



**KARABÜK ŞARTLARINDA ELMA SOĞUK
MUHAFAZASINDA FARKLI SOĞUTUCU
AKIŞKANLAR KULLANIMI DURUMUNDA
SİSTEM PERFORMANSININ TEORİK OLARAK
İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Abdullah HUTEYİMİ

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Bahri AKSU**

**KARABÜK ŞARTLARINDA ELMA SOĞUK MUHAFAZASINDA FARKLI
SOĞUTUCU AKIŞKANLAR KULLANIMI DURUMUNDA SİSTEM
PERFORMANSININ TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

Abdullah HUTEYMI

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Bahri AKSU**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Nisan, 2023**

Abdullah HUTEYMI tarafından hazırlanan "KARABÜK ŞARTLARINDA ELMA SOĞUK MUHAFAZASINDA FARKLI SOĞUTUCU AKIŞKANLAR KULLANIMI DURUMUNDA SİSTEM PERFORMANSININ TEORİK OLARAK İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Bahri AKSU

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 27/04/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç. Dr. Ali Etem GÜREL (DÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bahri AKSU (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdullah HUTEYMI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARABÜK ŞARTLARINDA ELMA SOĞUK MUHAFAZASINDA FARKLI SOĞUTUCU AKIŞKANLAR KULLANIMI DURUMUNDA SİSTEM PERFORMANSININ TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Abdullah HUTEYİMİ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Bahri AKSU

Nisan, 2023, 63 sayfa

Bu çalışmada Karabük ili iklim şartlarında 300 ton elma soğuk muhafazası yapılabilmesi için soğuk depo tasarımı yapılmış ve soğuk muhafaza sezonu boyunca soğuk depo soğutma yükü aylık periyotta hesaplanarak, soğutma sisteminin performansı teorik olarak incelenmiştir.

Elma meyvesi Ağustos ayı ortasında hasat edilmeye başlanıp Ekim ayı ortasına kadar hasat edilen bir ürün olup, % 90 bağıl nem ve -1°C ile $+4^{\circ}\text{C}$ hava sıcaklığında 6 ay boyunca soğuk muhafaza edilebilen bir üründür. Bu sebeple Kasım-Nisan ayları arasında soğuk muhafaza edileceği düşünülmüştür. Ön soğutma deposunda günlük 10 ton elmanın soğuk muhafaza şartına getirilip, 100 er tonluk 3 soğuk depoda soğuk muhafaza edileceği düşünülerek soğuk depo tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan soğuk depoların Karabük iklim şartlarına göre soğuk muhafaza dönemi boyunca aylık olarak

soğutma yükleri hesap edilmiştir. R22, R717 ve R407 soğutucu akışkanları kullanılması durumuna ve ideal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimine göre teorik hesaplamalar yapılarak aylık olarak kondenserlerden atılan ısı miktarları, kompresörlerde gerçekleşen güç tüketimleri, soğutma tesir katsayıları hesaplanarak sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur. Soğutucu akışkanlar arası kompresör güç tüketimi karşılaştırılacak olursa, tüm aylardaki soğutma yükünde en düşük kompresör güç tüketimi R717 soğutucu akışkanı kullanım durumunda, en yüksek kompresör güç tüketimi ise R407C gazı kullanımında gerçekleşmektedir. R22 ve R717 soğutucu akışkanı kullanan kompresörlerin güç sarfiyatı birbirine yakın değerlerdedir. Ama R717 soğutucu akışkanının çevresel etkileri sebebiyle soğuk depolarda kullanımı daha yaygındır. Soğutucu akışkanlar açısından bakıldığında en yüksek STK (COP) değerleri R717 soğutucu akışkanı kullanılan sistemde gerçekleşmektedir. Bunun sebebi ise R717 soğutucu akışkanın termofiziksel özellikleri sebebiyle özgül ısı taşıma kapasitesinin diğer iki soğutucu akışkana göre daha yüksek olması sebebiyle aynı soğutma işini yapabilmek için sistemde daha az soğutucu akışkan dolaştırılması dolayısıyla kompresörün daha az zorlanıp daha az enerji tüketmesi olduğunu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Soğutma, Elma, Soğuk Depo

Bilim Kodu : 92808

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THEORETICAL INVESTIGATION OF SYSTEM PERFORMANCE USING DIFFERENT REFRIGERANTS IN APPLE COLD STORAGE IN KARABUK CONDITIONS

Abdullah HUTEYMI

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Bahri AKSU

April, 2023, 63 pages

In this study, a cold storage design was made in order to make 300 tons of apple cold storage in the climatic conditions of Karabük province and the performance of the cooling system was examined theoretically by calculating the cold storage cooling load on a monthly basis during the cold storage season.

Apple fruit is a product that starts to be harvested in mid-August and is harvested until mid-October, and can be kept cold for 6 months at 90% relative humidity and -1°C to +4°C air temperature. For this reason, it is thought that it will be kept cold between November and April. A cold storage design has been made considering that 10 tons of apples per day will be brought to the cold storage condition in the pre-cooling warehouse and will be kept cold in 3 cold warehouses of 100 tons each. During the cold storage period, monthly cooling loads of the designed cold stores were calculated

according to the Karabük climatic conditions. Theoretical calculations are made according to the use of R22, R717 and R407 refrigerants and the ideal vapor compression refrigeration cycle, and the monthly heat discharged from the condensers, the power consumption in the compressors, the cooling effect coefficients are calculated and the results are presented in tables and graphics. If the compressor power consumption between refrigerants is compared, the lowest compressor power consumption in the cooling load in all months is in the case of using R717 refrigerant, and the highest compressor power consumption is in the use of R407C gas. The power consumption of compressors using R22 and R717 refrigerants are close to each other. However, due to the environmental effects of R717 refrigerant, its use in cold stores is more common. In terms of refrigerants, the highest COP (COP) values occur in the system using R717 refrigerant. The reason for this is that the specific heat carrying capacity of the R717 refrigerant is higher than the other two refrigerants due to its thermophysical properties, and it has been determined that less refrigerant is circulated in the system in order to do the same cooling work, so the compressor has less stress and consumes less energy.

Key Word : Refrigeration, Apple, Cold Storage

Science Code : 92808

TEŐEKKÖR

Gerçekleştirmiş olduğum projede, tez çalışmasında ve teorik deneylerinde, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, destek ve emeğini esirgemeyen tez danıŐmanım Dr. ÖĞr. Üyesi Bahri AKSU'ya ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili aileme teŐekkörü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3	9
SOĞUTUCU AKIŞKANLAR.....	9
3.1. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN SINIFLANDIRILMASI.....	10
3.1.1. Kloroflorokarbonlar (CFC).....	10
3.1.2. Hidrokloroflorokarbonlar (HCFC)	11
3.1.3. Hidroflorokarbonlar (HFC)	11
3.2. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	13
3.2.1. Ozon Tüketme Potansiyeli (ODP, Ozone Depleting Potential).....	14
3.2.2. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP, Global Warming Potential)	14
BÖLÜM 4	18
SOĞUTMA	18
4.1. SOĞUTMA	18
4.2. SOĞUTMA YÖNTEMLERİ	18

	<u>Sayfa</u>
4.2.1. Fiziksel Soğutma	18
4.2.2. Kimyasal Soğutma.....	19
4.2.3. Mekanik Soğutma.....	19
4.3. SOĞUTMA SİSTEMLERİ	19
4.3.1. Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemi	20
4.3.2. Hava Soğutma Sistemi.....	21
4.3.3. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi	22
4.3.3. Adsorbsiyonlu Soğutma Sistemi	24
4.3.4. Buhar-Jet (Ejektör) Soğutma Sistemi	25
4.3.5. Sterling Soğutma Sistemi	26
4.3.6. Paramagnetik Soğutma Sistemi	26
4.3.7. Termoelektrik Soğutma Sistemi	27
4.3.8. Vorteks Tüpü Soğutma Sistemi.....	28
4.3.9. Vakumlu Soğutma Sistemi	29
4.4. SOĞUK DEPOLAMA	32
4.4.1. Soğuk Muhafaza	33
4.4.2. Donmuş Muhafaza.....	34
4.4.3. Ön Soğutma	35
BÖLÜM 5	36
MATERYEL METOT	36
5.1. SOĞUK DEPO BOYUTLANDIRILMASI.....	36
5.2. SOĞUTMA YÜKÜ HESABI	38
5.2.1. Döşeme, Tavan, Duvar ve Kapılardan Olan Isı Kazançları (Q1).....	40
5.2.2. Güneş Radyasyonundan Olan Isı Kazançları (Q2).....	43
5.2.3. İş İcabı Faaliyet Gösteren Personelden Olan Isı Kazançları (Q3).....	44
5.2.4. Aydınlatma ve Fan vb. Elektrikli Cihazlardan Olan Isı Kazançları (Q4)	45
5.2.5. Enfiltrasyon Isı Kazançları (Q5).....	45
5.2.6. Üründen Olan Isı Kazançları (Q6).....	46
5.3. SOĞUTMA SİSTEM ELEMANLARININ KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ	47

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	50
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	50
BÖLÜM 7	54
SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1.	CFC alternatifi soğutucu akışkanların genel durumu.....	15
Şekil 3.2.	Temel soğutucu akışkanlar, terk edilmiş programı ve alternatifleri.....	16
Şekil 3.3.	Yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanların kullanım alanları ve oranları.....	17
Şekil 4.1.	Aşırı soğutulmuş sıvı ile kızgın buhar alanı	20
Şekil 4.2.	Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma sistemi örneği	21
Şekil 4.3.	Hava soğutma sistemi örneği	21
Şekil 4.4.	Absorbsiyonlu soğutma sistemi örneği	22
Şekil 4.5.	Absorbsiyonlu soğutma sistemi şematik gösterim.....	23
Şekil 4.6.	Adsorbsiyonlu soğutma sistemi örneği	24
Şekil 4.7.	Buhar-jet (ejektör) soğutma sistemi örneği	25
Şekil 4.8.	Sterling soğutma sistemi örneği	26
Şekil 4.9.	Paramagnetik soğutma sistemi örneği.....	27
Şekil 4.10.	Termoelektrik soğutma sistemi örneği	28
Şekil 4.11.	Vorteks tüpü a) Aynı yönlü akım, b) Ters yönlü akım örnekleri	28
Şekil 4.12.	Vakumlu soğutma sistemi örneği	29
Şekil 4.13.	Vakumlu soğutma sistemi örneği	32
Şekil 5.1.	Tasarlanan soğuk deponun mimari şekli ve ölçüleri.....	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Soğutucu akışkanlara ait ASHRAE standartları	12
Çizelge 3.2. Çok kullanılan bazı soğutucu akışkanların ODP ve GWP değerleri ...	15
Çizelge 5.1. Soğuk depolama alanına istif edilebilecek besin ürünü miktarı [45]...	37
Çizelge 5.2. Karabük ili aylara göre ortalama sıcaklık değerleri.	39
Çizelge 5.3. Çeşitli meyvelerin soğuk ve donmuş muhafaza koşulları [45].....	40
Çizelge 5.4. Döşemenin yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri	41
Çizelge 5.5. Tavanın yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri	42
Çizelge 5.6. Duvarın yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri	42
Çizelge 5.7. Kapının yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri	42
Çizelge 5.8. 40° enlem çizgisine ve soğuk deponun rengine göre duvar, kapı, çatı, güneş sıcaklık farkları.	43
Çizelge 5.9. Bir soğuk depoda yükleme ve boşaltma işleminde istihdam olunan işçi sayısı	44
Çizelge 5.10. Bir soğuk depoda yükleme ve boşaltma işleminde istihdam olunan işçilerin çalışma durumuna göre ortama yaydıkları ısı miktarları	44
Çizelge 5.11. Soğutma sezonu boyunca aylık toplam soğutma yükleri.....	47
Çizelge 5.12. Soğutma sezonu boyunca buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları	48
Çizelge 6.1. Soğutma sezonu boyunca aylara göre soğutma yükleri.....	50
Çizelge 6.2. Soğutma sezonu boyunca aylara ve soğutucu akışkanlara göre kompresör güç sarfiyatları	51
Çizelge 6.3. Soğutma sezonu boyunca aylara ve soğutucu akışkanlara göre kondenserde ısı atımı	51
Çizelge 6.4. Soğutma sezonu boyunca aylara ve soğutucu akışkanlara göre soğutma tesir katsayıları değişimi	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- CFC : Kloroflorokarbon
COP : Soğutma tesir katsayısı (Coefficient of Performance)
GWP : Global Warming Potential
HCFC : Hidrokloroflorokarbon
HFC : Hidroflorokarbon
ODP : Ozon tahrip potansiyeli

Yunan harfleriyle:

- η : verim (%)
 Δ : fark
 ρ : yoğunluk (kg/m³)
 μ : vizkozite (kg/ms)
 ψ : ekserji verimi (%)
 ϕ : bakım faktörü
 τ : sistemin yıllık çalışma saati (h/yıl)
 v : özgül hacim (m³/kg)

Alt indisler:

- HP : ısı pompası
c : soğutma
opt : optimum
gc : gaz soğutucu
b : buharlaşma
a : gerçek
is : izentropik
ort. : ortalama

kond. : kondenser
komp. : kompresör
evap. : evaporatör
r : soğutucu akışkan
w : su
0 : ölü hal (25 °C, 1 atm)
gv : genişleme valfi
k : komponent, bileşen
tr : teorik

Üst indisler:

kim : kimyasal
T : ısı
P : mekan

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Elma botanik biliminde; Rosaceae familyası, Pomoideae alt familyası Malus cinsinde yer alan dünya yüzeyinde çok geniş bir yayılım alanına sahip olan ve farklı ekolojilerde üretimi yapılan yumuşak çekirdekli bir meyve türüdür. Elmanın anavatanı Anadolu'yu da içine alan Güney Kafkaslardır. Ekolojik koşulların elverişliliği ve gen merkezi olması nedeniyle Türkiye'nin hemen hemen her yerinde elma yetiştiriciliği yapılmaktadır. En uygun kültür merkezleri yabani elmanın yayılma alanlarına paralel olarak Kuzey Anadolu'da bulunmaktadır. Kuzey Anadolu, Karadeniz kıyı bölgesi ile İç Anadolu ve Doğu Anadolu yayları arasındaki geçit bölgeleri ve son yıllarda güneyde Göller Bölgesi elmanın yetiştiricilik alanlarını oluşturmaktadır [1].

Arkeolojik kalıntılara göre, ilk elma yetiştiriciliğinin M.Ö. 6500'lü yıllarda Anadolu'da başladığı tahmin edilmektedir. Ancak, elmanın ilk defa ne zaman kültüre alındığı ile ilgili net bir bilgi bulunmamaktadır. Elma yetiştiriciliğine ait ilk bulgular ise M.Ö. 2000'li yıllarda Anadolu ve Kuzey Mezopotamya'da ortaya çıkmıştır [2].

Kaliteli bir ürün elde etmenin başlıca kurallarından biri, amaca uygun, taze ve kaliteli hammadde kullanılmasının yanında uygun koşullarda muhafaza yöntemlerinin kullanılmasıdır. Meyve ve sebzeler, optimum koşullarda muhafaza edilmeye başladıklarında taze haldeki özelliklerini belli bir süre korurlar. Uygun koşullar; bağıl nem, sıcaklık, hava hareketi, hava gaz bileşiminin doğru ayarlanması olarak tanımlanır. Bu koşulların oluşturulma durumlarına göre farklı sistemler geliştirilmiştir. Her meyve ve sebzenin kalitesinin minimum düzeyde etkilendiği belli bir sıcaklık, bağıl nem, hava gaz bileşimi ve hava hareketi söz konusudur. Dahası aynı ürünün saklanma koşulları, ürünün çeşidine, yetiştirildiği bölgeye göre de farklılıklar göstermektedir [3].

Bu çalışmada elma soğuk muhafazası için Batı Karadeniz’de yer alan Karabük ili iklim şartlarına göre 300 ton kapasiteye sahip soğuk depo tasarımı yapılarak, R22, R717 (Amonyak) ve R407C olmak üzere üç farklı soğutucu akışkan kullanım durumunda hasat sonrası 6 aylık depolama suresince sistem performansı teorik olarak incelenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Özbek, yaptığı çalışmada elmanın dünyada genellikle 30°-50° enlemlerinde yer alan ılıman bir iklim meyvesi olduğunu, Ege'de 500 metreden itibaren, 800 metrenin üzerindeki rakımlarda ve tercihen kuzey yönlerinde büyüyebildiğini, soğutma gereksinimi +7,2 °C de 2322-3684 saat, 0°C'nin altında ise 1081-2094 saat şeklinde olduğunu bildirmiştir [4].

Bernardi, Brezilya'nın Santa Catarina subtropik bölgesinde Gala, Golden Delicious ve Fuji elma türlerinin yetiştiriciliğinin gayet yaygın olduğu bildirmiş ve yetiştirme koşulları hakkında bilgi vermiştir [5].

Kaşka ve ark., Adana koşullarında ilk elma yetiştiriciliğinin 1985 yılında Çukurova'da "Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi" arayıcılığıyla yurtdışından getirilmiş olan "Ein Sheimer" türleriyle başladığını, "Golden Dorset" çeşidinin denemeye eklenmesiyle pozitif neticeler elde edildiğini bildirmiştir [6].

Dostal ve Petera gerçekleştirdikleri araştırmada matematiksel olarak vakumla soğutma yöntemini analiz etmişlerdir. Bu amaç ile suyu ele alarak soğutulan sudaki kullanılmış malzemelerin boyutlarındaki ve vakum pompasının parametrelerindeki değişiklikleri araştırmışlar [7].

Onat ve ark., R22 ve alternatifleri üzerine yaptıkları çalışmada, soğutucu akışkanları farklı buharlaşma sıcaklıklarına göre analiz etmişlerdir. Bu akışkanları 10 kw soğutma kapasiteli tek kademeli çevrimine göre test ederek sıkıştırma seviyesi, kütleli debi, STK, ITK ile boru çapı değerlerini hesap etmişlerdir. Hesaplamalarda Solkane 4.0 ile KleaCalc yazılımlarını kullanmışlardır. Performans açısından R22 ve R407C de

paralellikler olduğu belirlenmişler ve R410A soğutucu akışkanı kullanımı durumunda boru çaplarının R22'den ortalama %20 daha küçük olması gerektiği belirtilmiştir [8].

Bansal yapmış olduğu deneysel araştırmada, aşırı kızdırma sıcaklık miktarı 1°C, aşırı soğutma sıcaklık miktarı ise 8°C almıştır. Bu değerlerin sabit olduğunu varsayarak deneysel araştırmalarını yürütmüştür. Araştırmada, R22 gazı ve LPG gazlarının belli bir oranda karıştırılarak deney gerçekleştirmiştir. Deney sırasında kondenser sıcaklığı 35, 45 ile 55°C, evaporatör sıcaklığı -15°C ve +15°C aralığında sabit tutmuştur. Yapılmış deneylerin neticesinde LPG karışımının performansının yüksek kondenser sıcaklığında R290 sıvısına göre daha üstün olduğunu, düşük olan kondenser sıcaklığındaysa daha kötü performans gösterdiği belirlemiştir [9].

Chen ve Prasad [43], yapmış oldukları araştırmada, R134a ile R12 soğutucu akışkanlarının kullanıldığı mekanik soğutma çevriminin performansları kıyaslamışlardır. İncelemeleri ideal çevrimden ziyade gerçek çevrime dayalı bilgisayar modellemesi kullanılıp gerçekleştirmişlerdir. Mevcut olan deneysel veriler ile ilişkilerden üretilen akışkan özellikleri ile termodinamik karakteristiklere dayalı şekilde R134a ile R12 için bir simülasyon modeli yapılmışlardır. Geliştirilmiş olan bu simülasyon modeli kullanılıp her iki soğutucu olan akışkan için sistem performanslarını hesap etmişlerdir. Kabul koşulları olarak buharlaşma sıcaklığını 0°C ve -20°C aralığında, kondenser sıcaklığını 40°C, soğutma kapasitesini 1 kW ve kompresörün izentropik verimini %70, iç içe borulu ısı eşanjörün uzunluğunu 4 m, iç çapı 10 mm ve dış çapı 16 mm olarak belirlemiştir. Neticelelere bakıldığında R134a için COP değerinin ortalama %3 oranında R12'den düşük olduğu belirlemiştir [10].

Arcaklıoğlu, E., yapmış olduğu doktora tezinde, buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, değişik soğutucu akışkanlar ile karışımları kullanılan iki farklı soğutma sistemi için termodinamiğin 1. ve 2. yasalarına göre performans analizi yapılmıştır. Çalışmada mevcut sistemlerde kullanılmış CFC sınıfından R12, R22 ile R502, HFC sınıfından R134a, R152a, R125, R143 ile R32 ile HC sınıfından R290 ile R600a soğutucu akışkanlar incelenmiştir. Bunlara ek olarak çalışma akışkanı olarak bu soğutucuların 2'li, 3'lü ve 4'lü olmak üzere değişik oranlardaki karışımları da incelenmiştir. Performans değerlerinin hesaplanmasında kullanılan soğutucu

akışkanların termodinamik özellikleri, Helmholtz enerji hal denkleminde dayalı olarak hazırlanan REFPROP 6.01 yazılımından alınmış ve deneysel katsayılar kullanılmıştır. Bu amaç ile yazılımın alt programları kullanılıp “FORTRAN” dilinde yeni olan yazılımlar hazırlanarak ve alakalı bütün performans hesapları bu yazılım üzerinden yapılmıştır. Yapılmış hesaplamalar ile R12'nin yerine %0,4 performans artışı ile R290/R600a (56/44) karışımı, R22 yerine %0,8 performans artışı ile R32/R134a (35.2/64.8) karışımı kullanımının daha iyi olacağını göstermiştir [11].

Türk, R. ve Karaca, H., yapmış oldukları çalışmada soğuk Muhafaza Tesislerinde; soğutma işlemini gerçekleştiren ana ve yardımcı aygıtların iyi projelendirilememesi, yanlış uygulamalar sonucu, uygulamada yaşanan olumsuzlukları ve çözüm önerilerini bildirmiştir [12].

Yılmaz, H. i., Çanakaya, S., Isparta ilinde elma muhafaza amaçlı kullanılan 83 adet soğuk hava deposu işletmesinin tamamı araştırma kapsamına almıştır. Bu amaçla işletmelere gidilerek soğuk hava depolarının detaylı planları çıkartmıştır. Bununla birlikte duvar ve tavan sistemlerinde kullanılan yapı ve yalıtım malzemeleri belirleyip kaydetmiştir. İncelenen soğuk hava deposu işletmelerinin %51.81'inde duvar yapı malzemesi olarak poliüretan panelin (PU panel) kullanıldığını belirlemiştir. İşletmelerin %48.19'unda duvar yapı malzemesi olarak briket veya tuğla kullanıldığını saptamıştır. Duvar ve tavan yalıtım malzemesi olarak işletmelerinin %51.81'inde PU panel tercih edilirken, %27.71'sinde poliüretan köpük (PU köpük) uygulamasının yapıldığı belirlemiştir. İşletmelerin %20.48'inde duvar ve tavan yalıtım malzemesi olarak EPS (genleştirilmiş polistiren sert köpük) kullanıldığı tespit etmiştir. Yapılan çalışmada özellikle 2000 yılından itibaren Isparta ilinde elma muhafaza amaçlı kullanılan soğuk hava depolarında, yapı ve yalıtım malzemesi olarak kullanılan EPS veya poliüretan köpüğün yerini poliüretan panele bırakarak kullanımının yaygınlaştığını belirlemiştir. Günümüzde soğuk hava depolarında yapı ve yalıtım malzemesi olarak kullanılan poliüretan panel, meyve muhafaza amaçlı kullanılan soğuk hava depolarında hem depolama kalitesini artırma ve hem de enerji açısından tercih edilen en önemli yapı ve yalıtım malzemesi olarak karşımıza çıktığını belirtmiştir [13].

Koyuncu, M. A. ve Eren, İ., yapmış oldukları çalışmada Granny Smith, Imparatore ve Idared elma çeşitlerinin soğukta depolanma koşulları incelemiştir. Uygun depolama koşulunu belirlemek için iki farklı zamanda derilen elmalar ilk yıl 0 C ve % 90-95 nispi nem , ikinci yıl -1, 0 ve +2 C sıcaklık ve yine % 90-95 nispi nem koşullarına sahip üç farklı soğuk odada 6 ay süreyle depolamışlardır. Depolama boyunca birer ay aralıklarla depodan çıkartılan örneklerde ağırlık kaybı, meyve eti sertliği, suda çözünebilir kuru madde, titre edilebilir asitlik ve renk değerleriyle beraber fizyolojik ve patojen kaynaklı bozulmalar incelenmişlerdir. Deneme sonuçlarına göre Eğirdir ekolojisinde Granny Smith, Imparatore ve Idared elma çeşitlerinin 0 C sıcaklık ve % 90-95 nispi nem koşullarında 5-6 ay depolanabileceği saptanmışlardır [14].

Özçatalbaş, yapmış oldukları çalışmada genel olarak dünyada elma yetiştiriciliğinde üretim miktarı, verimlilik ve alan bakımından gelişmeler ile elmanın dış ticaretteki önemi incelemiştir. Türkiye'nin dünyada ve Avrupa'da elma üretim sektöründeki rolünü tartışmıştır. Çalışmada dünyada üretim miktarı bakımından en önemli ülkeler, ülke payları, en önemli ihracatçı ülkeler ve yine en önemli ithalatçı ülkeler ortaya koymuştur. Buradan hareketle Türkiye'nin elma üretimi, verim, üretim alanı, ihracat ve ithalat bakımından mevcut konumu üzerinde durmuş ve elma yetiştiriciliğinin geliştirilmesi yönünde öneriler sunmuştur [15].

İçgül, İ., çalışmasında güneş enerjili ejektör soğutma sisteminin termodinamik, çevresel ve ekonomik incelenmesi yapmıştır. Çalışmada örnek uygulama olarak, Türkiye'nin elma üretiminin 1/5'ini karşılayan Isparta ilinde yoğun olarak kullanılan elma soğuk depolama tesislerini seçmiştir. Araştırma ile soğuk depolamada, güneş enerjili ejektörlü soğutma sistemi uygulamasının çevresel ve ekonomik avantajları; termodinamik, ekonomik ve çevresel analizlerle ortaya koymuştur [16].

Batkan, A., Kundakçı, A., çalışmasında Starking Delicious çeşidi elmanın kalitesi ve depolama ömrü üzerine 4 farklı ön bekletme süresinin etkisi irdelemiştir. Denizli-Çivril'den temin edilen örnekler 4 kısma ayırarak, bir bölümü hemen depoya yerleştirilirken, diğer 3 bölüm 6, 12, 24 saat ortam koşullarında bekletildikten sonra depoya yerleştirmiştir. Ticari bir depoda 0,5±1 °C 'de 8 aylık depolama süresince 2 ay aralıklarla meyvelerin ağırlık kaybı, meyve eti sertliği, pH, suda çözünür kuru madde,

asitlik, C vitamini, indirgen ve toplam şeker niceliklerindeki değişimleri incelemiştir. Araştırma bulgularına göre 8 ay süresince özellikle hemen soğuk depoya konan örneklerle 24 saat bekletilen örnekler arasında ön bekletme süresinin belirgin etkisini saptamış ve depolama boyunca kalite ölçütlerinde meydana gelen değişimleri açıklamıştır [17].

Kuzucu, C. F., Aydın, M. N., çalışmalarında yeni elma çeşitlerinden olan, üstün renk ve tat özellikleri ile öne çıkan Fuji Kiku elma çeşidinde hasat sonrası depolama periyodunda ticari anlamda yüksek oranda kullanılan 1-Methylcyclopropane (1-MCP) uygulamasının meyve kalite özellikleri üzerine etkileri incelemiştir. Çalışmada Tekirdağ- Banarlı bölgesinde üreticiye ait “Fuji Kiku” elma çeşidiyle kurulmuş bahçeden hasat edilen meyveleri kullanılmışlardır. Meyveleri hasat edildikten hemen sonra farklı derecelerde depolanacak şekilde iki ayrı gruba ayırmışlardır. Her iki gruba ait meyvelerden bir kısmı kontrol olarak ayrılırken, diğer kısım meyvelere 625 ppb ve 1250 ppb dozlarında 1-Methylcyclopropane (1-MCP) uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulama yapılan ve yapılmayan meyveler 0 °C ve 2°C sıcaklıkta %90-95 oransal nem koşullarında 180 gün süreyle muhafaza etmişlerdir. Her iki depolama koşulunda da depolama dönemlerine (60, 120 ve 180 gün) ilaveten 7 gün süreyle raf ömrüne (18-22°C sıcaklık, %55 nem) tutulan meyvelerde; meyve eti sertliği (MES), suda çözünür kuru madde miktarı, titre edilebilir toplam asitlik , toplam fenolik bileşik miktarı, meyve eti kararması ve fungal etmenli iç kararma oranı gibi kalite özelliklerini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak; 1-MCP uygulaması ile farklı sıcaklıklarda yapılan depolamayla olası enerji tasarrufu olanaklarını incelemişlerdir. Yüksek sıcaklık koşullarında depolamayla, kalite kaybının olmadığı tespit edilerek, ticari anlamda uygulanabilir olacak bu uygulamayla, ülkemiz için enerji tasarrufuna katkı da sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır [18].

Kılıç, G. A., çalışmasında deney ortamında içi boş bir soğuk hava deposu kullanarak sıcaklık, nem ve hava dolanım hız verileri ile bilgisayar destekli analiz programı ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması amaçlamıştır. Soğuk hava deposu ortam sıcaklığından set aralık değeri olan 275.15 [K] ile 272.95 [K]’ e inip sıcaklık, hız ve nem değerleri datalogger kullanarak almıştır. Bilgisayar destekli analiz için öncelikle hava akışının olacağı kabin Solidworks programında modellemiş ve ağ yapısı sonlu elemanlar

yöntemi kullanılarak oluşturmuştur. Tüm deney şartları hesaplamalı akışkanlar dinamiği hava akış simülasyon yazılım program ile zamana bağlı olarak tanımlayıp deney sonuçlarıyla karşılaştırmıştır [19].

Hürkuş, K., yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında soğuk hava depoları hakkında genel bilgiler ve ürün dondurma tekniklerine yer vermiştir. Soğuk hava depolarında enerji verimliliğine kavramsal yaklaşımda bulmuştur. Örnek bir tasarımda bulunarak teorik şekilde ele alınan hususları uygulamalı olarak incelemiş sonuç ve öneriler ile çalışmasını tamamlamıştır [20].

Uysal, E., yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında oda sıcaklığı değeri $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak referans alınan buhar sıkıştırma soğutma çevrimi prensibine göre çalışan, R404A soğutucu akışkanının kullanıldığı soğuk depo tasarımı ve imalatı yaparak, deneylerini deney sisteminde bulunan elektronik genişleme valfini Darbe Genişlik Modülasyonu prensibiyle kontrol ederek farklı aşırı kızdırma ve aşırı soğutma değerlerinde gerçekleştirmiş ve sonuçları kayıt altına almıştır. Sonuç olarak aşırı kızdırma değerinin $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak referans alınmasının daha hassas oda ve ürün sıcaklıklarına daha az elektrik tüketimi ile ulaşılabilmesine olanak tanıyacağı sonucuna varmıştır [21].

Baskın, N. yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında mekanik buhar sıkıştırma soğutma çevriminde çalıştırılan soğutma sistem cihazları üzerinde farklı kontrol yöntemleri deneysel olarak uygulayarak enerji tüketimleri hesaplayıp, verimlilik yönünden karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneyler sonucunda oransal integral kontrol yönteminin, iki konumlu kontrol yöntemine göre enerji verimliliği açısından daha üstün olduğu tüketilen güç hesaplamaları ile göstermiştir [22].

BÖLÜM 3

SOĞUTUCU AKIŞKANLAR

Soğutma çevriminde ısının bir ortamdan alınıp diğer bir ortama aktarılmasında ara madde olarak kullanılan sistem elemanı olarak tanımlamak mümkündür. Isı transferi işlemi soğutucu akışkanın sıvı ve gaz fazları arasında geçişi ile sağlanmaktadır. Soğutucu akışkan evaporatörde düşük sıcaklıkta buharlaşırken ortamdan ısı çekimi, kondenserde yüksek sıcaklıkta yoğunlaşırken ise ortama ısı atımı gerçekleşir. Faz değişimi ile ısı transferi sadece buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ve absorpsiyonlu soğutma çevriminde meydana gelir. Diğer soğutma yöntemlerinde benzer durum söz konusu değildir [50].

Soğutucu akışkanların ısı transfer özelliklerinden başka birtakım özelliklere de sahip olması gerekir. Bunlardan bazıları kimyasal kararlılık, güvenlik, ekonomiklik, kolay temin edilebilirlik, sistemdeki ekipmanlarla uyumluluk örnek olarak verilebilir [50].

Soğutucu akışkanlarda aranan özellikler :

1. Az bir enerji sarfiyatı ile daha fazla soğutma yapabilmelidir.
2. Buharlaşma ısı değeri yüksek seviyelerde olmalıdır.
3. Buharlaşma basınç değeri yüksek seviyelerde olmalıdır.
4. Yoğuşma basınç değeri düşük seviyelerde olmalıdır.
5. Yüzey gerilmesi ve vizkozite değeri düşük seviyelerde olmalıdır.
6. Kullanıldığı sistem içerisinde su buharı bulunması durumunda su buharı ile kimyasal etkileşime girmemelidir.
7. Kaçak durumlarında tespit edilebilir olmalıdır.
8. Kaçak durumlarında sağlık açısından zararlı olmamalıdır.
9. Kaçak durumunda havaya karışıp parlayıcı ve patlayıcı etki göstermemelidir.

10. Çalışma koşullarındaki sıcaklık ve basınç limitlerinde dahi özelliklerini kaybetmemeli, kararlı olmalıdır.
11. Elektrik açısından uygun olmalıdır.
12. Temini kolay ve ekonomik olmalıdır.
13. Ozon tabakası açısından zararsız olmalıdır.
14. Küçük kapasitelerde kullanıma da müsait olmalıdır.
15. Sistemdeki yağlayıcılarla kimyasal etkileşime girmemeli ve korozyon etkisi göstermemelidir
16. Kritik basınç ve sıcaklık değerleri yüksek seviyelerde olmalıdır.
17. Emniyetli, güvenilir, depolanması, nakli ve sisteme doldurulması kolay olmalıdır [50].

Ayrıca sistemde kaçak olması durumunda soğutucu akışkanın çevresel etkileri de göz önüne alınan bir diğer husustur. Çünkü atmosfere salınan soğutucu akışkanlar kimyasal kararlılıkları sebebiyle uzun yıllar kalmakta ve atmosferin üst kısmına ulaştığında ozon tabakasını incelmeye ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı Montreal protokolü ile brom ve klor içeren soğutucu akışkanları da içerecek şekilde ozon tabakasına zarar veren bileşiklerin üretimi kontrol altına alınmıştır [50].

3.1. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN SINIFLANDIRILMASI

Genel olarak soğutucu akışkanları üç ana başlık altında sınıflandırmak mümkündür[50].

1. Kloroflorokarbonlar (CFC)
2. Hidrokloroflorokarbonlar (HCFC)
3. Hidroflorokarbonlar (HFC)

3.1.1. Kloroflorokarbonlar (CFC)

CFC grubu soğutucu akışkanlar yanıcı ve zehirleyici olmamaları, kararlı yapıları ve iyi ısı özellikleri sebebiyle soğutma sektöründe oldukça uzun bir müddetçe

kullanılmıdır. Ancak bu gazların küresel ısınma potansiyelleri yüksek seviyelerdedir. Atmosferde 75 ile 120 yıl gibi oldukça uzun bir süre bozulmadan kalabilmektedir. Pratikte en fazla kullanılanları R11, R12 ve R114 gazlarıdır [50].

3.1.2. Hidrokloroflorokarbonlar (HCFC)

CFC'lerin ozon tabakasına etkisi üzerine geliştirilmişlerdir. İçerisinde bulunan klor, ozon ile kimyasal etkileşime girer ancak ozon tabakasına CFC'ler kadar çok zarar vermezler. Bileşiminde bulunan hidrojen nedeniyle kararlılık düzeyleri düşüktür. Bu nedenle atmosferde 15 ile 20 yıl gibi kısa bir süre bozulmadan kalabilirler. Pratikte en fazla kullanılanları R22, R124 ve R123 gazlarıdır [50].

3.1.3. Hidroflorokarbonlar (HFC)

HFC'lerin bileşiminde klor olmamasından dolayı ozon tabakasına etkisi yoktur. Ancak küresel ısınmaya olumsuz etkileri mevcuttur [50]. Çizelge 3.1'de ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) yani Amerikan Isıtma Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Birliği'nin belirlediği soğutucu akışkanlara ait standartlar verilmiştir [50].

Çizelge 3.1. Soğutucu akışkanlara ait ASHRAE standartları [51].

Kimyasal İsmi	Formül	Soğ. No	Kimyasal İsmi	Formül	
METAN SERİSİ		ETAN SERİSİ			
R10	Karbon tetra klorür	CCL ₄	R110	Hegzakloretan	CCL ₃ CCL ₃
R11	Tri klor flor metan	CCL ₃ F	R111	Penta klor flor etan	CCL ₃ CCL ₂ F
R12	Diklordiflormetan	CCL ₂ F ₂	R112	Tetra klor di flor etan	CCL ₂ FFCCL ₂
R12B1	Brom klor di flor metan	CBrClF ₂	R112a	Tetra klor di flor etan	CCL ₃ CCLF ₂
R12B2	Dibromdiflormetan	CBr ₂ F ₂	R113	Tri klor tri flor etan	CCL ₂ FCCLF ₂
R13	Klor tri flor metan	CCLF ₃	R113a	Tri klor tri flor etan	CCL ₃ CF ₃
13B1	Brom tri flor metan	CBrF ₃	R114	Di klor tetra flor etan	CClF ₂ CCLF ₂
R14	Karbon tetra flor	CF ₄	R114a	1,2-diklor1,1,2,2-tetraflor	CCL ₂ FCF ₃
R20	Kloroform	CHCL ₃	R114B2	1,2-dibrom-	CBrF ₂ CBrF ₂
R21	Di klor flor metan	CHCLF ₂	R115	Klorpenta flor etan	CCL ₂ F ₂ CF ₃
R22	Klor di flor metan	CHCCLF ₂	R116	Hegza flor etan	CF ₃ CF ₃
R22B1	Brom di flor metan	CHBrF ₂	R120	Pentakloretan	CHCl ₂ CCL ₃
R23	Triflormetan	CH ₂ CL ₂	R123	2,2-diklor1,1,1-triflor etan	CHCl ₂ CF ₃
R30	Metilenklorür	CH ₂ F ₂	R123a	1,2-diklor1,1,2-triflor etan	CHClFCClF ₂
R31	monoflormetan	CH ₃ F	R124	2-klor1,1,1,2-tetraflor etan	CHClFCF ₃
R32	Di flor metan (12etalfloirit)	CH ₂ F ₂	R124a	1-klor1,1,2,2-tetraflor etan	CHF ₂ CCLF ₂
R40	Klormetan (12etalklorit)	CH ₃ Cl	R125	Pentafloretan	CHF ₂ CF ₃
R41	Flor metan (meilfloirit)	CH ₃ F	R133a	2-klor1,1,1-triflor etan	CH ₂ ClCF ₃
R50	Metan	CH ₄	R134a	Tetrafloretan	CF ₃ CH ₂ F
PROPAN SERİSİ		ETAN SERİSİ			
R216ca	1,3-diklor1,1,2,2,3,3-hegza	CCLF ₂ CF ₂ CClF	R140a	Trikloretan (12etalkloroform)	CH ₃ CCl ₃
R218	Okta flor propan	CF ₃ CF ₂ CF ₃	R141b	1,1-diklor1-flor etan	CCL ₂ FCH ₃
R245cb	1,1,1,2,2-penta flor propan	CF ₃ CF ₂ CH ₃	R142b	1-klor1,1-diflor etan	CClF ₂ CH ₃
290	Propan	CH ₃ CH ₂ CH ₃	R143a	1,1,1-triflor etan	CF ₃ CH ₃
SİKLİK ORGANİK BİLEŞİKLER		ETAN SERİSİ			
C316	1,2-diklor1,2,3,3,4,4-hagza	C ₄ Cl ₂ F ₆	R150a	1,1-diklor etan	CHCl ₂ CH ₃
C317	Klorhepta flor siklobütan	C ₄ ClF ₇	R152a	1,1-diflor etan	CHF ₂ CH ₃
C318	Okta flor siklobütan	C ₄ F ₈	R160	Kloretan (etilkolrit)	CH ₂ CH ₂ Cl
ZEOTROP KARIŞIMLAR		AZEOTROP KARIŞIMLAR			
Soğ. No	İsmi/Oran	Soğ. No	İsmi/Oran		
R401A	R22/152a/124 (53/13/34)	R500	R12/152a (74.8/26.2)		
R401B	R22/152a/124 (61/11/28)	R501	R22/12 (75/25)		
R401C	R22/152a/124 (33/15/52)	R502	R22/115 (48.8/51.2)		
R402A	R125/290/22 (60/2/38)	R503	R23/13 (40.1/59.9)		
R402B	R125/290/22 (38/2/60)	R504	R32/115 (48.2/51.8)		
R403A	R290/22/218 (5/75/20)	R505	R12/31 (78/22)		
R403B	R290/22/218 (5/56/39)	R506	R31/114 (54.1/44.9)		
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	R507A	R125/143a (50/50)		
R405A	R22/152a/142b/C318 (45/7/4.5/42.5)	R508A	R23/116 (39/61)		
R406A	R22/600a/142b (55/4/41)	R508B	R23/116 (46/54)		
R407A	R32/125/134a (20/40/40)	R509A	R22/218 (44/56)		
R407B	R32/125/134a (10/70/20)	İNORGANİK BİLEŞİKLER			
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	R702	Hidrojen H ₂		
R407D	R32/125/134a (15/15/70)	R704	Helyum He		
R408A	R125/143a/22 (7/46/47)	R717	Amonyak NH ₃		
R409A	R22/124/142b (60/25/15)	R718	Su H ₂ O		
R409B	R22/124/142b (65/25/10)	R720	Neon Ne		
R410A	R32/125 (50/50)	R728	Azot N ₂		
R410B	R32/125 (45/55)	R732	Oksijen O ₂		
R411A	R1270/22/152a (1,5/87,5/11)	R740	Argon Ar		
R411B	R1270/22/152a (3/94/3)	R744	Karbondioksit CO ₂		
R412A	R22/218/142b (70/5/25)	R744A	Azotdioksit N ₂ O		
HİDROKARBONLAR		R764	Kükürtdioksit SO ₂		
R600	Bütan CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	AZOT BİLEŞİKLERİ			
R600a	İzo-bütan CH (CH ₃) ₃	R630	Metilamin CH ₃ NH ₂		
OKSİJEN BİLEŞİKLERİ		R631	Etilamin C ₂ H ₅ NH ₂		
R610	Etiler C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅				
R611	Metil format HCOOCH ₃				

3.2. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak iklimlendirme soğutma sistemlerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu durum daha fazla soğutucu akışkan kullanılması anlamına gelmektedir. Yaşam kalitesini ve konforunu arttıran bu sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanların çevre üzerinde bir takım olumsuz etkileri söz konusudur. Soğutucu akışkanlar kaçak durumunda havaya karıştıklarında içeriğinde bulunan klor atomu Stratosfer'in üst kısmında yer alan kimyasal formülü O_3 olan, ozon olarak adlandırılan tabakadan bir oksijen atomunu koparır ve ozonun oksijen molekülüne dönüşmesine neden olur. Normalde oksijen molekülü stratosferin üzerine çıktığında ultraviyole güneş ışınlarının etkisiyle tekrar ozona dönüşür ancak tek bir klor atomu yüzbin ozon molekülünün oksijen molekülüne dönüşmesine sebep olduğu için doğal ozon-oksijen döngüsü tamamlanamadan çok hızlı bir şekilde ozon derişimi azalmış olur. Bunun sonucunda Dünya güneşten gelen zararlı ultraviyole ışınlarla direkt olarak maruz kalır ve atmosferin sıcaklığında da artış meydana gelir. Bu durum ilk defa 1974 yılında Malina Rowland teorisinde ortaya atılmış, 1985 yılında NASA'ya ait bir uydudan alınan bilgilerle kanıtlanmıştır. Bunun üzerine bilim insanları Antartika kıtasında giderek buzullardan ve ultraviyole ışıklardan ölçümler yaparak ozon tabakasının delindiğini ortaya çıkarmışlardır [52].

Bu gelişmelerin üzerine 20 ülke Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) önderliğinde 1985 yılında Viyana Kongresi'ni gerçekleştirmiştir ve duruma ilişkin tedbirlerin alınması hususunda fikir birliğine varmıştır. Viyana kongresi uluslararası alanda bu hususta gerçekleştirilen ilk anlaşma olması açısından önemlidir. 1987 yılında Kanada'nın Montreal kentinde 27 ülke tarafından ozon tabakasına zarar veren maddeler kabul edilmiş ve tarihsel sıraya göre Londra (1990), Kopenhag (1992), Viyana (1995), Motreal (1997) ve Beijing (1999) olmak üzere 5 defa değişikliğe uğramıştır. Türkiye de 1991 yılında Montreal Protokolü'ne dahil olmuştur. Montreal Protokolü bu alanda yapılmış olan en geniş katılımlı (yaklaşık 196 ülke) ve en başarılı anlaşmadır [58]. Japonya'nın Kyoto kentinde 1997 yılının Aralık ayında Montreal Protokolünün devamı niteliğinde olan Kyoto Protokolü imzalanmıştır. Bu protokole göre protokole katılan 38 gelişmiş ülke 2008-2012 arasındaki sera gazı salınımlarını 1990 yılı değerlerinin % 5,2'nin altına çekeceklerini taahhüt etmiştir. Gelişmekte olan

ülkelerden bu taahhüt istenmemiş ancak salınım alışverişi yasaklanmıştır [61]. Türkiye 2004 yılında Kyoto Protokolüne dahil olmuştur. Bu kapsamda yapılan en son uluslararası anlaşma ise Paris İklim Anlaşması'dır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi çerçevesinde sera gazı salınımlarını azaltmaya yönelik tedbirleri ihtiva eden bir anlaşmadır ve 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Türkiye 22 Nisan 2016 da 175 ülke temsilcinin katıldığı New York'taki imza töreninde imza almıştır.

3.2.1. Ozon Tüketme Potansiyeli (ODP, Ozone Depleting Potential)

Soğutucu akışkanın ozon tabakasının delinmesi yönündeki etkisini gösteren sayısal bir değerdir. Bağlı bir ifadedir. Referans soğutucu akışkanı olarak R11 baz alınmıştır ve ODP değeri 1,0 olarak belirlenmiştir. Bir diğer ifadeyle ODP, R11 haricindeki bir soğutucu akışkanın ozona vermiş olduğu zararın aynı kütledeki R11 soğutucu akışkanının vermiş olduğu zarara oranıdır.

3.2.2. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP, Global Warming Potential)

Bir maddenin atmosfere karışması durumunda küresel ısınmaya sebep olan potansiyel etkisini ifade eden bağıl ve sayısal bir değerdir. Referans olarak CO₂ (R744) baz alınmıştır. Yani kütlesi 1 kg olan CO₂'nin 100 yıllık periyotta küresel ısınmaya etkisi 1.0 olarak kabul edilmiştir. Bir diğer ifadeyle GWP, CO₂ haricindeki bir soğutucu akışkanın küresel ısınmaya etkisinin aynı kütledeki CO₂ soğutucu akışkanının vermiş olduğu etkiye oranıdır. Çizelge 3.2'de çok kullanılan bazı soğutucu akışkanların ODP ve GWP değerleri verilmiştir.

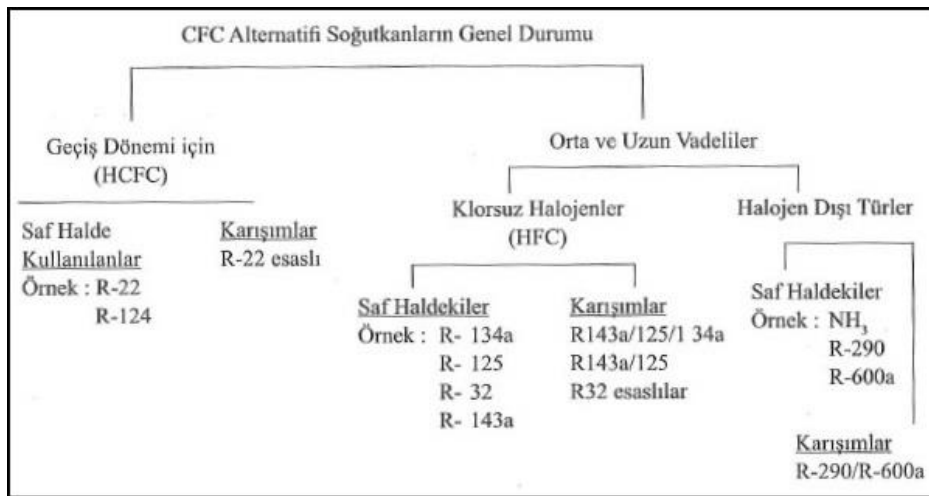
Çizelge 3.2. Çok kullanılan bazı soğutucu akışkanların ODP ve GWP değerleri [57].

Soğutucu Akışkan	Soğutucu Akışkan Sınıfı	ODP	GWP
R11	CFC	1	4600
R12	CFC	0,82	10600
R22	HCFC	0,034	1700
R 134a	HFC	0	1300
R 410A	HFC	0	1980
R 404A	HFC	0	3780
R 407C	HFC	0	1650
R 507A	HFC	0	3850
R 744 (CO2)	DoğalAkışkan	0	1
R 717 (NH3)	DoğalAkışkan	0	<1

ODP: R11 için 1 kabul edilmiştir. **GWP:** CO2 için 1 kabul edilmiştir.

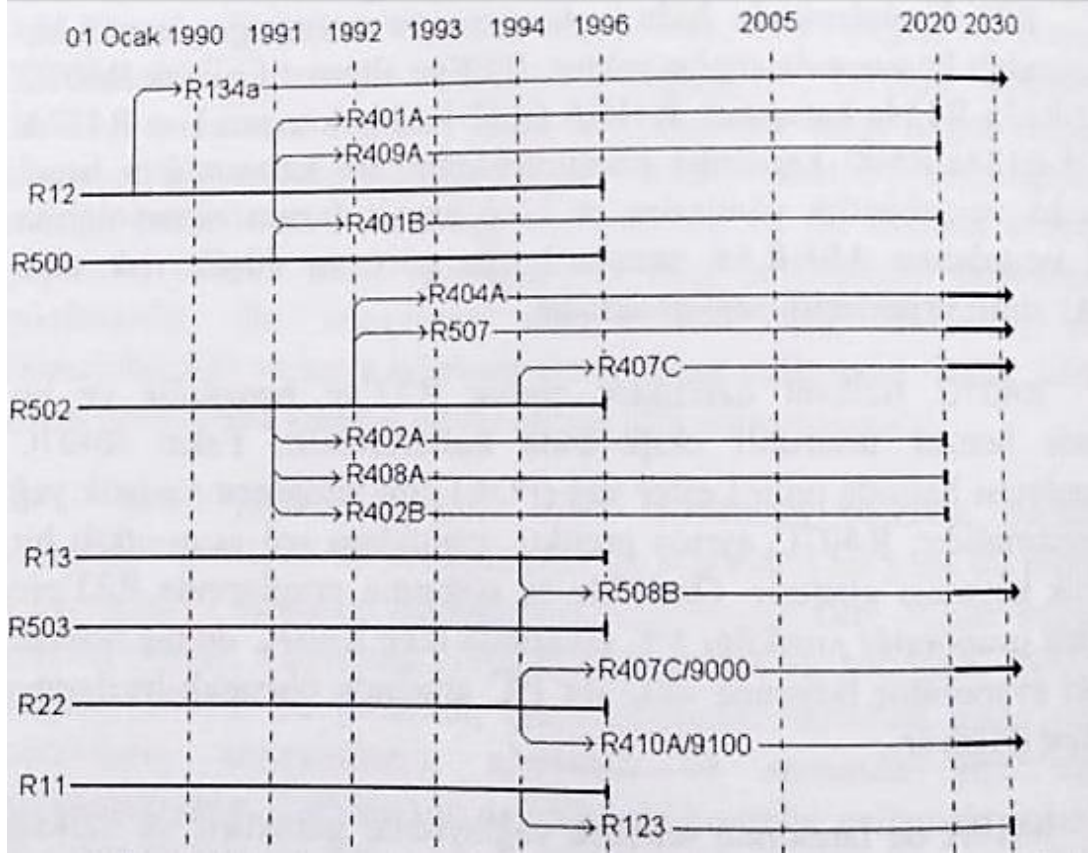
Çizelge 3.2'ye bakıldığında CFC türü soğutucu akışkanların ODP değerlerinin düşük olduğu ancak GWP değerlerinin yüksek olduğu göze çarpmaktadır. HFC türü soğutucu akışkanların genel olarak ODP değerinin sıfır olduğu ancak GWP değerlerinin CFC'lere göre düşük olmasına rağmen yine de yüksek seviyelerde olduğu göze çarpmaktadır.

Çevresel etkilerinden dolayı uluslararası antlaşmalar gereği insanlar CFC türü soğutucu akışkanlara alternatif soğutucu akışkan arayışı içerisine girmişlerdir. Şekil 3.1'de CFC alternatifi soğutucu akışkanların genel durumu verilmiştir [54].



Şekil 3.1. CFC alternatifi soğutucu akışkanların genel durumu [54].

Uluslararası anlaşmalara göre temel soğutucu akışkanlar, terk ediliş programı ve alternatifleri Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2. Temel soğutucu akışkanlar, terk ediliş programı ve alternatifleri [50].

Şekil 3.2. incelendiğinde temel soğutucu akışkanların 1996 yılında terk edildiği görülmektedir. Bunların yerine gelen alternatiflerinin bir kısmının 2020 yılına kadar kullanımı son bulurken bir kısmının 2030 ve sonrasında da kullanımının devam edeceği görülmektedir. Soğutmanın ilk yıllarında amonyak gibi doğal soğutucu akışkanlar yaygın olarak kullanılırken CFC türü soğutucu akışkanlar ve türevleri sektöre girdiğinde pabucu dama atılan doğal soğutucu akışkanlar günümüzde çevresel etkiler sebebiyle tekrar önem kazanmaya başlamıştır. İlerleyen yıllarda ise tamamen doğal soğutucu akışkanların kullanımına doğru yönelim söz konusudur. Günümüzde çoğunu karışımların oluşturduğu geçiş dönemi soğutucu akışkanları kullanımı yaygındır. R22 soğutucu akışkanı günümüzde yeni sistemlerde kullanılmamasına rağmen eskiden kurulan halen çalışan sistemlerde mevcut olduğu için piyasada hala erişimi mümkün olabilmektedir. Ayrıca R22 soğutucu akışkanı CFC türevlerinin

soğutma pazarına hızlı girdiği dönemlerde termofiziksel özellikleri sebebiyle kendine neredeyse soğutmanın her alanında yer bulmuştur. Bu sebeple bu çalışmada da R22 gazı da referans bir gaz olarak ele alınmış ve hesaplamalar dahil edilmiştir.

Kullanım Yeri	Soğutucu	Kullanım oranları	Notlar
Ev tipi soğutucular	R12	-	R12'nin alternatifi
	R134A	%100	
	R500	-	
Ticari soğutucular	R12	%79	-15 +15°C aralığında
	R502	%19	
	R22	%13	
Soğuk muhafaza ve gıda işleme	R12	%10	-37°C'ye kadar olan sıcaklıklarda
	R502	%5	
	R22	%10	
	Amonyak	%60	
Endüstriyel soğutma	R12	%18	-45°C'ye kadar olan sıcaklıklarda (nadiren -70°C)
	R13	-	
	R22	%40	
	Amonyak	%35	
Su veya salamura soğutucu ünite (Chiller)	R11	%80	350-10 000 kW kapasiteleri arasında santrifüj soğutucu ünitelerde.
	R12	%25	
	R22	%30	
Soğuk taşıma ve klima	R12	%50	> -45 °C
	R502	%50	
	R22	%47	
Otomobil kliması	R12	-	Maximum 82°C'ye kadar olan uygulamalarda.
	R134A	%100	
Isı pompası	R12	%46	Maximum 56°C'ye kadar olan uygulamalarda.
	R114	%1'den daha az	
	R502	%8	
	R22	%41	

Şekil 3.3. Yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanların kullanım alanları ve oranları [50].

Şekil 3.3. incelendiğinde soğuk muhafaza ve gıda işleminde büyük oranda R717 (Amonyak) soğutucu akışkanının kullanıldığı görülmektedir. Bu sebeple bu çalışmada ele alınan ikinci soğutucu akışkan ise R717 (Amonyak) ve R22 soğutucu akışkanının alternatifi olan R407C soğutucu akışkanı seçilmiştir.

BÖLÜM 4

SOĞUTMA

4.1. SOĞUTMA

Bir ortamın ya da maddenin sıcaklığını onu çevreleyen hacmin sıcaklığının altına indirme ile orda muhafaza etme amacıyla ısının alınmasına soğutma denmektedir [47]. Soğutma işlemiyle gıdalarda olan mikroorganizmaların etkinliklerini önlenmekte ve kimyasal reaksiyonlar yavaşlamaktadır. Bununla beraber gıdanın bozulması eylemi de yavaşlatılmaya çalışılmış olmaktadır.

Ön soğutma ile soğutma meyve ve sebzelerin hasat edildikten sonraki sıcaklığının kısa olan süre içerisinde hasat sonrasında ile depolamanın öncesinde ortalama şekilde taşıma ile optimum depolama sıcaklığına düşürüldüğü bir işlem olmaktadır. Bu çeşit bir çalışmaların ana amacıysa biyokimyasal ile mikrobiyal reaksiyonların hızını yavaşlatma ve sırası ile bozulmaya engel olma, kaliteyi koruma ile raf ömrünü uzatmaya çalışmaktır [49].

4.2. SOĞUTMA YÖNTEMLERİ

4.2.1. Fiziksel Soğutma

Sıvı halde olan maddeler buharlaşır iken etraftan ısı almaktadırlar. Bu halde çevre sıcaklığının düşüşüne sebep olmaktadır. Aynı biçimde yoğuşma durumundaysa etrafa ısı vermekte ve etrafın sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Fiziksel soğutmaya verilebilecek örnekler; elimize dökülen kolonya buharlaşır iken elimde serinlik hissetmemiz ile yazın testiye konulan suyun soğuması gibidir.

4.2.2. Kimyasal Soğutma

Normal sıcaklıkta olan Bazı maddeler belli oranlardan birbirleri ile karıştırıldıklarında çok daha düşük olan sıcaklıklar elde edilmektedir. Bunun nedeniyse karışım oluşturulur iken etraftan ısı alınmasıdır. Modern olan soğutma sistemlerinin bulunmadığı dönemlerde dondurmacılar, dondurmayı muhafaza etmek amacıyla buz ya da karla sofru tuzunun karışmasını kullanıp fazla düşük sıcaklıklar elde etmeye çalışırlardı. %35 oranında sofru tuzu ve %65 kar veya buz karıştırıldığında sıcaklık 20°C'ye düşüş göstermektedir. Kimyasal soğutmaya bu soğutma biçimi örnek olarak verilebilmektedir.

4.2.3. Mekanik Soğutma

Teknolojinin gelişmesi ile gelişim gösteren soğutma alanında çoğu zaman mekanik olan soğutma yöntemi kullanımı görülmektedir. Soğutucu olan akışkanın görmüş olduğu işlemler açısından fiziksel olan soğutmadan, mekanik soğutma ayrım göstermektedir. Mekanik olan soğutma yöntemi ile soğutma işlemi de fiziksel bir niteliği vardır. Çünkü soğutma mekanik yöntem ile dışarıdan enerji verilerek akışkanın sıcaklık ile basıncın yükselmesi temeline dayanmaktadır [48].

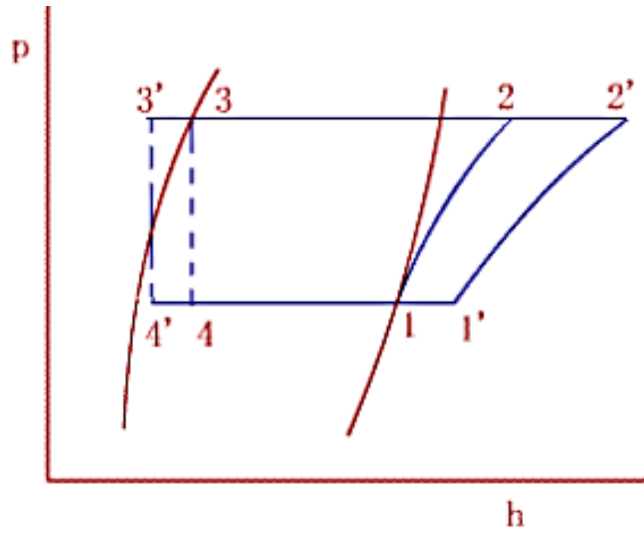
Termodinamiğin 2. Yasası'na bakıldığında, soğutma işleminin ana ögesi olan soğutucu olan akışkanın ters bir yönde çevrim izlemesi yani soğuk olan kaynaktan ısı olarak sıcak olan kaynağa aktarabilmesi amacıyla soğutucu akışkana kesinlikle dıştan bir enerji verilmesi gerekmektedir.

4.3. SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Çağımızda kullanımı olan bir maddenin ya da bir hacmin soğutulması amacıyla birçok farklı teknik kullanılmaktadır. Soğutma sistemlerinin bazılarıysa aşağıda kısa bir şekilde özetlenmektedir;

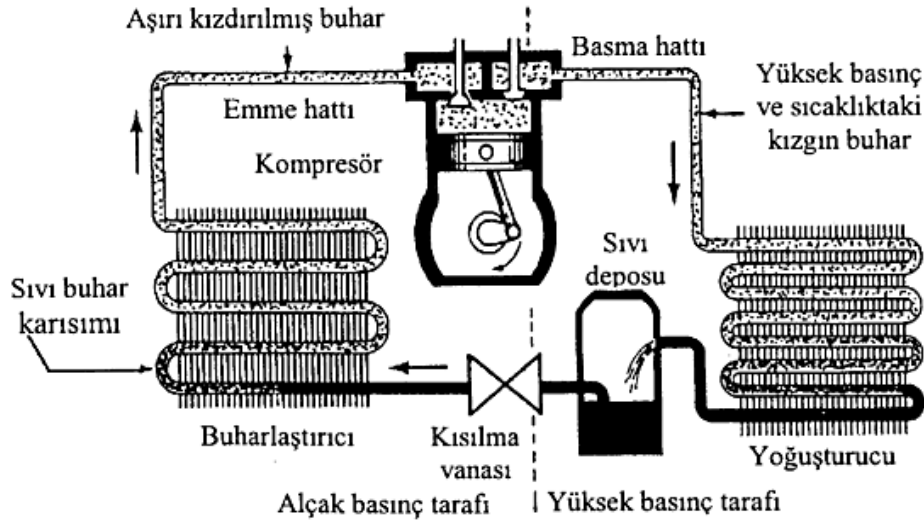
4.3.1. Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemi

Çağımızda çok fazla tanınan ve kullanımı gerçekleşen soğutma sistemlerinden bir tanesidir. Evaporatör, kompresör, kısılma vanasıyla sistem yoğuşturucudan meydana gelmektedir. Bu şekil 4.2’de gösterilmektedir. Verilmiş olan işle soğutucu akışkanın mekanik şekilde kompresör arayıcılığıyla sıkıştırılmasına dayanmaktadır. Kompresörde olan yüksek basınçta sıkıştırılmış olan soğutucu akışkan kızgın olan buhar durumunda yoğuşturucuya gönderilmektedir. Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Aşırı soğutulmuş sıvı ile kızgın buhar alanı [25].

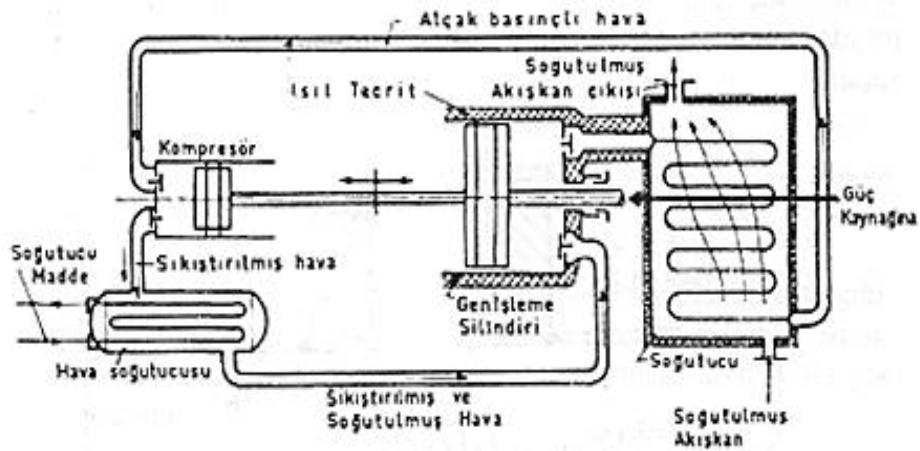
Çevreye ısı verilmesi ve yoğuşmuş olan soğutucu akışkan, kısılma vanasında olan alçak basınç ile kısılıp ıslanmış buhar durumunda evaporatöre girmektedir. Soğutucu olan akışkan evaporatörü çevrelemiş ortamın sıcaklığının altında bulunan sıcaklıkla vardır. Bu sebeple ortam ısını çekmekte ve ortamı soğumaktadır. Soğutucu olan akışkan evaporatörün çıkışında olan doymuş buhar durumunda kompresör arayıcılığıyla emilmektedir. Bu durumda çevrim işlemekte ve sürmektedir.



Şekil 4.2. Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma sistemi örneği [26].

4.3.2. Hava Soğutma Sistemi

Bu sistemin özelliği soğutucu olan akışkanın bütün sistem içinde sürekli gaz durumunda kalması ile hiçbir zaman sıvılaşma göstermemesidir. Hava soğutma çevrimi kapalı ile açık sistem olarak iki değişik şekilde çalışmaktadır. Şekil 3.3'de çalışma prensibi gösterilmektedir. İki etmeni bulunan genişleme silindirisinin, Bunlardan ilki ekspansiyon valfi şeklinde işi, ikincisiyse kompresör amacıyla gerekli olan sıkıştırma gücünün bir bölümünü sağlar ve bu sayede güç ihtiyacını azaltma göstermektedir.

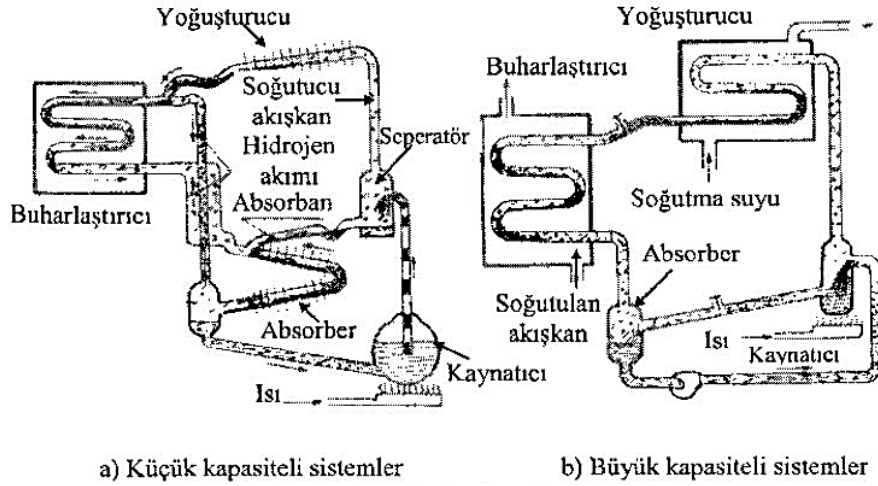


Şekil 4.3. Hava soğutma sistemi örneği [27].

4.3.3. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi

Farklı basınç düzeylerinin de soğutucunun yoğuşma ile buharlaşma yöntemlerinin gerçekleşmesiyle mekanik olan sıkıştırılmalı soğutucularda yer aldığı gibi buharın sıkışmasına dayalı çevrim neticesi ortaya çıkan ısı geçişi prensibi ile çalışmakta olan sistemlere absorpsiyonlu soğutma sistemleri denmektedir.

İki çevrim arasında bulunan fark ise absorpsiyonlu çevrimde olan mekanik sıkıştırılmalı çevrimde kullanımı yapılan kompresörün yerine ısıyla çalışımı olan generatör kullanılmasıyla basınç farkının oluşturulmasıdır ve bu sebeple de mekanik olan soğutma sistemiyle kıyaslandığında elektrik enerjisinde tüketim daha az olmaktadır. Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemi ile absorpsiyonlu soğutma sistemi arasında olan tek değişiklik kompresördür. Absorpsiyonlu olan sistemlerde, kompresör işini absorberden oluşmakta olan ısı eşanjörleri grubu kaynatıcı ile yapmaktadır. 2 sistemde de bir buharlaştırıcı, bir kısılma vanası ile bir yoğuşturucu yer almakla birlikte, absorpsiyonlu sistemde bunlara ek şekilde; kaynatıcı, pompa ile absorber bulunmaktadır. Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



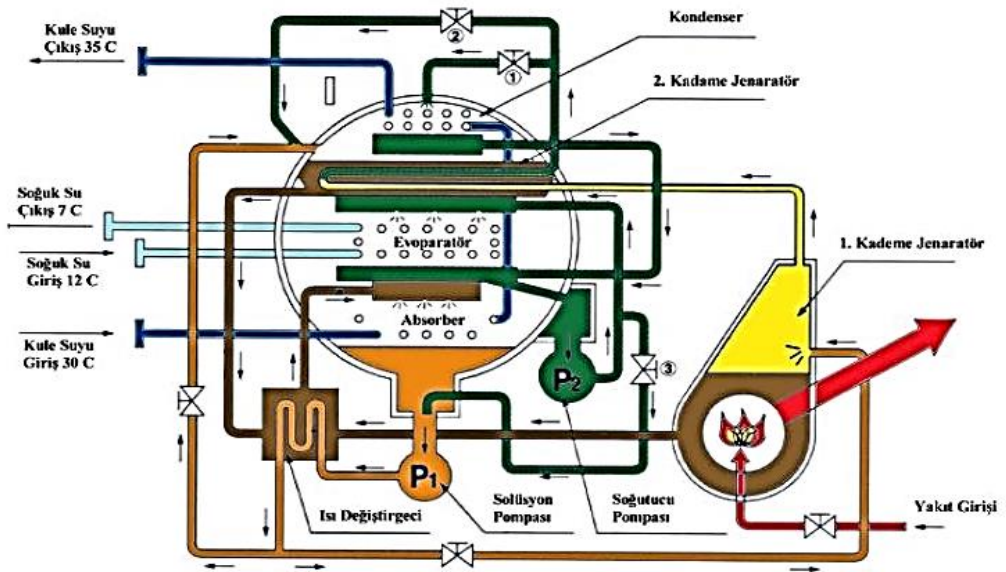
Şekil 4.4. Absorpsiyonlu soğutma sistemi örneği [28].

Buharlaştırıcıdan gelmekte olan soğutucu akışkan buharı, içerisinde absorbent olan bir hücreye giriş yaparak absorbent arayıcılığıyla emilmektedir. Soğutucu maddeyle zenginleşmiş olan karışım kaynatıcı kısmına iletilmekte burada ısıtılmakta, soğutucu maddeyle daha fazla basınca buharlaştırılmaktadır. Absorbent, zayıf olan eriyik

halinde yeniden absorbere dönüş yaparak soğutucu olan maddeyi emme işlemini yinelemektedir [46].

Sistemde faaliyet gösteren akışkanını soğutucu solüsyonu birbiriyle yüksek olan kimyasal benzerlikte absorberdandan oluşmaktadır. Isı, absorber ile soğutucunun ayrılmış olduğu yerde generatörde solüsyona eklenmektedir. Li – Br sistemlerinde yer aldığı gibi saf uçucu olmayana dek absorber materyali uçucu olana dek damıtma aletine gereksinim göstermektedir. Çünkü soğutucu tamamı ile absorberdenden ayrılmalıdır yoksa evaporatördeki buharlaşma gerçekleşmemektedir. Yeniden üretimi yapılan absorber normalden azda olsa soğutucu içermektedir. Şayet absorber materyali katılaşma gösterirse Li – Br Su sisteminde yer aldığı gibi, saf olan absorber materyalini her defa çözülmüş olarak tutma amacıyla yeterli olan soğutucuya gereksinim göstermektedir. Genellikle pratik çalışma generatör içerisinde aşırı derece ısınmadan kaçarak yeniden üretimi yapılan absorberın kristalleşmesini önleme amacıyla içerisinde bir miktar absorberın bulunmasına izin verilmektedir.

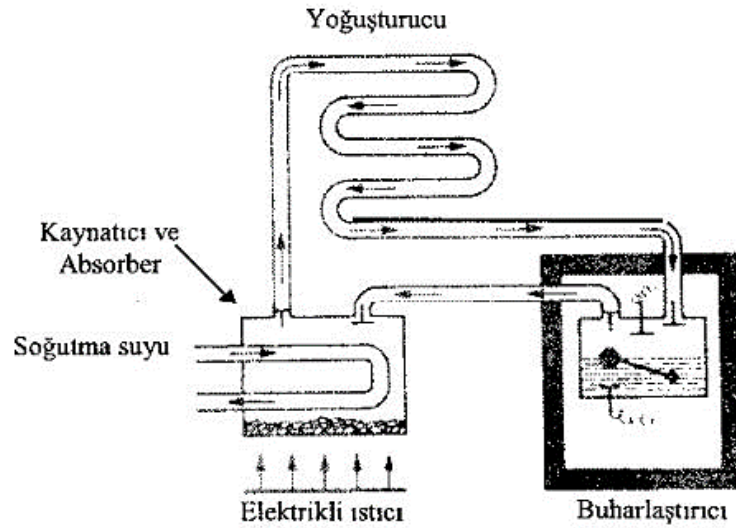
Buharlaşmış olan soğutucu kondenserde suya dönüşmesinin ardından ısı soğutma kulesinden atılmaktadır. Sonrasında yüksek olan basınç (kondenser ile generatör) bölümü düşük olan basınç evaporatörüne doğru genişlemektedir. Sonra da soğutucu olan buharlaştırıcısıyla ortam soğutulmaktadır.



Şekil 4.5. Absorbsiyonlu soğutma sistemi şematik gösterim [7].

4.3.3. Adsorbsiyonlu Soğutma Sistemi

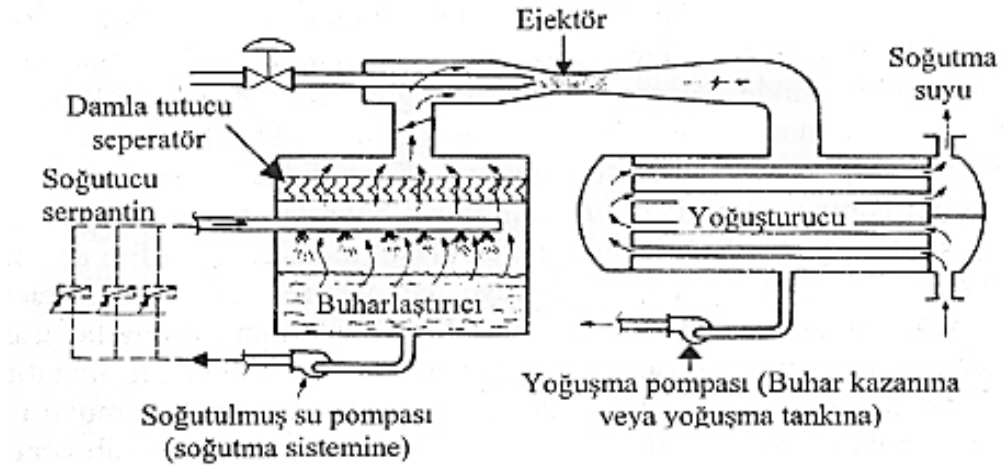
Silika-gel, aktif karbon vs. maddelerin gözenekleri, büyük oranda gaz emmektedirler. Böyle katı olan maddelerin bu niteliklerden faydalanılarak adsorbsiyonlu olan soğutma sistemleri geliştirilmektedir. Basit bir adsorbsiyonlu soğutma sistemi Şekil 3.6'de verilmektedir. Sistem bir buharlaştırıcı, bir kaynatıcı, bir yoğuşturucudan meydana gelmektedir. Bu sistem içerisinde kaynatıcı suyun yerine, amonyağın emilmesini elde edecek silika-gel vardır. Kaynatıcı içinde soğutma serpantinleri ile elektrikli ısıtıcılar bulunmaktadır. Kaynatıcının ısıtılmasıyla silika-gel ısınmakta ve emilmiş olan amonyak buharlaşıp, silika-gel'in içerisinden ayrılmaktadır. Belli bir basınca vardığında, çıkış valfini açıp yoğuşturucuya geçmektedir. Bu da etrafa ısı verip sıvı duruma gelen amonyak, buharlaştırıcı içerisine akmaktadır. Bir zaman sonrasında buharlaştırıcı içerisindeki şamandıra yükselip, elektrikli olan ısıtıcının devresini kapatmaktadır. Soğutma suyu vanasını açmakta ile ısıtıcı soğumaya başlamaktadır. Ortamdaki ısıyı çekip buharlaşmış amonyak, elektrikli olan ısıtıcı kapatıldığında absorber işlemini alan kaynatıcıda olan silika-gel arayıcılığıyla emilmeye başlanmaktadır. Soğumuş olan kaynatıcı içindeki basınç düşümü durumunda, amonyağın buharlaşması kolay hale gelmiş olur. Bir zaman sonrasında buharlaştırıcıda sıvı düzeyi düşmekte ve şamandıra, soğutma suyu vanasını kapatarak, ısıtıcıyı devreye sokmaktadır [5].



Şekil 4.6. Adsorbsiyonlu soğutma sistemi örneği [7].

4.3.4. Buhar-Jet (Ejektör) Soğutma Sistemi

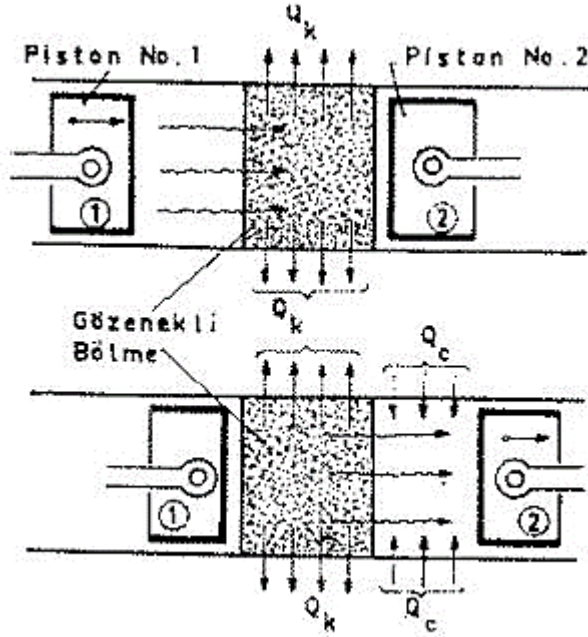
Düşük sıcaklıkta ve yüksek vakum altında suyun buharlaştırılması prensibiyle çalışmakta olan sisteme buhar-jet soğutma sistemi denmektedir. Buhar ejektöründen 0.33-2 atm basıncında olan atık buharın 1200 m/s mertebelerinde bir hız ile geçirilmesiyle buharlaştırıcı içerisinde yüksek olan değerde vakum üretilmekte ve ortaya çıkan vakum etkisiyle soğutma tankı içerisinde olan sıvının bir bölümü buharlaşmaktadır. Buhar durumuna geçme amacıyla gerekli olan ısıyı ve gere kalan sıvıdan almış olduğu için soğutma tankında olan sıvı soğumaya başlamaktadır. Buharlaşmış olan sıvı, ejektörden geçiş yapan buharla birlikte karışıp vakum altında faaliyet gösteren yoğuşturucuya geçmektedir. Bu durum Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Soğutma tankı altında olan soğutulmuş olan sıvıda, sıvı pompası tarafından soğutma hücresinden dolaştırılarak yeniden soğutma tankında soğutulmak için, tank içerisinde pülverize edilmektedir. Püskürtme için sıvının temas ettiği bölgenin artırılmasıyla buharlaşmaya yardımcı olma amacıyla yapılmaktadır. Yoğuşturucuda yoğuşan sıvı, yoğuşma pompası tarafından emilmektedir. Bura emilmiş olan sıvının sıcaklığı, soğutma suyunun sıcaklığından 10 °C daha yukarıdadır. Bu sebeple pompanın basmış olduğu sıvı, bir aralıkta soğutucuda, soğutma suyu tarafından soğutulmaktadır. Soğutma tankında buharlaşmış olan suyu tamamlama adına şamandıranın yanına verilmektedir. Ejektörler, seri durumunda bağlanıp kapasitesi daha yüksek olan sistemleri yapılmaktadır [46].



Şekil 4.7. Buhar-jet (ejektör) soğutma sistemi örneği [31].

4.3.5. Sterling Soğutma Sistemi

Bir silindirin içine yerleştirilmiş ve birbirlerinden gözenekli ile ısı tutumu yüksek olan bir bölme ile (Regeneratör) ayrılmış iki pistondan oluşmaktadır. Bu Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Sistemin silindir hacminde olan soğutucu bir gaz (Hidrojen, Helyum, gibi) yer almaktadır. Başlangıçta olan 1 numaralı piston hareket edip silindir boşluğunda ola gazı sıkıştırmaktadır. Gözenekli kısma işleyen ısınmış olan gaz ısıısını bu alana vermektedir. Bu ısı (Q_k) dıştan yapılacak bir soğutmayla sistemden hızla uzağa taşınacaktır. 2 numaralı piston silindir boşluğuna direkt ilerleyerek basınçlı olan gaz, iki numaralı piston geriye direkt hareket halindeyken silindirde olan boşluğu doldurmayı sürdürmektedir. Bu halde gaz civardan ısı alımına uygun haldedir ve iki numaralı silindir cidarına bırakılacak ısıyı derhal alacaktır. Soğutulmak istenilen alanla ısı alımına uygun gaz aralığında bir ısı transferi sağlama amacıyla soğutma görevi yapılacaktır [47].

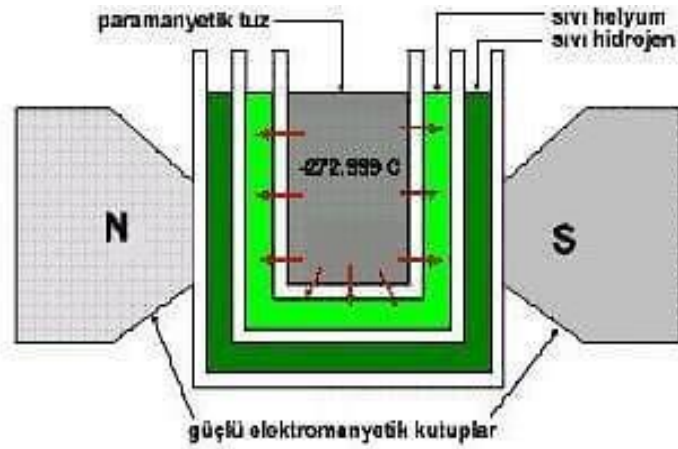


Şekil 4.8. Sterling soğutma sistemi örneği [7].

4.3.6. Paramagnetik Soğutma Sistemi

Mutlak sıfır sıcaklığına yakın düzeylerdeki sıcaklıklara erişimi sağlama amacıyla araştırmacılar arayıcılığıyla kullanımı olan soğutma biçimidir. Paramagnetik maddeler

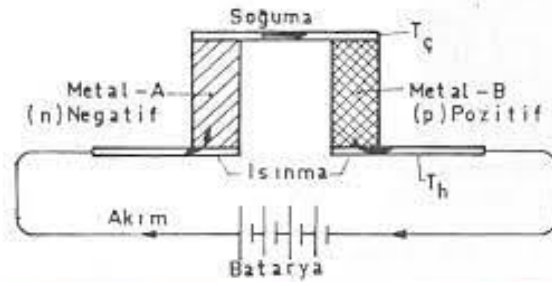
basitlik kazandıkça “*mıknatıs tarafından çekilmeyen maddeler*” şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 3.9’de verilmektedir. Bir paramagnetik madde öncesinde çok aşırı miktarda soğutulma yapıldığında, başka maddelerde gerçekleştiği gibi moleküllerinin ısı iletimi fazla düşmektedir. Bu alanda şiddeti çok olan bir magnetik bölgeye bırakıldığında, paramagnetik tuz moleküllerinin elementer birer magnet halini aldığı görülebilir. Bununla birlikte, paramagnetik maddeye yapılan magnetik alan kaldırıldığında, ısı alışverişi gerçekleşmediğinden paramagnetik olan tuzun sıcaklığı ciddi oranda düşüş göstermektedir. Bu durumu, moleküler düzeyde bir sıkıştırma çevrimine benzetmek olası olabilmektedir. Yapılan şiddeti çok olan magnetik bölge moleküllerin magnetik bölge sıkışmasına neden olmakta, molekül ısıyı etraftaki hidrojen ile helyum aracılığıyla alım göstermektedir. Magnetik alan kalktığında moleküller üstündeki magnetik baskının azalma göstermesi neticesinde, aynı buhar sıkıştırma çevriminde genişleme valfinden sonrasında gerçekleştiği şekilde, sıcaklık çok aşağı düzeylere düşüş göstermektedir [46].



Şekil 4.9. Paramagnetik soğutma sistemi örneği [30].

4.3.7. Termoelektrik Soğutma Sistemi

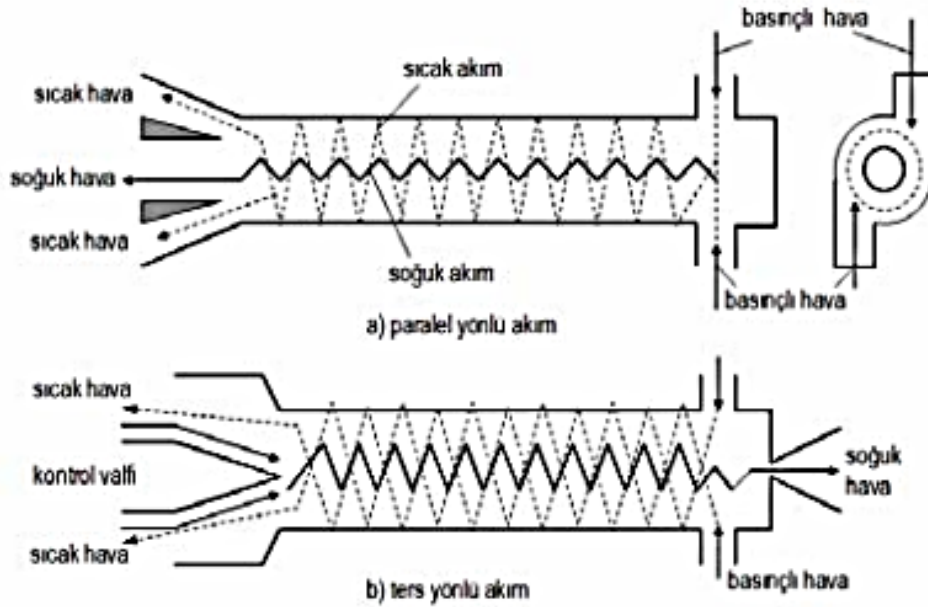
Peltier etkisi şeklinden ifade edilen ve 2 değişik metal ögenin ortaya çıkardığı bir devreye elektrik akımı uygulandığında tam tersi uçlarda, akımın yönüne bakılarak, soğuma ya da ısınma ortaya koyması durumuna dayanmakta olan bu çevrim, soğutma amacıyla faydalanılabilmektedir. Bu 3.10’da gösterilmektedir. Hareketli parçası olmamasıyla başka soğutma çevrimlerinden farklılık göstermektedir [33].



Şekil 4.10. Termoelektrik soğutma sistemi örneği [34].

4.3.8. Vorteks Tüpü Soğutma Sistemi

Hareket eden parçası olmayan basit olan bir borudan ibaret olan bir soğutma tekniğidir. Dışarıdan boruya tegetsel olarak verilen basınçlı olan gaz ses hızına yakın bir hıza ulaşmakta ve boruyu terk eder iken dış zarfa yakınlık gösterecek bölümlerde sıcak, çekirdek (eksene yakın) bölümünde ise soğuk olan akımlar durumuna gelmesinin ardından; boruyu bırakma yönüne bakılarak “*Ters Yönlü Akım*” ile “*Aynı Yönlü Akım*” şeklinde isimlendirilmektedir. Bu durum Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Bu soğutma çevriminde gayet düşük olan sıcaklıklar ortaya konulabilmektedir [33].



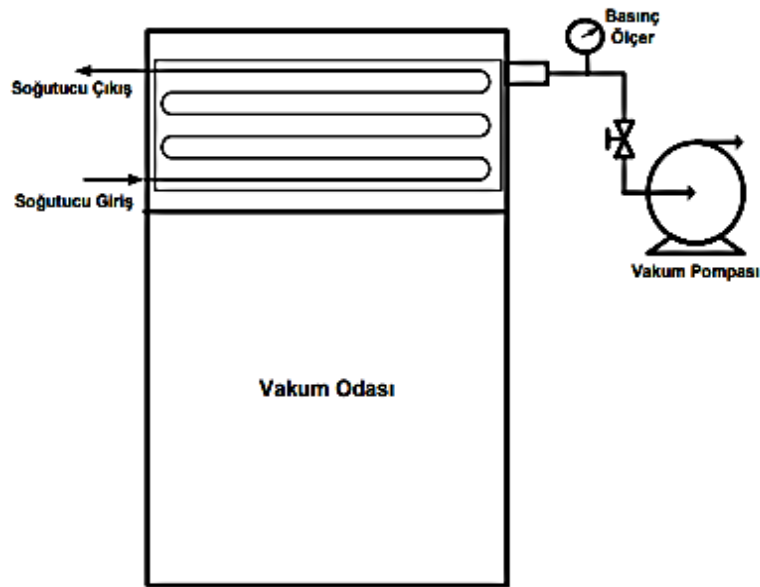
Şekil 4.11. Vorteks tüpü a) Aynı yönlü akım, b) Ters yönlü akım örnekleri [35].

4.3.9. Vakumlu Soğutma Sistemi

Vakum soğutma tekniği özel olarak serbest su içeriği olan ve üst kısmı çok olan ürünler amacıyla müsait bir soğutma metodudur. Çok başarı gösterdiği alan gıda ürünleri üst kısmının hacmine bakılarak yüksek olduğu ürünler olmaktadır. Ürün içinde su buharlaşma haline girdiğinde, suyun buharlaşmasında gizli olan ısıya dek bir soğuma gerçekleşmiş olmaktadır.

Özellikle gıdaların soğutulma işleminde ön soğutma şeklinde son senelerde yapılan soğutma tekniğidir. Sebzelelerin soğutulma işleminde uygulandığı gibi, son senelerde et ürünleri ile pişirilmiş sebzeler içinde kullanımı yaygınlık göstermektedir.

Temelde, vakum soğutma sistemleri, vakum pompası, yoğuşturucu ile vakum odasından oluşmaktadır. Bu durum Şekil 3.12’de verilmektedir. Vakum odası, yiyeceklerin soğutulma yapıldığı esnada, yiyeceklerin konulduğu alandır ve sızdırma yapmamalıdır. Vakum pompalarıysa, vakum görevi oluşturma amacıyla kullanımı olan pompalardır. Yoğuşturucularsa, vakum bölmesinden emilmiş olan hava içerisindeki buhar oranı çok fazla olduğundan, yüksek olan soğutma yükleri amacıyla, buharı havayla beraber emme yerine, buharı yoğuşturarak su haline dönüştürmek daha ekonomik, pratik olması sebebiyle seçilmektedirler [58].



Şekil 4.12. Vakumlu soğutma sistemi örneği [8].

Vakum soğutma çalışması çok avantaj getirmektedir; bunlar özetle soğutma süresi ve buna bağlı şekilde yüksek ürün kalitesi, enerji tasarrufu, güvenli çalışma ile uzun raf ömrü şeklinde sayılabilmektedir. Bunlara karşılık sınırlı olan çalışma bölgesine sahiptir. Genel olarak, mantarlar ile marul gibi yapraklı sebzelerde faaliyet gösteren bir tekniktir. Fakat son dönemlerde yapılmış olan uygulamalar vakum soğutmanın, meyve ve sebzeler, fırın ürünleri, et ürünlerine uygun olan bir çalışma olacağını ortaya çıkarmıştır.

Vakum soğutma prosesi aşağıda yer aldığı şekildedir: sıcaklık, buharlaşma basıncını fonksiyon şeklinde değiştirmektedir. 0°C buharlaşma noktasının doyma basıncı 6,09 mbar'dır. Vakum odası içindeki basınç, atmosfer basıncından düşük olduğunda, su kendi kendine buharlaşma göstermekte ve suyun buharlaşması amacıyla gereksinim görülen enerji, buharlaşma saklı ısısı olarak ürünün kendinden sağlanır. Ürün ile etraf içindeki sus arasındaki buharlaşma basıncı farklılığından kaynaklı basınç farkı buharlaşmaya neden olmakla birlikte, ürün içindeki suyun buhar şeklinde etrafa geçmesi ile üründen ısı çekilir iken ürünün sıcaklığı düşüş göstermektedir [23].

Vakum pompası işlemi, soğutma amacıyla gerekli olan üründen suyun buharlaşması için vakum bölmesi içerisindeki basıncı düşürme amacındadır, ürünü soğutma sağlamamaktadır. Bu sebeple, vakum bölmesindeki basıncı, buharlaşmanın başlangıç gösterdiği en düşük basınç değerine mümkünatı bulunan en kısa zamanda düşürme adına hem ekonomik hem de kalite sebebiyle zorunluluk göstermektedir. Vakum bölmesindeki basıncın, ürünün istenilen sıcaklığa gelmesine ya da bir noktada sıcaklığın düşüş göstermesine dek düşürülmesine izin vermektedir.

Çalışma esnasında vakum bölmesi içerisindeki üründen buharlaşmış suyun havanın doymasına izin vermeden uzaklaştırılması gereklidir. Bu yüzden daha etkili buharlaşma ve dolayısı ile verimli soğutma sağlanabilmektedir. Mekanik olan vakumlu soğutmada, soğutma sarmalları üstünden su buharı geçirilmektedir. Burada soğuk olan yüzeyler üstünde su buharı yoğunlaşmakta ve hava kanalının geçişi bulunmaktadır. Şayet su buharı uzaklaştırılmazsa buharı uzaklaştırma adına çok daha büyük olan pompalara gereksinim duyulmaktadır. Her kilogram su vakumlu soğutmada kullanılmakta olan düşük basınçta ortalama 2000 m³ buhara

genişlemektedir. Bu sebeple vakumlu soğutma yöntemlerinde, vakum pompasının ön kısmında su buharını yoğuşturacak olan sistem olmasında çok büyük bir fayda bulunmaktadır.

Vakum soğutmayla üründen su buharının uzaklaştırılması sırasında meydana gelen ısı oranı ortalama şekilde gizli olan ısıya su buharı eş değerdir. Özel olarak %90'ları aşmış olan su içeriği mevcut, kıvırcık, marul, mantar vb. ürünlerin içeriklerinde olan her %1 seviyesinde azalma, ortalama 5.5 ile 6.0 °C bir soğutma etkisi oluşturmaktadır. Gerçek olan vakum soğutmayla ürünlerin dondurulmasını sağlamakta olanaklıdır. Bu durumla beraber, çoğu zaman dondurma işlemi çok seçilmez, çünkü hücrelerde buz kristallerinin ortaya çıkması yapısal bozulmalara sebep olmaktadır [23].

Çok büyük avantajlardan bir tanesi de soğutmanın öncesinde belli ve istenen sıcaklık ile basınçta durdurulabilme ihtimalinin olmasıdır. Endüstriyel manada vakumlu teknolojisinin günümüz çalışma bölgeleri, yüksek oranda tarla mahsulleriyle sayılı bitki ile sebzeyle sınırlı olmaktadır. Bu durumla beraber yapılmış bilimsel araştırmalar, vakumlu soğutma tekniğinin daha geniş alanlara yiyecek ile tarım endüstrisinde kullanılabileceğini vermektedir. Son senelerde yapılmış olan çalışmalar göstermektedir ki, birçok tarla ürünüde başarılı bir biçimde kullanılabilmektedir [60]. Vakum soğutma yöntemiyle etin soğutulmasında çoğu araştırma yapılmıştır. Unlu mamullerin soğutulmasında da araştırmalar yapılmaktadır. Vakum soğutmayla pişirilmiş olan et ürünlerini soğutma gibi yerlerde güvenli bir soğutma tekniği olması sebebiyle genellikle yiyecek endüstrisinde ve bilimsel alanlardan çok ilgi görmektedir



Şekil 4.13. Vakumlu soğutma sistemi örneği [11].

4.4. SOĞUK DEPOLAMA

Bugün yeryüzünde yaşayan insanlığın en az üçte biri açlığa maruz olup, yeterli derecede beslenememektedir. Ancak ne yazık ki, gene bugün insanlığın besin ihtiyacı için üretilen gıda maddelerinin gene en az üçte biri insanlığın ihtiyacına arz edilmeden bozulmakta ve çürümektedir. Bugün insanlığın besin ihtiyacı için üretilen tüm gıda maddeleri bozulmadan ve çürümeden insanlığın ihtiyacına arz edilmiş olsa idi, insanlık belki de açlığa maruz kalmayacak ve yeter derecede bile beslenebilecektir. İnsanlığın besin ihtiyacı için üretilen gıda maddelerinin bozulmadan ve çürümeden pazarlanması, nakli ve gerektiğinde tüketime kadar muhafazası için gene insanlık öteden beri bazı tedbirlere başvurmuş ve bazı usuller geliştirmiştir. Bu usullerden yaygın kullanım görenleri yüksek sıcaklık uygulaması, kurutma, salamura içinde muhafaza ve soğutma yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Soğutma yöntemi, gıda

maddelerinin soğuk depolarda belirli bir sıcaklık ve nemde gıda maddelerinin taze görünümü ile koku, lezzet ve vitamin değerlerinin doğadakine en yakın bir seviyede muhafaza edecek şekilde uygulanır [45].

Soğuk depoculukta muhafaza yöntemlerini iki genel bölüme ayırabilir;

- a) Soğuk muhafaza
- b) Donmuş muhafaza

4.4.1. Soğuk Muhafaza

Kısa, uzun süreli ve geçici depolama için ürün donma noktasının üzerindeki sıcaklıklarda soğuk muhafaza yöntemi ile depolanır. Kısa süreli veya geçici depolama, genellikle ürünün devamlı kullanıldığı perakende satış yapan kuruluşlarda kullanılır [45].

Ürüne bağlı olarak kısa süreli depolama periyotları 1 ila 2 günden bazı durumlarda 1 hafta hatta bazen 15 günden daha fazla olabilir. Uzun süreli depolama periyodu, depolanmış ürünün tipine ve depolama şartlarına bağlıdır. Uzun süreli depolama periyodu, olgun domates gibi bazı hassas ürünler için 7 ila 10 gün, elma ve soğan gibi dayanıklı ürünler için 6 veya 8 haftadan daha fazladır. Bozulabilir yiyecekler uzun süre depolanacağı zaman dondurulmalı ve donma sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda saklanmalıdır. Bununla beraber, domates gibi bazı taze yiyecekler soğutma prosesleriyle zarara uğrayabilirler, bu yüzden başarıyla dondurulamazlar. Böyle ürünler için uzun süre muhafaza söz konusu olduğu zaman diğer muhafaza usulleri kullanılmalıdır. Soğuk muhafaza yönteminde ürün, önce 0-10°C sıcaklığındaki bir odada ön soğutma işlemine tabi tutulduktan sonra, 0°C civarındaki bir soğuk muhafaza odasında depolanır [45].



Şekil 4.14. Soğuk muhafaza yöntemi [45].

Şekil 4.14'ten de görüleceği üzere, soğuk muhafaza yöntemi, ön soğutma işlemi gerektirse de uygulamada ürünler ön soğutma işlemine tabi tutulmadan direkt olarak soğuk muhafaza odalarına alınmakta ve sıcaklıkları kademeli olarak düşürüldükten sonra gerekli muhafaza sıcaklığında depolanmaktadırlar [45].

4.4.2. Donmuş Muhafaza

Uzun süreli muhafazalar için uygulanan bu yöntemde, hasattan gelen ürün, önce 0-10°C sıcaklığındaki bir odada ön soğutma işlemine tabi tutulduktan sonra, sıcaklığı -35°C civarındaki şoklama tünellerinde dondurulur ve sıcaklığı -12 ila -25°C arasında değişen donmuş muhafaza odasında depolanır [45].



Şekil 4.15. Donmuş muhafaza yöntemi [24].

Donmuş muhafaza yönteminde, ön soğutma işlemine gerek duyulmasının sebebi, hasattan gelen ürün sıcaklığı ile şok tünelinin sıcaklığı arasındaki farkın çok büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Gıda maddelerinde meydana gelen aşırı sıcaklık değişimleri iç yapının bozulmasına neden olur. Soğuk depoculukta 0°C ila -12°C arasında gıda maddesi muhafazası yapılmaz. Soğutma işleminin herhangi bir sebeple durması halinde, bu bölgede donmuş gıda maddesinin kısa bir süre sonra çözülme durumu ile karşılaşılabilir. Oysa gıda maddeleri, besin ve lezzet değerlerini kaybetmemeleri için ancak bir defa dondurulmalı ve tüketilmek üzere bir defa çözülmelidir. Herhangi bir gıda maddesinin birkaç veya birçok defa dondurulup çözülmesi, besin ve lezzet değerlerini büyük ölçüde bozar ve hatta o gıda maddesini kullanılamaz hale getirebilir [45].

4.4.3. Ön Soğutma

Ön soğutma, hasat edilen gıda maddelerinin soğuk depoya konulmadan önce, bahçe ve güneş sıcaklığından kaynaklanan ısının alınarak soğutulmasıdır. Ürünlere ön soğutma işlemi uygulanması, sıcaklığın kademeli olarak düşürülmesini sağlayarak, ani sıcaklık düşümünden kaynaklanan iç yapının bozulmasını engeller, ürünlerin soğuk depoda muhafaza süresini uzatır ve soğuk muhafaza ve şoklama odasının soğutma yükünü önemli ölçüde azaltarak kuruluş ve işletme maliyetlerinin düşürülmesini sağlar [24].

Ön soğutma işlemi, genellikle ürünün üzerine hava üflenmesiyle gerçekleştirilir. Eğer hava ile soğutmada su kaybının artması nedeniyle solma görülürse, sulu soğutma sistemi uygulanır [24].

Bu yöntem ya ürünün soğuk suya daldırılmasıyla ya da ürün üzerine soğuk su püskürtülmesiyle gerçekleştirilir. Bu iki ön soğutma yönteminden başka çok hızlı bir biçimde ürünün sıcaklığını alan vakumla soğutma yöntemi olsa da genellikle ekonomik olmadığı için uygulama alanı azdır [45].

BÖLÜM 5

MATERYEL METOT

Bu çalışmada Karabük iklim şartlarına göre 300 ton kapasiteli elma soğuk deposu tasarımı yapılmıştır. Soğuk depoda elmaların soğuk muhafaza edilmesi düşünüldüğü için hasat edilen elmaların soğuk muhafaza şartlarına getirilmesi için 10 tonluk soğutma sistemi olarak buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi kullanıldığı düşünülmüş, soğutucu akışkan olarak ise R22, R717 (Amonyak) ve R22'nin alternatifi R407C kullanılması durumunda 6 aylık soğuk muhafaza döneminde sistemin performansı teorik olarak incelenmiştir. Sonuçlara tablo ve grafikler halinde verilerek yorumlanmıştır.

5.1. SOĞUK DEPO BOYUTLANDIRILMASI

300 ton elma kapasiteli soğuk depo için 3 adet 100 ton elma kapasiteli soğuk depo odası ve 10 ton elma kapasiteli ön soğutma odası olması düşünülmüştür. Yani hasat edilen elmalar 10 tonluk ön soğutma odasında çevre sıcaklığından soğuk muhafaza sıcaklığına düşürüldükten sonra soğuk depolara nakli gerçekleştirilecektir. Toplam 300 ton olan soğuk muhafaza kapasitesinin 100'er tonluk 3 oda şeklinde tasarlanmıştır. Bunun sebebi ise gerektiğinde kademeli soğutma yapılabilmesine olanak sağlayabilmesi bu sayede enerji tasarrufu yapılabilmesi içindir. Çizelge 5.1. de soğuk depolarda 1 m² depolama alana istif edilebilecek besin ürünü miktarları verilmiştir.

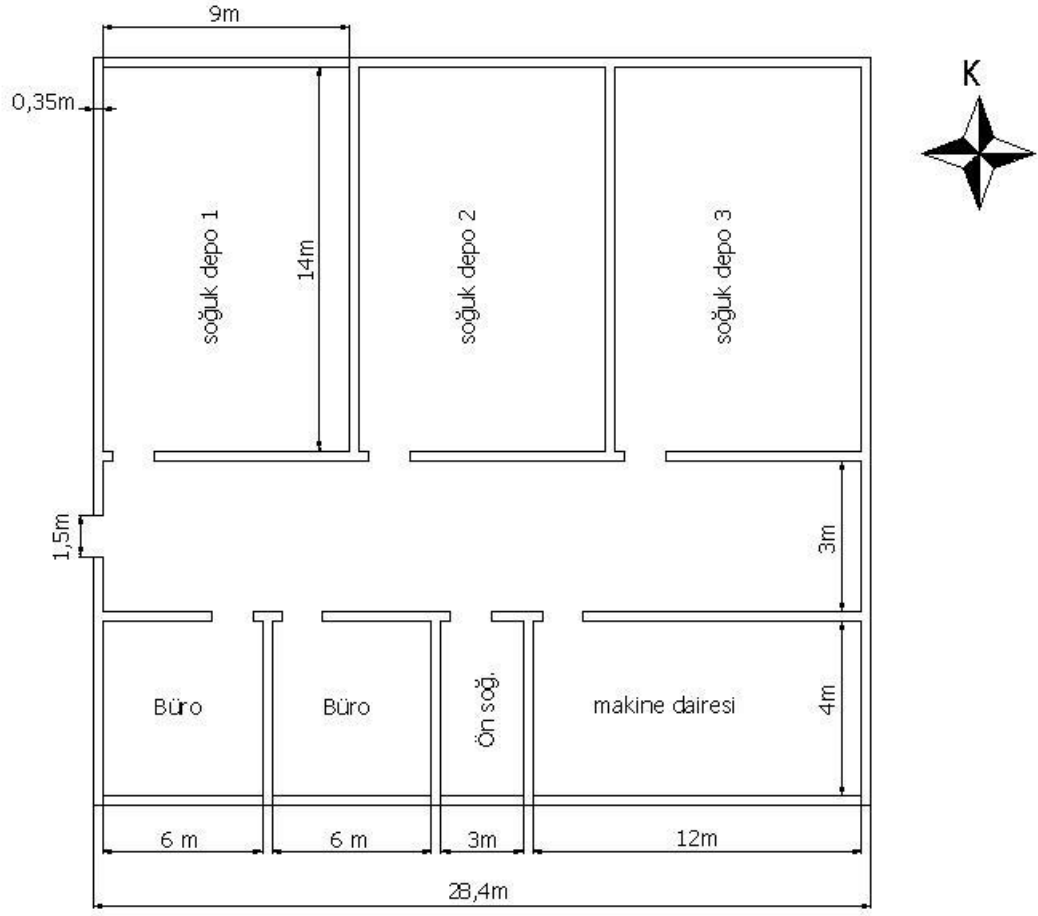
Çizelge 5.1. Soğuk depolama alanına istif edilebilecek besin ürünü miktarı [45].

Soğuk Depolarda 1 m² Depolama Alanına İstif Edilebilecek Besin Ürünü Miktarı

Soğuk Muhafaza		
Besin Ürünü	Ambalaj Durumu	İstif Miktarı
Çeşitli Meyve ve Sebzeler	Kasa ve Sandık	750 ile 1000 kg./m ²
Beyaz Peynir, Teneke Tulum, Krema, Tereyağı, Reçel ve Turşu	Büyük Teneke (20 kg.)	96 ile 128 adet/m ²
	Orta Teneke (10 kg.)	192 ile 256 adet/m ²
	Küçük Teneke (5 kg.)	384 ile 512 adet/m ²
Çeşitli Su Ürünleri ve Kanatlı Hayvan Etleri	Özel Kasa	500 ile 750 kg/m ²
Çeşitli Büyükbaş ve Küçükbaş Gövde Etler	Monoray ve Askı	200 ile 300 kg./m ²
Donmuş Muhafaza		
Çeşitli Büyükbaş ve Küçükbaş Gövde Etler	Çıplak ve Hijyenik Sargılı Lifler	750 ile 1000 kg./m ²
Sakatat, Kanatlı Hayvanlar ve Su Ürünleri	Özel Kasa	500 ile 750 kg./m ²

Not: Bu çizelgede verilen değerler tavan yüksekliği 3.50 m. olan soğuk depolar içindir.

Bu çizelgeye göre elma meyvesi soğuk depolarda kasa ve sandıklarla depolandığı ve m² başına 1000 kg elma istiflendiği kabul edilmiş buna göre soğuk depolama alanı 300 m² olarak düşünülmüştür. Ancak bu alanda yükleme ve yerleştirme ve çalışan personelin hareketi de göz önüne alınarak %20 fazlalık alan da hesaba katılarak toplam döşeme alanı 375 m² olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla her bir soğuk depo odası 125 m² döşeme alanına sahip olması gerekmektedir. Aynı prensiple ön soğutma döşeme alanının ise 12,5 m² olması gerekmektedir. Ayrıca tesis tavan yüksekliği 3,5 m ve tasarımda tesiste çalışacak personel için çalışma alanları ve soğutma sistemi için makine dairesi olduğu da düşünülerek mimari yapı tasarlanmış ve şekil 5.1 de mimari plan şeması ölçüleriyle verilmiştir.



Şekil 5.1. Tasarlanan soğuk deponun mimari şekli ve ölçüleri

5.2. SOĞUTMA YÜKÜ HESABI

Soğutma sistemi elemanlarını doğru ve ekonomik bir şekilde belirlemek ve seçebilmek için soğutma yükü hesabının yapılması gerekmektedir. Doğru seçilmiş sistem elemanları ile sistem istenilen şekilde görevini uzun yıllar boyunca yerine getirebilir [45].

Soğuk muhafazası yapılması düşünülen ürün elma olduğundan hasat edildiği eylül-ekim aylarından itibaren 6-8 ay boyunca soğuk muhafaza edilecektir. Soğutma yükü hesapları ve projelendirme yapılırken maksimum sınır şartlarına göre hesaplamalar yapılmaktadır. Yani soğutma yükü hesabı yapılırken dış ortam sıcaklığı tesisin kurulacağı ilin hava sıcaklıklarının en yüksek olduğu (genellikle Temmuz ve Ağustos ayı aylık ortalama sıcaklık) değere göre yapılır ve sistem elemanları buna göre seçilir.

Böyle yapılmasının sebebi sistemin daha düşük dış hava sıcaklıklarında dahi görevini yine tam olarak yerine getirebilmesidir. Bu çalışmada ise soğutma yükü altı aylık soğuk muhafaza dönemiminin her ayı için ortalama aylık sıcaklık değerlerine göre hesaplanmıştır. Bu sayede maksimum soğutma yüküne göre seçilmiş sistem elemanlarının soğuk muhafaza sezonu boyunca sergileyeceği davranış eğilimi belirlenmiş olacaktır. Karabük için ortalama sıcaklık değerleri Çizelge 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Karabük ili aylara göre ortalama sıcaklık değerleri.

Karabük ili aylara göre ortalama sıcaklık değerleri °C											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
7,6	10,6	14,7	20,4	25,7	29	32,4	32,7	28,3	21,8	14,6	9,1

Soğutma yükünü oluşturan ısı kazançları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Döşeme, tavan, duvar ve kapılardan olan ısı kazançları (Q_1)
2. Güneş radyasyonundan olan ısı kazançları (Q_2)
3. İş icabı faaliyet gösteren personelden olan ısı kazançları (Q_3)
4. Aydınlatma ve fan vb. elektrikli cihazlardan olan ısı kazançları (Q_4)
5. Enfiltrasyon ısı kazançları (Q_5)
6. Üründen olan ısı kazançları (Q_6)

Üründen olan ısı kazançları sadece ön depolamada hesaba katılıp diğer soğuk depolama alanları için hesaba katılmamaktadır. Çünkü ürün ön soğutma odasında soğuk muhafaza sıcaklığına düşürülerek, depolanacağı soğuk depoya nakli gerçekleşmektedir. Depolanacak olan ürün elma olduğundan öncelikler elmanın soğuk muhafaza koşullarının bilinmesi gereklidir. Çizelge 5.2 de çeşitli meyvelerin soğuk ve donmuş muhafaza koşulları verilmiştir. Bu çizelgeye göre ürünümüz olan elmanın soğuk muhafaza sıcaklığı $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3. Çeşitli meyvelerin soğuk ve donmuş muhafaza koşulları [45].

Besin Ürünü	Depo Sıcaklığı °C	Bağıl Nem %	Depolama Süresi	Su Miktarı %	Donma Noktası °C	Özgül Isı kJ/K		Gizli Isı kJ/kg
						Donma Öncesi	Donma Sonrası	
Elma	-1/+4	90	3-8 Ay	84	-1.1	3.651	1.892	280.18
Kayısı	0	80	1-2 Hafta	85	-1.1	3.684	1.905	283.52
Muz (Yeşil)	10/15	90-95	2-3 Ay	75	-0.8	3.349	1.779	250.16
Muz (Sarı)	14/16	85-95	1-2 Ay	70	-0.8	3.349	1.779	250.16
Kiraz	-1/1	90-95	2-3 Hafta	80	-1.8	3.517	1.842	266.84
Kızılcık	2/4	90-95	2-4 Ay	87	-0.9	3.751	1.930	290.19
Kuru İncir	0/4	50-60	9-12 Ay	23	-	1.608	-	-
Taze İncir	-1/1	85-90	7-10 Gün	78	-2.4	3.450	1.817	260.17
Çekirdeksiz Üzüm	-1/1	85-90	2-8 Hafta	82	-1.6	3.584	1.867	273.51
Çekirdekli Üzüm	-1/1	90-95	3-6 Ay	82	-2.1	3.584	1.867	273.51
Armut	7/10	90	2-3 Hafta	83	-	3.617	1.880	310.20
Greyfurt	10/16	85-90	4-6 Hafta	89	-1.1	3.818	1.955	296.86
Limon	0/10	85-90	1-6 Ay	89	-1.4	3.818	1.955	296.86
Yeşil Limon	8/10	85-90	6-8 Hafta	86	-1.6	3.718	1.918	286.85
Portakal	0/9	85-90	3-12 Hafta	87	-0.8	3.751	1.930	290.19
Mandalina	0/3	85-90	2-4 Hafta	87	-1.1	3.751	1.930	290.19
Meyve Ezmesi	7	85-90	1-3 Hafta	91	-0.8	3.885	1.980	303.53
Şeftali	-0.5/0	90	2-4 Hafta	89	-0.9	3.818	1.955	296.86
Erik	0/1	90-95	2-4 Hafta	86	-0.8	3.718	1.918	286.85
Nar	0/1	90-95	2-4 Hafta	82	-3.0	3.584	1.867	273.51
Ayva	-1/0	90	2-3 Ay	85	-2.0	3.684	1.905	283.52
Çilek	-0.5/0	90-95	5-7 Gün	90	-0.8	3.852	1.968	300.20
Karpuz	4/10	80-90	2-3 Hafta	93	-0.4	3.952	2.005	310.20
Taze Zeytin	7/10	85-90	4-6 Hafta	75	-1.4	3.349	1.779	250.16
Kavun	7/10	85-90	4-6 Hafta	93	-1.1	3.952	2.005	310.20
Donmuş Meyve	-18/-23	90/95	6-12 Ay	-	-	-	-	-

5.2.1. Döşeme, Tavan, Duvar ve Kapılardan Olan Isı Kazançları (Q₁)

Soğuk depo hacmini çevreleyen ve ısı geçiren her bir yapı elemanı için ayrı ayrı hesaplanarak bulunan değerlerin toplamı döşeme, tavan, duvar ve kapılardan geçen ısı miktarı olup:

$$Q_1 = \Delta T \cdot \sum_{i=1}^n (U_i \cdot A_i) \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte:

ΔT : dış ortam havası ile soğuk depo havası sıcaklık farkı, °C

U_i : döşeme, tavan, duvar ve kapılara ait toplam ısı transfer katsayısı, W/m²K

A_i : döşeme, tavan, duvar ve kapılara ait ısı transfer yüzey alanı, m²

Toplam ısı transfer katsayısı ise her bir elamanın yapı bileşeninin ısı iletim katsayısına, kalınlığına ayrıca iç ortam ve/veya dış ortam havasının ısı taşınım katsayısına bağlı olup :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_d} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{1}{h_i}} \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte:

h_d = dış ortam havasının ısı taşınım katsayısı, W/m²K

d = yapı bileşeninin kalınlığı, m

λ = yapı bileşeninin ısı iletim katsayısı, W/mK

Tasarlanan soğuk depo tesisinin döşeme, tavan, duvar ve kapılarının yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri sırasıyla Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Döşemenin yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri

Yapı Bileşeni	Kalınlık (m)	Isı iletim veya taşınım katsayısı (W/mK) veya (W/m² K)
İç hava	1	10
Sıva	0,08	1,74
Cam yünü	0,1	0,04
Şap	0,02	1,4
Donatılı beton	0,2	2,1
Toprak	1	∞

Çizelge 5.5. Tavanın yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri

Yapı Bileşeni	Kalınlık (m)	Isı iletim veya taşınım katsayısı (W/mK) veya (W/m ² K)
İç hava	1	10
Şap	0,02	1,4
Yalıtım	0,1	0,04
Şap	0,02	1,4
Donatılı beton	0,15	2,1
Dış hava	1	5

Çizelge 5.6. Duvarın yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri

Yapı Bileşeni	Kalınlık (m)	Isı iletim veya taşınım katsayısı (W/mK) veya (W/m ² K)
İç hava	1	10
Şap	0,02	1,4
Yalıtım	0,1	0,04
Şap	0,02	1,4
Gazbeton	0,19	0,58
Şap	0,02	1,4
Dış hava	1	15

Çizelge 5.7. Kapının yapı bileşeni, kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerleri

Yapı Bileşeni	Kalınlık (m)	Isı iletim veya taşınım katsayısı (W/mK) veya (W/m ² K)
İç hava	1	10
Yalıtım	0,1	0,04
Dış hava	1	15

Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 de verilen döşeme, tavan, duvar ve kapıların kalınlık, ısı iletim veya taşınım katsayısı değerlerine göre Eşitlik 5.2 ile toplam ısı transfer katsayıları hesaplandığında sırasıyla 0,363 W/m²K, 0,344 W/m²K, 0,334 W/m²K ve 0,330 W/m²K olarak bulunmuştur ve Eşitlik 5.1 de kullanılarak döşeme, tavan, duvar ve kapılardan olan ısı kazançları soğuk muhafaza dönemi boyunca aylık olarak hesaplanmıştır.

5.2.2. Güneş Radyasyonundan Olan Isı Kazançları (Q2)

Solar radyasyon miktarı da transfer ısı kazancı ifadesine benzer şekilde Eşitlik 5.3'te verilen bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$Q_1 = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (5.3)$$

Farklı olarak bu eşitlikteki ΔT iç ortam dış ortam sıcaklık farkını değil, 40° enlem çizgisine ve soğuk deponun rengine göre duvar, kapı, çatı, güneş sıcaklık farkını ifade etmektedir. Tasarlanan soğuk deponun rengi ise orta koyulukta bir renk olarak kabul edilmiştir ve güneş sıcaklık farkı Çizelge 5.8 de verilmiştir.

Çizelge 5.8. 40° enlem çizgisine ve soğuk deponun rengine göre duvar, kapı, çatı, güneş sıcaklık farkları.

*Orta Renkler (Kırmızı, Kahverengi, Açık Yeşil)
Duvar ve Kapı Yönü*

Zaman	K.D.	D.	G.D.	G.	G.B.	B.	K.B.	Çatı
8	1	1						-
9	7	10	5					2
10	8	15	10					10
11	5	13	11					15
12		9	10	3				19
13		3	7	5				21
14			3	7 ? 6	3			22
15				5	7	3		21
16				3	10	9		19
17					11	13	5	15
18					10	15	8	10
19					5	10	7	2
20						1	1	-

Herhangi bir soğuk depo teras çatılı olup, dış duvarlarda hem doğudan ve hem de batıdan güneş alıyorsa; hem saat 10.00 hem 14.00 ve hem de 18.00 için ayrı ayrı maksimum solar radyasyon miktarı hesabı yapılır. Bu şekilde hesaplanan üç ayrı maksimum değerden en büyük değer olanı solar radyasyon miktarı soğutma yükü hesabına esas değer olarak alınır. Soğuk depo teras çatı değil de tavanı çatı ile örtülerek

koruma altına alınmış ise, çatıdan güneş ısı kazancı alınmayacağından, sadece doğu ve batı için saat 10.00 ve 18.00 değerlerine göre maksimum solar radyasyon miktarı hesabı yapılarak bulunan bu iki aynı maksimum değerden en büyük değerdeki solar radyasyon miktarı soğutma yükü hesabına esas değer olarak alınır. Soğuk depo dış duvarları sadece doğuya veya batıya bakıyorsa; bu durumda sadece doğu veya batı için tek bir maksimum solar radyasyon miktarı hesaplanır ve böylece elde edilen değer soğutma yükü hesabına esas değer olarak alınır.

Tasarlanmış olduğumuz soğuk depoda da sadece doğu ve batıya bakan dış duvar mevcut olup güneşe bakan soğuk depo dış duvarı olmadığı soğuk muhafaza döneminin her ayı için tek bir maksimum solar radyasyon değeri hesaplanmıştır.

5.2.3. İş İcabi Faaliyet Gösteren Personelden Olan Isı Kazançları (Q3)

Soğuk depolarda yükleme boşaltma işlemi insan gücü ile yapıldığı gibi büyük depolama alanına sahip soğuk depolarda fork-lift ve benzeri araçlarda kullanılmaktadır. Çizelge 5.9 da depolama alanına göre soğuk depoda yükleme ve boşaltma işleminde istihdam olunan işçi sayısı verilmiştir. Çizelge 5.10 da ise çalışanların çalışma durumuna göre ortama yaydıkları ısı miktarları verilmiştir.

Çizelge 5.9. Bir soğuk depoda yükleme ve boşaltma işleminde istihdam olunan işçi sayısı

Depolama Alanı (m ²)	İşçi Sayısı (Adet)
0 - 50	1
51 - 150	1 - 2
151 - 300	2 - 3
301 - 500	3 - 4

Çizelge 5.10. Bir soğuk depoda yükleme ve boşaltma işleminde istihdam olunan işçilerin çalışma durumuna göre ortama yaydıkları ısı miktarları

İşçi (Çalışma durumuna göre)	Toplam Isı (W)
Fork-lift Operatörü	230
El Arabası İle Çalışan İşçi	290
Sırtla Çalışan İşçi	435

Tasarlanan soğuk depoda Çizelge 5.9'a göre 2 kişinin istihdam edildiği, depolama alanının büyük olduğu, kasa ve sandıkla depolama yapıldığı düşünülerek bir kişinin 230W ısı yaydığı kabul edilmiştir.

5.2.4. Aydınlatma ve Fan vb. Elektrikli Cihazlardan Olan Isı Kazançları (Q4)

Bir soğuk depoda mevcut aydınlatma lambaları ile soğutucu ünitelerin fan motorları da ısı neşreder. Ayrıca soğutucu ünite zaman zaman yapılması gerekli olabilecek elektrikli veya sıcak gazlı defrost işlemi de ısı neşrine sebep olur. Bazı soğuk depolarda yeterli nem oranı sağlanabilmesi için soğutucu üniteler salamura duşlu tesis edilebilir. Bu gibi durumlarda soğutucu ünite sisteminde mevcut salamura sirkülasyon pompası veya pompaları da ısı neşrine sebep olur. Ayrıca mevcut olması durumunda yükleme ve boşaltma işleminde kullanılan fork-lift ve benzeri araçların neşrettiği ısıyı da hesaba almak gerekir. Dolayısı ile bir soğuk deponun soğutma yükü hesabında tüm bu ısı neşredebilecek alet, tesis ve teçhizatın neşredebileceği ısının göz önüne alınması zorunludur.

Tasarlanan soğuk depoda sağlıklı bir aydınlatmanın yapıldığı dolayısıyla 1m² alana 10W ışık akısı olduğu ve her bir soğuk depoda 250 W gücünde evaporatör fanları tesis edildiği kabul edilmiştir.

5.2.5. Enfiltrasyon Isı Kazançları (Q5)

Yükleme ve boşaltma işleminin bir gereği olarak soğuk oda kapısının zaman zaman açılıp kapanması da soğuk depo havasının çok miktarda değişimine neden olur. Bazı özel haller altında, bilhassa meyve ve sebze depolanmasında soğuk depo havasını belirli özellik altında tutabilmek için zaman zaman soğuk depoya ventilasyon yolu ile taze hava alınır. Ancak genel olarak yükleme ve boşaltma işleminde soğuk depo kapısının açılıp kapanması sırasında soğuk depoya yeter miktarda taze hava (dış hava) gireceğinden uygulamada çoğu hallerde soğuk depo havasını belirli bir özellikte tutmak için özel bir ventilasyon veya havalandırma sistemi düşünülmez. Soğutma yükü hesaplarında soğuk depo hacmine göre günlük hava değişimi esas kabul edilir. Soğuk depo hacmi arttıkça genel olarak bu oran azalır, küçüldükçe artar.

Temkinli ve tedbirli bir yükleme ve boşaltma işlemi neticesinde soğuk dolap ve çok küçük hacimli soğuk depolarda kapı açılıp kapanması sonucunda beher gün soğuk dolap veya soğuk depo hacminin 100 veya 50 katı kadar hava değişimi olabilir. Bu değişim miktarı, küçük hacimli depolarda 25, büyük hacimli depolarda 10 ve hatta 5 katı miktarına kadar inebilir. Bu miktar, hava değişimleri soğuk depo havasını istenilen özellikte ve tazelikte tutmaya yeter. Soğuk depolarda özel bir ventilasyon veya havalandırma sisteminin düşünülmez.

Enfiltrasyon ısı kazancı Eşitlik 5.4 ile hesaplanmıştır.

$$Q_5 = G_h \cdot (h_{dış\ hava} - h_{iç\ hava}) \quad (5.4)$$

$$G_h = \frac{\dot{V}}{v} \quad (5.5)$$

$$\dot{V} = V_0 \cdot HDM \quad (5.6)$$

Bu eşitliklerde:

$h_{dış\ hava}$ = dış ortam havasının entalpisi, (kJ/kg)

$h_{iç\ hava}$ = soğuk depo havasının entalpisi, (kJ/kg)

G_h = Değişim havasının kütleli debisi, (kg/s)

v = Değişim havasının özgül hacmi, (m³/kg)

\dot{V} = Değişim havasının hacimsel debisi, (m³/s)

HDM= soğuk depo havasının günlük değişim sayısı, (defa/24 saat)

V_0 =Soğuk depoda bulunan hava hacmi, (m³)

5.2.6. Üründen Olan Isı Kazançları (Q6)

Soğutma yükü hesabında en önemli faktörlerden biri de soğuk depoya alınan besin ürününün saklama rejimine getirilmesi için alınması gerekli ısı miktarıdır. Eşitlik 5.7 ile hesaplanır.

$$Q_6 = C_{ELMA} \cdot G_{ELMA} \cdot \Delta T \quad (5.7)$$

Eşitlik 5.7 de C_{ELMA} elmanın donma öncesi sahip olduğu özgül ısı (kJ/kg), G_{ELMA} ön soğutmaya 1 saniyede alınan elma miktarı (kg/s)

$$Q_{SOĞUTMA YÜKÜ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (5.8)$$

Isı kazançları hesapları her bir soğuk depo ve ön soğutma odası için soğutma sezonu boyunca aylık olarak hesaplanarak soğutma yükü tespit edilmiş ve Çizelge 5.11. de tablo halinde verilmiştir. Elde edilen ısı kazançları toplamı soğutma yükünü oluşturmaktadır.

Çizelge 5.11. Soğutma sezonu boyunca aylık toplam soğutma yükleri

SOĞUTMA YÜKÜ (W)					
AYLAR	Ön soğutma	Depo 1	Depo 2	Depo 3	TOPLAM
Kasım	7453,64	6032,65	5820,18	6032,65	25339,12
Aralık	4849,55	4528,29	4395,86	4528,29	18301,99
Ocak	4140,71	3956,65	3846,04	3956,65	15900,05
Şubat	5562,32	4799,96	4362,11	4799,96	19524,35
Mart	7476,05	5954,65	5740,93	5954,65	25126,28
Nisan	10208,18	7791,73	7494,85	7791,73	33286,49

5.3. SOĞUTMA SİSTEM ELEMANLARININ KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Soğutma yüklerine bağlı olarak soğutma sistem elemanları kapasiteleri belirlenmiştir. Hesaplanan soğutma yükleri evaporatör kapasitesini oluşturmaktadır.

İlk olarak sınır koşullarına bağlı olarak buharlaşma sıcaklığı tespiti, yoğuşma sıcaklığı tespiti yapılmıştır.

$$T_{Buharkasma} = T_{Soğuk Depo} - \Delta T \quad (5.9)$$

Eşitlik 5.9 daki ΔT değeri Eurovent CS2'e göre soğuk depo iç ortam sıcaklığına bağlı 8 °C olarak belirlenmiştir. Yani evaporatörde soğutucu akışkan buharlaşma sıcaklığı -8°C olarak tespit edilmiştir.

$$T_{Yoğuşma} = T_{Dış ortam} + \Delta T \quad (5.10)$$

Eşitlik 5.10'daki ΔT değeri aylık ortalama göre dış ortam sıcaklığından 15°C fazla olacak şekilde belirlenmiştir. Kondenserde soğutucu akışkan yoğuşma sıcaklığı ve evaporatörde buharlaşma sıcaklıkları Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Soğutma sezonu boyunca buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları

AYLAR	Buharlaşma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Yoğuşma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
Kasım	-8	29,6
Aralık	-8	24,1
Ocak	-8	22,6
Şubat	-8	25,6
Mart	-8	29,7
Nisan	-8	35,4

Elde edilen buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarına göre R22, R717, ve R407C gazları için LnP-h diyagramları çizilerek teorik buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre soğutucu akışkan debileri, kondenser kapasiteleri, kompresör güç sarfiyatları, soğutma tesir katsayıları hesaplanmıştır.

$$Q_{evaporatör} = \dot{m}_r \cdot (h_1 - h_4) \quad (5.12)$$

Eşitlik 5.12'den soğutucu akışkan debileri hesaplanarak Eşitlik 5.13 ve Eşitlik 5.14'te kullanılmıştır.

$$Q_{kondenser} = \dot{m}_r \cdot (h_2 - h_3) \quad (5.13)$$

Eşitlik 5.13'ten kondenser kapasiteleri hesaplanmıştır. En yüksek kondenser kapasitesine göre firma kataloglarından hava soğutmalı kondenser seçimi yapılmalıdır.

$$W_{kompresör} = \dot{m}_r \cdot (h_2 - h_1) \quad (5.14)$$

Eşitlik 5.14'ten kompresör güç sarfiyatları hesaplanmıştır. En yüksek kompresör güç sarfiyatına göre firma kataloglarından kompresör seçimi yapılmalıdır.

$$STK = \frac{Q_{Evaporatör}}{W_{kompresör} + W_{Fan}} \quad (5.15)$$

Eşitlik 5.15'ten Soğutma tesir katsayıları hesaplanmıştır.

Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi üzerindeki enerji hesaplamaları teorik olarak ideal çevrime göre yapılmıştır. Yani kompresörde izentropik sıkıştırma yapıldığı, kondenserde sabit basınçta yoğuşma gerçekleştiği, evaporatörde sabit basınç ve sıcaklıkta buharlaşma gerçekleştiği ve son olarak genleşme elemanında sabit entalpide basınç düşümü meydana geldiği boru hatları üzerinde ısı kayıpları ve basınç düşümleri olmadığı kabul edilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Karabük ili iklim şartlarında 300 ton elma soğuk muhafazası yapılabilmesi için soğuk depo tasarımı yapılmış ve soğuk muhafaza sezonu boyunca soğuk depo soğutma yükü aylık periyotta hesaplanarak, soğutma sisteminin performansı teorik olarak incelenmiştir.

Elma meyvesi Ağustos ayı ortasında hasat edilmeye başlanıp Ekim ayı ortasına kadar hasat edilen bir ürün olup, % 90 bağıl nem ve -1°C ile $+4^{\circ}\text{C}$ hava sıcaklığında 6 ay boyunca soğuk muhafaza edilebilen bir üründür. Bu sebeple Kasım-Nisan ayları arasında soğuk muhafaza edileceği düşünülmüştür. Ön soğutma deposunda günlük 10 ton elmanın soğuk muhafaza şartına getirilip, 100 er tonluk 3 soğuk depoda soğuk muhafaza edileceği düşünülerek soğuk depo tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan soğuk depoların Karabük iklim şartlarına göre soğuk muhafaza dönemi boyunca aylık olarak soğutma yükleri hesap edilmiştir. R22, R717 ve R407 soğutucu akışkanları kullanılması durumuna ve ideal buhar sıkıştırımalı soğutma çevrimine göre teorik hesaplamalar yapılarak aylık olarak kondenserlerden atılan ısı miktarları, kompresörlerde gerçekleşen güç tüketimleri, soğutma tesir katsayıları hesaplanarak sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Soğutma sezonu boyunca aylara göre soğutma yükleri

	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
Soğutma Yükü (W)	25339,12	18301,99	15900,05	19524,35	25126,28	33286,49

Çizelge 6.1 incelendiğinde maksimum soğutma yükü nisan ayında, minimum soğutma yükünü ocak ayında olduğu görülmektedir. Soğuk depo sıcaklığı sabit tutulurken dış hava sıcaklığındaki değişimler sebebiyle böyle bir durum gerçekleşmektedir. Yani dış

ortam sıcaklığı artıkça soğutma yükü artmakta, dış ortam sıcaklığı azaldıkça soğutma yükü azalmaktadır.

Çizelge 6.2. Soğutma sezonu boyunca aylara ve soğutucu akışkanlara göre kompresör güç sarfiyatları

	Kompresör Güç Sarfiyatı (W)					
	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
R717	4183	2522	2077	2834	4160	6495
R407C	4394	2614	2146	2946	4372	6954
R22	4291	2569	2112	2892	4269	6728

Çizelge 6.2 incelendiğinde maksimum kompresör güç sarfiyatı her üç soğutucu akışkan için de nisan ayı içinde gerçekleşmektedir. En düşük kompresör güç sarfiyatı ise her üç soğutucu akışkan içinde ocak ayı içerisinde. Bunun sebebi nisan ayında soğutma yükünün maksimum, ocak ayında ise minimum değerde olmasındandır. Yani soğutma yükü artıkça kompresörün güç tüketimi de artmaktadır.

Soğutucu akışkanlar arası kompresör güç tüketimi karşılaştırılacak olursa, tüm aylardaki soğutma yükünde en düşük kompresör güç tüketimi R717 soğutucu akışkanı kullanım durumunda, en yüksek kompresör güç tüketimi ise R407C gazı kullanımında gerçekleşmektedir. R22 ve R717 soğutucu akışkanı kullanan kompresörlerin güç sarfiyatı birbirine yakın değerlerdedir. Ama R717 soğutucu akışkanının çevresel etkileri sebebiyle soğuk depolarda kullanımı daha yaygındır. Ancak R717 kullanılan sistemlerde kimyasal etkileşimden dolayı bakır boru ve ekipman değil çelik boru ve bakır harici ekipman kullanımı gerekmektedir. Bundan dolayı maliyet pahalı ve işçiliği daha zordur. R407C soğutucu akışkanı R22'nin çevresel etkileri sebebiyle R22 alternatifini olarak ortaya çıkmış olmasına rağmen kompresörde enerji sarfiyatı açısından R22 kadar iyi değildir.

Çizelge 6.3. Soğutma sezonu boyunca aylara ve soğutucu akışkanlara göre kondenserde ısı atımı

	Kondenserde Isı Atımı (W)					
	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
R717	29522	20823	17977	22358	29286	39781
R407C	25339	18302	15900	19524	25126	33286
R22	29630	20870	18012	22416	29395	40014

Çizelge 6.3 incelendiğinde maksimum kondenser ısı atımı her üç soğutucu akışkan için de nisan ayı içinde gerçekleşmektedir. En düşük kondenser ısı atımı ise her üç soğutucu akışkan içinde ocak ayı içerisindeydir. Bunun sebebi nisan ayında soğutma yükünün maksimum, ocak ayında ise minimum değerde olmasındandır. Yani soğutma yükü artıkça kondenserde ısı atımı artmakta, soğutma yükü azaldıkça kondenserde ısı atımı azalmaktadır.

Soğutucu akışkanlara bağılı olarak kondenserde ısı atımına bakılacak olursa, tüm aylarda en yüksek kondenser ısı atımı R22 soğutucu akışkanında gerçekleşmektedir. R717 soğutucu akışkanında ise R22'ye yakın değerler söz konusudur. En düşük kondenser ısı atımı ise R407C soğutucu akışkanında meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise soğutucu akışkanların termofiziksel özelliklerine bağılı olarak düşünülebilir. Yani aynı soğutma yükü için en düşük kondenser kapasitesi R407C soğutucu akışkanı kullanımı durumunda olacağından kondenser maliyetinin de düşük olacağı sonucu çıkartılabilir.

Çizelge 6.4. Soğutma sezonu boyunca aylara ve soğutucu akışkanlara göre soğutma tesir katsayıları değişimi

SOĞUTMA TESİR KATSAYISI						
	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
R717	6,06	7,26	7,66	6,89	6,04	5,13
R407C	5,77	7	7,41	6,63	5,75	4,79
R22	5,91	7,12	7,53	6,75	5,89	4,95

Çizelge 6.3 incelendiğinde tüm soğutucu akışkanlar için en yüksek STK değerleri ocak ayında, en düşük STK değerleri ise nisan ayında ortaya çıkmaktadır. Bu durumun sebebi, düşük dış ortam sıcaklıklarında kondenserin dış ortama ısıyı rahat bir şekilde atmasından dolayı kompresörün rahat bir şekilde çalışması ve güç sarfiyatının azalması olarak düşünülebilir. Tersine şekilde dış ortam sıcaklıklarının yüksek olduğu aylarda kondenser dış ortama ısı atmakta zorlanmakta, kompresör evaporatörde soğutma yükünü karşılayabilmek için daha fazla soğutucu akışkan sisteme göndermekte yani kompresörün güç tüketimi artmaktadır.

Soğutucu akışkanlar açısından bakıldığında en yüksek STK değerleri R717 soğutucu akışkanı kullanılan sistemde gerçekleşmektedir. Bunun sebebi ise R717 soğutucu akışkanın termofiziksel özellikleri sebebiyle özgül ısı taşıma kapasitesinin diğer iki soğutucu akışkana göre daha yüksek olması sebebiyle aynı soğutma işini yapabilmek için sistemde daha az soğutucu akışkan dolaştırılması dolayısıyla kompresörün daha az zorlanıp daha az enerji tüketmesi olarak yorumlanabilir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Karabük şartlarında elma soğuk muhafazasında farklı soğutucu akışkanlar (R717,R407C,R22) kullanımı durumunda sistem performansının teorik olarak incelenmiştir. Karabük bölgesinde de çalışabilecek bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemde Elma meyvesi soğuk depolarda kasa ve sandıklarla depolandığı ve m² başına 1000 kg elma istiflendiği kabul edilmiş buna göre soğuk depolama alanı 300 m² olarak düşünülmüştür.

Tasarlanan soğuk projemizde 3 soğuk depo ,1 ön soğutma odası,2 bõru ve 1 makine dairesi oluşmaktadır. Soğuk muhafazası yapılması düşünülen ürün elma olduğundan hasat edildiği eylül-ekim aylarından itibaren 6-8 ay boyunca soğuk muhafaza edilecektir.

Bu çalışmada ise soğutma yükü altı aylık soğuk muhafaza dönemimin her ayı için ortalama aylık sıcaklık değerlerine göre hesaplanmıştır. Bu sayede maksimum soğutma yüküne göre seçilmiş sistem elemanlarının soğuk muhafaza sezonu boyunca sergileyeceği davranış eğilimi belirlenmiş olacaktır. Karabük için ortalama sıcaklık değerleri: Kasım 14,6 °C Aralık için 9,1°C ' Ocak 7,9°C ' Şubat 10,6°C 'Mart 14.7°C Nisan 20.4°C 'dir. Isı kazançları hesapları her bir soğuk depo ve ön soğutma odası için soğutma sezonu boyunca aylık olarak hesaplanarak soğutma yükü tespit edilmiş. Elde edilen ısı kazançları toplamı soğutma yükünü oluşturmaktadır. En yüksek soğutma yükü Nisan'da 33286,49 (watt) ve en düşük soğutma yükü Ocak'ta 15900,05 (watt) Soğuk depo sıcaklığı sabit tutulurken dış hava sıcaklığındaki değişimler sebebiyle böyle bir durum gerçekleşmektedir. Yani dış ortam sıcaklığı artıkça soğutma yükü artmakta, dış ortam sıcaklığı azaldıkça soğutma yükü azalmaktadır. Bu sonuçlara göre soğutma yükü değeri ısı kazançları ile pozitif korelasyonlu , ısı kazançları değeri artarken ya da azalırken soğutma yükü değeri de ile aynı şekilde artıp azalır. Isı

kazançlarına dış ve iç ortamın etkisi vardır (güneş radyasyonu, Enfiltrasyon, Aydınlatma ve fan vb..) en çok ısı kazançları sebep olabilir şunlardan gelen ısı kazançları azaltmak amacı ile bazı tavsiyeler ugun görülmüştür şunların: Evi gölgelemek, ağaçları ve diğer bitkileri kullanmaya tevskiye edilir. Binanın doğu ve batı taraflarında ve ısı kazancının en yüksek olduğu çatıda gölge sağlamak için bitkilendirmeler (veya evin konumu) tasarlamak. Yaprak döken ağaçlar kışın yapraklarını döktüğü ve daha fazla ışık sağladığı için etkilidir. Sarmaşıklı kafesler veya uzun yıllık bitkiler, bir evin doğu ve batı tarafında gölge sağlamada etkilidir. Bir evin etrafındaki bitki örtüsü, evapotranspirasyon yoluyla dış cepheyi soğutmaya da hizmet edebilir. (Evin etrafındaki havayı daha soğuk tutmak ısı kazanımlarını azaltacaktır.) Soğutma stratejisinin bir parçası doğal havalandırma ise, ağaçların arasından hava akışına dikkat edilmelidir. Güneş kazancını azaltmak için düşük güneş geçirgenliğine sahip camlar kullanmasını tevskiye edilir. Doğuya ve batıya bakan pencereler ve tüm çatı pencereleri için, güneş ısı kazancını azaltmak için düşük güneş ısı kazanc katsayısı veya düşük gölgeleme katsayısı cam kullanmak. Güneş ısı kazanc katsayısı, hem güneş enerjisi kazancını hem de iletken kazancı açıklayan pencere camlarının yeni tanımlanmış bir özelliğidir; kafa karıştırıcı gölgeleme katsayısının yerine Ulusal Fenestrasyon Derecelendirme Konseyi tarafından kabul edilmektedir. En büyük pencere üreticilerinin çoğu tarafından kullanılan düşük E2 cam, %89'luk geleneksel yalıtımlı camla karşılaştırıldığında %50'den daha düşük bir güneş ısı kazanc katsayısına sahiptir, ancak renkli camdan farklı olarak, çok iyi görünür ışık geçirgenliği özelliklerine sahiptir. Pasif güneş enerjisi ısıtmasından yararlanmak için güneşe bakan camlarda yüksek güneş ısı kazanc katsayılı camların tercih edilebilir. Mevcut binalarda, yansıtıcı filmleri pencerelere uyarlamak mantıklı ve uygun olduğu görülmüştür.

Kompresör güç sarfiyatı her üç soğutucu akışkan için de Nisan ayı içinde gerçekleşmektedir. En düşük kompresör güç sarfiyatı ise her üç soğutucu akışkan içinde ocak ayı içerisinde. Bunun sebebi nisan ayında soğutma yükünün maksimum, ocak ayında ise minimum değerde olmasındandır. Yani soğutma yükü artıkça kompresörün güç tüketimi de artmaktadır. Hava soğutmalı sistemleri, endüstriyel tesislerde başlıca enerji tüketicileridir. Verimliliği üzerinde büyük etkisi olan birçok dış faktör nedeniyle karmaşık bir sistem olarak kabul edilir. Bu sonuçlara

göre bu sistemin ne kadar enerji tüketeceğinin tahmin edildiğini ve gerçekte ne kadar tüketildiğini bilmek önemlidir. Bu tezde tartışılan model, kullanıcının sistemin İdeal enerji tüketimini hesaplamasına ve ayrı ayrı bileşenlerdeki basınç düşüşlerini ve ısı kaybını hesaba katarak bunu Gerçek durumla karşılaştırmasına olanak tanır. Bileşenler içindeki farklı giriş ve çıkışlar nedeniyle hava gücü değişim verilerinin olması, olası sorunları belirlemeye ve genel sistem verimliliğini optimize etmeye yardımcı olur. Gerçek sistem uygulamaları, ekipman yaşı, kir ve ısı kaybı gibi faktörler nedeniyle genellikle daha az verimlidir. Bu modeli doğrulamanın en iyi yolu, her bileşene giren ve çıkan tüm parametreleri izleyen sensörlere sahip olmaktır. Her bileşenin verimliliği, giriş ve çıkış hava gücüne bağlıdır.

Sadece hava kompresörü değil tüm sistem üzerindeki etki. Çalışmaya göre, Ayar Basıncının Azaltılması tavsiyesinde genellikle hesaplanandan daha fazla enerji tasarrufu yapılabileceğini gösterdi. Ayrıca Çalışmaya göre, Dışarıdan Hava Girişinin Kullanılması tavsiyesindeki tasarruf yüzdesini hesaplamak için İş Azaltma yönteminin, tahmin edilen iş azaltma yüzdesini aştığını gösterdi. Bu demek Azaltma yönteminde hesaplanandan daha az enerji tasarrufu olduğu anlamına gelir ve kullanmasına uygun görülmüştür.

Soğutucu akışkanlara bağlı olarak kondenserde ısı atımına bakılacak olursa, tüm aylarda en yüksek kondenser ısı atımı R22 soğutucu akışkanında gerçekleşmektedir. R717 soğutucu akışkanında ise R22'ye yakın değerler söz konusudur. En düşük kondenser ısı atımı ise R407C soğutucu akışkanında meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise soğutucu akışkanların termofiziksel özelliklerine bağlı olarak düşünülebilir. Yani aynı soğutma yükü için en düşük kondenser kapasitesi R407C soğutucu akışkanı kullanımı durumunda olacağından kondenser maliyetinin de düşük olacağını görülmüştür.

Tüm soğutucu akışkanlar için en yüksek STK değerleri ocak ayında, en düşük STK değerleri ise Nisan ayında ortaya çıkmaktadır. Bu durumun sebebi, düşük dış ortam sıcaklıklarında kondenserin dış ortama ısıyı rahat bir şekilde atmasından dolayı kompresörün rahat bir şekilde çalışması ve güç sarfiyatının azalması olarak düşünülebilir. Ters şekilde dış ortam sıcaklıklarının yüksek olduğu aylarda kondenser

dış ortama ısı atmakta zorlanmakta, kompresör evaporatörde soğutma yükünü karşılayabilmek için daha fazla soğutucu akışkan sisteme göndermekte yani kompresörün güç tüketimi artmaktadır. Bu sonuçlara göre Soğutucu akışkanlar açısından bakıldığında en yüksek STK değerleri R717 soğutucu akışkanı kullanılan sistemde gerçekleşmektedir. Bunun sebebi ise R717 soğutucu akışkanın termofiziksel özellikleri sebebiyle özgül ısı taşıma kapasitesinin diğer iki soğutucu akışkana göre daha yüksek olması sebebiyle aynı soğutma işini yapabilmek için sistemde daha az soğutucu akışkan dolaştırılması dolayısıyla kompresörün daha az zorlanıp daha az enerji tüketmesi olarak yorumlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Yalav, F., “Çanakkale yöresinde yetiştirilen granny smith ve pink lady elma çeşitlerinde dinamik kontrollü atmosferde depolama ve hasat sonrası 1-mcp (1-metilsiklopropan) uygulamasının birlikte kullanımının meyve kalitesine etkileri”, Doktora Yeterlilik Tezi, **Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Çanakkale (2021).
2. Üstün H., “Adi depo koşullarında muhafaza edilen ‘starkrimson’ ve ‘granny smith’ elma çeşitlerinin kaliteleri üzerine modifiye atmosfer ve 1-metilsiklopropan (1-mcp) uygulamalarının etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Antalya (2018).
3. Kılıç, G. A., “Soğuk depoculukta, depolama süresini etkileyen parametrelerin analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir (2010).
4. Özbek, S. (1978). Özel meyvecilik. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 128, 392-483.
5. Bernardi, J. (1987, September). Behaviour of some apple cultivars in the subtropical region of Santa Catarina, Brazil. In International Workshop on Apple Culture in the Tropics and Subtropics 232 (pp. 46-50).
6. NAZLI, A. R., & KÜDEN, A. B. BİNGÖL VE MALATYA İLLERİNDE ELMA SELEKSİYONU VE YÖRENİN KIRSAL KALKINMASI ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ.
7. <https://www.muhendisiz.net/sogutma-yontemleri-ve-aciklamalari.html>.
8. Mutlu Öztürk, H. (2011). Gıda ürünlerinin vakum soğutma ve klasik soğutma yöntemleri ile soğutulmasının karşılaştırılması.
9. Purkayastha, B., & Bansal, P. K. (1998). An experimental study on HC290 and a commercial liquefied petroleum gas (LPG) mix as suitable replacements for HCFC22. International Journal of refrigeration, 21(1), 3-17.
10. Chen, Q., & Prasad, R. C. (1999). Simulation of a vapour-compression refrigeration cycles using HFC134a and CFC12. International communications in heat and mass transfer, 26(4), 513-521.

11. SVC, 2004, Southern Vacuum Cooling, Manufacture and Leasing of Vacuum Coolers, <http://www.southernvacuumcooling.com/>, (2004).
12. Türk, R., Karaca, H., “Ülkemizde taze ürün depolayan soğuk muhafaza tesislerinde teknik ve ekonomik”, *XII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 777-795 (2015).
13. Yılmaz, H. i., Çanakaya, S., “Elma depolama tesislerinde yapı ve yalıtım malzemesi kullanımının değerlendirilmesi”, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(4): 490-499 (2020).
14. Koyuncu, M. A., ve Eren, İ., “Bazı elma çeşitlerinin soğukta depolanma koşullarının belirlenmesi”, *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1): 45-52 (2005).
15. Özçatalbaş, O, Turhanogulları, Z., Kutlar, İ., “Dünya elma üretim sektörünün genel durumu ve gelişmeler”, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2 (1):139-144, (2009)
16. Üçgül, İ., “Soğuk depolama için güneş enerjili ejektör soğutma sistemi uygulamasının termodinamik çevresel ve ekonomik analizleri”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (2): 269-277, (2009)
17. Batkan, A., Kundakçı, A., “Soğukta Depolanan Starking Çeşidi Elma Kalitesine Ön Bekleme Süresinin Etkisi”, *Gıda Dergisi*, 30(5): 349-355, (2005).
18. Kuzucu, C. F., Aydın, M. N., “1-Methylcyclopropane Uygulamalarının ve Farklı Depolama Sıcaklıklarının “Fuji Kiku” Elma Çeşidinin Meyve Kalitesine Etkileri”, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2 (1): 101-108, (2014).
19. Kılıç, G. A., “Soğuk depoculukta, depolama süresini etkileyen parametrelerin analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir (2010).
20. Hürkuş, K., “Soğuk hava deposu tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul (2021).
21. Uysal, E., “Soğuk depo uygulamasında en uygun aşırı kızdırma (superheat) değerinin deneysel olarak belirlenmesi”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2018).
22. Baskın, N., “Bir soğuk hava deposunda farklı kontrol yöntemlerinin enerji verimliliği yönüyle karşılaştırmalı analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir (2017).

23. Mutlu Öztürk, H. (2007). Vakum soğutma sisteminin mantar ve marul soğutulmasında uygulanması (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
24. YAMANKARADENİZ, R., HORUZ, İ., COŞKUN, S., KAYNAKLI, Ö., & YAMANKARADENİZ, N. (2017). Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları.
25. http://deneysan.com/Content/images/documents/sogutmacevrimleri_97866787.pdf
26. <https://hvacglobal.org/buhar-sikistirmali-mekanik-sogutma/>
27. <http://www.sogutmarehberi.com/hava-sogutma-sistemi.html>
28. <https://www.termodinamik.info/katkilar/absorpsiyonlu-sogutma-sistemlerinin-rolu-ve-etkinligi>
29. Arslanoğlu, N. (2009). İklimlendirme Sistemlerinde İç Ortam Sartlarının Optimizasyonu ve Ekonomik Analizi (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University (Turkey)).
30. <https://www.muhendisbeyinler.net/paramanyetik-sogutma-nedir/>
31. <http://www.sogutmarehberi.com/buhar-jet-sogutma.html>
32. Mutlu Öztürk, H. (2007). Vakum soğutma sisteminin mantar ve marul soğutulmasında uygulanması (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
33. <http://www.sogutmarehberi.com/termo-elektrik-sogutma.html>
34. https://aku.edu.tr/ceyhunyilmaz/files/2017/02/Soğutma-Teknolojisi-Yardımcı-Notlar_2.pdf
35. Wang, L., & SUN, D. W. (2002). Experimental evaluation of the performance of vacuum cooling method for large cooked meat joints. *Journal of food process engineering*, 25(5), 455-471.
36. Mutlu Öztürk, H. (2011). Gıda ürünlerinin vakum soğutma ve klasik soğutma yöntemleri ile soğutulmasının karşılaştırılması.
37. McDonald, K., & Sun, D. W. (2000). Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. *Journal of food engineering*, 45(2), 55-65.
38. Mutlu Öztürk, H. (2007). Vakum soğutma sisteminin mantar ve marul soğutulmasında uygulanması (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

39. Baskin, E., & Perry, R. B. (1994). The performance of hydrocarbons in a household refrigerator/freezer.
40. Kemerli, U. (2013). Farklı soğutucu akışkan karışımlarının performanslarının incelenmesi (Master's thesis, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
41. <https://docplayer.biz.tr/112145247-Sogutma-teknolojisi-bahar-y-y-prof-dr-ayla-soyer.html>
42. Özcan, H. Alternatif soğutucu akışkanların performanslarının ekserji yöntemi ile belirlenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
43. Dincer, I., & Rosen, M. A. (2012). Exergy: energy, environment and sustainable development. Newnes.
45. Sabri, S. (2002). *Soğuk depoculuk ve örnek proje çalışmaları*. Balıkesir.
46. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Çoşkun, S., 2002, Soğutma Tekniği ve Uygulamaları, VıpaşA.Ş., Bursa, 607.
47. Özkol, N., 1985, Uygulamalı Soğutma Tekniği, Makine Mühendisleri Odası YayınNo:115, Ankara, 464s.
48. İnternet: Frigomekanik “Soğutma yöntemleri”, <http://www.frigomekanik.com/index.php?gtr=sogutmarehberi&cat=74&ic=88&lang=tr>(2013)
49. Dinçer, İ., 2003, Refrigeration systems and applications, John Wiley & Sons, Ltd., WestSussex, İngiltere, 582s.
50. Yamankaradeniz, R., vd., “Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları Geniştirilmiş 2. Baskı”, Dora Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Bursa, 295-329 (2009)
51. İnternet: Sakarya Üniversitesi Bilgi Sistemi, "BÖLÜM-5 SOĞUTUCU AKIŞKANLAR", <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/78792/43553/s0%C4%9Futma-5.pdf>(2019)
52. Onat, A., İmal, M., İnan, T., "Soğutucu akışkanların ozon tabakası üzerine etkilerinin araştırılması ve alternatif soğutucu akışkanlar", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (1): 32-38 (2004).
53. Karaöz, A. T., "CO2-R404A kaskad sistem tasarımı, imalatı ve testi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze(2010).
54. Özkol, N., “Uygulamalı Soğutma Tekniği Güncellenmiş 8. Baskı”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 59-107 (2010).

55. Pearson, A., "Carbon dioxide-new uses for an old refrigerant", International Journal of Refrigeration, 28:1140-1148(2005).
56. Kurtuluş, O., "Soğutucu akışkan olarak karbondioksit kullanılan transkritik çevrimlerin sayısal ve deneysel incelenmesi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2011).
57. Yüce, M., Özgür, A. E., "İç ısı değiştiricili iki kademeli ara soğutmalı bir transkritik soğutma çevriminin termodinamik analizi", International Journal of Technological Science, 9(1):33-46(2017).
58. Bayrakçı, H. C., Özgür A. E., Alan, A., "Çift kademeli transkritik R744 soğutma sistemlerinde genleşme türbini kullanımının termodinamik analizi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 34(2):91-97(2014).

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah Huteymi; ilk ve orta öğrenimini Almayadin Şehrinde okulunda tamamladı. Abu Tammam Fen lisesinden 2011 yılında mezun oldu. 2011 yılı sonbahar döneminde Deyrizor Alfurat Üniversitesine Petrokimya Fakültesine Petrol Mühendisliğine başladı ve savaştan dolayı okulu tamamlayamadı. 2017 yılında yatay geçiş yaptığı Batman Üniversitesine dördüncü sınıf olarak Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği bölümüne devam etti. 20.07.2019 yılında mezun oldu. 2019 yılı Eylül ayında Karabük Üniversitesine Enerji Sistemleri Mühendisliği Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, 2023 yılında tamamladı