapma kapasitesidir ve enerji birçok biçimde var olmaktadır. Örneğin; kimyasal enerji, ısı enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi, nükleer enerji vb. şeklinde sıralanabilir. Buzdolabı tasarımında kullanılan enerji türü ise elektrik enerjisidir. Bu yüzden elektrik enerjisini tanımlayacak olursak, atom etrafındaki pozitif yüklü ve negatif yüklü elektronlar arasındaki çekme ve itme kuvvetinin oluşturduğu enerjidir. Elektrik enerjisi üretmek için, güneş enerjisinden, rüzgâr enerjisinden, hidroelektrik santrallerinden ve biokütle enerjisinden yararlanılmaktadır.

Enerji, ülkelerin sosyal gelişimi, ekonomik gelişimi ve toplumsal refahın yükseltilmesinde çok önemli yere sahiptir. Elektrik enerjisi tüketimi bakımından bakılacak olursa Türkiye gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığı zaman oldukça düşük elektrik enerjisine sahip olmakla beraber, enerji talebi ise günden güne hızla artmaktadır. Ülkemizde geçmiş yıllara göre elektrik üretiminde artış olmasıyla beraber hala dışa bağımlılık tükenmemiştir.

Tablo 6. Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi [47]

ÜLKELER	KİŞİ BAŞINA TÜKETİM (kWh)
Dünya ortalaması	2.500
Gelişmiş Ülkeler Ortalaması	8.900
ABD	12.322
Türkiye	2.791

### 1.5.1. Çevresel Etkiler

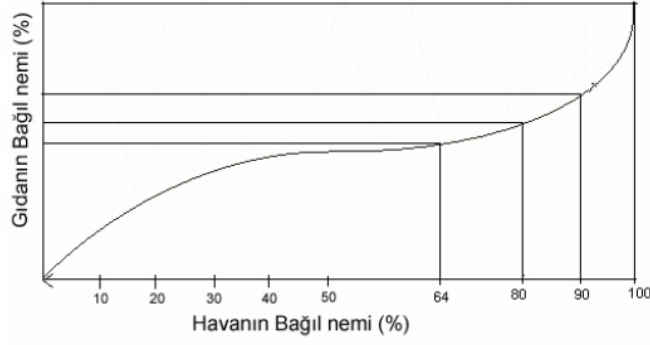
Enerji tasarrufu sağlamak için üretilen buzdolapları çevresel faktörlere, modelin tasarımına ve kullanımına bakılmalıdır.

#### Oda Sıcaklığının Etkisi

Küresel toplumun sera gazı emisyonları konusunda doğaya verdiği zarara karşılık olarak düşük enerji tüketen buzdolapları üretmek hedef haline gelmiştir. Sera gazları hem doğal yollarla hem de insani faaliyetler sonucu doğaya salınmaktadır. İnsan kaynaklı sera gazlarının en temel kaynağı ise fosil yakıtların (kömür, petrol, gaz vb.) elektrik üretilmesinde kullanımı üzerine karbondioksit ( $CO_2$ ) oluşumudur.[48] Sera gazlarının bu etkisini azaltmak için geleneksel bir yaklaşım olarak buzdolabının her bir parçasında (buharlaştırıcı, kondansatör, evaporatör vb.) termodinamik performansı iyileştirmek öncelik kazanmıştır. Bunu yanı sıra soğutma ünitelerinde de performansı iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Enerji verimliliği aynı zamanda buzdolabının contalarındaki ısı transferlerinden de meydana gelmektedir [49]. Isı transferleri cidarlardan çevreye iletim ile gerçekleşmektedir. ASHRAE (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği) göre buzdolabının hesaplanan soğutma yükünün %60-70'i buzdolabının cidarlarından sağlanmaktadır. Oda sıcaklığı ile buzdolabının içindeki sıcaklık arasındaki fark arttıkça soğutma yükü artar. Bu yüzden buzdolaplarının bulunduğu odanın sıcaklığı büyük öneme sahiptir [50].

#### Bağıl Nemin Etkisi

Bağıl nem, havada bulunan su buharının kısmi basıncı ve aynı sıcaklıktaki suyun denge buhar basıncına oranıdır. Başka bir deyişle havanın belirli sıcaklıkta kaldırabileceği nem miktarının yüzde değeridir [51]. Buzdolaplarında kapının açılıp kapanmasıyla birlikte içeri nemli hava buharı girmekte ve bu hava evaporatörde yoğunlaşmaya başlamaktadır. Bu durum buzdolabında karlanmaya oluşumuna sebep olur. Karlanma olayı evaporatörde meydana gelen ısı transferini olumsuz etkiler. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için belirli aralıklarla defrost yapılır [50]. Şekil 11 incelendiğinde havanın bağıl nemi artmaktadır bu da bağıl nem oranına bağlı olarak yüzeyde mikroorganizmalar oluşmasına sebep olabilir.



Şekil 11. Gıdanın Nemi (%) ile Havanın Bağıl Nemi (%) Arasındaki İlişkiyi Gösteren Sorbsiyon İzotermi [53]

### 1.5.2. Tasarım İle İlgili Faktörler

#### Yalıtım Malzemesi

Buzdolabı için kullanılan yalıtım malzemesi ve bu malzemenin ısı iletim katsayısı oldukça önemlidir. Bu yüzden buzdolaplarında genellikle vakum yalıtım panelleri ya da poliüretan adlı köpük kullanılmaktadır. Bazı buzdolaplarında ısı kayıplarını daha az indirmek için vakum yalıtım panellerinin aralarına poliüretan sürülerek yalıtımı iyileştirmişlerdir [54]. İzolasyon yani yalıtım kalınlığı arttıkça buzdolabının verimliliği artmaktadır. Birçok firma genelde yalıtım kalınlığını 10 cm olarak ayarlamaktadır [50].

#### Defrost Sistemi

Soğutma yüzeylerinde meydana gelen karlanma olayının giderilmesi işlemine defrost denir. Hava soğutmalı olarak çalışan sistemlerde sürekli karşılaşılan bir durumdur. Bunun nedeni hava sistemin yüzeyinde nem oranının doygunluk derecesine ulaşması sonucunda su buharının bir kısmı yüzeyde kalır. Su buharı yüzeyde donmaya sebep olur. Bu olayın devam etmesiyle birlikte soğutma yüzeyinde donmadan dolayı meydana gelen tabaka giderek daha da kalınlaşmaya başlar. Oluşan bu tabaka da ısı transferinin geçişi zorlaştırır ve hatta engellemesine neden olur. Günümüzde kullanılan beş çeşit defrost yöntemi vardır. Bunlar hava ile defrost, su ile defrost, elektrikle defrost, refrijerant buharı ile defrost ve sürekli defrost yöntemidir [55].

Buzlanma oluşumu nedeniyle buzdolaplarına eklenen defrost ısıtıcı sistemi dolap içerisindeki sıcaklığın artmasına sebep olur. Artan sıcaklık sebebiyle soğutucuda saklanan gıda malzemelerinin bozulmasına yol açmaktadır. Soğutma yükünün hesaplanmasında genellikle defrost ısıtıcı sisteminden kaynaklanan ısı transferi görmezden gelinen bir olaydır [50].

### **Soğutucu Akışkan Özellikleri**

Soğutucu akışkanın termodinamik ve fiziksel özellikleri enerji tüketimi açısından önemlidir. Soğutucu akışkanın özelliklerini sıralamak gerekirse:

- 1) Buharlaşma gizli ısısı ne kadar yüksek seçilirse gaz o derece akışkan olacaktır.
- 2) Yanıcı, patlayıcı ya da zehirli olmamalıdır.
- 3) Viskozitesi düşük seçilmelidir.
- 4) Isı iletkenlik katsayısı yüksek seçilmelidir [56].

### **Buharlaştırıcı Dizaynı**

Evaporatör bir tür soğutucu çeşididir. Evaporatörler yapısal olarak; iyi bir şekilde buharlaşmayı gerçekleştirmeli, soğutucu maddenin ısınısını ısı geçişini iyi sağlayacak şekilde ayarlamalı, refrijerantın giriş ve çıkıştaki basınç kayıplarını olması gereken seviyede tutmalıdır. Buharlaşmayı ve ısı geçişini iyi ayarlamak zordur çünkü kılcallık fazla olduğundan ötürü kolay ısınır ve basınç kayıpları artar [57].

### **Süper X-Flow Sensör**

Bu sensör; kapının açılma sıklığını, gıdaların üzerindeki sıcaklığı ve buzdolabının içine üflenmesi gereken hava miktarına karar vermeye yaramaktadır [50].

### **1.5.3. Kullanım Faktörleri**

#### **Buzdolabı Duvar Mesafesi**

Buzdolabı ve duvar arasında kullanım kılavuzlarının yazdığına göre 10-15 cm'lik bir mesafe bırakılmalıdır. Bunun nedeni buzdolaplarında ısının dışarı atılması dolabın altından ya da arkasından sağlanmasıdır. Yeterli açıklık bırakılmadığı takdirde hava sirkülasyonu tam olarak gerçekleşmez ve bu sebeple kondenser ısıyı iyi bir şekilde dışarı atamaz. Bu durum hem buzdolabının parçalarına zarar verir hem de enerji tüketimini artırır [50].

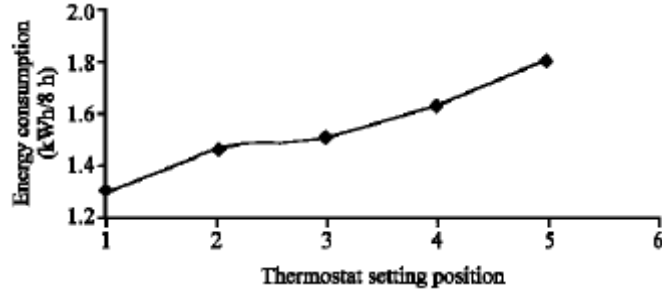
#### **Buzdolabının Isı Kaynaklarına Uzaklığı**

Buzdolapları fırın, soba, kalorifer ve diğer ısı kaynaklarına yakın mesafe olmamalıdır. Ayrıca güneş ışığını da az alan bölgede olmalıdır. Çünkü gelen sıcak hava buzdolabının daha çok çalışmasına neden olacaktır. Buzdolapları doğru yere koyuldukları zaman oransal olarak %10-20 enerji tüketimi azalmaktadır [50].

#### **Buzdolabı ve Dondurucu Sıcaklığı**

Şekil 12'de gösterildiği üzere buzdolaplarında bulunan termostatların sıcaklık değerlerini arttırmak yani sıcaklığı yüksek dereceye ayarlamak enerji tüketimini azaltır. Termostat yapısı gereği ısı değiştikçe hareket eden bir araçtır. Sıcaklıktaki değişim, termostattaki duyarlı parçayı etkileyerek elektrik ve basınç sinyali gönderir ve bu sayede soğutma veya ısıtma sistemlerinde kontrolü sağlanmış olur [58].

Oda sıcaklığında ya da normal derecesinden daha az soğutan arızalı buzdolaplarında, bu durum yiyeceklerin çabuk bozulmasına ve zarar görmesine neden olmaktadır. Aynı şekilde dolabın gereğinden soğuk olması da yiyecek depolanmasını iyileştirmemektedir. Dolabın iç sıcaklığının çok düşük olması durumunda ortam ile dolap arasındaki sıcaklık farkı artmaktadır. Bu durum sonucu ısı transferi meydana gelmektedir ve buzdolabına ekstra bir termal yük uygulanmış olur. Ayrıca buzdolabının iç sıcaklığının düşmesi; soğutma yükünü ve dolap içindeki nemi arttırmaktadır. İstenilen sıcaklığı korumaya çalışırken buzdolabının kompresörü daha çok açılıp kapanır yani kompresörün çalışma süresi artar. Bu durum daha çok enerji sarf etmeye neden olmaktadır.



Şekil 12. Buzdolabının Termostat Ayar Konumu ile Enerji Tüketiminin Değişimi [58]

### Kapı Açma Kapama

Buzdolabı ve soğutucu gibi ürünlerde kapının açılıp kapanması ile gerçekleşen ısı ve nem transferi ayrıca havada meydana gelen değişim nedeniyle enerji tüketmektedir. Buzdolabının içerisine giren nemli ve sıcak hava sebebiyle içerideki buhar soğumaktadır ve zamanla donmaktadır. Donmanın eritilmesi için çoğu buzdolabında bulunan defrost sistemi devreye girmektedir. Buzdolabı kapısının açılıp kapanmasıyla bu işlem sürekli tekrarlanır ve bu sebeple buzdolabı iki kat daha fazla enerji tüketmiş olur [59].

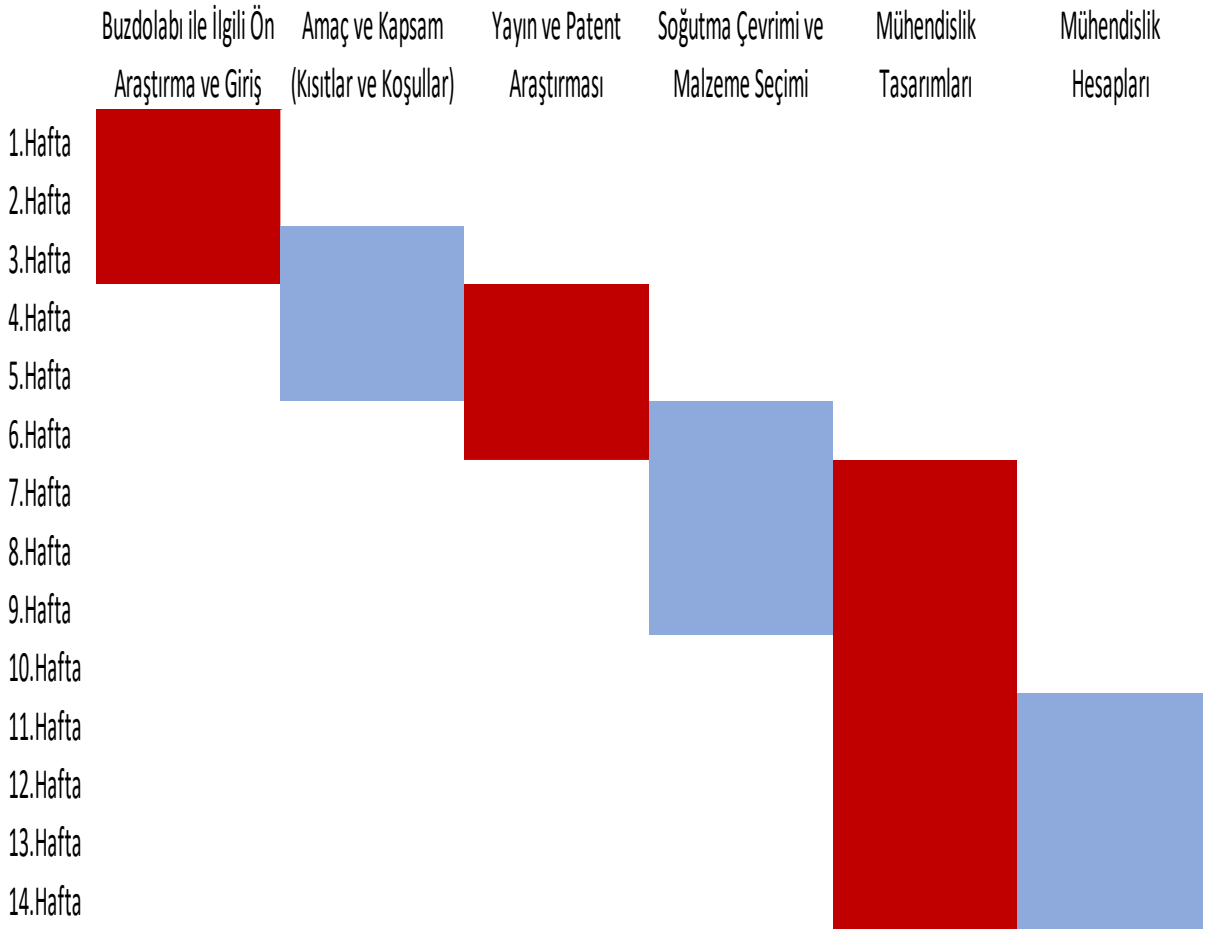
Kapı açılıp kapanmasının bazı etkilerini sıralarsak:

- Buzdolabının iç yüzeylerindeki soğuk havayla birlikte kapının da açılmasıyla beraber dışarıdan gelen sıcak hava arasında konveksiyonla ısı transferi gerçekleşir. Konveksiyonla ısı transferini açıklayacak olursak bir akışkanın ısıtıldıktan sonra ısı kaynağından uzaklaştırılmasıyla birlikte termal enerjinin de taşınması olayıdır.
- Nemli hava içerisinde bulunan buharın yoğunlaşmasıyla beraber gizli ısı transferi meydana gelmektedir. Gizli ısı, cismin ya da maddenin sıcaklığında bir değişim oluşturmayan ancak fiziksel halini değiştiren ısı çeşidine denmektedir.
- Buzdolabının kapısını açık tuttuğumuz süre boyunca çevre ile dolap arasında radyasyonla ısı transferi olur. Radyasyonla ısı transferi, elektromanyetik dalgaların yayılması ile oluşmaktadır. Bu dalgalar sayesinde enerji yayıldığı nesneden uzaklara taşınmış olur.
- Kapı kapandıktan sonra ise içeri giren nemli hava soğumaya başlayınca kadar duyulur ısı transferi meydana gelmektedir. Duyulur ısı, herhangi bir cismin sıcaklığını değiştirmek için verilen veya alınan ısı miktarına denmektedir [50].

## Periyodik Bakım

Buzdolaplarında her bir parça için ayrı ayrı aylık ve yıllık bakımlar yapılmalıdır. Yapılan bu bakımlar sayesinde buzdolabının kullanım ömrünü uzamış olacak ve verimliliği artacaktır [50].

## 2. HAFTALIK ÇALIŞMA PROGRAMI





### 3. SOĞUTMA VE ESASLARI

Soğutma, bir maddenin veya ortamın soğutulma amacına uygun olarak istenen seviyede ısısının alınması işlemidir. Buradan anlaşılacağı üzere problem tam anlamıyla bir ısı problemi değildir. Soğutmayı açıklamak için ısı, gizli ısı, sıcaklık, termodinamik kanunları, entalpi, entropi gibi bazı termodinamik kavramların bilinmesi gerekir. Bunlar temel kavramlar bölümünde açıklanmıştır [62].

Termodinamiğin ikinci yasası işlemlerin belirli bir yönde gerçekleşeceğini ifade etmektedir. İfade ısı problemine indirgenirse; ısı ancak sıcak bir maddeden soğuk bir maddeye geçecek ve aksi kendiliğinden gerçekleşmeyecektir. Buna bağlı olarak soğutma için bir makinenin gerekli olduğu ve termodinamik kurallar çerçevesinde bir çevrime göre çalıştığı anlaşılmıştır. Günümüzde de bu teknikle endüstriyel işlemler, soğuk muhafaza veya konfor gibi farklı amaçlarla soğutma makineleri kullanılmaktadır.

#### Soğutmanın Kısa Tarihçesi

Soğutma işleminin anlatıldığı şekilde gerçekleştiği günümüze kadar hangi aşamalardan geçtiğinden bahsetmek gerekirse insanoğlu ilk başlarda genel olarak buz ile soğutmaya yönelmiş ve fiziksel anlamda soğutma işlemini ilk defa Çinlilerin kullandığı kabul edilmiştir. Çinliler donmuş göllerin buzlarını kırarak geniş kuyularda sıkıştırmış ve yazın sıkıştırılmış buz kalıplarını kullanmışlardır.

Romalılar ve Yunanlılar soğuk su ihtiyaçlarını büyük küplere doldurdukları suyu toprağa gömerek gecenin soğüğünden faydalanarak karşılamışlardır.

1775 yılında Glasgow Üniversitesi profesörü William Cullen eline sürdüğü eterin hissettirdiği serinlikten hareketle vakum prensibine dayanan bir buz makinası tasarlamış ve imal etmiştir. Ancak pahalı ve büyük boyutlu olması sebebiyle sanayiye girmemiştir.

1834 yılında Jacop Perkins adındaki Amerikalı mühendis otuz yıl aynı prensiple çalışan pratik buz yapma makinesi geliştirmiştir.

1885 yılında Fransız Ferdinand CARSE absorpsiyon sistemini bulmuştur.

1886 yılında WINDHUSEN -80 derece soğukluğa varan ve karbondioksit gazı ile çalışan tesisat geliştirmiştir. Gelişmeler üzerine evlerde yine buzla gıdaların muhafaza edilmesi amacıyla tahtadan buz dolapları yapılmıştır.

Buz ile soğutmanın gerek boyut gerekse zaman bakımında çoğu kez pratik ve ucuz bir soğutma sağlamayacağı gerçeği mekanik bir soğutma sistemini gerekli kılmış ve bu anlamda ilk küçük buzdolabı termostatsız olarak 1910 yılında J.M. Larsen Şirketi tarafından imal edilmiştir. Ancak termostatının olmaması kullanımını güçleştirmiştir.

1913 yılında Kelvinatör şirketi ilk termostatlı dolabı yapmış ve satışa sunmuştur.

Soğutma sanayinde ilk zamanlar karbondioksit, hava, su, amonyak gibi maddeler kullanılmış ardından zamanla yapay olarak elde edilen soğutucu maddeler geliştirilmiştir. 1930'da R-12 gazı bulunarak kloroflorokarbon (CFC) soğutucuların temeli atılmıştır. Günümüzde de soğutma maksadı ile en çok kullanılan soğutucu akışkan R-12 (freon 12)'dir.

Bunun dışında 1935'te hidrokloroflorokarbon (HCFC) kökenli R-22 soğutucu akışkanı bulunmuş ve bu türdeki akışkanlar geliştirilmiştir. 1989'da ozon tabakasına zarar vermeyen R-134 A ve R-123 soğutucu akışkanları bulunarak hidrokloroflorokarbon (HFC) kökenli akışkanlar geliştirilmiştir. Günümüze yaklaşıldığında soğutma teknolojisi her geçen gün daha da gelişmektedir.

1990'lı yılların başında ikili ve üçlü alternatif soğutucu akışkan karışımları geliştirildi. Günümüzde en sık kullanılan soğutucunun R-12 (freon 12) olmasıyla birlikte soğutma teknolojisi sürekli gelişmektedir [63].

### **3.1. Isı Makinaları, Isı Pompaları ve Soğutma Makinaları**

#### **Isı Makinaları**

Isı makineleri isminden de anlaşılacağı üzere ısı veren makinelerdir. Isı enerjisini sıcak ortamdan soğuk bir ortama taşıma prensibine dayanmaktadır. Isı enerjisinin taşınması işleminde enerjinin bir kısmı mekanik işe dönüşmektedir. Esasında ısı makinelerinde amaç tam da budur. Isı enerjisinden faydalanılarak mekanik iş elde etmek. Bu işlem bir çevrim halinde devam etmesi mekanik soğutma işleminin açıklanmasına yardımcı olacağından açıklaması gerektiği düşünülmüştür. Çevrim, sistemdeki akışkanın gerekli işlemlerden geçerek başladığı noktaya aynı şekilde dönmesi ile olmaktadır. Genellikle ısı makinelerindeki sistemlerde sistem içerisinde ve sistemle çevre arasında ısı iletimi bir sıvı ile yapılmaktadır. Sistemde kullanılan bu akışkana aracı akışkan olarak tanımlanmaktadır. Çevrimin bir bölümünde aracı akışkan iş yaparken başka bir bölümünde üzerine iş yapılır. Bu sayede ilk haline dönmesi sağlanmaktadır. Çok sayıda ısı makinesi

bulunmaktadır. Buhar kazanları ısı makinalarına iyi bir örnektir. Aşağıda ısı makinalarının ortak özellikleri verilmiştir.

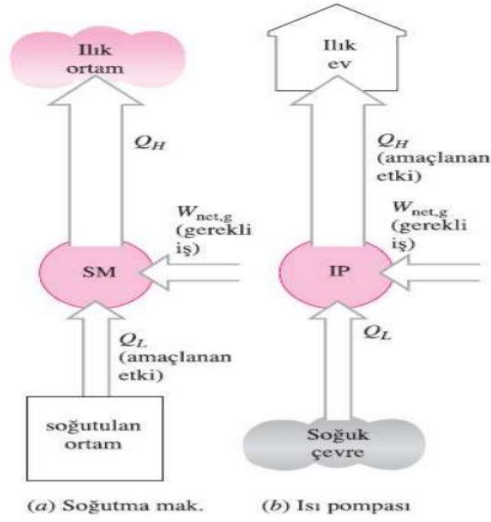
- Isı makineleri bir çevrimden oluşturmaktadır
- Isı makinelere ısı kaynağı yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından ısı alır
- Isı makineleri dışarıdan ısı yoluyla aldıkları enerjinin ancak bir kısmını mekanik enerjiye çevirebilmektedir.
- Çevrimin gerçekleşebilmesi için ısı makineleri yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından aldıkları ısıyı düşük sıcaklıktaki bir ısı kaynağına vermektedirler. Aksi halde çevrim gerçekleşmeyecektir [64].

### **Soğutma Makinaları**

Isı makinaları ısı alışverişini her zaman sıcaktan soğuğa doğru gerçekleştirmektedir. Bunun aksinin kendiliğinden gerçekleşmeyeceğinden önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Aksi durumun gerçekleşmesi için yani ısı geçişinin soğuktan sığa doğru gerçekleşebilmesi için kullanılan makineler soğutma makinelere dir. Soğutucu madde de genel olarak bir akışkan olduğundan, soğutma makinalarında kullanılan akışkanlara soğutucu akışkan denmektedir. Soğutma makineleri bir soğutma çevrimine göre çalışır. Bir soğutma makinesinin genel çizimi Şekil 13.a'da gösterilmiştir. Burada  $Q_L$  soğutulan ortamdaki çekilen ısı,  $Q_H$  ise daha sıcak ortama verilen ısıdır.  $T_L$  soğutulan ortamın sıcaklığı,  $T_H$  ılık ortamın sıcaklığı ve  $W_{net,g}$  çevrimde dolaşan akışkan üzerinde yapılması gereken sıkıştırma işini göstermektedir.

### **Isı Pompaları**

Düşük sıcaklıktaki bir ortamdaki, daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi, ısı pompası aracılığıyla da gerçekleştirilebilir. Soğutma makinaları ve ısı pompaları arasındaki fark da budur. Kullanım amaçları farklıdır. Soğutma makinesinin amacı, soğutulan bölgeyi çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta tutmaktır. Daha yüksek sıcaklıktaki ortama ısı verilmesi sadece çevrimin tamamlanmasının bir gerekliliğidir. Isı pompasında ise amaç, ısıtılan bir ortamı istenilen sıcaklıkta tutabilmektir. Bunun için düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan çekilen ısı, daha yüksek sıcaklıktaki ortama verilir. Isı pompalarına iyi bir örnek klimalardır. Şekil 13.b'de bir ısı pompasının şematiği verilmiştir [64].



Şekil 13. Soğutma Makinası ve Isı Pompasının Şematik Görünümü [65]

Şekil 13'ten de anlaşıldığı gibi soğutma makinesinin (SM) amacı soğutulan ortamdaki ısıyı çekmektir ( $Q_L$ ); ısı pompasının (IP) amacı ise ılık ortama ısı vermektir ( $Q_H$ ).

Bir soğutma makinesi veya ısı pompasının ısı değerlendirilmesi, etkinlik katsayısı (COP) ile yapılır. Etkinlik katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$COP_{SM} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_L}{W_{net,giren}}$$

$$W_{net,giren} = Q_H - Q_L \quad (kj)$$

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{net,giren}}$$

$$COP_{SM} = \frac{Q_H}{Q_L - Q_H} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

## 3.2. Soğutma Çevrimleri

### Çevrimin Gerekliliği

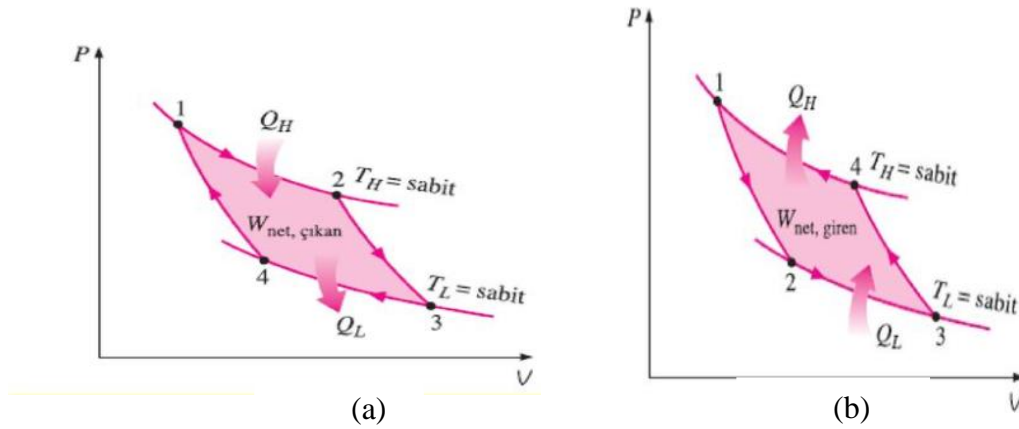
Soğutma için akla ilk gelen madde buzdur. Soğutma uygulamasının ilk dönemlerde başlarında buz ile sağladığı ve bu yöntemin hem pahalı hem de pratik olmadığı artık bilinmektedir. Bunun yanı sıra kolonya veya eter gibi vücudumuza sürdüğümüzde alkol vücut ısımızdan bir miktar alarak buharlaşması şeklinde açıklanabilir. Herhangi bir mekan da bu şekilde soğutulabilir. Ancak bu durum da fazla miktarda alkol gerektirecek ve atmosferi kirleteceği gibi ekonomik de olmayacaktır. En önemli sebep de ısının soğuk bir ortamdan sıcak bir ortama kendiliğinden aktarılamayacağı gerçeğidir. Dolayısıyla tıpkı kolonya örneğinde olduğu gibi ısının alınması için bazı özelliklere sahip bir akışkan kullanılması ve ekonomik olması açısından da bir çevrim boyunca hareket etmesi gerektiği anlaşılmaktadır [66].

### Ters Carnot Çevrimi ve Soğutmanın Temelleri

Carnot Çevrimi, 1824 yılında Fransız fizikçi Sadi Carnot tarafından teorik bir termodinamik çevrimi olarak ileri sürülmüştür. Öncelikle tersinir bir çevrim, tersinmezliklerin engellenemeyeceği gerçek çevrimin üst sınırını belirleyeceği bilinmelidir. Bu nedenle Carnot çevrimi, gerçek bir termodinamik çevrim değil, teorik bir döngüdür. Ancak bu mükemmel çevrimler gerçek çevrimler için başlangıç noktası oluştururlar.

Carnot çevrimi ikisi sabit sıcaklıkta ikisi de adyabatik olacak şekilde dört hal değişiminden oluşur. Bunlar sırasıyla tersinir sabit sıcaklıkta genişleme, tersinir adyabatik genişleme, tersinir sabit sıcaklıkta sıkıştırma ve tersinir adyabatik sıkıştırma işlemleridir. Carnot çevrimine göre çalışan ideal durumdaki ısı makinesine ise Carnot ısı makinesi denmektedir.

Carnot çevrimi tamamı ile tersine çevrilebilir bir döngüdür. Bu durumda çevrim Carnot soğutma çevrimi haline gelir. Bu çevrim sürecinde, ısı ve iş etkileşimlerinin yönlerinin tersine çevrilmesi dışında tamamen aynı kalır. Isı, soğuk depodan emilir, sıcak depoya transfer edilir ve tüm bunları gerçekleştirebilmek içinde bir iş girişine ihtiyaç olur. Ters Carnot Çevrimi'nin P-V diyagramı, aşamaların yönlerinin tersine çevrilmesi haricinde Carnot çevrimi ile aynıdır.



Şekil 14. Carnot ve Ters Carnot Çevrimlerinin P-V Diyagramları [65]

Ters Carnot çevriminin aşamaları aşağıda verilmiştir.

- 1) Sıkıştırma : Bu adımda, sistem akışkanı bir kompresör ile yüksek basınca sıkıştırılır.
- 2) Yoğuşma : Yüksek basınca sıkıştırılan akışkan, bir yoğuşturucudan geçirilir. Bu esnada akışkan, basıncından dolayı kazanmış olduğu sıcaklığını dışarı yani sıcak ortama atar.
- 3) Kısılma : Kesit alanı farkı olan borulardan veya kısılma vanasından geçirilen akışkanın dinamik basıncı artarken, statik basıncı azalır. Bu esnada, soğutucu akışkan karakteristik özelliği gereğince ani olarak soğur.
- 4) Buharlaşma : Kısılmadan sonra sıcaklığı düşmüş olan akışkan, soğutulacak ortamdaki bir radyatörden geçirilirken, ortamdaki ısı çeker ve kendisi buharlaşır. Böylece ortam soğutulmuş olur.

Sistemin verimine gelinirse, bir Carnot çevriminde maksimum verim “1- (TL / TH)” olarak tanımlanmıştır. Fakat, ters Carnot çevriminde, yani soğutma çevriminde sistem verimi sadece 0 ile 1 arasında olmak zorunda değildir. 1’den büyükte olabilir. Verimin teorik olarak 1’den büyük olma durumu kabul görmeyeceğinden, bilim insanları bu kavrama “Performans Katsayısı” (Coefficient of Performance) demişlerdir. Soğutma makinası ve ısı pompası için verilen COP değerlerinde, Q değeri yerine T değeri yazılarak aşağıdaki eşitlikler elde edilir. Burada L alt indisi düşük sıcaklıktaki ısı kaynağını yani evaporatörü, H ise yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağını yani kondenser sıcaklığını temsil etmektedir.

$$COP_{SM\ CARNOT} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$COP_{IP\ CARNOT} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

Carnot çevriminin uygulamaya aktarılmasında temel problemler 2-3 ve 4-1 hal değişimleridir. 2 – 3 hal değişimi bir sıvı buhar karışımının sıkıştırılmasını, başka bir deyişle, iki fazlı akışkanla çalışan bir kompresörü gerektirir. 4 – 1 hal değişimi ise sıvı oranı yüksek bir karışımın genişlemesidir. Her iki durumda yüksek oranda tersinmezlik oluşturacaktır. Bu nedenle ters Carnot çevriminin de uygulamada gerçekleşmesi olanaksızdır. Ancak ısı makinasında olduğu gibi soğutma çevrimlerinin karşılaştırılabileceği bir örnek oluşmaktadır.

### 3.3. Soğutma Yöntemleri

- 1)Buhar Sıkıştırımlı Mekanik Soğutma
- 2) Absorbsiyonlu Soğutma
- 3) Adsorbsiyonlu Soğutma
- 4) Termoelektrik Soğutma Sistemi (gaz sıkıştırımlı sistemler kadar verimli soğutma yapamamaktadırlar)
- 5) Manyetik Soğutma
- 6) Paramanyetik Soğutma
- 7) Vortex Tüpüyle
- 8) Nemlendirmeli (Evaporatif, Buharlaştırımlı) Soğutma
- 9) Eriyik Teşkiliyle Soğutma
- 10) Gazların Genişlemesi ile Soğutma
- 11)Vakumla Soğutma
- 12)Buhar Jet (ejektörlü) Soğutma
- 13) Sterling Soğutma Sistemi
- 14) Akustik (Sesle) Soğutma

Yukarıda verilen soğutma sistemlerinden bazıları performans değerlerinin yeterli olmama, gaz sıkıştırımlı çevrimler kadar verimli olamama gibi farklı dezavantajlara sahip olmakla birlikte bazıları ise büyük endüstriyel alanlarda daha düşük derecede soğutma işlemleri gerektiğinde kullanılır. İçlerinden absorbsiyonlu soğutma, bilinen en eski soğutma sistemlerinden olup uygulamamız için yeterli fonksiyonlara sahip olmasına rağmen

performans katsayısının buhar sıkıştırılmalı çevrime oranla düşük olması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması gibi nedenlerle tercih edilmemiştir [67].

Basit buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi en yaygın olarak kullanılan soğutma çevrimi olup, soğutma uygulamalarının büyük çoğunluğu için yeterlidir. Bu sistemler ucuz ve güvenilir olmalarının yanı sıra hemen hemen hiç bakım gerektirmezler. Bu sebeplerden dolayı çalışmada buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemi kullanılarak açıklaması yapılacaktır.

### **3.4. Soğutmada Kullanılan Makinalar**

#### **Su Buharlaştırıcı Makinalar**

Bir cismin sıvı halinden gaz haline geçmesinde, önemli bir ısı toplaması olayı cereyan eder. Buharlaşma ısısı mümkün olduğu kadar büyük bir sıvı kullanmaya sevk eder. Su, bu vasıflara haiz olmakla birlikte, buharlaşmadan sonra meydana getirdiği buharın işgal ettiği büyük hacim sebebiyle kullanılması için büyük yer kaplayan makinelere ihtiyaç vardır.

#### **Yoğunlaşabilen Gazlarla Çalışabilen Makinalar**

Saniyede, buharlaşma ısısı oldukça yüksek, buharının özgül hacmi ufak, gaz halinden sıvı haline gelmesi kolay olan gazlar kullanılmaktadır. Bu suretle küçük bir hacmin altında büyük güçlü ve basit makineler kullanılır. Elde edilen buharın yoğunlaştırılması birbirinden farklı iki metotla elde edilir.

a) Kimyevi Bir İşleme (Emme): Emme ile çalışan makinelerde amonyak gibi ısıya karşı fazla temayülü bulunan bir sıvı kullanılır. Amonyak buharlaştıktan sonra, bir emici içinden geçer ve burada su içinde erir. Sıvı doymuş hale geldiği zaman bir kazana sevk edilir ve ısıtılır. Sıcaklığın artması ile amonyak sudan ayrılır ve su cereyanı ile soğutulan bir yüzeye kondensere giderek yoğunlaşır. Sıvı halindeki amonyak bir ayar musluğundan geçerek tekrar buharlaştırıcıya döner ve burada buharlaşarak soğuğu meydana getirir.



b) Fiziki Bir İşleme (Sıkıştırma): Su buharının bir kısılma vanası vasıtası ile sıkıştırılarak yoğusturulması ise sıkıştırma yöntemi ile yoğusturmadır. Bu şekilde bir soğutma buhar sıkıştırımlı mekanik çevrime göre çalışır.

### **Sıkıştırımlı Makinalar**

Bu tip makinelerin çalışma prensibi havalı makinelerin çalışma prensibine benzer. Ancak sıkıştırımlı bir gazın genişlemesinden istifade edileceği yerde, sıkıştırılmış bir gazın yoğuştuktan sonra buharlaşması ile meydana gelen soğuktan istifade edilir.

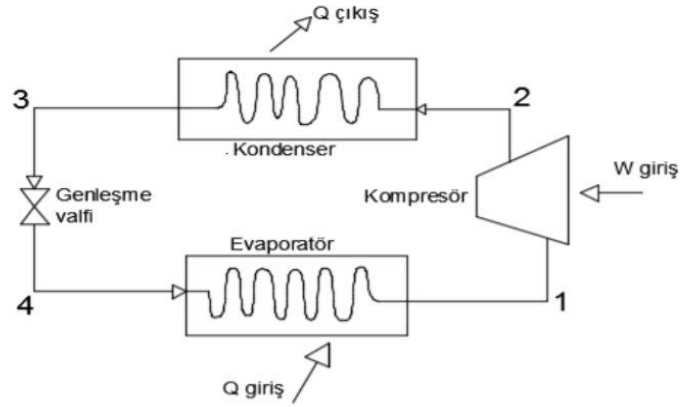
Kompresör diye tabir edilen bir gaz pompası, buharlaşan sıvıyı buharlaştırıcıdan veya soğutucudan emer ve basar. Gaz bir kondansör içine sıkıştırılarak basıncın ve soğumanın müşterek tesiri altında yoğuşur. Bu şekilde elde edilen sıvı bir ayar vanasından geçerek buharlaşmak üzere tekrar soğutucuya döner. Bu buharlaşma, buharlaştırıcı ile temasta olan cisimlerden büyük bir miktarda ısı toplar.

### **3.5. Buhar Sıkıştırımlı (Mekanik) Soğutma**

#### **İdeal Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi**

Ters Carnot çevriminin uygulamasındaki zorluklar 2-3 hal değişimi, buharı sıkıştırmadan önce tümüyle buharlaştırarak; 4 – 1 hal değişimindeki genişlemeyi bir kısılma işlemiyle gerçekleştirerek aşılabileceği düşünülmüştür. Kısılma işlemi, sıvıyı bir kısılma vanasından veya kılcal borulardan geçirerek yapılabilir. Bu şekilde elde edilen çevrim, ideal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi diye bilinir. İdeal çevrimlerden farklı olarak, ideal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde tersinmez bir hal değişimi (kısılma) olduğundan içten tersinir bir çevrim değildir.

Soğutmada en sık uygulanmakta olan ve en çok tercih edilen sistem buhar sıkıştırımlı soğutma sistemidir. Bu tip soğutma çevriminde sistemde kompresör, kondenser (yoğunlaştırıcı), genişletici (genleşme vanası veya kılcal boru) ve evaporatör (buharlaştırıcı) bulunur. Sistem elemanları bakır boru ile birbirlerine seri olarak bağlanmakta ve kapalı bir devre oluşturulmaktadır. Sistem dışardan verilen iş sayesinde soğutucu akışkanın mekanik olarak kompresör tarafından sıkıştırılması esasına dayanır. Aşağıdaki şekilde ideal sıkıştırımlı soğutma çevrimi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 15. Buhar Sıkıştırırmalı Mekanik Kompresörlü Soğutma Sistemi Prensi Şeması [69]

Soğutucu akışkan 1 kısmında kompresöre tamamen buhar halde yani doymuş buhar olarak girer ve izantropik (sabit entropi) olarak yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır. Bu sıkıştırma akışkanın sıcaklığı dış çevre sıcaklığının üstüne çıkar. Kızgın buhar halindeki bu akışkan yoğuşturucuya girerek tamamen sıvı faza dönüştürülür. Akışkanın sıcaklığı bu işlemin sonunda da hala çevre ortamın sıcaklığından yüksektir.

Kısılma vanasına giren soğutucu akışkan burada buharlaştırıcı basıncına sıkıştırılır ve sıcaklığı da soğutulan ortamdaki düşük hale gelir ve doymuş sıvı fazına dönüşür. Böylelikle termodinamiğin 2. Yasası gereği buharlaştırıcıda soğutulan ortamın ısı akışkana geçerek soğutma işlemi tamamlanmış olur. Tümüyle buharlaşan soğutucu akışkan tekrar kompresöre girerek çevrimi tamamlar [70].

### Soğutma Çevriminin T-s (Sıcaklık-Entropi) Grafiği

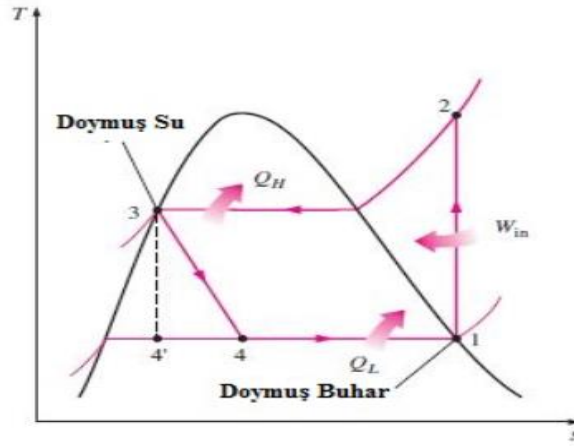
T-s diagramları soğutma çevriminin anlaşılması için kullanılan faydalı bir gösterimdir. Sıcaklık-Entropi grafiğinin altında kalan alanın ısı aktarımını belirtir. Yani 4-1 hal değişiminin altında kalan alan soğutulan ortamdaki çekilen ısıyı, 2-3 hal değişimi altında kalan alan da yoğuşturucudan atılan ısı miktarını vermektedir.

1-2: İzantropik (sabit entropi) sıkıştırma işleminden dolayı sıcaklık artar entropi sabit kalır.

2-3: Akışkan ısıyı çevre ortama aktardığından entropi ve sıcaklık düşüşü meydana gelir.

3-4: Soğuyan akışkanın kısılma vanası ile sıcaklığı ve entropisi düşer.

4-1: Soğutulan ortamın ısını alıp buharlaşan akışkanın sıcaklığı sabit kalıp entropisi artmıştır.



Şekil 16. Soğutma Çevriminin T-s (Sıcaklık-Entropi) Diagramı [65]

### Soğutma Çevrimi P-h (Basınç-Entalpi) Grafiği

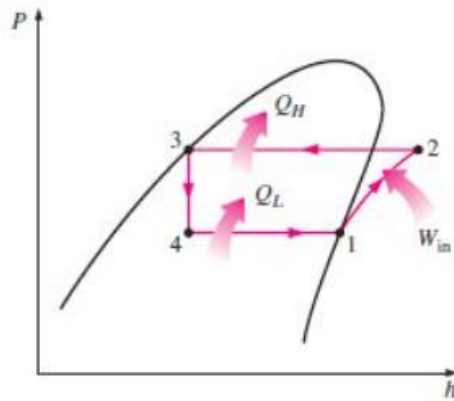
Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin incelenmesinde kullanılan diğer diyagramda P-h yani basınç-entalpi diyagramıdır. Bahsedilen 4 hal değişiminin çevrim içerisindeki durumunu aşağıdaki diyagram ile de gösterilebilir.

1-2: Sıkıştırma işleminden dolayı basınç ve entalpi artışı

2-3: Akışkan ısısını çevre ortama aktardığından basıncı sabit kalıp entalpisi azalmıştır.

3-4: Soğuyan akışkanın kısılma vanası ile entalpisi sabit kalıp basıncı düşmüştür.

4-1: Soğutulan ortamın ısısını alıp buharlaşan akışkanın basıncı sabit kalıp entalpisi artmıştır [71].

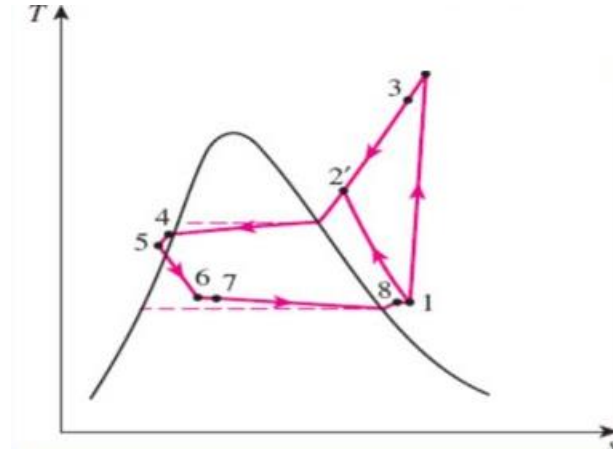


Şekil 17. Soğutma Çevriminin P-h (Basınç-Entalpi) Diagramı [65]

## Gerçek Buhar Sıkıştırma Soğutma Çevrimi

Gerçek buhar sıkıştırma soğutma çevrimi ideal olandan belli noktalarda tersinmezlik sebebiyle farklılık göstermektedir. Akışkanın sürtünmesinden kaynaklanan basıncın azalması ve çevreyle olan ısı alışverişi tersinmezliği oluşturan temel kaynaklardır.

İdeal çevrimde, buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan kompresöre doymuş buhar halinde girer. Bu koşul, soğutucu akışkanın halini hassas bir biçimde kontrol etmek olanaksız olduğundan uygulamada gerçekleştirilemez. Bunun yerine sistem, soğutucu akışkanın kompresör girişinde kızgın buhar olacak şekilde tasarlanır. Burada amaç, akışkanın kompresöre girişinde tümüyle buhar olmasını güvenceye almaktır. Ayrıca, buharlaştırıcıyla kompresör arasındaki bağlantı genellikle uzundur, böylece akış sürtünmesinin yol açtığı basınç düşmesi ve çevreden soğutucu akışkana olan ısı geçişi önem kazanabilmektedir.

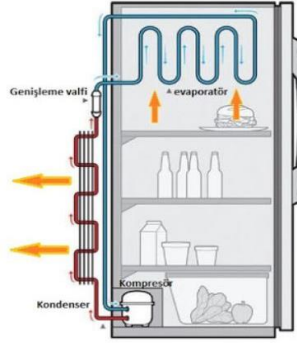


Şekil 18. Gerçek Buhar Sıkıştırma Soğutma Çevriminin T-s Diyagramı [65]

## Çevrimin Buzdolabı Üzerindeki Şematik Gösterimi

Bir ev tipi buzdolabında soğutma devresine örnek aşağıdaki şekilde verilmiştir. Mavi renklerle sembolize edilmiş buharlaştırıcıda soğutucu akışkandan ısı çekilmektedir. Buzdolabının arkasında görülen kırmızı renkteki borular, soğutucu akışkandan mutfak ortamına ısı geçişinin olduğu yoğuşturucudur. Buzdolabının arka alt kısmında bulunan ve doymuş buhar olarak sisteme giren akışkanı yoğuşturucu basıncına sıkıştıran eleman

kompresördür. Kompresör çıkışında yoğunlaştırıcı basıncında bulunan akışkanı buharlaştırıcı basıncına sıkıştıran eleman ise şekilde genişleme valfi olarak belirtilen kısılma vanasıdır.



Şekil 19. Soğutma Devresinin Buzdolabı Üzerinde Şematik Gösterimi [72]

### 3.6. Mekanik Buhar Sıkıştırma Soğutma Sisteminin Ana Elemanları

Bugün soğuk muhafaza amacıyla sıklıkla mekanik buhar sıkıştırma çevrim kullanılmaktadır. Soğutucu akışkanın kompresöre girişiyle çevrim başlar. Alçak basınçtan yüksek basınca sıkıştırılan soğutucu akışkan, iç enerji, basınç ve sıcaklığının yükselmesi ile yoğunlaşma basıncına ulaşarak kondensere girmektedir. Kompresörden kondensere aktarılacak olan soğutucu akışkan sıcaklığı, ortam sıcaklığından fazla olduğu için, kondensere ortama bir miktar ısı geçişi olur ve soğutucu akışkan kızgın buhar fazından sıvı aşırı doymuş faza dönüşür. Sıvılaştıran akışkan kurutucudan (filtre) geçmesi gerekir. Bu sayede sistemin çalışmasını engelleyecek yabancı maddeler ve akışkanın buhar fazından kalan nem sistemden uzaklaştırılmış olacaktır. Kurutucunun ardından akışkan kısılma vanasına doğru ilerler ve bu noktada kondenserdeki yüksek basınç, evaporatör girişindeki alçak basınca düşürülür. Soğutucu akışkan evaporatörde ilerlerken alçak basıncın oluşturacağı düşük sıcaklıkta genişleyerek buharlaşır ve bu şekilde ev tipi soğutucu içerisinden ısı çekilmiş olur. Akışkanın tümü evaporatörde buharlaşacak ve çevrimin tamamlanması için tekrar kompresöre girecektir. Çevrim gerçekleşmesi için 4 eleman ve bunları birleştirecek olan tesisattan oluşmaktadır. Buhar sıkıştırma mekanik soğutma çevrimini oluşturan elemanlar ve görevleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Kompresör, soğutucu akışkanı yoğuşturucu(kondenser) basıncına sıkıştırmaktadır.
- Yoğuşturucu, akışkanın kısılma vanasına girmeden önce kompresördeki sıkıştırmanın etkisiyle üzerinde bulunan sıcaklığı çevreye vererek sıvı faza dönüşmesini sağlayan elemandır.
- Kılcal boru akışkanın evaporatördeki alçak basınca düşmesini sağlayan elemandır.
- Evaporatör kılcal boruda basıncı düşen akışkanı genişleterek ortamdaki ısı çeken ve bu sayede soğutma sağlayan elemandır.
- Çevrim süresince akışkana karışabilecek yabancı maddelerin ayrıştırıldığı kurutucu ve süzgeç,
- Termostat kompresöre dur-kalk emri vererek soğutucunun hareketini kontrol eder.
- Soğutucu akışkan çevrim boyunca bir halden başka bir hale girerek soğutulan elemandır.

### **3.6.1. Kompresörler**

Kompresörler soğutucu sistemde çevrimin ilk elemanıdır. Buharlaştırıcı ile haznesine gelen gazı yoğuşma basıncına sıkıştırarak haznelerini boşaltırlar. Bu sayede arkadan gelen akışkana yer açarak akışın devamlılığını sağlarlar. Bu işlevi yerine getirebilecek farklı kompresör çeşitleri bulunmakla birlikte ev tipi buzdolaplarında tam kapalı, hermetik tip pistonlu kompresörler kullanılmaktadır. Bu çeşit kompresörlerde sızdırmazlığın en aza indirgenmesi ve kompresör ile motorun aynı kap içinde bulunması sebebiyle daha az yer kaplaması gibi sebepler ev tipi buzdolaplarında kullanımını yaygınlaştırmıştır. Tasarımda bu durum dikkate alınarak genellikle yüksek kalite dökme demir ve bazen de alüminyum alaşımları kullanılır [73]. Kompresörler genel anlamda aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Pozitif Sıkıştırmalı Kompresörler
  - a. Pistonlu Kompresörler
  - b. Paletli Dönel Kompresörler
  - c. Helisel-Vida Tipi Dönel Kompresörler
- 2..Dinamik (Santrifüj) Kompresörler

## **Pozitif Sıkıştırılmalı Kompresörler**

Pozitif sıkıştırılmalı kompresörlerde, hava sıkıştırma haznesine alındıktan sonra hazne hacmi mekanik bir şekilde azaltılır hava basıncı istenilen seviyeye kadar yükseltilir. Bu tip kompresörler hacmin azaltan mekanizmaya göre sınıflandırılırlar. Örneğin vidalı kompresörlerde sıkıştırma hareketi, iki rotorun üzerinde bulunan vidaların eşlenmesiyle vidalar arasında kalan boşlukta gerçekleşir. Paletli kompresörlerin havayı sıkıştırma işlemi ise motora bağlı bir rotor ve rotor eksenine dik bir şekilde yerleştirilmiş paletlere gerçekleşir. Pistonlu tip kompresörlerde bir içten yanmalı motor silindrine benzer bir şekilde pistonun git-gel hareketiyle sıkıştırma işlemi gerçekleşir. Termodinamik açıdan verimi en yüksek olan kompresör çeşididir [74].

## **Pistonlu Kompresörler**

Soğutma sistemlerinde genel olarak pistonlu kompresörlerin kullanıldığından ve termik açıdan en verimli sıkıştırma mekanizması olduğundan bahsedildi. Çalışmada da bu tip bir kompresörün kullanılmasının yeterli olacağı düşünülmüştür. Seçilecek akışkanın kompresörden çıkış basıncına göre bir kompresör seçilecektir. Bu açıdan pistonlu kompresör tekniği ve çeşitleri biraz daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

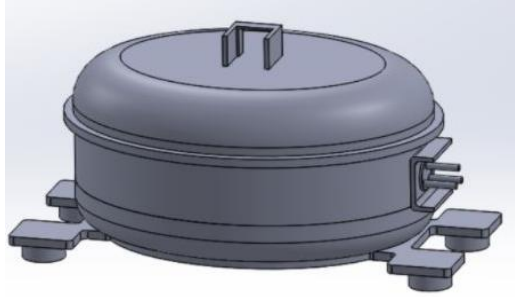
Bir silindir içerisinde pistonun ileri-geri hareketiyle sıkıştırma işlemini gerçekleştiren bu tür kompresörlerde motorun dönme hareketi bir krank-biyel mekanizması ile doğrusal harekete dönüştürülür. Günümüzde pistonlu tip kompresörler genelde yüksek devirli, tek etkili olarak tasarlanır ve imal edilirler. Temelde bir pistonlu kompresör, bir içten yanmalı motorda olduğu gibi, krank mili, silindir, biyel kolu, karter, piston, emme ve basma valflerinden oluşur.

Pistonlu tip kompresör aşağıdaki gibi 2 çeşittir:

- Açık tip kompresör
- Hermetik tip kompresör

Açık tipteki kompresörlerde kartere bir mil uzanır. Hermetik tip kompresörde ise açık tipteki gibi kartere uzanan bir mil bulunmadığından bir sızdırmazlık parçasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Sızdırmazlığın sağlanabilmesi açısından hermetik kompresörlerin yarı açık ve kapalı tipleri arasından tam kapalı şekli buzdolabı tasarımı için tercih edilmektedir. Sıvı kaçağının düşük seviyede olması ihtimali hermetik kompresörlerin en büyük

avantajlarından biridir. Hermetik kompresörlerde kullanılan motorlar tek fazlı, iki kutuplu asenkron indüklemeye motorlarıdır. Kompresör ile elektrik motoru aynı kap içinde bulunur ve buzdolabı kompresörü dendiğinde bu ikisi de kapsanmış olur. Açık tip pistonlu kompresörlerde krank milinin bir ucu dışarıya açıktır. Krank mili, haznenin dışına çıktığında bir güç kaynağıyla dışarıdan bağlanabilmektedir. Dolayısıyla milin dışarıya açıldığı kompresör yatakları için mekanik bir sızdırmazlık kullanılır [75].



Şekil 20. Tasarım Projesinde Kullanılan Yarı Hermetik Tip Kompresör

### **Dinamik Kompresörler**

Dinamik kompresörlerde sıkıştırma işlemi, pistonlu kompresörlerden farklı olarak dönen kanatlar vasıtasıyla hızlanan havanın bir yayıcı yardımıyla genişlemesi sonucu sahip olduğu hızın statik basınca dönüşmesiyle gerçekleşmektedir. Aksenal veya santrifüj kompresörler şeklinde havanın akış yönüne göre sınıflandırılırlar. Pistonlu kompresörlere göre dinamik kompresörlerde küçük basınç değişimleri ile büyük debi değişimleri elde edilebilmektedir. Bu sayede motor gücü değiştirilmeksizin geniş bir aralıkta debi değişimi sağlanmaktadır.

### **Kompresör Seçimindeki Kriterler**

Kompresör seçiminde ilk başta amaç olmak üzere havanın yayılacağı alanın boyutu, kullanım oranının değişmesi, ortam koşulları ve maliyeti gibi birçok faktör etkili olmakla birlikte aşağıdaki özellikler temel kriterler olarak belirlenebilir.

- Soğutma kapasitesi,
- Buharlaştırıcı ile yoğuşturucu arasındaki basınç,



- İstenen soğuktaki hava kalitesi

olarak sıralanabilir.

Yukarıda belirtilen üç temel verinin doğru bir şekilde belirlenmesiyle elde edilecek kompresör seçimi aynı zamanda yatırım, enerji ve bakım maliyetlerinin toplamı olan işletme maliyetlerini de karşılayacak şekilde seçim yapılmaktadır. En doğru yaklaşım İstenilen değerleri sağlayan en ekonomik işletme maliyetine sahip kompresörün seçilmesi olacaktır.

### **3.6.2. Kondenser (Yoğuşturucu)**

Kondenser, soğutma sisteminde kompresör ile sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı artırılmış olan soğutucu akışkandan ısıyı atarak buharın yoğuşmasını sağlayan cihazdır. Kondenserler esasında bir ısı değiştiricisidir. Bu cihazlarda, enerji tasarrufu ve enerjinin verimli bir şekilde kullanımı ısı transferinin artırılmasıyla mümkün olmaktadır. Soğutma çevrimindeki elemanların her biri için performans hesabı yapılabilir. Ancak soğutucu akışkanın ısını almak için çevreyle etkileşimi en fazla olan sistem elemanı kondenser olduğundan, sistem performansında en etkili eleman olduğu söylenebilir. Kondenserin soğutma performansına olan direkt etkisi, kondenser üzerinden atılan ısı miktarının artmasıyla soğutucu akışkandaki aşırı soğuma, dolayısıyla evaporatöre kuruluk derecesi yüksek bir akışkanın şeklinde açıklanabilir. Kuruluk derecesi yüksek akışkan daha verimli bir soğutma sağlayacaktır. Ayrıca evaporatör ile kompresör arasındaki entalpi farkı yükseleceğinden daha düşük yoğuşturucu basıncında soğutma gerçekleşebilecektir. Motor da soğutucu akışkanı, yoğuşturucu basıncına yükseltmek için daha az elektrik enerjisi dolayısıyla daha az enerji tüketmiş olacaktır [76].

Aşağıdaki özellikler sağlandığında kondenserde etkin bir yoğuşmanın gerçekleşebilmesi mümkün olmaktadır:

- Bu özelliklerden en önemlisi kondenser malzemesinin bakır gibi ısı iletkenliği yüksek metallere seçilmiş olmasıdır.
- Malzeme seçimi yapılırken ısı iletkenliğinin yanında çalışma koşulları ve korozyon koşulları da dikkate alınarak seçim yapılmalıdır.
- Kondenserin verimli çalışabilmesi için ısı iletim yüzeyinin şekli mümkün olan en yüksek ısı transferinin sağlanması hedeflenmelidir.

Yukarıdaki kriterleri esas alan bir sınıflandırma ile, soğutma devrelerinde üç farklı tipte yoğuşturucudan söz edilebilir. Uygulamada kondenser çeşidi kullanım amacı ve

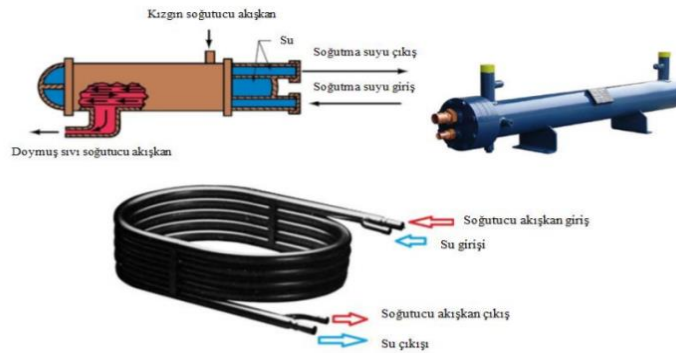
maliyete göre belirlenmektedir. Diğer taraftan hava soğutmalı kondensere göre su soğutmalı ve evaporatif kondenserlerde yoğuşma sıcaklığının daha düşük seviyelerdedir. Dolayısıyla verimleri de daha yüksek olacağı söylenebilir.

Yoğuşturucular, farklı konstrüktif yapılara sahip olsa da genel olarak soğutuldukları akışkanın ismiyle sınıflandırılırlar. Bunlar:

- 1) Su soğutmalı kondenserler,
- 2) Evaporatif kondenserler,
- 3) Hava soğutmalı kondenserlerdir.

### Su Soğutmalı Kondenserler

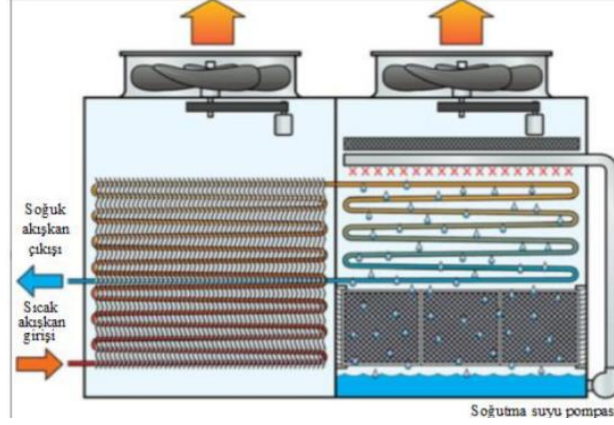
Soğutma çevriminde soğutucu akışkanın su ile soğutulduğu kondenser tipi olup şekil 8’de uygulama örnekleri verilmiştir. Bu kondenserler, temiz suyun bol, ucuz ve düşük sıcaklıklarda bulunabildiği yerlerde işletme masrafları açısından en ekonomik kondenser tipi olduklarından büyük kapasitedeki sistemlerinde kullanılmaktadırlar.



Şekil 21. Su Soğutmalı Kondenser Uygulamaları [77]

### Evaporatif Kondenserler

Soğutma çevriminde soğutucu akışkan buharının, su ile havanın birlikte kullanılarak soğutulup yoğuşmasının sağlandığı kondenserler, evaporatif kondenser olarak isimlendirilir. Çevre sıcaklığının yüksek olduğu, hava soğutmalı kondenserle yeterli yoğuşma sıcaklığı elde edilemeyen bölgelerde bu tip kondenserlerin kullanımına başvurulabilir [76].



Şekil 22. Evaporatif Kondenserin Şematik Gösterimi [77]

Bu tip kondenselerde hava ve suyun soğutma etkisinden birlikte faydalanılmak istenmiştir. Ancak bakım ve servisindeki zorluklar, çabuk kirlenmeleri gibi sebeplerle giderek daha az kullanılmaktadırlar [78].

### Hava Soğutmalı Kondenseler

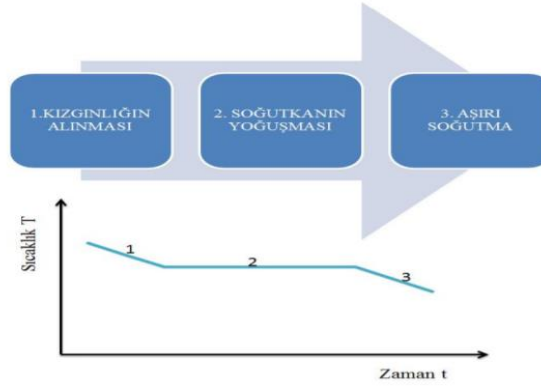
Soğutma çevriminde, soğutucu akışkan buhar fazının hava ile soğutulduğu kondenser tipidir. Soğutkan, kompresörden aldığı yüksek basınç ve sıcaklıktaki havanın ısınıyı yoğuşturucu yüzeyinden ortama bırakır. 1-5 HP kapasiteye kadar bu tip kondenseler kullanılmaktadır. Bu yoğuşturucuların avantajları;

- Basit yapıları,
- Kuruluş ve işletme giderlerinin düşük oluşu,
- Bakım ve tamirlerinin kolay olması,
- Farklı türde soğutma uygulamalarına uyabilecek yapıda olmaları,

şeklinde sıralanabilir. Ev tipi ve ticari soğutucular, soğuk hava depolarında sıklıkla bu tür kondenseler kullanılmaktadır. Uygulanan tasarım projesinde hava soğutmalı bir kondenser çeşidi kullanılacaktır.

Hava soğutmalı yoğuşturucularda ısı transferi 3 aşamada gerçekleşir: Bunlar;

- 1) Soğutucu akışkanın kızgınlığının alınması,
- 2) Kızgınlığı giderilen soğutkanın yoğunlaşması,
- 3) Aşırı soğutma [76]



Şekil 23. Kondenserdeki ısı transferinin aşamaları [76]

Kondenser alanının yaklaşık %85'inde yoğunlaşma gerçekleşirken, %5'lik bir alanda kızgınlığın alınması ve %10'luk bir alanda ise aşırı soğutma işlemi gerçekleşmektedir.

Hava soğutmalı kondenserlerde en çok kullanılan akışkanın freon türevi soğutucular olduğundan bahsedilmişti. Bu tipte akışkanların kullanıldığı soğutma sistemlerinde genel olarak bakır boru-alüminyum kanat, çelik boru-çelik kanat ve bakır boru-bakır kanat yapısında imal edilirler. Son yıllarda ise alüminyum boru-alüminyum kanat imalatları da görülmektedir [78].

### Hava Soğutmalı Kondenserlerin Çeşitleri

Hava soğutmalı kondenserler, uygulama biçimine göre; statik ve dinamik kondenserler şeklinde sınıflandırılmaktadır.

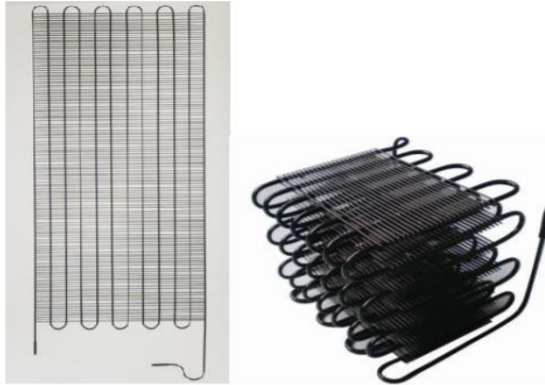
Statik hava soğutmalı kondenserlerin önemli bir özelliği sessiz olmalarıdır. Bu sebeple ev tipi buzdolaplarında kullanılmaktadırlar. Dinamik (fanlı) tip, hava soğutmalı kondenserler ise daha çok ev ortamının dışında ticari amaçlı kullanılan yoğuşturuculardır. Dinamik tip kondenserlerin soğutulması için ilave fan motoru, maliyet açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Fan motorunun kullanılmadığı uygulamalar da mevcuttur.

## Statik Hava Soğutmalı Kondenserler ve Özellikleri

Statik hava soğutmalı kondenserlerde hava, kondenserin üstünde ısı taşınım ilkesine göre hareket ederek ısıyı dışarı atar. Statik hava soğutmalı kondenserler üç farklı tasarımda imal edilebilirler. Bunlar;

- Boru-tel tipi statik kondenser,
- Boru-kanatçık tipi statik kondenser,
- Boru-plaka tip statik kondenser,

olarak sıralanabilir. Statik hava soğutmalı yoğuşturucuların uygulama alanı kısıtlıdır ancak en yaygın kullanılan yerlerden biri ev tipi buzdolapları olduğundan uygulanacak tasarım projesi için önemlidir. Bu tip kondenserlerde hava çok yavaş hareket ettiğinden, ısı transfer yüzeyi artırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 24. Ev Tipi Buzdolaplarında Kullanılan Statik Tip Dikey ve Sarmal Hava Soğutmalı Kondenserler [76]

## Dinamik Hava Soğutmalı Kondenserler ve Özellikleri

Statik tipten farklı olarak fan bulunan bu tip kondenserlerde, ısı transfer alanında hava hareketi artırılarak soğutmanın iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Dinamik tip kondenserler boru yüzeyine küçük kanatçıkların eklendiği şekilde ya da boru üzerine tel sarılan tipte üretilirler. Bu tipteki bazı yoğuşturucularda fan devri, termostatla ilişkilendirilerek ayarlanabilmiştir. Ayrıca dinamik kondenserle daha büyük soğutma yükleri elde edilir.

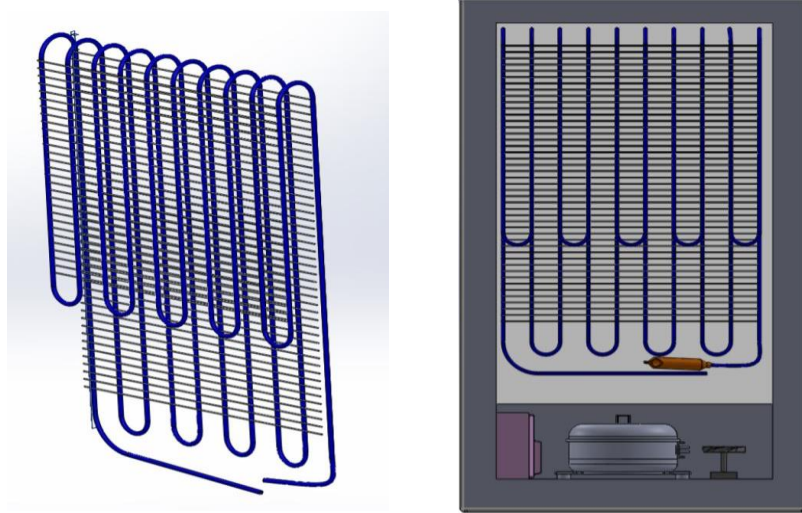
## Ev Tipi Soğutucularda Kullanılan Hava Soğutmalı Kondenserler

Ev tipi soğutucularda (buzdolapları ve derin dondurucularda) en sık görülen yoğuşturucu çeşitleri aşağıdaki gibidir:

- Boru-tel tipi statik kondenserler,
- Boru-plaka tipi statik kondenserler,
- Boru-kanat tipi statik kondenserler,
- Boru-tel tipi dinamik kondenserlerdir.

Bunlardan en yaygın olanları, boru-tel tipi statik ve boru-tel tipi dinamik yoğuşturuculardır. Boru tel tipi statik kondenserler genel olarak çelik veya içi ve dışı bakırla kaplanmış demir borulardan oluşur. Borular gerekli boyda kesilip U şekli verilir. Ardından üzerinden teller geçirilir ve boru ile kaynatılır. Üretim sırasında azot gazı ile basınç kontrolleri yapılmakta ve korozyona karşı boyanmaktadır. Bu tipteki kondenserler üzerinde hava kendiliğinden akacağından toz veya kirler sürekli boru üzerinde kalacaktır. Bu sebeple ara sıra temizlenmesi gerekir aksi takdirde soğutma veriminde düşüş olacaktır.

Son yıllarda ev tipi buzdolaplarında kullanımı artan dinamik tipte ise boyut küçüktür ancak fan yardımıyla ısı transferi gerçekleştirilebilmektedir. Bu daha küçük alanla ısının uzaklaştırılacağı anlamına gelir. Ancak bahsedildiği üzere fan nedeniyle gürültülü çalışmaları dezavantajlarındandır. Bu tipte kondenserlerde fan bulunması nedeniyle statik tipte olduğu gibi temizlenmesine gerek duyulmaz [76].



Şekil 25. Tasarım Projesinde Kullanılan Boru Tel Tipi Dinamik Kondenserin Demontaj ve Montaj Görünümleri

### **Kondenser Kapasitesine Ortam Sıcaklığının ve Basıncının Etkisi**

Yoğuşma basıncının ve sıcaklığının belirlenen sınırları geçmemesinin sağlanması kondensere istenen özellikleri büyük ölçüde sağlamış olacaktır. Bu ise kondenserin çalışma rejimi ile yakından ilgilidir. Aşırı soğumanın elde edilmesi amacıyla ısı transfer yüzeyinin artırılmasının yanında kondenserin çalıştığı hava rejimi de önemlidir. Kondenserin kullanacağı havanın yeterli miktarda ve düşük sıcaklıkta olması soğutma verimini artıracaktır [79].

#### **3.6.3. Kılcal (Kapiler) Boru**

Kondenserde sıvı hale dönüşen soğutkanın, yüksek basınçtan evaporatördeki alçak basınca geçişi bir kısılma vanası yardımıyla gerçekleşir. Kılcal boru sisteme, kondenserin çıkışı ile evaporatörün girişi arasında soğutkanı temizleyecek filtre ile eklenir. Çok küçük boru iç çapı nedeniyle sıvı soğutucu akışkan, gaz halindeki soğutucu akışkana göre daha kolay ve çabuk hareket etmektedir. Soğutma yükünün gerektirdiği kadar evaporatörde buharlaşması gereken soğutkan önce kapiler borudan geçerek soğutucuyu sıvı-buhar karışımı haline getirmektedir.

Kılcal borular yapısı itibarıyla soğutma yükünün azaldığı takdirde boru sonlarında buharlaşma başlayarak sıvı soğutkanın geçişine bir engel oluşturacaktır. Bu sayede akışın kontrollü bir şekilde gerçekleşmesi mümkün olacaktır.

Kılcal borunun soğutma devrelerinde önemi büyüktür. Aşağıda kapiler boru kullanılması durumunda elde edilen bazı avantajlara değinilmiştir:

- Basit ve etkili yapısından ötürü ekonomiktir,
- Devrede sabit olarak yer almaktadır,
- Bakım ve onarıma ihtiyaç duymazlar.

Kapiler borunun en önemli görevlerinden biri de kompresör çalışmadığı durumda yüksek basınç tarafındaki akışkanın alçak tarafına geçmesini sağlayarak, iki devre basıncını dengelemesi ve kompresör tekrar çalışmaya başladığında büyük bir basınç yüküne maruz kalmamasını sağlamaktır. Bu sayede kompresörün tekrar kalkış hareketini kolaylaştırmaktadır [76].



Şekil 26. Kılcal Boru [80]

#### 3.6.4. Evaporatör (Buharlaştırıcı)

Bir soğutma sisteminde soğüğün oluşmasını sağlayan eleman buharlaştırıcıdır. Evaporatör girişinde doymuş sıvı-buhar karışımını kızgın buhar olacak şekilde soğutulacak ortamdan çeken bir ısı değiştiricisidir. Genel olarak buzdolabı gövdesinde soğutulacak kısma yakın bir şekilde yerleştirilir.

Evaporatör tasarlanırken, soğutkanın çabuk buharlaşmasını sağlayarak soğutulacak bölgedeki ısıyı iyi bir verimle alacak ve soğutkanın girişi ve çıkışı arasındaki basınç farkının az olacak şekilde tasarlanmasına dikkat edilmektedir. Ancak bu maddelerden hepsinin bir arada bulunması her zaman mümkün olmayacağından en uygun tasarımla ihtiyacı karşılayacak şekilde evaporatör tasarımı yapılır [76].

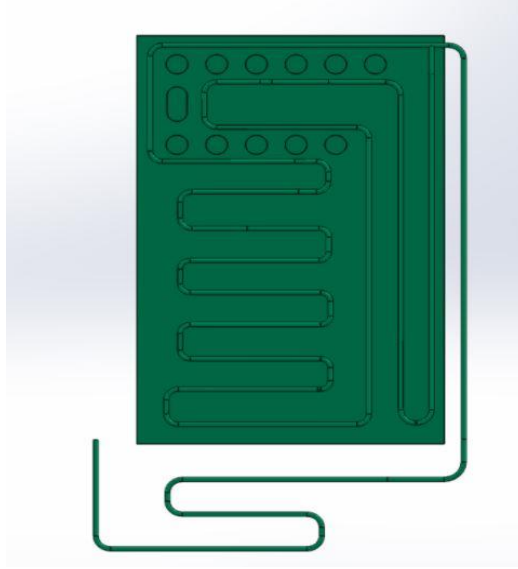
Genel bir sınıflandırmayla evaporatörler hava soğutucu, sıvı soğutucu, katı soğutucu olarak 3 şekilde ele alınabilir. Ancak burada yalnızca hava soğutmalı buharlaştırıcıların açıklanması tasarım projesi için yeterli görülmüştür.

Hava soğutucu evaporatörlerde soğutulmak istenen bölgedeki madde havadır. Havanın geçiş yüzeylerini artırmak için bazı uygulamalarda kanatçıklı yapı da kullanılmaktadırlar. Hava hızı artırılmak istendiği durumlarda fanlardan yararlanan uygulamalar da bulunmaktadır. Ev tipi soğutucularda genellikle hava soğutmalı, levha tip evaporatörler kullanılmaktadır. Burada kanatçıkların yerini düz levha almıştır. Buharlaştırıcı borularının geçeceği boşluklar levha üzerinde oluşturulur ve ardından kaynatılır. Bu şekliyle buharlaştırıcı serpantin olarak adlandırılır.





Şekil 27. Kanatçıklı tip evaporatör [77]



Şekil 28. Tasarım Projesinde Kullanılan Levha Tip Evaporatörün Görünümü

### 3.7. Kurutucu ve Süzgeç

Kurutucu ve süzgeç sisteme kapiler boru ile takılmaktadır. Kapiler borunun amacına uygun olarak belirlenen çapı oldukça küçüktür. Bu sebeple sisteme nem karışabilme ve nemin buharlaştırıcıda donma ihtimaline karşı sistemde bir kurutucu(dryer) ve diğer elemanlardan ya da soğutkanın sisteme doldurulmadan önceki durumda toz vb. maddelerin olması ihtimaline karşı bir filtre kullanılmaktadır.



Şekil 29. Tasarım Projesinde Kullanılan Drayerin Görünümü

### 3.8. Soğutucu Akışkan

Günümüzde kullanılan soğutucu akışkanların yapay olarak elde edilen kloroflorokarbon (CFC) ve hidroklorofloro-karbon (HCFC) yapıda olduklarından tarihe bölümünde bahsedilmişti. Soğutucu akışkanın soğutma devresindeki görevi soğutulmak istenen ortamdan ısıyı çekmektir. Bunu evaporatöre sıvı buhar karışımı durumundaki fazdan soğutulan bölgedeki ısıyı alarak ve kızgın buhar fazına geçerek gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla soğutucu akışkanın ısı geçiş özellikleri soğutmayı doğrudan etkilemektedir. Ancak soğutucu akışkanın ısı geçiş özelliğine bağlı olmayan birçok özelliği de taşınması gerekmektedir. Bunlar; sisteme aktarılması ya da depolanması sırasında emniyetli davranması, devredeki elemanlarla zararlı etkiler oluşturacak tepkimelere girmemesi, muhafaza edilen ürüne veya insan sağlığına zarar vermemesi, hava ile yanıcı bir özellik oluşturmaması vb. özelliklerdir. Sistem verimi ile doğrudan ilgili olduğundan da fiziksel anlamda buharlaşma ısısının yüksek, yoğunlaşma basıncının ve viskozitesinin düşük olması beklenir [76].

Bu kısımda buzdolaplarında kullanılan soğutucu akışkanlardan yararlanılarak tasarım projesi için bir soğutkan seçimi yapılacaktır.

Kloroflorokarbonlar (CFC) 1930'lu yıllardan beri yüksek performanslarından dolayı soğutma endüstrisinde özellikle küçük soğutma sistemlerinde ve ev soğutucularında (buzdolaplarında) yaygın şekilde kullanılmaya başlamıştır. Bunlardan R-12 en çok kullanılan soğutucu akışkan olmuştur. R12 tip soğutkan en zorlu çalışma şartlarında bile fiziksel özelliklerini koruyabilirler ve yağ çözübilme özellikleriyle evaporatör ve kondenser yüzeylerinde yağın toplanıp ısı geçişini azaltmasını önler. Ancak bu maddeler ozon tabakasını diğerlerine nazaran en çok etkileyen maddelerdir. Bunun yerine R134a

(CF<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>F), termodinamik ve fiziksel özellikler bakımından R12 ye en yakın soğutucudur. Ozon tüketme katsayısı hala 0 olan R134a soğutucu akışkanı ev tipi soğutucularda kullanılabilen en iyi akışkan olduğu söylenebilir. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerde amonyak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra birçok alternatif geliştirilmeye çalışılmıştır. R22, R124 ve R152a'dan oluşan R12 için alternatif kabul edilen bir karışımdır. HCFC içerdiğinden esasında tam olarak bir alternatif olamamaktadır. R404A da R22 de olduğu gibi HCFC içerdiğinden tam olarak alternatif kabul edilmez. HCFC içermesine rağmen şu an için kullanılmalarının nedeni yapılarında hidrojen olması sebebiyle kararlılıklarının düşük olmasıdır.

Bu bilgiler ışığında yüksek performans sağlayan R12 gazına en iyi ve en yakın alternatif olan aynı zamanda ozona etkisi yok denecek kadar az olan R134a soğutucu akışkanı tasarım projesi için seçilmiştir [63,81].

## **4. MÜHENDİSLİK HESAPLARI VE ANALİZLERİ**

### **4.1. Tasarım Çalışması**

#### **Termostat**

Termostat, sıcaklık değişimini belirli bir aralıkta tutmaya yarayan, soğutucu hacmin ısısına göre kompresörü devreye sokup çıkaran bir kontrol elemanıdır. İlk bimetallic termostat 1726'da bir saatte kullanılarak farklı sıcaklık koşullarında çalışması sağlanmıştır. 1830'da ise çift metal şeridin ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılmasıyla termostat kelimesi ortaya atılmıştır. Farklı genleşme katsayılarına sahip olmalarından dolayı biri diğerine eğimli genişerek bükülmektedir.[82] 1910 yılında ilk küçük buzdolabı yapıldığında termostat olmaması nedeniyle kullanım sorunları oluşmuştur. 1913'te ise Kelvinatör tarafından yapılan ilk termostatlı buzdolabı piyasaya sürülmüştür [83].

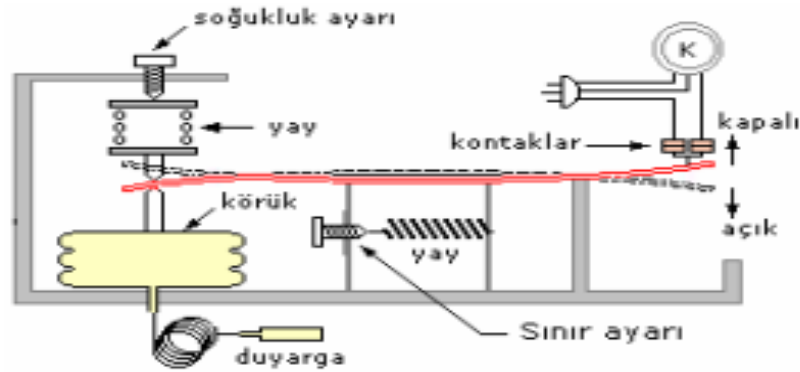
Buzdolaplarında kullanılan termostatlar soğutucu hacmi, soğutucu akışkanı, evaporatör, kondansatör gibi kısımların sıcaklık değişimini kontrol etmektedir. Mekanik, elektronik, elektromekanik gibi farklı çalışma prensiplerine sahip termostatlar bulunur.

Mekanik termostatlarda; sıcaklık değişimiyle tepki veren mekanik kısım ve bu kısmın kumanda ettiği elektrik kontaklarının bulunduğu elektronik kısım vardır. Bu sayede, sıcaklık

değişimini kontrol ederek sistemi açma ve kapamaya yarar. Elektronik termostatlarda ise sıcaklığa bağlı olarak değişen iletken direnci sürekli olarak kontrol edilmektedir.

Termostatlar, kullanılacak makinelere göre ısıtma, soğutma veya her ikisinin sıcaklık kontrolünü sağlayabilmektedir. Buzdolaplarında soğutmada sıcaklık kontrolü yapan termostatlar kullanılır. Soğutma sistemlerinde ortam şartlarına göre ayarlanabilen ve beş farklı çalışma yapısına sahip termostatlar tercih edilir. İç yapısına göre termostatlar:

- Farklı genleşme kabiliyetine sahip iki metalin birleştirilmesiyle elde edilen bimetal termostatlar,
- Farklı genleşme kabiliyetine sahip metal çubuk ve metal borudan meydana gelen termostatlar,
- Kapalı bir körük(diyagram) içindeki gazın genleşmesi (basınç) prensibi üzerine geliştirilmiş termostatlar,
- Tamamı sıvı ile dolu ve sızdırmaz kapalı körüğün, sıcaklık değişimine, basınç değişimi şeklinde verdiği tepki üzerine geliştirilmiş termostatlar,
- Sıcaklığın iletken direncini değiştirmesi prensibi üzerine geliştirilmiş akım veya gerilim kontrolü termostatlar [84].



Şekil 30. Soğutma Devrelerinde Kullanılan Termostat ve Fonksiyonel Yapısı [84]

Bimetal termostatlar, farklı genleşme kabiliyetlerine sahip iki metalin ayrılmayacak şekilde birleştirilmesiyle oluşur. Sıcaklık arttıkça farklı boyutlarda genişir, biri diğerinin üzerine eğilir ve bağlı bulunduğu kontakların kapanması sağlanır. Sıcaklık düştüğünde ise biri diğerinde daha hızlı büzüşerek kontakların açılmasına neden olur. Ev tipi ısıtma ve soğutma makinalarında sıkça kullanılır.

Akışkan basıncının sıcaklığın değişimine bağlı olduğu sıvı gaz dolgulu termostatlarda ise körükteki basınç hazne içinde bulunan sıvı veya gazın sıcaklığının azalıp artmasıyla değişir. Sıcaklık arttıkça hazne basıncı artar ve körük genişler. Körüğün şişmesiyle kontaklar kapanır, kompresöre akım iletilir ve devreye girer. Körük büzüştüğünde kontaklar açılır ve kompresör devreden çıkar. Elektronik devreli termostatlarda, sıcaklığın azalıp artmasına hassas bir tel kullanılarak direnç gösterilir ve akımın devam etmesi ya da kesilmesini sağlar [85].

Buzdolabında termostatın hissedici ucu evaporatör üzerine bağlanır. Farklı şekillerde termostat bağlantıları vardır. Düğmeden defrostlu termostat bağlantısı en basitidir. Çift kapılı buzdolabı termostatında kontaklar açık olduğunda ara bölme devreye girerken kontaklar kapandığında kompresör çalışır. K59 model termostatta çift kapılı buzdolabı termostatına ek olarak iç lamba eklenmiştir. 6238 model termostat bağlantısında iki ayrı faz girişi bağlantısı bir anahtarla yapılmaktadır. Pen28 termostat modelleri soğuk odalarda kullanılır. Sistem devreye girme sıcaklığına ulaştığında basınçlı körüğün tahrikiyle anahtarlama yapılarak kompresör devreye sokulur.

### **Elektrik Devresinde Bulunan Elemanlar**

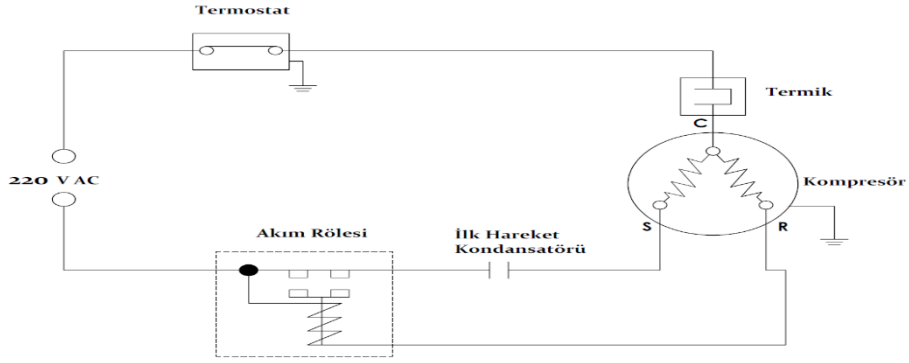
Termik, kompresörün ortak ucuna bağlanmaktadır. Kompresör sargılarının kısa devre yapması halinde kontaklarını açarak kompresöre giden enerjiyi kesmektedir. Bu sayede kompresör kısa devrenin zararlı etkilerinden korunmaktadır [86].

Akım rölesi, akımların motora vereceği zararı önlemek için kullanılmaktadır. Eğer akım değeri normal sınırlar içindeyse çıkış kontakları açık şekilde durmaktadır. Fakat akım istenilen değer üzerine çıktığında, akımın motora veya sisteme zarar vermemesi için çıkış kontakları kapanır ve motoru devreden çıkarır [87].

Termostat, buzdolabının iç ısısına göre kompresörü devreye sokmak veya devreden çıkarmak için kullanılan bir elemandır [88].

Kompresör, içerisinde ana ve yardımcı sargı olmak üzere iki sargı bulundurmaktadır. Yardımcı sargıya yol verme sargısı da denmektedir ve yalnızca yol verilirken devrede kaldığı için ısınma problemi yoktur. Yardımcı sargının direnci her zaman ana sargının direncinden daha büyüktür [88].

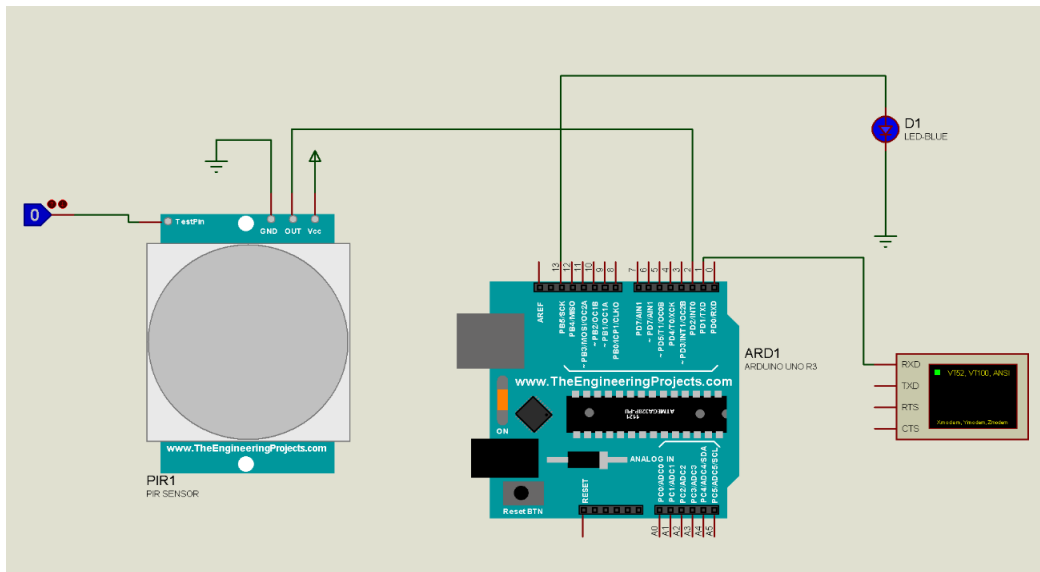
İlk hareket kondansatörü, küçük güçteki buzdolabında kullanılmaktadır. Üzerinde akım depolamaktadır. İlk hareket sırasında yardımcı sargıda faz farkı yaratmaktadır. Bu faz farkı sayesinde motor yüksek momentle çalışmaktadır [89].



Şekil 31. Buzdolabının Elektrik Şemasının Çizim

## Hareket Sensör Devresi

Hareket sensörü algıladığı hareketi arduinoya iletir. Arduinoya gelen girdi buzdolabı ledini yakmak için lede iletir. Lede gelen uyarı ile led yanar ve tekrar gelen uyarı ile söner. Bu devre Proteus programında çizilmiştir ve Arduino Uno R3'e yüklenecek olan kod, arduino programında yazılmıştır. Devrede, hareket sensörü, Arduino Uno R3 , lamba ve virtual terminal yani sanal uç birim bulunmaktadır.



Şekil 32. Hareket Sensörü Devresinin Proteus Adlı Programda Çizimi

## **Sensör Devresinde Bulunan Elemanlar**

PIR sensörleri, pyroelektrik sensörden meydana gelmektedir. Bu sensörler kızılötesi ışınım seviyeleri arasındaki farkı algılayabilirler ve bu sayede hareketleri de algılamış olurlar. PIR sensör devresi üzerinde iki yuva bulunmaktadır ve her yuva IR'ye duyarlı özel bir malzemeden yapılmaktadır. Sensörün görüş mesafesi bu yuvalar sayesinde belirlenmektedir. Ayrıca bu sensörün güç tüketimi düşüktür ve maliyeti ucuzdur [87]. Sensör seçilirken, odadaki her hareketi algılayıp ledi sürekli olarak yakmaması için kısa menzilli olarak seçilmiştir. Bu sayede sadece ihtiyaç olduğunda yakın menzilde el hareketiyle led yanacak ve yine el hareketiyle sönecektir. Hareket sensörü buzdolabının yan yüzeyine montelenecektir [90].

Arduino Uno, bir kontrol kartıdır ve standart boyutlardadır. Elektronik devrelerin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Arduino'nun toplam 14 adet dijital çıkış pini bulunmaktadır. Bu dijital çıkışlardan 5 tanesi PWM çıkışıdır. Analog olarak kontrol edilmesi istenen uyarıcılar bu PWM pinlerine bağlanarak kontrol edilmektedir. Arduino Uno'daki 6 tane analog giriş ise analog giriş sinyali alabildiğimiz sensörler için kullanılmaktadır [91].

Buzdolabının iç aydınlatması için kullanılacak lamba 200 V değerinde çalışacaktır. Bu lamba Arduino'ya bağlanacaktır. İlk hareketi algıladığında yanacak, ikinci hareketi algıladığında ise sönecektir. Bu sistemin çalışması için arduino kartına bir kod yüklenecektir. Bu kod, arduino programında yazılmıştır ve EK-2'de görsel olarak verilmiştir.

## **Şeffaf Malzeme Seçimi**

### **Cam**

Cam, ana bileşeni silisyum dioksit olan ve silikon oksitler, germanyum, boron, fosfor, arsenik gibi birçok kimyasal bileşenden oluşan kristalleşmeden katı hale gelinceye kadar soğutulmuş, inorganik bir ergime ürünüdür [92].

Camın süper soğutma aşaması sonucunda oluşan saydamlığı en önemli özelliklerinden biridir. Saydamlık cisimden geçen ışığın gelen ışığa oranı olup, camlarda  $K = \%80-\%98$ 'dir. Bu nedenle cam, bazı saydam plastiklerden daha yüksek bir saydamlığa sahiptir. Kırma

indisi, doğrudan camın yoğunluğu ile ilgilidir. Normal camda 1.5 olan kırma indisi kristal camda 1.60'tır. [93] Isı geçirgenliğinin yüksek olması kullanılan alanlara göre camın olumsuz etkilerindedir. Fakat bu özellik radyasyon ışınımalarını engelleyen kaplamalar sayesinde düşürülebilmektedir. Camın ışık geçirme ve ısı kazanma-kaybetme değerleri; ışık geçirgenliği (T), toplam güneş enerjisi iletkenliği (g-faktörü) ve ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) fiziksel parametreleri ile belirlenmektedir [94].

Camlar farklı alanlarda kullanılmak üzere farklı üretim yöntemleriyle üretilir. Basit camlar kum, kireç ve soda hammaddesinin eritilip merdanelerden geçirildikten sonra soğutulmasıyla elde edilir. En az maliyetli cam türüdür fakat fiziksel ve mekanik özellikleri iyi değildir. Konutlarda kullanılan normal pencere camı olarak bilinir.

Basit cam hammaddesinin tanklar üzerinde yüzdürülmesiyle elde edilir. Basit camda merdane nedeniyle oluşan pürüzler flotal camda bulunmaz. Pürüzsüz ve parlak bir yüzeye sahiptir. Basit cam yerine artık flotal camlar kullanılmaktadır.

Flotal camın ısıtılıp soğutulmasıyla ısıyla güçlendirilmiş camlar üretilmektedir. Flotal camdan iki kat dayanımlıdır. Sıcaklık yükselmesinden kaynaklı zararları önlemek amacıyla kullanılır. Flotal camdan yaklaşık 2 kat daha dayanıklıdır.

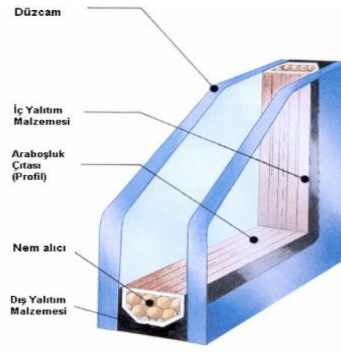
Camın 650 C ye kadar ısıtılıp aniden soğutulmasıyla temperli camlar elde edilir. Isıyla güçlendirilmiş camlardan farkı soğuk hava akımı ile aniden soğutulmasıdır. Camın basınç, darbe ve ısıya karşı direncini artırmak için yapılır. Flotal cama göre 4 kat dayanıklıdır. Kolay kolay kırılmazlar.

İki ya da daha fazla katman arasına polivinil bütiral (PVB) ya da benzeri plastik malzeme yerleştirilerek elde edilen camlara lamine cam denir. Farklı uygulamalar için çeşitli lamine camlar imal edilmektedir. Araya farklı amaçları bulunan malzeme ve katmanlar konularak darbelere, hatta yangına karşı yüksek dayanımlara sahip olmaktadır [92].

## **Yalıtımlı Cam**

Isı yalıtımı, dışarıya yönelen enerji akımına karşı direnç oluşturmaktır. 1970'lerde binalarda ısı kaçışını engellemek ve enerji tasarrufu sağlamak için yalıtımlı (çift camlı) camlar kullanılmaya başlanmıştır. İki veya daha çok sayıda camın arasına hapsedilen kuru hava ya da argon, kripton, xenon gibi soy gazlarla binadan ısı kaçışı önemli oranda azaltılmıştır. [94] Bir yalıtım camının genel yapısı aşağıdaki gibidir.





Şekil 33. Yalıtım Camı Birim Kesiti [97]

Yalıtım camı ünitelerinde ısı yalıtımını sağlayan, iki cam plakanın arasındaki hava boşluğudur. Ara boşluğunun kuru hava yerine argon vb. gaz ile doldurulması ısı kayıplarının bir miktar daha azalmasını sağlar. Ara boşluk genişliği standart olarak 6-16 mm arasında değişmekte 16 mm'yi geçen aralıklarda hava hareketleri (taşınım) başladığı için camın yalıtım performansı azalmaktadır [95].

Tablo 7. Isı Kontrol Kaplamalı Yalıtım Camının Ara Boşluk Genişliklerine ve Ara Boşluk Dolgularına Göre Isı Geçirgenlik Katsayıları [97]

Araboşluk genişliği (mm)	Isı Geçirgenlik Katsayısı TS EN 673 W/m <sup>2</sup> K	
	kuru hava	argon
12	1,6	1,3
16	1,3	1,3

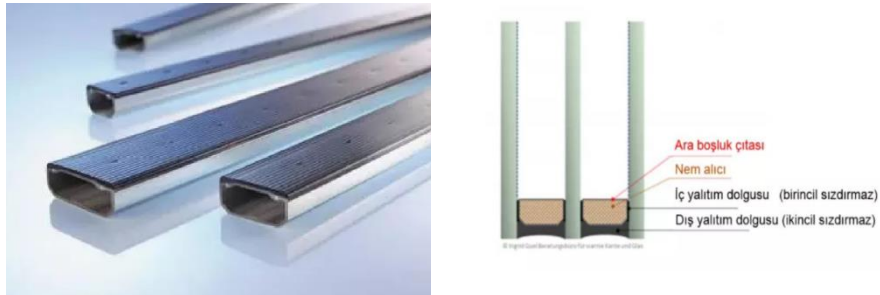
Tablo 8. Isı ve Güneş Kontrol Kaplamalı Yalıtım Camının Ara Boşluk Genişliklerine ve Dolgularına Göre Isı Geçirgenlik Katsayıları [97]

Araboşluk genişliği (mm)	Isı Geçirgenlik Katsayısı TS EN 673 W/m <sup>2</sup> K	
	kuru hava	argon
12	1,6	1,3
16	1,3	1,1

Ara boşluk ıtması camların arasındaki mesafeyi belirler ve camları tek bir cam ünitesine dönüştürür. Aynı zamanda camların kenar bileşiminin sızdırmazlığını sağlayarak nem girişi ve gaz kaçıışı önlenir. Isıl genişleme ve basınç farkından kaynaklı gerilme etkilerini azaltır. Ara boşluk ıtması; cam plakalar ve ara boşluk ıtmasını birleştiren iç yalıtım dolgusu, camın sızdırmazlığını sağlayan dış yalıtım dolgusu ve profilin içindeki nem alıcılardan oluşur. İç yalıtım bütül, poliisobutilen gibi elastik dolgularla gerçekleştirilirken, dış yalıtım için polisulfid, poliüretan, silikon gibi dolgular kullanılır.

Yüksek ısı iletkenliğine sahip alüminyumdan yapılan ve “soğuk kenar” denilen ara boşluk ıtması cam ve çerçeve arasında yüksek iletkenlikte bağlantı oluşturarak ısı köprülerine sebep olur. Böylece geçiş bölgesinde ısı geçişine fazlasıyla izin verir. Bu nedenle sıcak kenar ara boşluk ıtması kullanılması daha iyi bir yalıtım için önem taşır.

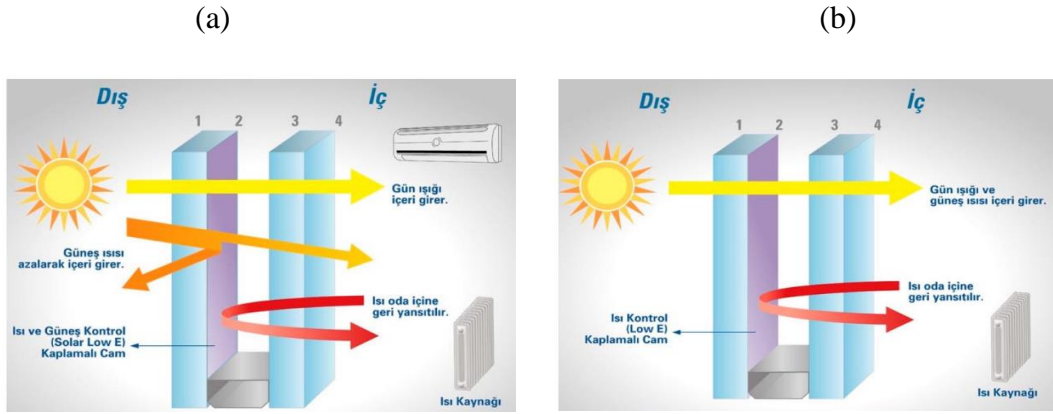
Sıcak kenar ara boşluk ıtmasında paslanmaz çelik, paslanmaz çelik ürünleri ve strüktür silikon köpüğünden yapılan plastikler gibi düşük ısı iletkenliğe sahip malzemeler kullanılır. Kenarlardaki su yoğuşması azalır. Camın ve cephelerin ısı geçirgenlik katsayısı büyük oranda azaltılmış olurken, ısı yalıtımı iyileşir. [96]



Şekil 34. Ara Boşluk ıtması Fotoğrafi ve Şematik Kesiti [96]

Kullanılmaya başlandığı zamandan günümüze kadar bütün binalarda ısı yalıtımlı camlar kullanılmış hatta artık yeterliliğini kaybetmeye başlamıştır. Yeni bir çözüm olarak kaplamalı ısıcamlar üretime girmiştir.

Tek cama göre 3.5-4 kat daha tasarruf sağlayan düşük yayınlı ısı kontrol (Low-E) kaplamalı cam üniteleri oda ısısını yeniden içe yansıtarak ısı kaçışını tekrar yarı yarıya düşürür. Düşük yayınlı ısı ve güneş kontrol (Solar Low-E) kaplamalı camlar ise güneş ısısını azaltarak içeri alır böylece güneş kontrolü yanında ısı yalıtımı da sağlar. [97]



Şekil 35. a) Isı ve Güneş Kontrol Kaplamalı Yalıtım Camı  
b) Isı Kontrol Kaplamalı Yalıtım Camı [96]

Tablo 9. Pencere Sistemlerinin U Değerleri [97]

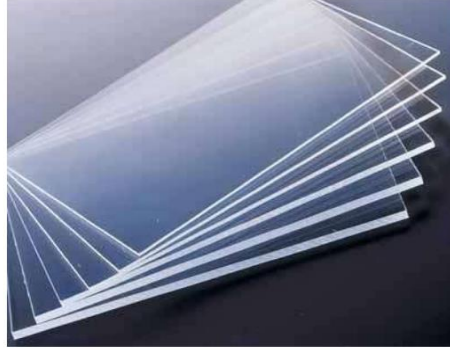
$U_{doğrama}$ ( $W/m^2K$ )		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
$U_{cam}$ ( $W/m^2K$ )		$U_{pencere}$ ( $W/m^2K$ )								
Çiftcam	3,3	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	4,0
	3,1	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,5	3,3	3,4	3,9
	2,9	2,6	2,7	2,8	2,8	3,0	3,0	3,1	3,2	3,7
	2,7	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,6
	2,5	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,4
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	3,3
	2,1	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	3,0
	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
Üçlü cam	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	3,2
	2,1	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,9
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	2,2
0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	
0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,8	

## Plastik

İç görünüm sağlamak için düşünülen şeffaf malzemelerden diğeri de plastiktir. Plastik, basit yapıdaki moleküllü gruptaki bağın basınç ve sıcaklık altında kopararak polimer yapıya dönüştürülmesiyle elde edilir. Hazır olarak doğada bulunmazlar [98].

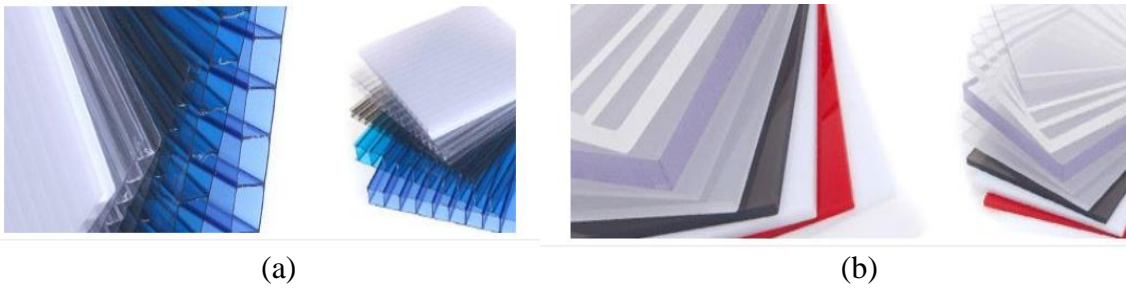
Akrilik plastikler (PMMA-Polimetilmetakrilat), diğeri adıyla pleksiglass malzemeler termoplastiktir grubundadır. Saydam, yarı saydam ya da renkli olarak üretilebilir. Sıcaklık

değişimlerine karşı dayanıklıdır. Düz camlara göre daha hafiftir. Isıyı %20 daha az geçirir ve darbelere karşı 6 kat daha dayanıklıdır [99].



Şekil 36. Akrilik Plastik Levha [102]

Polikarbonatlar mühendislikte en çok kullanılan plastiklerdendir. Şeffaf olmasının yanında yüksek tokluk ile çok iyi boyutsal ve ısıl kararlılık sağlar. İstenen durumlarda polikarbonat levha içine aerojel malzemesi doldurularak ısı ve ses oluşumunu önleri içeride nem oluşmasına izin vermez. Yalıtımlı camlarda olduğu gibi 16 mm boşluklarla çok duvarlı polikarbonat levhalar oluşturulabilir. Karakteristikleri yönünden akrilik plastiklere benzer fakat daha güçlü ve daha pahalıdır. Oluklu veya solid olarak üretilebilirler [100,101].



Şekil 37. (a) Oluklu Polikarbonat Levhalar (b) Solid Polikarbonat Levhalar [102]

İç görünürlük açısından projede kullanılacak olan şeffaf malzeme fiyat ve ısı geçirgenlik performansı karşılaştırmasına bağlı olarak plastik gruptan pleksiglass malzemesi olarak seçilmiştir.

## Yalıtım Malzemeleri

Soğutulan hacmin sıcaklığını düşük tutmak için dış ortamdan ısı geçişinin minimuma indirilmesi için bazı yalıtım malzemeleri kullanılır. Soğutucunun ana gövdesinin iyi ısı ileten metal malzemelerden olması yalıtım malzemesinin önemini artırmaktadır. Avrupa standartlarına göre ısı iletkenlik katsayıları 0.06-.0.10 W/mK olan malzemeler ısı yalıtım malzemeleri olarak tanımlanmaktadır. Malzeme seçiminde en önemli etkenler malzemenin birim zamanda ilettiği ısı miktarı, nem ve su tutma kapasitesi, fiyatı ve uygulama şeklidir. Buzdolabı gövdesi ve kapağının yanı sıra kapı aralıklarında kullanılan contalar da hava sızıntısını engellemek için kullanılan yalıtım malzemelerindendir. Buzdolabı izolasyonunda çoğunlukla poliüretan veya strafor tercih edilir [103,104].

Poliüretan sert köpükler, %90-95 oranında kapalı hücrelerden oluşan yüksek yoğunluklu yalıtım malzemeleridir. İlk kez 1937'de Alman Bilim insanı Otto Bayer tarafından elde edilmiştir. İki kimyasal maddenin karışımı sırasında hava ile köpürerek sertleşen plastik bir köpüktür. Esnemeyen poliüretan köpükler ısı ve ses yalıtımında kullanılır. Poliüretan izolasyonu düşük ısı iletim katsayısı ve düşük kalınlığı nedeniyle en çok tercih edilen yalıtım malzemesidir. Piyasada 15-150 mm arasında bulunur. Aynı kalınlıktaki diğer yalıtım malzemelerine göre daha iyi yalıtım sağlar. Ek yeri ve ısı köprüsü oluşturmadan iyi yalıtım sağlar. Uzun ömürlü ve kolay kullanımlıdır, yalıtım değerlerinde ilk 15 yılda %10, ilk 30 yılda %15 düşüş olabilir.

Isı yalıtımı için iki bileşenli sert köpükler tercih edilir. -25 dereceye kadar düşük sıcaklıklar için geliştirilmiştir. Pentan ve izomerleri poliüretan yalıtımı için en çok kullanılan kabarma ajanlarıdır. Poliüretan köpüğün iyi yalıtımlı olabilmesi, yapımında kullanılan şişirici ajan, hücre çapı, polimer yapısı gibi bileşenlerine bağlıdır. Uyumlu bileşenlerle üretilen bir poliüretan köpük malzemesi ortam sıcaklığına bağlı olarak 0.016 -0.032 W/mK arasında değişen ısı iletim katsayısı ile çok iyi yalıtım sağlayabilmektedir. Ayrıca iyi yürüme özelliği sayesinde minimum seviyede hava boşluğu elde etmek mümkündür. Poliüretan üretimi sürecinde dokunduğunda yapışmadığı aşamaya gelince sertleşir ve bulunduğu kabı sıkıca doldurur. Poliüretan, sert ve dolgu halinde katılaşması özelliği sayesinde ev tipi soğutucularda hem yalıtım hem de iskelet vazifesi görür [106,107].

Genleştirilmiş Polistiren sert köpük (EPS) diğer adıyla strafor; kapalı gözenekli, beyaz renkli, termoplastik bir yalıtım malzemesidir. İlk olarak 1952 yılında Alman BASF firması tarafından üretilmiş ve ‘Styropor’ adı altında dünyaya yayılmıştır. Ucuz ve kolay uygulanabilirliği sayesinde soğutucularda yaygın olarak kullanılır. Kapalı gözenekli özelliği sayesinde su emme oranı oldukça düşüktür. Isı iletkenlik değeri 0.035-0.040 W/mK arasındadır. 80 C ve -180 C sıcaklıklara dayanıklıdır [103,106].



(a)

Şekil 38. a) Poliüretan Köpük



(b)

b) Genleştirilmiş Polistiren [106]

Tablo 10. İzolasyon Malzemelerinin Karşılaştırılması [104]

Malzeme Cinsi	Yoğunluk kg / m <sup>3</sup>	Basma Dayanımı kPa	Bükme Dayanımı kPa
Katı Üretan Köpük	30	200	300
Katı Üretan Köpük	60	500	1000
Katı Üretan Köpük	90	900	1800
Katı Üretan Köpük	600	17000	40000
Polistren Köpük ( Kabartılmış )	30	200	500
Polistren Köpük (Kalıptan çekilmiş)	30	250	700
Mantar	90	100	200
Camyünü	90	20	550
Taşyünü	90	20	550

Tablo 11. İzolasyon malzemelerinin oda sıcaklığında ısı iletkenliklerinin karşılaştırılması [104]

Malzeme Cinsi	Isı İletkenli Katsayısı W / ( m.k )
Katı Üretan Köpüğü ( R-11 ile köpürtülmüş )	0.014 – 0.021
Katı Üretan Köpüğü ( Su ile köpürtülmüş )	0.019 – 0.026
Polistren Köpük ( Kabartılmış )	0.030 – 0.036
Polistren Köpük ( Kalıptan çekilmiş )	0.027 – 0.029
Camyünü - Taşyünü	0.035 – 0.041
Mantar	0.041 – 0.046
Cam Köpüğü	0.052 – 0.076
Alçı Taşı	0.070 – 0.087

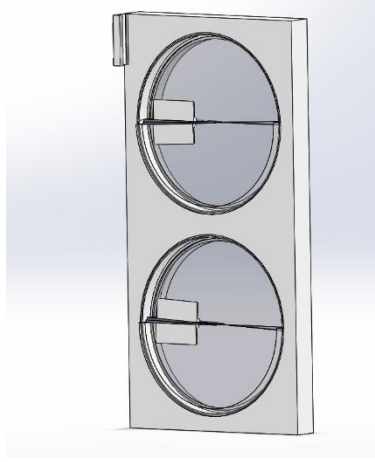
Tablolar karşılaştırıldığında poliüretan köpüğün diğer yalıtım malzemelerine göre daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bu karşılaştırmalar göz önüne alınarak projede poliüretan köpük kullanılmasına karar verilmiştir.

Buzdolabı kapı contaları iç ve dış ortam arasındaki ısı geçişini önlemeye çalışır. Buzdolaplarında genellikle PVC bazlı contalar kullanılmakta olup sızdırmazlık sağlaması, titreşim ve ses sönümlemesini artırmak için termoplastik elastomer (TPE) malzemelere geçiş yapılmaktadır. Termoplastik elastomerlerin sıcak ve soğuk dayanımı yüksektir. Çok iyi kaynak edilebilmesi ve kolay montajından dolayı PVC bazlı contalara göre iyi bir avantaj sağlamaktadır. Isı iletkenlik katsayısının düşük olmasıyla enerji tasarrufuna katkı sağlamaktadır. İnsan sağlığına daha uygun ve çevre dostudur [107].



Şekil 39. Buzdolabı Kapak Contası [107]

#### 4.2.Üç Boyutlu Şeffaf Kapak Tasarımları



Şekil 40. Açılabilir Yuvarlak Sürgülü Dört Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı

Şekil 40'ta görülen tasarımda ana dikdörtgen kapak üzerinde şeffaf malzemeden yapılmış yarım daire şeklinde dört kapak daha bulunmaktadır. İç görüşü engellemek için dairesel kapaklarda bulunan tutma yerleri de şeffaf malzemeden seçilmiştir. Malzemelere en kısa süreden ulaşabilmek için beş kapağa tutma yeri eklenerek her birinin ayrı ayrı açılması sağlanmıştır. Dairesel kapaklardan ısı kaçışını en aza indirmek ve kendiliğinden açılmasının önüne geçmek için mıknatıslı contalar kullanılmıştır.

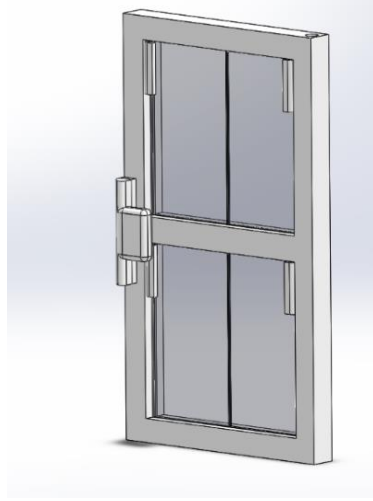


Şekil 41. Açılabilir Kavisli Sürgülü Dört Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı



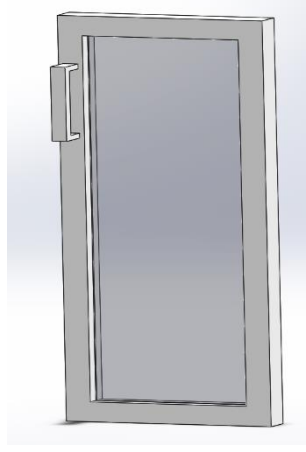
Şekil 41’de görülen tasarımda şeffaf kapak ve hareket duyarlı sensör ile buzdolabında oluşturulan enerji tasarrufunun artırılması hedeflenmiştir. Dolap kapağının tek seferde tamamının açılmasının önüne geçmek için sürgü mekanizması oluşturulmuştur. Sürgü yatay yönde kullanılarak kapağın aşağı yönlü hareketinde gerekli kontrole gerek duyulmamıştır.

Kapak oval şeklinde tasarlanarak buzdolabı iç hacmi artırılmaya çalışılmıştır. Standart buzdolaplarında raflar ile kapak arasındaki boşluk kapağa yakın olan ürünlerin düşmesine sebep olabilmektedir. Rafların uç kısmı kapağa göre imal edildiğinde buzdolabı iç hacminden tam olarak yararlanılmış olacaktır. Aynı zamanda sürgü kısmının dışında daha büyük ürünlerin saklanması amacıyla sürgü mekanizmasının dışında kapağın tamamının açılması istenmiş ve sol üst kısımda bunun için bir boşaltma yapılmıştır.



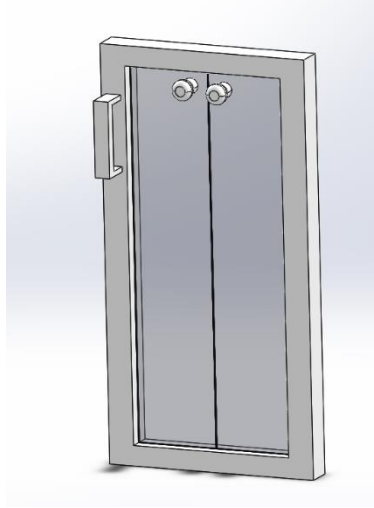
Şekil 42. Açılabilir Düz Sürgülü Dört Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı

Şekil 42’de görülen tasarımda, kapağın iç görünürlüğünü sağlamak amacıyla kapağın bazı bölgeleri şeffaf olarak tasarlanmıştır. Kapakta toplam dört adet şeffaf bölme bulunmaktadır. Bölmelerin her biri kendine ait sürgü üzerine oturtulmuştur ve açılıp kapatılırken zorluk olmaması için bölmelere kulp takılmıştır. Bu bölmeler, oda ile buzdolabı kabini arasındaki ısı giriş çıkışını belirli bir oranda azaltmaktadır. Buzdolabından alınacak ürüne yakın olan bölmenin kapağı sürgü yardımıyla yatay bir şekilde kaydırılarak açılacak ve ürün alındıktan sonra kapatılacaktır. Eğer istenilen ürün bölmelerden geçemeyecek kadar büyükse kapağa takılan kulp yardımıyla kapak bütün olarak açılacaktır.



Şekil 43. Açılmaz Şeffaf Kapak Tasarımı

Şekil 43'te görülen tasarımda kapağın bir kısmı diğer çalışmalarda olduğu gibi plastikten yapılmıştır ve dolap içerisinin görünmesi sağlanmıştır. Bu şeffaf kapak tasarımı basit olmakla beraber diğer seçenekler gibi şeffaf bölme açılmamakta sadece dolabın kapağının açılmasıyla çalışmaktadır.



Şekil 44. Açılabilir İki Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı

Şekil 44'te görülen tasarımda ana dolap kapağının iç kısmına yerleştirilmiş olan iki şeffaf bölme bulunmaktadır. Bu bölmeler normal bir dolap mantığıyla çalışmaktadır. İki

şeffaf bölmede de kulplar bulunmaktadır. Bu kulplar sayesinde dolap iki tarafa açılabilir. Ürünün alınacağı yöne göre istenilen taraf açılabilir.



Şekil 45. Açılabilir Dikey Sürgülü İki Bölmeli Şeffaf Kapak Tasarımı

Şekil 45'te görülen tasarımda dikey sürgü sistemine sahip iki şeffaf kapağın ana kapağın içine yerleştirilmesiyle oluşmuştur. Tasarımda iç görünüm sağlayan alan genişletilmiş, kullanılan contalarla ısı geçişi en aza indirilmiştir. Tüm kapaklara tutma yeri eklenmiş böylece her birinin ayrı olarak açılmasıyla buzdolabı içindeki malzemelere en kısa sürede ulaşılması sağlanmıştır.

### 4.3. Yapılan Mühendislik Hesaplamaları

Bu bölümde, buzdolabı içerisindeki ürünlerin istenilen soğuklukta tutulmasını sağlamak ve ürünlerin bozulmasını engellemek için soğutma yükü hesabı yapılacaktır. Bu hesaba uygun olacak şekilde motorumuz seçilecektir. Ürünlerin ( $0^{\circ}\text{C} \div 10^{\circ}\text{C}$ ) arasında depolanması, belirli süre içerisinde, ürünlerin donmadan ve bozulmadan kullanılması için daha uygun olacaktır. Bu yüzden depolama normal soğuklukta yapılacaktır. Dış ortam sıcaklığı ortalama olarak  $28^{\circ}\text{C}$  alınacaktır. Buzdolabında derin dondurucu kısım bulunmadığı için sıcaklığın çok düşük olması ürünlerin donmasına sebep olabilir. Bu yüzden iç ortam sıcaklığı da en düşük  $0^{\circ}\text{C}$  alınarak işlem yapılacaktır.

Soğutma yükü hesabı tek bir tasarıma göre yapılmış olup diğer tasarımlara ait değerler Tablo 12’de verilmiştir.

Buzdolabı kabınınin soğutma yükünü oluşturan ısı kazançlar;

### Soğutulan Hacmi Çevreleyen Yüzeylerden Meydana Gelen Isı Kazancı

Yan yüzeylerden meydana gelen ısı kazancı ;

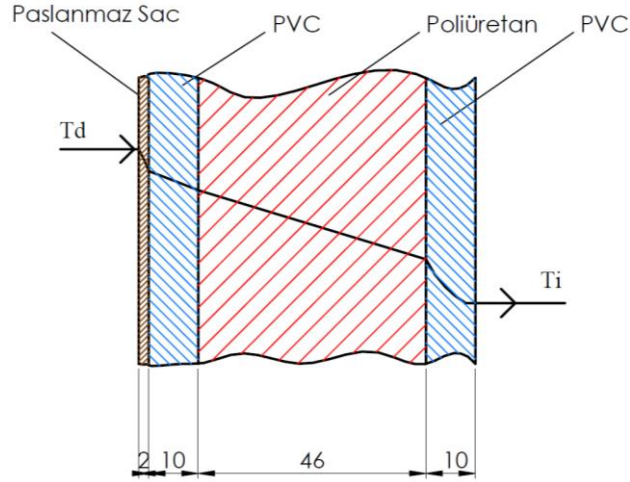
Bu hesap yapılırken toplam 2 tane yan yüzeye göre yapılmıştır.

$$Q_y = 2 \times U \times A \times (T_d - T_i) \text{ [W]}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_d} + \frac{l_{p.s.}}{k_{p.s.}} + \frac{l_{PVC}}{k_{PVC}} + \frac{l_{P.ü.}}{k_{P.ü.}} + \frac{l_{PVC}}{k_{PVC}} + \frac{1}{h_i}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{9 \frac{W}{m^2K}} + \frac{0,002 \text{ m}}{14 \frac{W}{mK}} + \frac{0,010 \text{ m}}{0,16 \frac{W}{mK}} + \frac{0,046 \text{ m}}{0,023 \frac{W}{mK}} + \frac{0,010 \text{ m}}{0,16 \frac{W}{mK}} + \frac{1}{6 \frac{W}{m^2K}} = 2,403 \frac{m^2K}{W}$$

$$Q_y = 2 \times (0,4162 \frac{W}{m^2K}) \times (0,54 \text{ m} \times 0,82 \text{ m}) \times (28 \text{ K}) = 10,32 \text{ W}$$



Şekil 46. Yan Yüzeylerde Meydana Gelen Isı Transferinin Kesit Görünümü

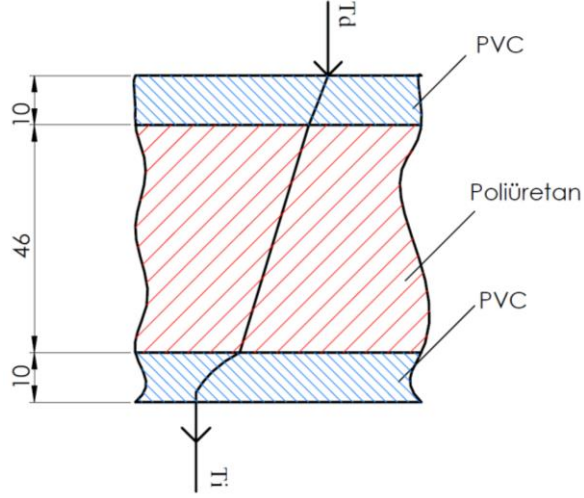
Buzdolabının üst kısmından meydana gelen ısı kazancı ;

$$Q_t = U \times A \times (T_d - T_i) \text{ [W]}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_d} + \frac{l_{PVC}}{k_{PVC}} + \frac{l_{P.ü.}}{k_{P.ü.}} + \frac{l_{PVC}}{k_{PVC}} + \frac{1}{h_i}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{9 \frac{W}{m^2K}} + \frac{0,010 \text{ m}}{0,16 \frac{W}{mK}} + \frac{0,046 \text{ m}}{0,023 \frac{W}{mK}} + \frac{0,010 \text{ m}}{0,16 \frac{W}{mK}} + \frac{1}{6 \frac{W}{m^2K}} = 2,403 \frac{m^2K}{W}$$

$$Q_t = \left( 0,416185 \frac{W}{m^2K} \right) \times (0,54 \text{ m} \times 0,48 \text{ m}) \times (28 \text{ K}) = 3,0205 \text{ W}$$



Şekil 47. Buzdolabının Üst Kısımında Meydana Gelen Isı Transferinin Kesit Görünümü

### Hava Değişiminden Kaynaklı Meydana Gelen Isı Kazancı

$$Q_{hd} = (\text{Hava Değişim Sayısı}) \times (\text{Buzdolabı Hacmi}) \times (h_d - h_i) \times \rho \text{ [kJ]}$$

$$Q_{hd} = (\text{Hava Değişim Sayısı}) \times (\text{Buzdolabı Hacmi}) \times C_p \times (T_d - T_i) \text{ [kJ]}$$

$$Q_{hd} = 9 \times (90 \times 10^{-3} \text{ m}^3) \times 1300 \text{ kJ}/(\text{m}^3\text{K}) \times (28 - (0) \text{ K}) = 29484 \text{ KJ/gün}$$

$$Q_{hd} = 0,34125 \text{ W}$$

### Ürünlerde Meydana Gelen Isı Kazançları

Bu hesap için seçilen ürün elmadır. Bir elmanın depolama sıcaklığı  $(0-3)^\circ\text{C}$ , bağıl nemi (90-95), donma başlangıç sıcaklığı  $(-1.1)^\circ\text{C}$ , donma öncesi özgül ısısı 3.65, donma sonrası özgül ısısı  $1.89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ , donma ısısı 280 ve soğuma süresi 24 saat olacak şekilde alınarak hesap yapılmıştır.

1 m<sup>3</sup>'e 16 kasa elma sığacağı varsayılmıştır. Buzdolabının iç hacmi 0,095 m<sup>3</sup>'tür ve kapasitesi 1,52 kasadır. Her kasada 18 kg elma olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle buzdolabı toplam 27,36 kg elma depolayabilmektedir.

Donma noktasının üzerindeki bir sıcaklıkta depolama için ısı kazancı ;

$$Q_{\ddot{u}} = \frac{m \times C_{p3} \times (T_d - T_i)}{\Delta t_3} = \frac{(27,36\text{kg}) \times \left(3,65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right) \times (28-0 \text{ K})}{24 \times 3600 \text{ s}} = 0,032362 \text{ W}$$

Solunum ısılarından meydana gelen ısı kazancı ;

$$Q_s = m \times q_s = (0,18\text{kg}) \times (3 \times 10^{-3} \text{ W/kg}) = 0,00054 \text{ W}$$

### **Diğer Isı Kazançları**

Aydınlatma nedeniyle oluşan ısı kazancı ;

Buzdolabı içerisindeki aydınlatma hareket sensörü ile çalışacaktır. Günde en fazla 3 saat çalışacağı varsayılarak hesap yapılmıştır.

$$Q_a = (\text{Adet Sayısı}) \times (\text{Lambanın Gücü}) \times (\text{Kullanım Süresi})$$

$$Q_a = 1 \times (4\text{W}) \times \left(\frac{3 \text{ saat}}{24 \text{ saat}}\right) = 0,5 \text{ W}$$

Fan nedeniyle oluşan ısı kazancı ;

Buzdolabının alt arka tarafında bulunan fanın günde en fazla 20 saat çalıştığı varsayılmıştır ve hesap bu süreye göre yapılmıştır.

$$Q_f = (\text{Adet Sayısı}) \times (\text{Fanın Gücü}) \times (\text{Kullanım Süresi})$$

$$Q_f = 1 \times (7,5\text{W}) \times \left(\frac{20 \text{ saat}}{24 \text{ saat}}\right) = 6,25 \text{ W}$$

Şeffaf yüzeyden kaynaklı ısı kazancı ;

Bu yüzeyde şeffaf ve plastik malzeme olarak pleksiglass kullanılmıştır. Bu hesap örnek olması için yuvarlak şeffaf kapaklı tasarıma göre yapılmıştır.

$$Q_c = k_c \times A_{cc} \times \Delta T$$

$$Q_c = \left(0,19 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right) \times 2 \times \pi \times 0,165\text{m}^2 \times 28 \text{ K} = 0,91004 \text{ W}$$

### Toplam Isı Kazancı

$$Q_{\text{Top.}} = Q_y + Q_t + Q_{\text{hd}} + Q_{\text{ü}} + Q_s + Q_a + Q_f + Q_c$$

$$Q_{\text{Top.}} = (10,594 + 3,1012 + 0,34125 + 0,032362 + 0,00054 + 0,5 + 6,25 + 0,91004) \text{ W}$$







$$Q_{\text{Top.}} = 21,37 \text{ W}$$

Yapılan soğutma yükü hesabında bulunan toplam soğutma yükü değeri fazla olmadığı için motor seçimi ortalama bir değer olarak hesaplara katılmıştır. Motordan kaynaklanan ısı kazancı da toplam soğutma yüküne eklenmiştir ve Tablo 12’de bütün tasarımlar için soğutma yükü değerleri verilmiştir.

$$Q_m = (\text{Motor Sayısı}) \times (\text{Motor Gücü}) \times (\text{Kullanım Süresi})$$

$$Q_m = (1) \times (75 \text{ W}) \times \left(\frac{24 \text{ saat}}{24 \text{ saat}}\right) = 75 \text{ W}$$

Tablo 12. Tasarım Değerlendirme Tablosu

ŞEKİL NO	TASARIM	Olumlu Yönleri	Olumsuz Yönleri	Kullanım Kolaylığı	Sızdırmazlık	İşlevsellik	Soğutma Yükü [W]	Görsellik	İç Görünürlük
Şekil 40		6	6	7	5	4	96,37	5	6
Şekil 41		8	4	9	5	9	100,1739944	9	9
Şekil 42		6	4	9	5	7	96,96	7	7
Şekil 43		6	4	3	8	2	96,72	4	8
Şekil 44		6	4	5	5	3	96,72	3	8
Şekil 45		6	6	4	5	4	96,92	5	8

Yukarıdaki tabloda özelliklerin değerlendirilmesi 10 üzerinden yapılmıştır. Tablodaki değerlendirme puanlarının toplamı aşağıdaki sırayla verilmiştir.

Şekil 40: 39 puan / Şekil 41: 53 puan / Şekil 42: 45 puan / Şekil 43: 35 puan

Şekil 44: 34 puan / Şekil 45: 38 puan

Yukarıdaki tabloda çeşitli modellerin özellikleri verilmiştir. Verilen özelliklere göre bir karşılaştırma yapılmıştır. Öncelikli olarak modellerin soğutma yükü hesaplarına bakılmıştır. Görüldüğü üzere Şekil 41'deki modelin soğutma yükü diğer modellere göre daha yüksektir. Bu özellik buzdolabı kapağının dış ortam ile ısı alışverişinin daha fazla olduğunu dolayısıyla buzdolabı ısı kaybının fazla olduğunu göstermektedir. Fakat diğer modellerle soğutma yükü farkı çok olmadığı için modelin diğer özelliklerine de bakılarak karşılaştırma yapılmıştır.

Tablodaki kapak modellerinin hepsi kullanım kolaylığı ve enerji tasarrufu düşünülerek tasarlanmıştır. Fakat bazı modeller kullanım kolaylığı açısından daha verimsizdir. Örneğin Şekil 43'teki tasarımda sadece iç görünürlük sağlanmıştır. Buzdolabı içerisinden ürün alırken bütün kapağın açılması diğer modellere göre daha çok ısı kaybına neden olmaktadır. Başka bir örnek olarak Şekil 45'teki tasarım verilebilir. Tasarımda, sürgü sistemi düşey doğrultuda, üstteki bölme aşağıya doğru, alttaki bölme yukarıya doğru çekilerek hareket ettirilmektedir bu nedenle üstteki bölmenin hareketi yer çekiminin de etkisiyle normalden daha ani ve hızlı olabilir. Ayrıca ani ve hızlı hareket eden bölmeler, sürtündükleri contaı diğer tasarımlara göre daha fazla aşındırabilir.

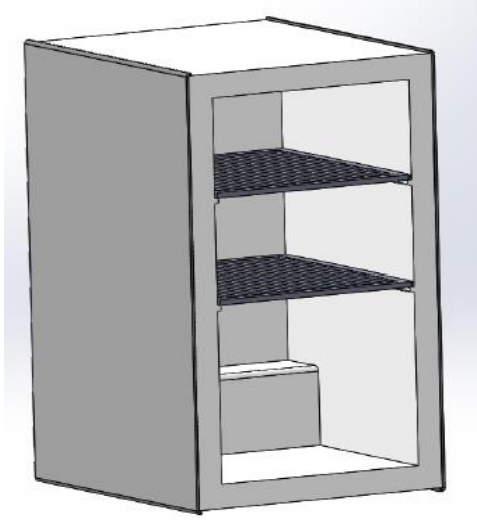
Tasarımlardaki enerji tasarrufları, iç görünürlük ile dolabın sürekli açılıp kapanmasındaki ısı kaybını engelleyerek sağlanmaktadır. Çoğu modelde bu özellik sağlanmıştır fakat bazı modellerde tasarım diğerlerine göre daha fazla enerji tüketmektedir. Şekil 40, Şekil 41 ve Şekil 42'de dört bölme bulunmaktadır. Buzdolabı içerisinden alacağımız ürüne yakın bölme açılarak istediğimiz ürüne ulaşılabilir. Böylece buzdolabı ile dış ortam arasındaki ısı giriş çıkışı azaltılarak enerji tasarrufunun daha verimli olması sağlanmıştır. Fakat Şekil 40'taki tasarımda şeffaf bölmelerin yarım daire şeklinde olması, buzdolabının içindeki görülebilen alanı kısıtlamaktadır ve içeriden alınacak sınırlı boyutlardaki ürünler dışında diğer ürünlerin şeffaf bölmeden geçişini zorlaştırır.

Buzdolabı satışlarında, buzdolabının tercih edilmesinin en önemli özelliklerinden biri iç hacminin fazla olmasıdır. Şekil 41'deki modelde diğerlerinden farklı olarak buzdolabı iç hacmini artırmak için şeffaf malzeme kavisli olarak tasarlanmıştır. Ayrıca şeffaf kısmın kavisli tasarlanması buzdolabı içerisinde daha fazla alanı görmemize olanak sağlar. Tablodaki tasarımlarda, Şekil 41'deki tasarımın diğer tasarımlara göre daha üstün özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmamızın kapak tasarımı olarak Şekil 41 seçilmiştir.



#### 4.4. Buzdolabı Tasarımı

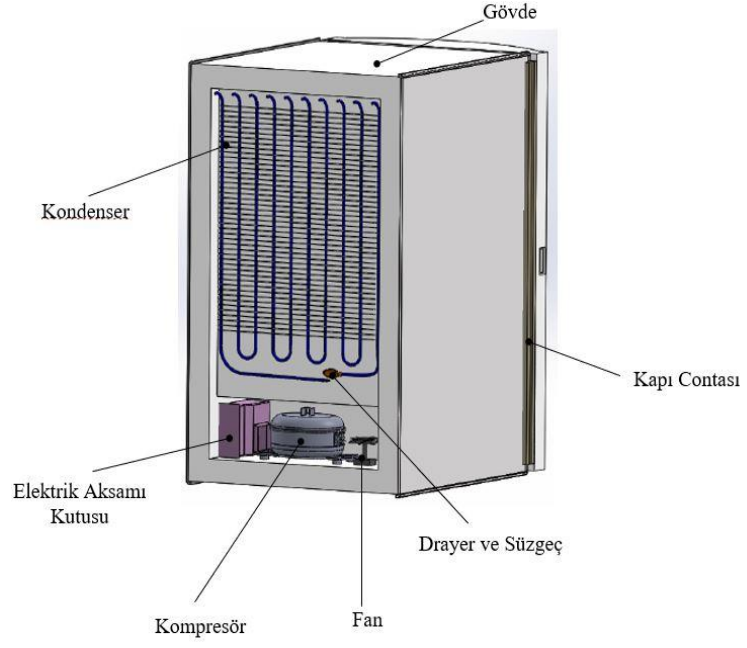
Aşağıdaki şekillerde gösterilmiş olan montajın ve parçaların resimlerinin teknik resim şeklindeki detaylı çizimleri Eklerde verilmiştir.



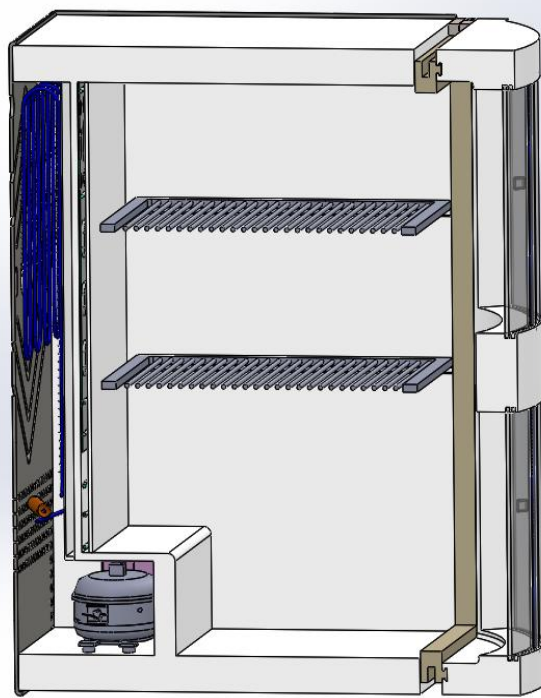
Şekil 48. Buzdolabı Gövde ve Raflarının Üç Boyutlu Görünümü



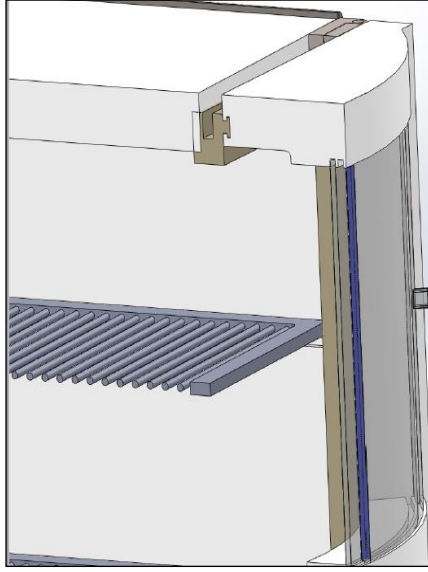
Şekil 49. Buzdolabı Kapısının Üç Boyutlu Görünümü



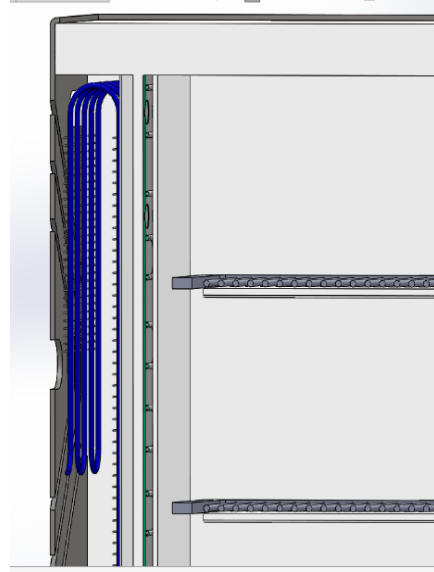
Şekil 50. Buzdolabı Arka Kısmı ve Tasarım Elemanlarının Gösterimi



Şekil 51. Buzdolabı Sağ Kesit Görünümü

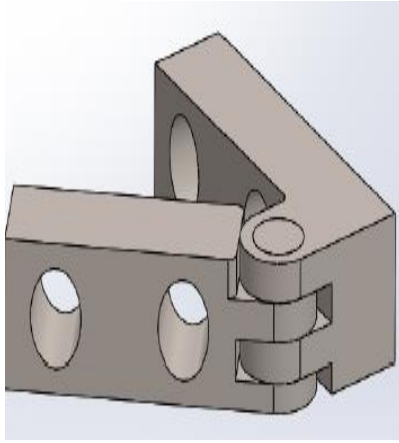


(a)



(b)

Şekil 52. (a) Üst Ön Kesit ile Sızdırmazlıkların Görünümü  
(b) Üst Arka Kesitin Detay Görünümü

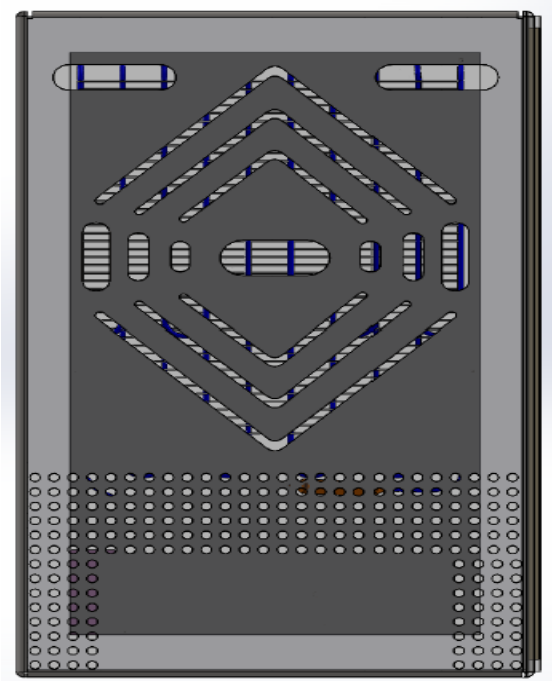


(a)



(b)

Şekil 53. (a) Tasarımda Kullanılan Menteşenin Görünümü  
(b) Şeffaf Sürgü Kapağın Görünümü



Şekil 54. Buzdolabı Arka Kısımının Görünümü



Şekil 55. Sensörlü Şeffaf Kapak Buzdolabı Tasarımının Üç Boyutlu Montaj Resmi

## 5. ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ

Soğutma insanlar için vazgeçilmez bir gereksinimdir. Yiyecek ve içeceklerin sağlıklı bir şekilde depolanması amacıyla değişik soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Çevreyi korumak için ve fosil yakıt kaynaklarının azalması nedeniyle araştırmacılar, daha verimli soğutma sistemleri geliştirmeye ve çevreci soğutucu akışkanlar üzerine yoğunlaşmışlardır. Kloroflorokarbonlar uzun yıllardan beri yüksek performans sergiledikleri için özellikle buzdolaplarında yaygın şekilde kullanılmıştır. Bunlar içerisinde R-12 en çok kullanılan soğutucu akışkan olmuştur. Fakat Montreal protokolü ile R-12 soğutucu akışkanın yerine R134a akışkanı kullanılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Tasarımımızda soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Bu soğutucu akışkanın atmosferik ömrü 14.5 yıl olarak tespit edilmiştir ve diğer soğutucu akışkanlara göre bu değer oldukça düşüktür. Ayrıca ozon delme faktörü, kloroflorokarbonların ozon tabakasına olan etkilerini göstermektedir. R134a soğutucu akışkanında ozon delme faktörü 0'dır. Kullandığımız soğutucu akışkanın çevreye olan zararlı etkileri diğer akışkanlara göre daha az olduğu için tercih edilmiştir. Buna bağlı olarak tasarım çalışmamızda çevre faktörü göz önüne alınarak tercihler yapılmıştır diyebiliriz. [108,109]

## 6. MALİYET ANALİZİ

Bir tasarımda mukavemet, işlevsellik gibi temel özelliklerin yanında üretim maliyeti de dikkate alınmalıdır. Buzdolapları uzun süreli kullanımları nedeniyle tasarımlarında enerji tasarrufuna yönelik bir değişiklik aynı zamanda uzun vadede maliyet tasarrufu da sağlayacaktır. Bu geniş zamanlı para ve enerji kazanımının yanında başlangıçtaki üretim maliyeti de dikkate alınmalıdır.

Bu bölümde sensörlü şeffaf kapaklı buzdolabı tasarımının yaklaşık maliyet analizi yapılacaktır. Buzdolabında kullanılan tüm parçaların malzemeleri belirlenmiş ve istenen birimlerde ölçüleri alınmıştır. Malzemelerin 2020 yılına ait birim fiyatlar üzerinden toplam maliyet yaklaşık olarak hesaplanmıştır.[110]

Tablo 13. Sensörlü Şeffaf Kapaklı Buzdolabı Maliyet Tablosu

MALZEME ADI	ÖLÇÜ	MİKTAR	BİRİM FİYAT (₺)	TOPLAM
PASLANMAZ ÇELİK SAC	kg	20,22	15,15	306,333
PVC	m <sup>2</sup>	3,19	17	54,23
POLİÜRETAN KÖPÜK	kg	3,87	15	58,05
PLEXİGLASS	m <sup>2</sup>	0,22	165	36,3
ALÜMİNYUM LEVHA	kg	2,16	17,65	38,124
BAKIR BORU	m	15,80	12,22	193,076
BAKIR TEL	m	26,6	3	79,8
TPE	kg	4	5,1	20,4
ARDUINO UNO R3	Adet	1	30	30
PIR SENSÖR	Adet	1	9	9
LAMBA	Adet	1	10	10
TERMOSTAT	Adet	1	30	30
MOTOR	Adet	1	250	250
TOPLAM (₺)				1115,313

Poliüretan= Gövde 3,57 kg + Kapak 0,3 kg= 3,87 kg

Paslanmaz çelik= yan saclar 2\*7,33 kg + arka kapak 5,2 kg+ menteşe 2\*0,18 kg=20,22

Plexiglass= 0,22 m<sup>2</sup>

PVC = Gövde 2,82 m<sup>2</sup> + kapak 0,37 + fan 0,001= 3,19 m<sup>2</sup>

Alüminyum levha= Evaporatör 2,16 kg

Bakır boru= Evaporatör 6,4 m + Kondenser 9,4 m=15,8

Bakır tel= Kondenser 26,6 m

TPE = Contalar 4 kg

## 7. ÜRÜN İMALATI

### 7.1. Sistem Bileşenleri

Tasarım aşaması tamamlanan sensörlü şeffaf kapaklı buzdolabı projesi için üretim planlaması yapıldıktan sonra üretim çalışmalarına başlanmıştır. İlk olarak buzdolabının gövde kısmı ve kapağın gövde kısmı suntalam malzemedен üretilmiştir. Gövde kısmı için 7 adet farklı boyutlardaki suntalam parça, istenilen boyutlarda kesildikten sonra vidalar ile birleştirilmiştir. Kapağın gövde kısmındaki parçaların sabitlenmesi için dikdörtgen kesitli çerçeve oluşturulmuştur. Sonrasında 4 adet düz ve 4 adet kavisli suntalam parça çerçeveye vidalarla monte edilmiştir. Parçaların hepsi dekapaj ile kesilip avuç içi taşlama aleti ile pürüzleri giderilmiştir.



Şekil 56. Kapak ve Gövde Görüntüsü      Şekil 57. Kapak Çerçevesi Görüntüsü

Buzdolabının kapak kısmında bulunan bölmelere 4 adet pleksiglass levha yerleştirileceği için yine pleksiglass kullanılarak kavisli ince bölmeler oluşturulmuştur. Daha sonra pleksiglass levhalara ısı tabancası ile şekil verilerek kavisli bölmeler üzerine oturtulmuştur. Sızdırmazlık sağlamak amacıyla her pleksiglassın yan kenarına conta yapıştırılmıştır. Şeffaf bölmelerin rahatlıkla açılabilmesi için kulplar cıvata ile monte edilmiştir.



Şekil 58. Pleksiglass Bölmelerin Görüntüsü



Şekil 59. Kapağın Kulplu Görüntüsü

Kapak gövdesi ile buzdolabı gövdesi arasındaki sızdırmazlığın sağlanması amacıyla kapak kısmına mıknatıslı conta yerleştirilmiştir. Kapağın tamamen kapanması için karşı gövdenin 3 kısmına lama profil demir vidalanmıştır. Bu sayede mıknatıs işlevini yerine getirmiştir. Kapağın sol tarafına 8 milimetrelik ahşap el frezesi ile oyuk açılarak içerisine demir kulp yerleştirilmiştir.



Şekil 60. Kapak Contası Görüntüsü



Şekil 61. Kapak Kulp Görüntüsü

Raflar için ince demir çubuklar verilen ölçülere göre birbirlerine kaynak edilmiştir. Elde edilen 2 adet raf, suntalama montelenmiş olan alüminyum profil üzerine yerleştirilmiştir.



1 adet üstten 1 adet alttan olacak şekilde 2 adet mil menteşe kullanılarak kapak ve gövde birbirine monte edilmiştir.

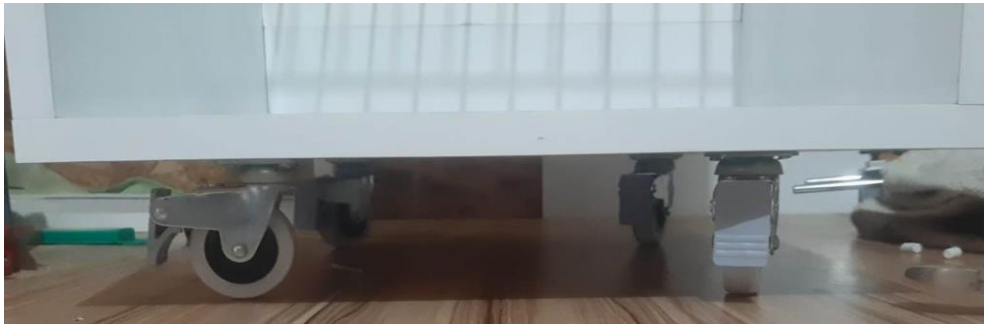


Şekil 62. Rafların Görüntüsü



Şekil 63. Menteşe Görüntüsü

Buzdolabının alt kısmına 4 adet frenli teker vidalar yardımıyla monte edilmiştir. Bu sayede hem buzdolabının taşınması kolaylaştırılmıştır hem de kapağın açılıp kapanırken yerle teması ortadan kaldırılmıştır.



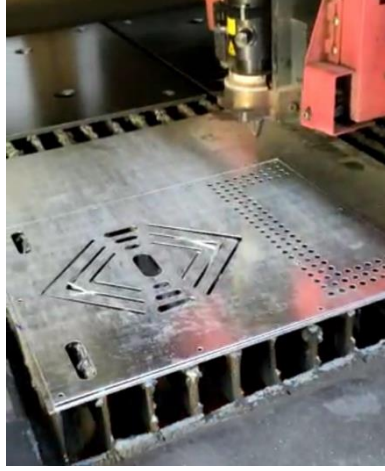
Şekil 64. Tekerleklerin Görüntüsü

Aydınlatma için kullanılan led gövdenin içinde sol arka kenarına yerleştirilmiştir. Hareket sensörü ile led bağlantısı buzdolabının arka boşluğundan yapılarak hareket algılayıcısı arka tarafın üst ortasına yerleştirilmiştir.



Şekil 65. Hareket Sensörü ve Led Görüntüsü

Arka sac, CNC kullanılarak lazer kesim ile galvanizli sac malzemeden üretilmiştir. Daha sonra sacın üstü beyaz sentetik yağlı boya ile boyanmıştır. Sac buzdolabının arkasına vidalanarak montaj işlemi sonlandırılmıştır.



Şekil 66. Arka Sac Üretim Görüntüsü



Şekil 67. Arka Sacın Boyanmış Görüntüsü

Sensörlü şeffaf kapaklı buzdolabı projesinin yapılan modelinin son hali Şekil 68'de verilmiştir.





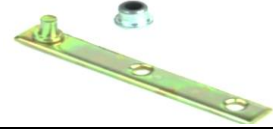
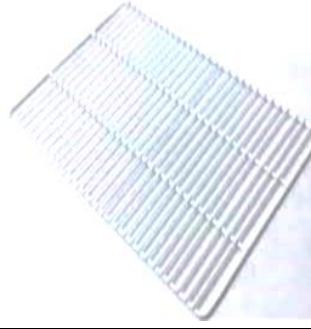



Şekil 68. Modelin Son Montaj Görüntüsü

## 7.2. Kullanılan Malzemeler

Üretim boyunca kullanılan malzemeler ve özellikleri Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14. Üretim Boyunca Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

PARÇA	MALZEME	ÖZELLİK
	Suntalam	Çizilme, çarpma, sürtünme ve solmaya karşı dayanıklı Temizliği kolay Yoğunluğu 500-800 kg/m <sup>3</sup> aralığında Yanmaz Su geçirmez Ucuz
<b>Kullanım Alanı</b>		Buzdolabı Gövdesi - Kapak Gövdesi
	Pleksiglass	Döküm tekniği ile farklı kalınlıklarda, renkli veya renksiz; şeffaf ya da opak olarak imal edilebilir. Isıtılarak, vakumla veya basınçla form verilebilir. Bunların yanında torna ve freze ile de şekillendirilebilir. Isıyla şekillendirildiğinde soğuduktan sonra şeklini muhafaza eder. Moleküler ağırlığı yüksektir. Bu sebeple çok iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Düşük özgül ağırlığı sebebiyle hafiftir. Dış ortam dayanımı kimyasal ve iklim koşulları açısından yüksektir. Işık geçirgenliği cama göre çok daha yüksektir. Kesimi daha kolaydır.
<b>Kullanım Alanı</b>		Şeffaf Sürgü Kapak
	PVC	Mükemmel yakın yalıtım sağlamaktadır. Su geçirgenliği azdır. Uzun ömürlü ve ekonomiktir. Isı iletim katsayısı birçok malzemeye göre düşüktür. (0,16 W/mK) Kıvrılabilir ve esnek olmak üzere iki formu bulunmaktadır. Kolay işlenebilmektedir. İnsan ve gıda sağlığına uygun üretimi mevcuttur.
<b>Kullanım Alanı</b>		Buzdolabı Contası - Tekerlek
	Galvanizli Sac	Farklı proseslerle üretilebilmektedir. Yüzeyi çinko ile kaplanarak çeliğin korozyon direnci artırılmıştır. Birden fazla kaynak çeşidi ile kaynak yapılabilir. Yüzey kaliteleri yüksektir. Kolay şekillendirilebilir. Ön işlemleri doğru yapıldığında kolayca boyanabilir. Beyaz eşya sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.
<b>Kullanım Alanı</b>		Buzdolabı Arka Sac
	Pirinç	Bakır çinko alaşımıdır. Sert ve dökümü kolaydır. Korozyon direnci yüksektir. Üstün soğuk işleme özelliklerine sahiptir.
<b>Kullanım Alanı</b>		Menteşe
	Demir	Tüm metaller içinde en çok kullanılan demir metalidir. Çelik veya döküm elde edilebilir. En çok kullanılan şekli çelik, demir elementi ile %0,2 ila %2,1 oranlarında değişen karbon miktarı ile meydana gelir. Kolay işlenebilir, dövülerek şekil verilebilir Buzdolabı rafının üretiminde korozyonu önlemek amacıyla üzeri beyaz plastikle kaplanmış bir şekilde kullanılmıştır. Tekerlekte taşınacak yük kapasitesine göre demir gövde ve bağlantı elemanı üzerine sert plastik yuvarlanma elemanı şeklinde kullanılmıştır. Ucuzdur.
<b>Kullanım Alanı</b>		Tekerlek - Buzdolabı Rafı
	304 Paslanmaz Çelik	Kullanım alanı geniştir. Korozyona karşı direnci yüksektir. Mekanik özellikleri iyidir. Düşük sıcaklıklarda da kullanılabilir. Ostenitik paslanmaz grubunda bulunmaktadır. Standart koşullarda fiyat-performans açısından en verimlisidir. En sık tercih edilen paslanmaz çeliktir.
<b>Kullanım Alanı</b>		Civata

### 7.3. Maliyet

Üretilen modelin maliyeti tablo oluşturularak hesaplanıp aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 15. Modelin Üretim Maliyeti

MALZEME ADI	ÖLÇÜ	MİKTAR	BİRİM FİYAT (₺)	TOPLAM(₺)
SUNTALAM	m <sup>2</sup>	1,5	53,33	80
GALVANİZLİ SAC	kg	2	44	88
PLEKSİGLASS	m <sup>2</sup>	0,4371	160,15	70
MENTEŞE	Adet	2	3,725	7,45
BUZDOLABI CONTASI	cm <sup>2</sup>	3264	0,018382	60
FRENLİ TEKERLEK	Adet	4	17	68
BUZDOLABI RAFI	Adet	2	5	10
SENSÖR	Adet	1	55	55
CİVATA	M2x25	16	0,3	4,8
CİVATA	M3.5x30	32	0,5	16
KULP	Adet	5	5	25
LAMA PROFİL	m	1	22,5	22,5
BOYA	lt	1	10	10
LED	Adet	1	30	30
İŞÇİLİK				150
<b>TOPLAM(₺)</b>				<b>696,75</b>

#### 7.4. Haftalık Çalışma Programı

	Çalışma Planını Belirlemek	Model Ölçüleri ve Malzeme Seçimi	Malzemelerin Temini ve Modelin Yapılışı	Projenin Yazımı ve Poster Yapımı	Modelin Kargolanması ve Teslimi
1.HAFTA	■				
2.HAFTA	■				
3.HAFTA		■			
4.HAFTA		■			
5.HAFTA		■			
6.HAFTA			■	■	
7.HAFTA			■	■	
8.HAFTA			■	■	
9.HAFTA			■	■	
10.HAFTA			■	■	
11.HAFTA			■	■	
12.HAFTA			■	■	
13.HAFTA			■	■	■
14.HAFTA					■

## 8. SONUÇLAR

Tasarım çalışmasında yapılan araştırmalar ve elde edilen verileri doğru yorumlama, tasarımın başarısı için önemli bir kriter olmuştur. Standartlar ve araştırmalar dikkate alınarak tasarım için uygun yöntemler bulunmuştur. Literatür ve patent araştırması sonucunda özgün bir tasarım oluşturulmuştur. Bu proje, piyasada mevcut buzdolaplarından farklı olarak şeffaf tasarlanan kapak ve aydınlatma için kullanılan hareket sensörüyle ön plana çıkmaktadır.

Tasarım çalışmasında enerji tasarrufunu sağlamak için çeşitli kapak tasarımları oluşturulmuştur. Bölüm 4, Tablo 12’de bulunan tasarımlar için belirlenen kriterlere göre en iyi tasarım seçilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu maliyet ve işlevsellik açısından şeffaf malzeme olarak pleksiglass uygun bulunmuştur.

Buzdolabı tasarımı yapılırken kullanılan bazı temel parçalar, 111 numaralı kaynaktaki Solidworks kütüphanesinden esinlenerek çizilmiştir. Kondanser, motor, evaporatör, elektrik kutusu ve drayer bu kütüphaneye bakılarak gerekli boyutlandırmalar ve tasarımda değişiklikler yapılarak çizilmiştir ve hem üç boyutlu görünüm olarak hem de teknik resim formatında verilmiştir.

Projede sunulan bilgileri toplama ve kullanma sürecinde etik kurallar dışına çıkılmamıştır. Kullanılan bütün kaynaklar ve veriler, kaynakça kısmında verilmiştir. Proje kapsamında düşük maliyet, daha az çevre hasarı ve verimlilik amaçlanmıştır ve buna uygun çalışmalar gerçekteşirilmıştir.

MM4007 Bitirme Projesi dersi kapsamında proje için suntalam malzemeden daha küçük boyutlarda bir model oluşturulmuştur. Üretilen sensörlü şeffaf kapaklı buzdolabı projesinin modeli ile tasarımı karşılaştırıldığında bazı farklılıklar gözlemlenmiştir. Yan tarafa konulması planlanan hareket sensörü model boyutundan dolayı iç tarafa yerleştirilmiştir. Daha kullanışlı olacağı düşünülerek raf düzeni değiştirilmiştir. Üretimi ve montajı zor olduğundan kapağın iç tarafında kavis oluşturulamamıştır. Şeffaf bölmelerin kayması için açılması gereken oyuklar yerine pleksiglasstan kavisli profil oluşturulmuştur.

Şeffaf bölmelerin sızdırmazlığı için düşünölen sistem model boyutu ve malzemesinden dolayı üretimde karşılaşılan zorluklar nedeniyle gerçekteşirilememiştir. Enerji tasarrufu, soğutma kapasitesi gibi hesaplamalar modelde soğutma sistemi bulunmadığı için yapılamamıştır.

## 9. KAYNAKLAR

1. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji\\_verimlili%C4%9Fi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji_verimlili%C4%9Fi)
2. Sustain. (Ekim 2009), Energy, climate and development. Issue
3. [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=d4WIDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA60&dq=buzdolab%C4%B1n%C4%B1n+ama%C3%A7lar%C4%B1+nelerdir&ots=0ZJpR7xeQr&sig=TwR738LHjsgU1cqVPxfJht3h2wk&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=d4WIDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA60&dq=buzdolab%C4%B1n%C4%B1n+ama%C3%A7lar%C4%B1+nelerdir&ots=0ZJpR7xeQr&sig=TwR738LHjsgU1cqVPxfJht3h2wk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
4. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Buzdolab%C4%B1>
5. <https://ilkbuzdolabi.wordpress.com/2014/12/05/ilk-buzdolabinin-yapilis-tarihi/>
6. <https://teknolojirojeleri.com/teknik/buzdolaplari-nasil-calisir>
7. Türk Patent ve Marka Kurumu KR20060116349 Numaralı Patent
8. Türk Patent ve Marka Kurumu CN101373117 Numaralı Patent
9. Türk Patent ve Marka Kurumu 08564 numaralı patent
10. Türk Patent ve Marka Kurumu 17744 Numaralı Patent
11. Koşar, M., Buzdolabında Şeffaf, Döner Bir Kapı İçerisinde Kapı Tasarımı, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul, 2018.
12. Türk Patent ve Marka Kurumu 19372 Numaralı Patent
13. <https://www.lg.com/tr/instaview-door-in-door>
14. <http://www.lg.com/tr/door-in-door-pratik-kapili-buzdolabi>
15. <http://www.cnet.com/products>
16. Türk Patent ve Marka Kurumu 08942 Numaralı Patent
17. <https://www.iskteknik.com/makale/ev-tipi-buzdolaplarina-ait-standartlar-ve-performans-testleri>
18. Tuncel, A.Y., “Soğuk Hava Deposunun Tasarımı”(2014)
19. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700716000591?casa\\_token=Ci9qQ7I94oAAAAA:thviUJXVvwSJKmvmxycyHIJ5CfhFSs7YLge-8EZ8u0fD7zzf9ctvwgt9gWTzfemiz6BywcT9sgw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700716000591?casa_token=Ci9qQ7I94oAAAAA:thviUJXVvwSJKmvmxycyHIJ5CfhFSs7YLge-8EZ8u0fD7zzf9ctvwgt9gWTzfemiz6BywcT9sgw)
20. Avcıoğlu, S.,”Ev Tipi Statik Buzdolabı Soğutucu Bölmesinde Sıcaklık Dağılımının Deneysel Ve Sayısal İncelenmesi” İstanbul Teknik Üniversitesi(2012)
21. Hasanuzzaman, M.; Saidur, R.; Masjuki, H.H., “Investigation of Energy Consumption and Energy Savings of Refrigerator-Freezer During Open and Closed Door Condition” (2008)



22. Şahin, F.; Can, H.; Şahin, N. “Evaporatör Tasarımlarında Farklı Malzeme ve Konstrüksiyon Uygulamaları ile Karşılaştırmalı Yeni Yaklaşımlar” TESKON (2015)
23. <https://www.termodinamik.info/hava-sogutucu-evaporatorlerin-sogutma-kapasitesine-etki-eden-parametrelerin-incelenmesi>
24. [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/2cbf687880eb167\\_ek.pdf?dergi=402](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/2cbf687880eb167_ek.pdf?dergi=402)
25. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/5177/mod\\_resource/content/0/Hafta%206.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/5177/mod_resource/content/0/Hafta%206.pdf)
26. <https://www.friterm.com/Uploads/Document/152bf8f4-645d-4075-917a-0619784e8d14.pdf?v-636865502300000000>
27. Büro Tipi Buzdolabı Teknik Şartnamesi, Gaziantep Üniversitesi
28. <https://slideplayer.biz.tr/slide/5637011/>
29. <https://www.tesisat.org/isi-ve-sicaklik.html>
30. <https://tr.wikipedia.org/wiki/A%C4%9F%C4%B1rl%C4%B1k>
31. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bas%C4%B1n%C3%A7>
32. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hacim>
33. [https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96zg%C3%BCI\\_%C4%B1s%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96zg%C3%BCI_%C4%B1s%C4%B1)
34. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Entalpi>
35. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Entropi>
36. <https://www.ytong.com.tr/blog-detay.asp?blogID=10>
37. <https://www.teknopanel.com.tr/tr-tr/urun-detay/binalarda-isi-yalitimi-isi-koprusu>
38. <https://insapedia.com/isi-koprusu-nedir-nasil-olusur-isi-koprueri-nasil-engellenir/>
39. Taşkan, M., Termodinamik
40. Boke, B., “Yüzeyde Yoğuşma Problemi”, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015 İzmir, s.(2508 – 2509)
41. [https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0%C5%9F\\_\(fizik\)#%C4%B0%C5%9F\\_ve\\_Enerji](https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0%C5%9F_(fizik)#%C4%B0%C5%9F_ve_Enerji)
42. [https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BC%C3%A7\\_\(fizik\)#G%C3%BC%C3%A7\\_ve\\_Enerji\\_%C4%B0li%C5%9Fkisi](https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BC%C3%A7_(fizik)#G%C3%BC%C3%A7_ve_Enerji_%C4%B0li%C5%9Fkisi)
43. Gökmeşe, F., Termodinamiğin Temel Yasaları, Hitit Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Çorum.

44. <https://www.enerjiportali.com/termodinamik-yasalari-nelerdir/>
45. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Termodinamik\\_kanunlar%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Termodinamik_kanunlar%C4%B1)
46. <https://services.tubitak.gov.tr/edergi/user/yaziForm1.pdf?cilt=46&sayi=791&sayfa=58&yaziid=33985>
47. [https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/c37b2dc6484b7db\\_ek.pdf](https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c37b2dc6484b7db_ek.pdf)
48. <https://www.eea.europa.eu/tr/themes/climate/intro>
49. Melo, C.; Silva, L. W. da; and Pereira, R. H., "Experimental Evaluation of the Heat Transfer Through the Walls of Household Refrigerators" (2000). International Refrigeration and Air Conditioning Conference
50. <https://www.termodinamik.info/buzdolaplarinda-cevresel-tasarim-ve-kullanim-faktorlerinin-enerji-tuketimi-uzerine-etkisinin-incelen>
51. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Ba%C4%9F%C4%B1\\_nem](https://tr.wikipedia.org/wiki/Ba%C4%9F%C4%B1_nem)
52. Ertaş VE. "Soğutma Sistemlerinde Defrost Kayıplarının Kontrolü Yolu İle Enerji Tasarrufu" (2011).
53. [www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/DosyaGoster.aspx?DIL=1&BELGEANAH=785&DOSYASIM=210010202.pdf](http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/DosyaGoster.aspx?DIL=1&BELGEANAH=785&DOSYASIM=210010202.pdf)
54. Kuru, M.; Kanat M.E., "Ev Tipi Soğutma Cihazlarında, Yalıtım Malzemelerine Bağlı Enerji Verimliliğinin Sayısal ve Deneysel İncelenmesi"(2018).
55. Soyer, A. "Soğutma Teknolojisi, yalıtım ve defrost". 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi
56. Koyun, T.; Koyun, A.; Acar, M., "Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Bu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkileri" (2005). Tesisat Mühendisliği Dergisi
57. <https://www.tesisat.org/evaporator-cesitler-calisma-prensibi.html>
58. <https://scialert.net/fulltext/?doi=jas.2008.1822.1831>
59. Hasanuzzaman, M.; Saidur, R.; Masjuki, H.H., "Investigation of Energy Consumption and Energy Savings of Refrigerator-Freezer During Open and Closed Door Condition" (2008)
60. <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?08111805111510805110411911010405504806508207705510307607605608410311811010012207604307611410608204706805310105511211010305711511510311605506908508305308510710810204811807604806508307407304809010508706810611509006907907906907308111307005710805008807310106605711510910808810504711210207>

- 504706908310604305608811811710409907605711507611911712209706806608  
510712107005310910811907304707306708507208210310404705504711709911  
9051069121088116055048109051087065061061
61. <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055048065082077055103076076056084103118110100122076043076114106082047068053101055112110103057115115103116055069085083053085107108090080104077118073048113075084104104108071048088070117085112050099084122106105099078104078070119084071083074077052075098097112090052113048085105107121073100047101088120113090077071055110084099051108109073117115080068109086086086119065097054071057076109110071043083066055043066113098083077081061061>
62. Yılmaz C., Soğutma İlkeleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2017
63. [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/14ac55a4f27472c\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/14ac55a4f27472c_ek.pdf)
64. <http://hakanfoztop.com/wp-content/uploads/2018/02/termodinamik-6.-%C3%BCnite-1.pdf>
65. Çengel Y. A., Boles M. A., “Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla” İstanbul, 1996, s. 224- 229
66. Asan A., “Soğutma İşlemleri”, Hitit Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, 2016
67. Asan A., “Soğutma Yöntemleri”, Hitit Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, 2015.
68. <https://www.teknoteksogutma.com/sogutma-sistemleri/>
69. Güney M. Ş., Güler B., “Isıl Enerji Tahrikli Soğutma Sistemleri” Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 7(1), 41-52, 2017.
70. <https://muhendistan.com/buhar-sikistirmali-sogutma-cevrimi/>
71. Bulgurcu H., “Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimleri”, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 2015.
72. <http://pekinasilcalisir.blogspot.com/2016/07/buzdolab-nasl-calsr.html>
73. <https://www.sogutmasistemi.com/mesleki-bilgi/sogutma-cevrin-elemanlari.html>
74. <https://www.dalgakiran.com/mp-include/uploads/2017/04/basincli-hava-sistemleri.pdf>
75. <https://www.thesisat.org/kondenser-cesitleri-calisma-prensibi.html>
76. Yılmaz H., Ev Tipi Buzdolabı Kondenserinin Kabindibi Performansının Sayısal Araştırılması, Yüksek Lisans, Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir, 2012

77. Bulut H.,” Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminin Elemanları, Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Kasım 2010
78. Bulut H., “Soğutma ve Klima Tekniği”, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Şanlıurfa,2017. url: <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/SKT.pdf>
79. Acül H. “Kanatlı Borulu Tip Hava Soğutmalı Kondenserler ve Sistem Enerji Verimliliğine Etkileri”, Friterm Termik Cihazlar Sanayi ve Ticaret A.Ş
80. <https://www.yedekparca-market.com/rekorlu-kilcal-boru-1/4--1mt>
81. <https://www.kontrolkalemi.com/forum/konu/so%C4%9Futucu-gazlar-ve-%C3%96zellikleri.8860/>
82. [https://kontrolotomasyon.files.wordpress.com/2015/09/termal-sensc3b6rler-14-ekim-2015\\_surec3a7-c3b6lc3a7c3bcmc3bc.pdf](https://kontrolotomasyon.files.wordpress.com/2015/09/termal-sensc3b6rler-14-ekim-2015_surec3a7-c3b6lc3a7c3bcmc3bc.pdf)
83. Bulut H., “Soğutma ve Klima Tekniği”, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Şanlıurfa,2015
84. MEB, Soğutma Elektriksel Devre Elemanlarının Montajı, Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi (MEGEP), 2008
85. [http://deneysan.com/Content/images/documents/elektrik-4\\_35013896.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/elektrik-4_35013896.pdf)
86. Termik Nedir? Termiğin Görevi Nedir? » İklimlendirme Servisiniz”, 04 Ekim 2017.
87. MEB, Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme, No-Frost Dolabın Elektrik Devresi Arızaları (MEGEP), Ankara, 2015
88. BUZDOLABI ELEKTİRİK DEVRESİ. “BUZDOLABI ELEKTİRİK DEVRESİ”. 30 Aralık 2020. <http://rittalservisi.blogspot.com/2010/11/buzdolabi-elektirik-devresi.html>.
89. Sari, Suat. “İKLİMLENDİRME-SOĞUTMA ELEKTRİĞİ”, t.y., 13.
90. PIR sensör nedir - Makale Detayı”. 30 Aralık 2020.
91. Arduino Uno Nedir? Özellikleri ve Projeleri”. Erişim 30 Aralık 2020.
92. SEV A., GÜR V., ÖZGEN A., Cephenin Vazgeçilmez Saydam Malzemesi Cam, 2003
93. Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Alternatif Yapı Malzemeleri, Yapılarda cam kullanımı
94. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 427 – 2003 Mayıs
95. <https://yalova.csb.gov.tr/isi-yalitimli-camlar-hakkinda-merak-ettikleriniz-haber-231546>

96. <https://www.yalitimli-aluminyum.com/cam-ara-bosluk-citasi#:~:text=Ara%20bo%C5%9Fluk%20%C3%A7%C4%B1tas%C4%B1%2C%20cam%20panelleri,ve%20d%C4%B1%C5%9Far%C4%B1%20gaz%20ka%C3%A7%C4%B1%C5%9F%C4%B1na%20engel>
97. [https://www.izoder.org.tr/dosyalar/yalitim\\_cami\\_uniteleri.pdf](https://www.izoder.org.tr/dosyalar/yalitim_cami_uniteleri.pdf)
98. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Plastik>
99. <http://www.idmaterial.com/2013/07/17/isigi-geciren-plastik-malzemeler/>
100. <https://www.kirimlimekanik.com.tr/tmweb/upload/pdf/roda.pdf>
101. MEB, Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi (MEGEP), Plastik Teknolojisi, Vakum İle Üretimde Kalıp ve Hammadde Hazırlama, Ankara, 2012
102. <http://dogusplastiksanayi.com/solid-polikarbon-levha/>
103. MEB, Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme Alanı, Montaj Kabini Hazırlama, Ankara, 2014
104. AYDIN H., EKMEKÇİ İ. 'Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Poliüretan Köpüğün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Üretimi ve İncelenmesi' Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6.cilt 1.sayı, Mart 2002
105. <https://www.inceten.com/wp-content/uploads/2014/09/Panel-Poli%C3%BCretan-F%C3%B6y.pdf>
106. ÖGETÜRK İ., Binalarda Isı Yalıtım Malzemelerinin Enerji Verimliliği Üzerine Etkisinin Araştırılması, , Yüksek Lisans Tezi, 2019
107. <http://www.conta.com.tr/buzdolabi-derin-dondurucu-contalari>
108. Ünal Ş., Erdiñ M. T., Kutlu Ç., Çift Buharlaştırıcı ve Ejektörlü Bir Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2016
109. <http://apelasyon.com/Yazi/837-eski-nesil-sogutucu-akiskanlarin-cevresel-etkileri>
110. <https://www.oskabulut.com/kütüphane>
111. [https://grabcad.com/library/office-refrigerator-1/details?folder\\_id=8264912](https://grabcad.com/library/office-refrigerator-1/details?folder_id=8264912)

## **10. EKLER**

### **EK-1 : Günümüzde Kullanılan Standartlar**

2014 yılına kadar olan mevcut hiçbir standart küresel manada test gereksinimlerine karşılık veremediği için yeni bir uluslararası standart oluşturulmasına karar verilmiştir. IEC'nin sorumluluğunda 2006'da başlatılan çalışmalar 2015 yılı itibarıyla tamamlanarak yeni global standart, "IEC FDIS 62552-1, Household Refrigerating Appliances- Characteristics and Test Methods, 59M/61/FDIS" olarak yayımlanmıştır. Standart üç bölümden oluşmaktadır. [17]

#### **TS EN 62552-1**

Kapsam: IEC 62552-1 (2015), dahili doğal konveksiyon veya zorunlu hava sirkülasyonu ile soğutulan ev tipi soğutma cihazlarının temel özelliklerini belirtmektedir. Ayrıca özelliklerin kontrol edilmesi için test yöntemlerini belirlemektedir. Beyan amacıyla, IEC 62552'nin bu bölümünde tanımlanan testler, bir soğutma cihazının temel tasarımını ve çalışmasını değerlendirmeye yönelik tip testleri olarak kabul edilmektedir. IEC 62552'nin bu bölümü, üretim örnekleme, uygunluk değerlendirmesi veya sertifikasyonu için gereksinimleri tanımlamamaktadır. IEC 62552'nin bu bölümü, bölgeye ve ülkeye göre değişiklik gösterdiğinden dolayı doğrulama testi için bir rejim tanımlamaz. Bu standarta göre belirli bir tipteki bir soğutma cihazının performansının doğrulanması gerekli olduğunda, uygulanabilir olduğu durumlarda, belirtilen tüm testlerin tek bir birime uygulanması tercih edilmektedir. Testler, belirli bir özelliğin incelenmesi için bireysel olarak da yapılabilir.[17]

#### **TS EN 62552-2**

Kapsam: IEC 62552-2 (2015), iç doğal konveksiyon veya zorla hava sirkülasyonu ile soğutulan ev tipi soğutma cihazlarının temel özelliklerini belirtir ve özellikleri kontrol etmek için test yöntemlerini belirtir. IEC 62552'nin bu kısmı, performans gereksinimlerinin belirlenmesine yönelik yöntemleri açıklar. Farklı testler için kurulumlarda bazı ortaklıklar olmasına rağmen (ve bu nedenle hepsini bir örneğe uygulamak bir avantaj olabilir), bunlar

test edilen numunenin spesifik özelliklerini değerlendirmek için ayrı testlerdir. IEC 62552'nin bu kısmı, örnek test sonuçlarından elde edilen sonuçları, bu numunenin seçildiği tüm popülasyonun özelliklerinin tahminine genelleştirmek için bir prosedür belirtmez.[60]

### **TS EN 62552-3**

Kapsam: IEC 62552-3 (2015), dahili doğal konveksiyon veya zorunlu hava sirkülasyonu ile soğutulan ev ve benzeri soğutma cihazlarının temel özelliklerini belirtir ve bu özellikleri kontrol etmek için test yöntemlerini belirler. IEC 62552'nin bu bölümü, enerji tüketimi özelliklerinin belirlenmesine yönelik yöntemleri açıklar ve bunların farklı kullanım ve iklim koşullarında enerji tüketimini tahmin etmek için nasıl birleştirilebileceğini tanımlar. IEC 62552'nin bu bölümü aynı zamanda hacmin belirlenmesini de tanımlar.[61]

## EK-2 : Arduino Kodu

```
int led1 = 13;           // the pin that the LED1 is attached to
int led2 = 7;           // the pin that the LED2 is attached to
int sensor = 2;         // the pin that the sensor is attached to
int state = LOW;        // by default, no motion detected
int val = 0;            // variable to store the sensor status (value)

void setup() {
  pinMode(led1, OUTPUT); // initialize LED1 as an output
  pinMode(led2, OUTPUT); // initialize LED2 as an output
  pinMode(sensor, INPUT); // initialize sensor as an input
  Serial.begin(9600);     // initialize serial
}

void loop() {
  val = digitalRead(sensor); // read sensor value
  if (val == HIGH) {        // check if the sensor is HIGH
    digitalWrite(led1, HIGH); // turn LED1 ON
    digitalWrite(led2, HIGH); // turn LED2 ON
    delay(100);             // delay 100 milliseconds

    if (state == LOW) {
      Serial.println("Motion detected!");
      state = HIGH;        // update variable state to HIGH
    }
  }
  else {
    digitalWrite(led1, LOW); // turn LED1 OFF
    digitalWrite(led2, LOW); // turn LED2 OFF
    delay(2000);             // delay 200 milliseconds

    if(state == HIGH){
      Serial.println("Motion stopped!");
      state = LOW;          // update variable state to LOW
    }
  }
}
```



## ÖZGEÇMİŞ

**Aslıhan KALINTAŞ:** 28.06.1998 tarihinde Trabzon'da dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Akçaabat Merkez İlköğretim Okulu'nda 2012 yılında tamamladı. Lise öğrenimini Beşikdüzü Anadolu Öğretmen Lisesi'nde ve Akçaabat Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016-2017 yılları arasında KTÜ Yabancı Diller Yüksek Okulu İngilizce hazırlık sınıfını tamamladı. 2017 yılında başladığı KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde ve 2020 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi Açıköğretim İşletme Bölümü'nde lisans öğrenimine devam etmektedir. 2019 Temmuz ayında Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü'nde genel atölye stajını tamamladı. Matlab ve C++ programlarını orta seviyede kullanabilmektedir. Solidworks, Autocad, Zetacad, Proteus ve MS Office programlarını iyi seviyede kullanabilmektedir.

**Ayşe KURTUL:** 18.06.1998 tarihinde Çorum'da dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da Şehit Cihan Yıldız İlköğretim Okulu'nda 2012 yılında tamamladı. Lise öğrenimini Kurtuluş Anadolu Lisesi ve Yunus Büyükkuşoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne lisans eğitimine başladı. Birinci yılında KTÜ Yabancı Diller Yüksek Okulu İngilizce hazırlık sınıfını tamamladı. 2019 Temmuz ayında Güçsan Makine Sanayi A.Ş. 'de 20 günlük genel atölye stajını tamamladı. Solidworks, Matlab ve MS Office programlarını iyi seviyede kullanabilmektedir.

**Büşranur DOĞRUÖZ:** 08.02.1998 tarihinde Eskişehir'de dünyaya geldi. İlk öğrenimini Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda ve orta öğrenimini Atatürk Ortaokulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini Şehit Fazıl Yıldırım Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne lisans eğitimine başladı. İlk yılında KTÜ Yabancı Diller Yüksek Okulu İngilizce hazırlık sınıfını tamamladı. KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü'ne ve 2020 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi Açıköğretim İşletme Bölümü'nde lisans öğrenimine devam etmektedir. 2019 yılında Magnefit A.Ş.' de genel atölye stajını tamamladı. Matlab ve C++ programlarını orta seviyede kullanabilmektedir. Solidworks, Zetacad, Proteus, Python ve MS Office programlarını iyi seviyede kullanabilmektedir.

**Tuğçe MANDAL:** 01.11.1998 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Yusuf Aktaş İlköğretim Okulu'nda, İstanbul'da okudu. Liseyi İhsan Nakipoğlu Anadolu İmam Hatip Lisesi'nde birincilikle bitirdi. 2016-2017 yılları arasında KTÜ Yabancı Diller Yüksekokulu İngilizce hazırlık sınıfını tamamladı. 2017 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini sürdürmektedir. 2019 yılında Bimed Teknik Aletler San. ve Tic. A.Ş.'de genel atölye stajını tamamladı. Autocad, Octave, Matlab, Solidworks, Proteus ve MS Office programlarını iyi seviyede kullanabilmektedir.