

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ FARKLI BİR
UYGULAMA OLARAK YOĞURT ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HASAN TÜRK

BOLU, ŞUBAT - 2020

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ FARKLI BİR
UYGULAMA OLARAK YOĞURT ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HASAN TÜRK

BOLU, ŞUBAT - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Hasan TÜRK tarafından hazırlanan “TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ FARKLI BİR UYGULAMA OLARAK YOĞURT ÜRETİMİNDE KULLANIMI” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 10.02.2020 tarihinde savunularak **Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Jüri Üyeleri

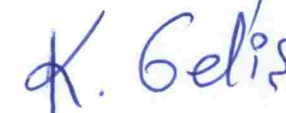
Danışman
Prof. Dr. Ömer ÖZYURT
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Ethem TOKLU
Düzce Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Kadir GELİŞ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

İmza


.....

.....

.....

Prof. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme,



ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hasan TÜRK



ÖZET

**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ FARKLI BİR UYGULAMA
OLARAK YOĞURT ÜRETİMİNDE KULLANIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HASAN TÜRK
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ÖMER ÖZYURT)
(İKİNCİ DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ YAKUP ERMURAT)
BOLU, ŞUBAT - 2020**

Süt ürünlerine olan talebin artmasıyla birlikte süt ürünü üretimini de artırmaktadır. Tüketici nüfus göz önüne alındığında, süt ürünü üreten fabrikaların sayısında giderek bir artış yaşanmaktadır. Son yıllarda enerjiye olan talebin artması süt ürünleri endüstrisinde ekonomik kısıtlama yaparak üretim yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu ürünlerin içerisinde en çok tüketilen türün yoğurt olması, endüstrilerin yoğurt üretiminde enerji verimliliği politikası üzerine yapılan çalışmaların artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada yoğurt üretilecek sütün ısıtılmasından mayalanma ve soğutulmasına kadar geçecek süreçte gerekli olan enerjiyi sağlayacak sıvı-sıvı esasına göre çalışan mekanik bir buhar döngülü-levhalı ısı pompası düzeneği kullanılmıştır. Ayrıca endüstride 1 kg yoğurt üretiminde harcanan enerji tüketiminin kWh ve TL değerleri bulunmuş ve ısı pompasıyla 1 kg yoğurt üretimi işlemi gerçekleştirilerek ısı pompasının ve tüm sistemin performans katsayısı değerleri $COP = 2.6$ ve $COPs = 2.4$ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda TKIP sistemiyle yapılan yoğurt üretiminde bu sistemin diğer sistemler ile kıyaslandığında kullanılan birincil enerji oranı 1.3 bulunmuş ve sistemin enerji geri kazanım oranı ise %46 olarak hesaplanmıştır. Daha gelişmiş ve daha az enerji ile çalışan ısı pompalarının yoğurt üretiminin ısıtma ve soğutma aşamalarında kullanılmasıyla bu oranlar daha da artacaktır.

ANAHTAR KELİMELELER: Yoğurt, Enerji Verimliliği, Toprak Kaynaklı Isı Pompası, Enerji Analizi.

ABSTRACT

**USE OF GROUND SOURCE HEAT PUMPS SYSTEM AS DIFFERENT
APPLICATION IN YOGURT PRODUCTION
MSC THESIS
HASAN TÜRK
BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. ÖMER ÖZYURT)
(CO-SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. YAKUP ERMURAT)
BOLU, FEBRUARY 2020**

Dairy product productions increase day by day as a consequence of the increment in the demand for dairy products. Considering the consumer population, there seems a considerable enhancement in the numbers of dairy producing factories. Increment in the demand for energy in recent years necessitates the production by making economic restrictions in the dairy industry. That the yoghurt is the most consumed species in all the products leads to increase the studies on the energy-efficiency policy related to the yoghurt production of industries. In the present study, a mechanical vapor cycle-plate heat pump system, working on the liquid-liquid basis, is used to provide the required energy for the heating of milk to be produced in the yogurt, fermentation and cooling. Moreover, the energy consumption values in the units of kWh and TL for 1 kg yoghurt production in the industry were found, and the coefficient of performance (COP) values (related to a ratio of useful heating or cooling and the parameter of operating cost) for the whole system and heat pump were determined in case 1 kg of yoghurt was produced by the heat pump. As a result of this study, the primary energy rate used in yoghurt production with TKIP system compared to other systems was found to be 1.3 and the energy recovery rate of system was calculated as %46. This efficiency will further be increased with the aid of more advanced and less energy-consumption heat pumps in the heating and cooling stages of yogurt production.

KEYWORDS: Yoghurt, Energy Efficiency, Ground Source Heat Pump, Energy Analysis.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Isı Pompası Tanımı	1
1.2 Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompası	2
1.2.1 Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompasının Termodinamiği	3
1.2.2 Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompasının Elemanları	8
1.2.3 Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompası Çeşitleri	14
1.3 Toprak Kaynaklı Isı Pompası	17
1.3.1 TKIP Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları	19
1.3.2 TKIP Çeşitleri	20
1.3.3 TKIP Sisteminin Dünyadaki Durumu	22
1.4 Süt Sanayisinde Isı Pompası Kullanımı	22
2. YOĞURT ÜRETİMİ VE ENERJİ	24
2.1 Yoğurt	24
2.1.1 Yoğurt Çeşitleri	25
2.1.2 Ev Yapımı Yoğurt	25
2.2 Endüstriyel Yoğurt Üretimi	27
2.2.1 Endüstriyel Yoğurt Üretim Aşamaları	28
2.3 Yoğurt Tozu	45
2.4 Yoğurt Üretiminde Enerji Verimliliği	46
3. MATERYAL VE YÖNTEM	49
3.1 Materyal	49
3.1.1 Deneysel Isı Pompası Çalışma Cihazı	49
3.1.2 Deneysel Cihazında Kullanılan Elemanlar	50
3.2 Yöntem	56
3.2.1 Enerji Analizi	56
3.2.2 Performans Analizi	58
3.2.3 Deneylerin Yapılışı	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	64
4.1 TKIP Sisteminden Elde Edilen Sıcaklık Grafikleri	64
4.2 Sistemde Kullanılan Soğutucu Akışkanın Termodinamik Özellikleri	71
4.3 TKIP Sisteminden Elde Edilen Basınç Grafikleri	72
4.4 TKIP Sisteminden Elde Edilen Performans Katsayısı Grafikleri	74
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
6. KAYNAKLAR	79
7. ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Isı pompasının çalışma prensibi	2
Şekil 1.2. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası	3
Şekil 1.3. Isı pompasına ait T-s ve P-h diyagramları	4
Şekil 1.4. Isı pompası ile ısı makinası	6
Şekil 1.5. Scroll tip kompresörün görünümü	9
Şekil 1.6. Yoğuşturucu örneği	11
Şekil 1.7. Kısılma vanası şematik resmi	12
Şekil 1.8. Buharlaştırıcı örneği	13
Şekil 1.9. TKIP sistemi kapalı devresinin görseli	18
Şekil 1.10. Düşey toprak ısı değiştiricili ev örneği	21
Şekil 1.11. Yatay toprak ısı değiştiricili ev örneği	22
Şekil 1.12. Sağılan çiğ sütün soğutulması ve sıcak su üretimi.	23
Şekil 2.1. Ev yapımı yoğurt üretim akış şeması.....	26
Şekil 2.2. Ev yapımı yoğurt	27
Şekil 2.3. Çiğ süttten yoğurt üretimi ve depolama süreci akış şeması.....	28
Şekil 2.4. Seperatör	30
Şekil 2.5. Isı pompası sistemlerinin enerji tüketim grafiği.	32
Şekil 2.6. Pastörizatör makinası.....	34
Şekil 2.7. Plakalı pastörizatör makinası	34
Şekil 2.8. Evaporatör'ün dış görünümü.....	37
Şekil 2.9. Evaporatör' ün iç görünümü	37
Şekil 2.10. Homojenizatör	39
Şekil 2.11. İnkübasyona bırakılan yoğurtlar	42
Şekil 2.12. Yoğurtların soğuk havada depolanması (İkizler süt fabrikasından) ..	44
Şekil 2.13. Frigorifik araç	45
Şekil 2.14. Küçük ölçekli bir işletmenin harcadığı enerji-maliyet grafiği.....	47
Şekil 2.15. Küçük ölçekli bir işletmede üretilen yoğurt miktarı-enerji grafiği....	48
Şekil 3.1. Deneysel sistemin farklı açılardan görüntüsü.....	49
Şekil 3.2. Soğutucu akışkan	50
Şekil 3.3. Sirkülasyon pompası.....	51
Şekil 3.4. Plakalı ısı değiştirici	51
Şekil 3.5. Genleşme valfi	52
Şekil 3.6. Kompresör	52
Şekil 3.7. Yoğuşturucu.....	53
Şekil 3.8. 4 Yollu Selenoid Yön Kontrol Valfi.....	54
Şekil 3.9. Kurutucular	54
Şekil 3.10. Basınç göstergeleri	55
Şekil 3.11. Basınç anahtarı.....	55
Şekil 3.12. Su sayacı	56
Şekil 3.13. Veri kaydedici.....	56
Şekil 3.14. TKIP'in sütü ısıtma modu	61
Şekil 3.15. TKIP'in sütü soğutma modu.....	62
Şekil 4.1. Sütü ısıtma modunda kompresör sıcaklık ölçümü.....	65
Şekil 4.2. Sütü soğutma modunda kompresör sıcaklık ölçümü.....	65
Şekil 4.3. Sütü ısıtma modunda yoğuşturucu sıcaklık ölçümü	66

Şekil 4.4. Sütü soğutma modunda yoğuşturucu sıcaklık ölçümü	67
Şekil 4.5. Sütü ısıtma modunda buharlaştırıcı sıcaklık ölçümü.....	67
Şekil 4.6. Sütü soğutma modunda buharlaştırıcı sıcaklık ölçümü	68
Şekil 4.7. Sütü ısıtma modunda antifirizli suyun sıcaklığının ölçümü	69
Şekil 4.8. Sütü soğutma modunda antifirizli suyun sıcaklığının ölçümü	69
Şekil 4.9. Isıtma modunda sütün sıcaklık ölçümü	70
Şekil 4.10. Soğutma modunda sütün sıcaklık ölçümü	71
Şekil 4.11. Sütü ısıtma modunda buharlaştırıcı ve yoğuşturucu basınç ölçümü .	73
Şekil 4.12. Sütü soğutma modunda buharlaştırıcı ve yoğuşturucu basınç.....	74
Şekil 4.13. Sütü ısıtma modunda COP değişimi.....	75
Şekil 4.14. Sütü soğutma modunda COP değişimi	76



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Sütü ısıtma modunda termodinamik özellikler.....	71
Çizelge 4.2. Sütü soğutma modunda termodinamik özellikler.....	72



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

BEO	: Birincil Enerji Oranı
BEO₁	: Konvansiyonel Sistemlerin Birincil Enerji Oranı
BEO₂	: Isı Pompası Sisteminin Birincil Enerji Oranı
COP_{IP}	: Isı Pompasının Etkinlik Katsayısı
COP_S	: Sistemin Toplam Performans Katsayısı
COP_{SO}	: Soğutma Makinasının Soğutma Tesir Katsayısı
E_{pe}	: Enerji Geri Kazanım Oranı
GMT	: Gıda Maddeleri Tüzüğü
HTST	: Yüksek Sıcaklık Kısa Zaman
I	: Kompresörün Çektiği Elektrik Akımı
I_{kp}	: Kompresörün Çektiği Akım
LTLT	: Düşük Sıcaklık Uzun Zaman
T_{kar,g}	: Antifirizli+Su Karışımının Giriş Sıcaklığı
T_{kar,ç}	: Antifirizli+Su Karışımının Çıkış Sıcaklığı
T_{süt,g}	: Sütün Yoğuşturucuya Giriş Sıcaklığı
T_{süt,ç}	: Sütün Yoğuşturucudan Çıkış Sıcaklığı
TKIP	: Toprak Kaynaklı Isı Pompası
TID	: Toprak Isı Değiştirici
TS	: Türk Standardı
UHT	: Ultra Yüksek Sıcaklık
V	: Elektrik Gerilimi
V_{dep}	: Kompresörün Deplasman Hacmi
V_{kp}	: Kompresör Gerilimi
cos Ø	: Kompresör Faz Açısı
Q_y	: Yoğuşturucudan Atılan Enerji Miktarı
W_{kp}	: Kompresör Gücü
W_{sp}	: Sirkülasyon Pompasının Gücü
v₁	: Soğutucu Akışkanın Özgül Hacmi
λ	: Emme Oranı

η_t	: Kompresöre Elektrik Sağlayan Santral Verimi
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat Derece Sıcaklık
ml	: Mililitre
kJ	: Kilojul
μm	: Mikrometre
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowattsaat
η_t	: Isıl Verim
NO_x	: Azot Oksit
Q	: Isı Kazancı



TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği veren ve beni her konuda cesaretlendiren, Sayın danışman hocam değerli Prof. Dr. Ömer ÖZYURT hocama teşekkürü ömür boyu bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yakup ERMURAT hocama ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kadir GELİŞ hocama,

Deney cihazında ideal şekilde ölçüm almama yardımcı olan, tekniker Fatih CİVELEK Beye,

Endüstriyel yoğurt üretimini incelememi sağlayan İkizler Süt Fabrikasına, Tez yazım sürecinde yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Gürcan Yıldırım ve Doç. Dr. Abdullah Cemil İLÇE hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Yoğurt üretiminde kullanılan ısıtma ve soğutma enerjisi maliyetlerinin daha verimli hale dönüştürülmesi için ısı pompasının kullanımı sürdürülebilir enerji kullanımı bakımından önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışmada yoğurt üretiminde kullanılacak sütün hem ısıtılması hem de soğutulmasında, sıvı-sıvı esasına göre çalışan mekanik bir buhar döngülü-levhalı ısı pompası düzeneği kullanılmıştır. Ayrıca sütün pastörizasyonu işleminin toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak yapılmasıyla bu sistemin pastörizasyon işleminde kullanılabileceği kanıtlanmıştır (Özyurt, 2002).

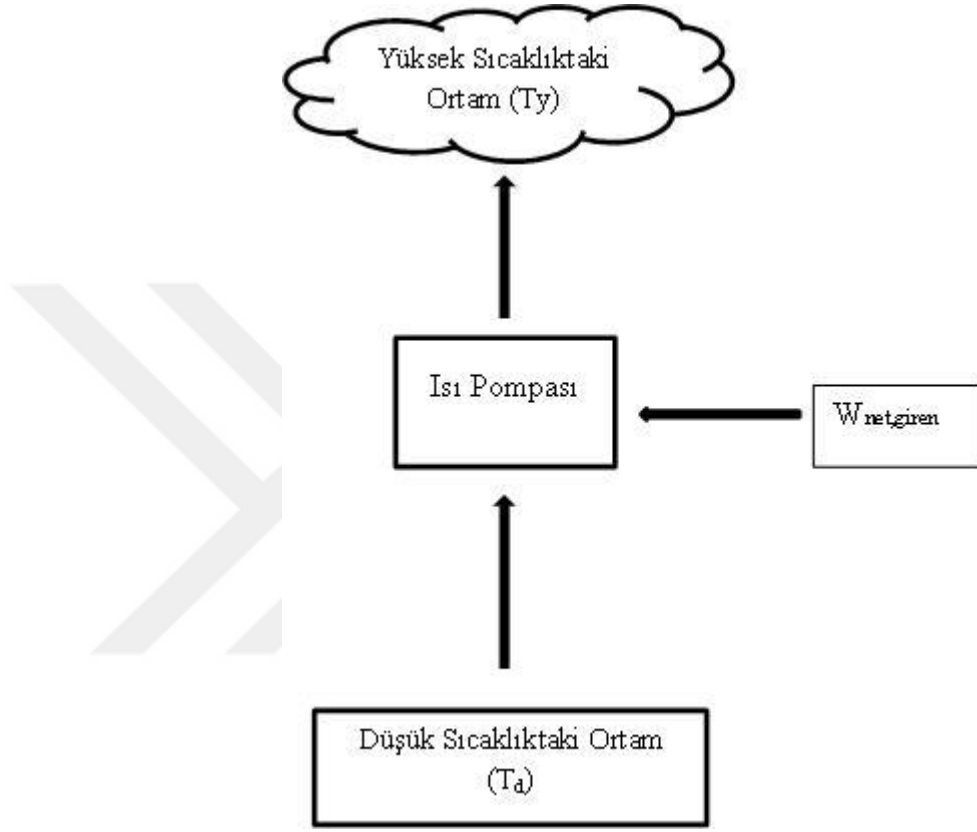
Yoğurt üretimi hem ısıtma hem de soğutma gerektiren süreçler içermektedir. Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) hem ısıtma hem soğutma yapabilen en verimli ısıtma soğutma sistemi olarak belirlendiğinden yoğurt üretim sürecinde ısıtma ve soğutma gerektiren birçok işlemden TKIP sisteminin ısıtma ve soğutma özelliklerinden yararlanılacağı öngörülmektedir (Özyurt, 2008).

Yaklaşık 4°C'de toplanarak üretim yerine taşınan çiğ süt burada aynı sıcaklıkta depolanır. İlk işlem olarak süt, kuru maddesi artırılmak üzere buharlaştırıcıya verilerek burada düşük basınç altında sütün 60-65°C sıcaklıkta suyunun giderilmesi ve kuru maddesinin yaklaşık %15'e çıkarılması işlemi gerçekleştirilir. Sütün yaklaşık 4°C'de soğutulması ve 60-65°C sıcaklıkta ve düşük basınç altında (0.5-0.6 bar) kaynatılarak kuru maddesinin artırılması işlemlerinde TKIP sisteminin ısıtma ve soğutma özelliklerinden verimli bir şekilde yararlanılabileceği planlanmaktadır (Sezgin vd., 2013).

1.1 Isı Pompası Tanımı

Isı pompası, ısı makinesinin çalışma prensibine karşı bir çalışma prensibiyle çalışarak soğuk kaynaktan aldığı ısıyı sıcak kaynağa götüren termodinamik çevrime göre çalışan (Şekil 1.1) bir makinedir. Enerji korunumu yasası gereğince var olan

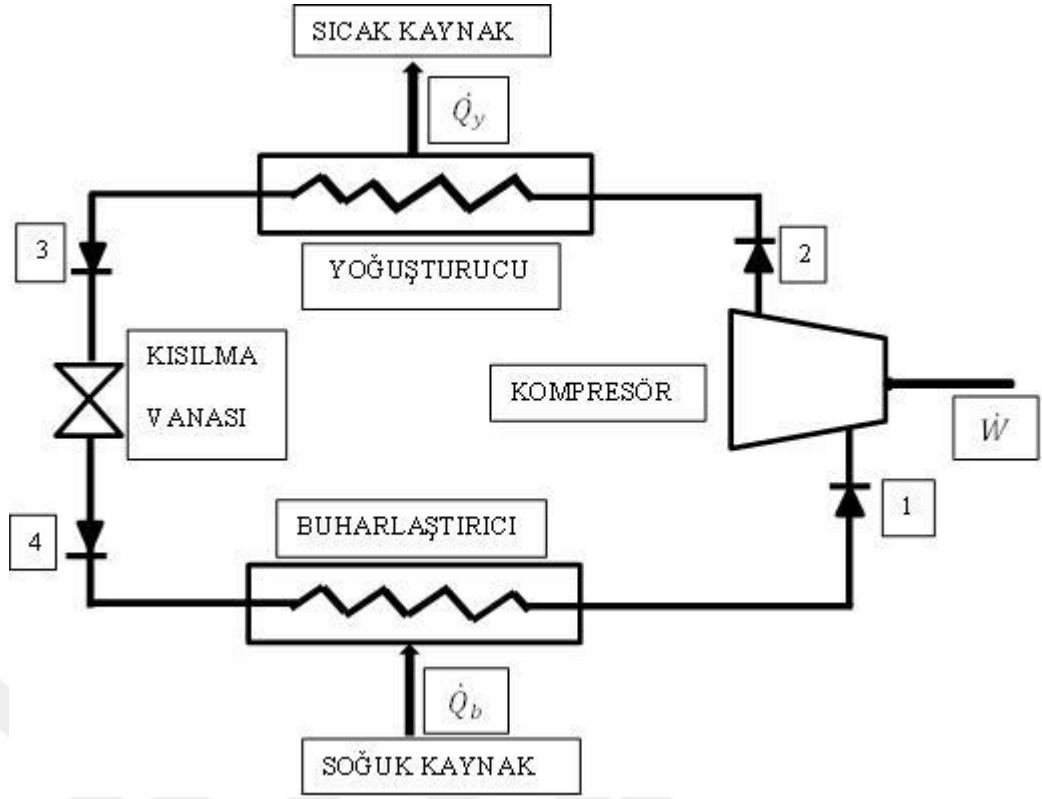
enerji yok edilemez, yok olan enerjide var edilemez, yalnızca enerji ya şekil değiştirmektedir ya da bir ortamdan başka bir ortama taşınmaktadır. Ayrıca ısı pompası adını ısı enerjisini soğuk ortamdan sıcak ortama pompalama ya da taşımaktan almaktadır ve genelde bir mahalın ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır (Yamankaradeniz vd., 2013).



Şekil 1.1. Isı pompasının çalışma prensibi

1.2 Buhar Sıkıştırma Isı Pompası

Isı enerjisinin soğuk ortamdan sıcak ortama taşınmasında değişik şekillerde çevrimlere göre çalışan ısı pompaları bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılan buhar sıkıştırma çevrimine göre çalışan ısı pompalarıdır. Buhar sıkıştırma ısı pompaları kompresör, yoğuşturucu (kondenser), kısılma vanası, buharlaştırıcı (evaporatör) gibi elemanlardan (Şekil 1.2) oluşmaktadır (Yamankaradeniz vd., 2013).



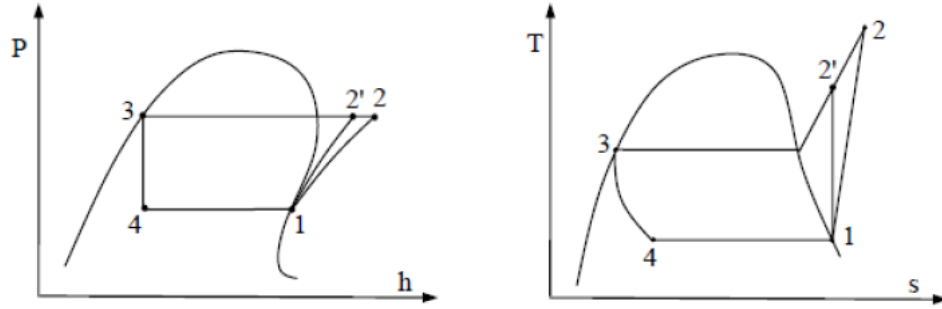
Şekil 1.2. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası

1.2.1 Buhar Sıkıştırırmalı Isı Pompasının Termodinamiği

Bu tür çevrime göre çalışan ısı pompalarının termodinamik çalışma prensibi şu şekilde gerçekleşmektedir (Aktaş, 2008).

Kompresör girişinde doymuş buhar veya kızgın buhar halinde olan iş yapan akışkan kompresör tarafından sıkıştırılarak basıncı artırılmaktadır. Kompresörden yüksek sıcaklıkta çıkıp yoğuşturucuya gelen iş yapan akışkan ısını yüksek sıcaklıktaki ortama bırakıp doymuş kuru buhar haline gelmektedir. Daha sonra yoğuşturucuda sabit sıcaklıkta yoğuşma işlemi gerçekleşerek soğutucu akışkan sıvı hale gelmektedir. Yoğuşturucudan sıvı halde çıkan soğutucu akışkan kısılma vanasına gelerek ani basınç düşmesi yaşamakta ve akışkanın bir kısmı buharlaşmaktadır. Bu aşamada herhangi bir enerji giriş ve çıkışı olmadığından korunum yasası gereğince akışkan kendi enerjisini buharlaşan kısmında kullanarak ani sıcaklık düşmesi yaşamaktadır. Sıvı halde kısılma vanasını terk eden iş yapan akışkan buharlaştırıcıya gelerek düşük ısı kaynağından ısı olarak sabit sıcaklıkta

buharlaşma işlemi gerçekleşmektedir. Buharlaşan akışkan dış ortam sıcaklığına gelerek çevreyi soğutmaktadır (Aktaş, 2008).



şekil 1.3. İdeal ve gerçek buhar sıkıştırmalı ısı pompasına ait T-s ve P-h diyagramları (Kızıllkan, 2008).

şekil 1.3'teki ideal çevrim aşamaları:

1-2' arasında kompresörde izentropik sıkıştırma sonucunda iş yapan akışkanın basınç ve entalpisinin artması

2'-3 arasında yoğuşturucu da sabit basınçta dış ortama ısı verilmesi

3-4 arasında kısılma vanasında sabit entalpi de basınç dışmesi

4-1 arasında buharlaştırıcıda sabit basınçta dış ortamdan ısı çekilmesi prensibine dayanmaktadır (Osma, 2011).

Gerçek evrim aşamaları:

1-2 arasında kompresörde adyabatik sıkıştırma

2-3 arasında yoğuşturucu da sabit basınçta dış ortama ısı verilmesi

3-4 arasında kısılma vanasında sabit entalpi de basınç dışmesi

4-1 arasında buharlaştırıcıda sabit basınçta dış ortamdan ısı çekilmesi prensibine dayanmaktadır (Yamankaradeniz vd., 2013).

Sıkıştırma İşlemi

Basınç ve sıcaklık değeri dışuk olan iş akışkanının kompresör tarafından sıkıştırılarak basınç ve sıcaklığı artırılmaktadır. Kompresörün bu işlemi gerçekleştirmesi için uygulaması gereken güç denklem (1.1) ile gösterilmektedir (Baskın, 2017).

$$\dot{W}_k = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (1.1)$$

\dot{W}_k : Kompresör gücü (kW)

\dot{m} : Akışkan debisi (kg/s)

h_1 : Kompresöre giren soğutucu akışkanın entalpisi (kJ/kg)

h_2 : Kompresörden çıkan soğutucu akışkanın entalpisi (kJ/kg)

Yoğuşma İşlemi

Soğutucu akışkanın sıvı hale geçmesi için ortama attığı ısı miktarı denklem (1.2) ile gösterilmektedir (Baskın, 2017).

$$\dot{Q}_y = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (1.2)$$

\dot{Q}_y = Yoğuşturucunun yüksek sıcaklıktaki ortama attığı ısı (kW)

h_3 = Yoğuşturucudan çıkan soğutucu akışkanın entalpisi (kJ/kg)

Aynı zamanda yoğuşturucudan alınan ısı denklem (1.3) kullanılarak ta bulunabilmektedir.

$$\dot{Q}_y = \dot{Q}_b + \dot{W}_k \quad (1.3)$$

\dot{Q}_b = Buharlaştırıcının düşük sıcaklıktaki ortamdan aldığı ısı (kW) (Baskın, 2017).

Genleşme İşlemi

Genleşme aşamasında ısı transferi ile iş yapılmadığı öngörülerek giriş ile çıkış durumundaki entalpi değerleri aynı olduğu (1.4) ifade edilmektedir (Baskın, 2017).

$$h_3 = h_4 \quad (1.4)$$

h_4 = Kısılma vanasından çıkan soğutucu akışkanın entalpisi (kJ/kg) (Baskın, 2017).

Buharlaşma İşlemi

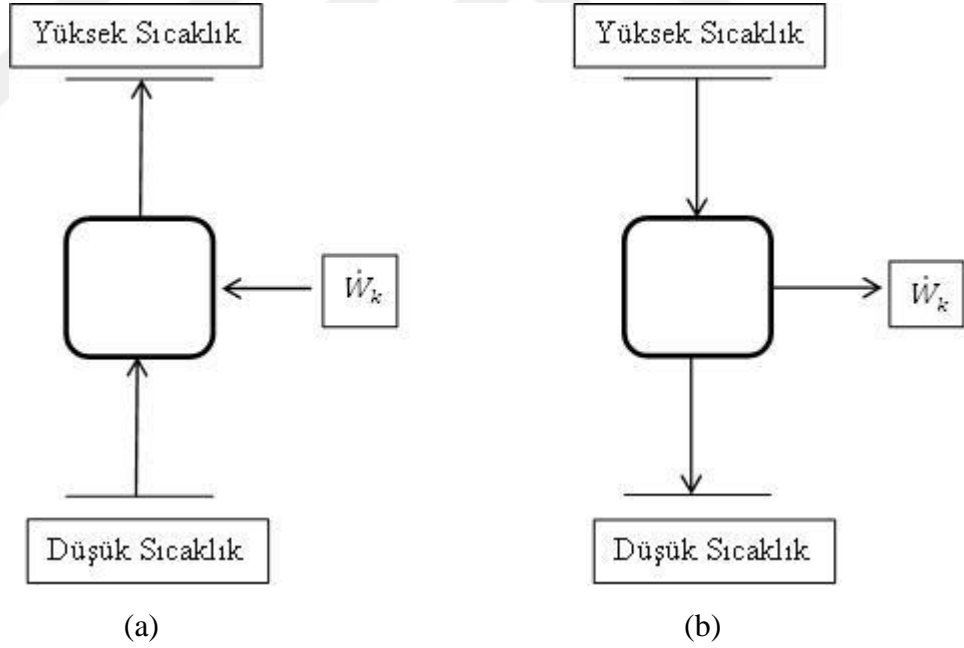
Soğutma kapasitesi ismiyle ifade edilen buharlaştırıcının düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından aldığı ısı denklem (1.5) ile gösterilmektedir (Baskın, 2017).

$$\dot{Q}_b = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (1.5)$$

Etkinlik Katsayısı

Düşük sıcaklıktaki kaynaktan alınan ısının kompresör gücüne oranlanması denklem (1.6) ile gösterilmektedir (Baskın, 2017).

$$COP = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{W}_k} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (1.6)$$



Şekil 1.4. a) Isı pompası b) Isı makinası

Şekil 1.4'te ısı pompası ile ısı makinasının birbirine göre ters termodinamik çevrime göre çalıştıkları görülmektedir. Isı pompasında, sisteme iş verilerek düşük sıcaklıktaki ortamdan aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki ortama aktarmaktadır. Isı

makinasında ise ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan alınarak iş üretilmekte ve düşük sıcaklıktaki ortama aktarılmaktadır (Aktaş, 2008).

Isı ve iş kaybının olmadığı (tersinir) durumlarda \dot{Q}_y/\dot{W} değeri her 2 makine için de aynı olmaktadır. Isı makinalarında ısıl verim \dot{W}/\dot{Q}_b iken ısı pompalarında \dot{Q}_b/\dot{W} ile ifade edilmektedir. Soğutma makinalarında \dot{Q}_b/\dot{W} ifadesi soğutma tesir katsayısı (COP_{so}) adıyla adlandırılmaktadır (Aktaş, 2008).

Isı pompası, ısı makinası ve soğutma makinasında kullanılan termodinamik bağıntılar şu şekildedir (Aktaş, 2008).

Isı pompasının performans katsayısı veya ısıtma tesir katsayısı (COP_{ip}) denklem (1.7) ile bulunmaktadır.

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{W}_k} \quad (1.7)$$

Enerji korunumu yasasına göre ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı denklem (1.8) ile bulunmaktadır.

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{Q}_y - \dot{Q}_b} = \frac{1}{1 - \dot{Q}_b/\dot{Q}_y} \quad (1.8)$$

Soğutma makinasının soğutma tesir katsayısı (COP_{so}) denklem (1.9) ile bulunmaktadır.

$$COP_{so} = \frac{\dot{Q}_b}{\dot{W}} \quad (1.9)$$

$$\dot{Q}_y = \dot{W} + \dot{Q}_b \quad \text{eşitliğinden;}$$

Aynı yoğuşma ve buharlaşma şartlarında denklem (1.10) ile gösterilmektedir.

$$COP_{IP} = COP_{so} + 1 \quad (1.10)$$

Farklı enerji kaynaklarını kullanarak çalışan ısı pompalarının, enerji tasarrufunda kullanılan diğer sistemlerde kıyaslanmasında Birincil Enerji Oranı (BEO) kullanılmaktadır. BEO denklem (1.11)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$BEO = \frac{\text{Isı pompasından atılan faydalı ısı}}{\text{Tüketilen birincil enerji}} \quad (1.11)$$

Isı pompasının çalıştırılması amacıyla sisteme verilecek iş zaman zaman η_t ısı verimli ısı makinasından sağlanmaktadır. Bu durumda BEO denklem (1.12)'deki gibi bulunmaktadır.

$$BEO = \eta_t \text{COP} \quad (1.12)$$

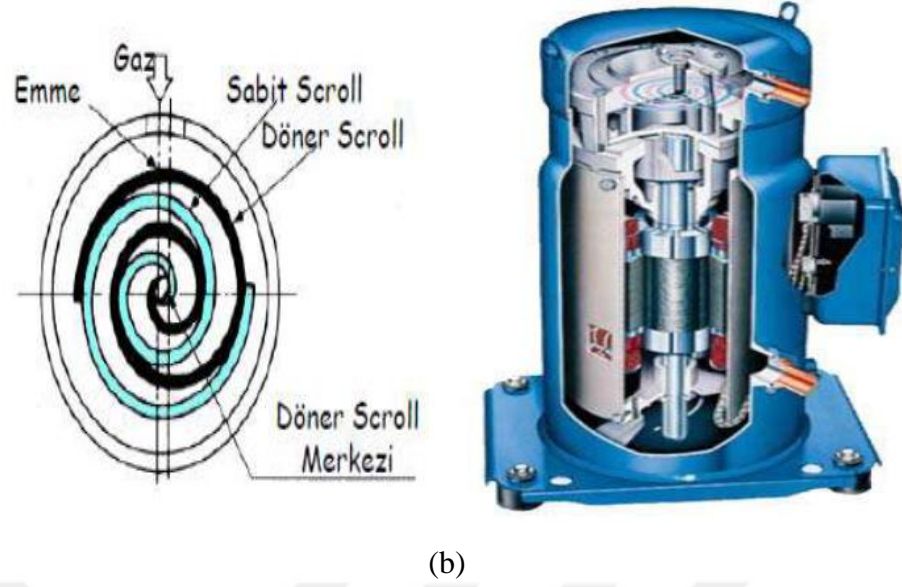
Isı makinasının ısı verimi (η_t) denklem (1.13) ile bulunmaktadır.

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_b} \quad (1.13)$$

1.2.2 Buhar Sıkıştırma Isı Pompasının Elemanları

Kompresörler

Kompresörler, soğutucu akışkanı sıkıştırarak sıcaklık ve basınç artışını sağlayan elemanlardır. Rotorlu, pistonlu, rotatif, turbo, vidalı ve scroll tip gibi çeşitleri bulunmaktadır (Yamankaradeniz vd., 2013). Isı pompası sistemlerinde genellikle biri sabit diğeri hareketli spiral şeklindeki iki levhanın karşılıklı dönmesi sırasında buharı sıkıştıran spiral (scroll) tip kompresör çeşidi (Şekil 1.5) tercih edilmektedir (Duman, 2018).



Şekil 1.5. a) Scroll tip kompresör b) Scroll tip kompresörün kesiti (Arslan, 2014).

İdeal bir kompresörde aşağıda belirtilen özelliklerin olması gerekmektedir:

- Kompresör ilk hareketinde dönme torkunun olabildiğince az olması,
- Değişik çalışma koşullarında güvenilirliğini koruması,
- Düşük maliyetli olması,
- Az güç ile uygun soğutma değerini sağlayarak belirli yüklerde bile verimli olması,
- Uzun ömürlü, az çalışan, titreşim ile gürültü seviyelerinin belirli değerlerin üzerine çıkmadan sabit kapasitede geniş aralıkta çalışması ideal bir kompresörde olması gereken en temel özelliklerdendir (Ekinci, 2007).

Yukarıda belirtilen şartların tümünü sağlayabilen kompresör bulunmamaktadır. Ancak bu şartların en fazlasına sahip kompresör uygulamada tercih edilmektedir. Uygulamada kullanılan kompresörler şu şekildedir:

1. Scroll Kompresörler: Spirallerde dolaşan gaz fazındaki iş akışkanının kompresöre doğru emilmesinin sonucunda spirallerde dolaşan akışkanın alanı azalarak sıkıştırılmakta ve döner spiralin merkezde bulunan basma hattından sisteme gönderilmektedir (Arslan, 2014).

Buhar enjeksiyonuna sahip scroll kompresörler buhar enjeksiyonuna sahip iki aşamalı döngüde kompresör teknolojisinde en çok kullanılan kompresör çeşidi olmaktadır (Tello-Oquendo, 2019). Bizim üniversitemizin enerji laboratuvarında bulunan deneysel çalışma yaptığım TKIP’da bu tür kompresör kullanılmaktadır.

2. Rotatif Kompresörler: Piston çevresinde bulunan paletler aracılığıyla, emme ve sıkıştırma işlemi yaparak çalışan kompresör türüdür.
3. Turbo Kompresörler: Diğer kompresörlerden farklı olarak merkezkaç kuvvetleriyle sıkıştırma işlemini yapan kompresör türüdür.
4. Hermetik Kompresörler: Kompresör ve motorun aynı yerde bulunduğu kompresör türüdür. Bu tür kompresörlerde motor gücü 7.5 kW değerine çıkabilmektedir (Yamankaradeniz vd., 2013).
5. Pistonlu Kompresörler: Buhar haldeki soğutucu akışkanı bir silindir içerisine çekerek aşağı-yukarı hareket yapan bir piston vasıtasıyla sıkıştırma işlemi yapan kompresör türüdür.

Yoğuşturucular

Yoğuşturucular, kompresörden çıkan buhar fazındaki kızgın soğutucu akışkanın üzerindeki ısı enerjisinin bir kısmını dış ortama atarak sabit basınçta sıvı hale geçirmeye yarayan elemanlardır (Duman, 2018). Yoğuşturucular ısı pompasında basıncın yüksek olduğu tarafta bulunmakta ve buhar içindeki ısıyı yoğuşturucu tüpleri sayesinde soğuk ortama göndermektedir (Yamankaradeniz vd., 2013). Yoğuşturucular genellikle ısıyı aktardığı ortama göre hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak (Şekil 1.6) üretilmektedir. Plakalı bir ısı değiştiricisi de yoğuşturucu amaçlı kullanılmaktadır (Duman, 2018).



Şekil 1.6. Yoğuşturucu örneği

Yoğuşturucunun kapasitesi dış ortam ile olan sıcaklık farkına, hava hızına, boru çapına, kanat alanına, yoğuşturucu temizliğine ve kanat aralığına bağlı olmaktadır. Bunlar arasında kapasite için en önemli faktör kanat açıklığı ve hava hızı olmaktadır. Ayrıca yoğuşturucuda toplanan tozların ısı transfer katsayısı ve hava debisini azaltmaması bakımından temizlenmesine önem gösterilmektedir (Gündü, 2018). Bir ısıtma ve soğutma sisteminin performansı belirleyen en önemli değer yoğuşturucunun güç tüketimi ve ısı kapasitesinin olduğu ifade edilmektedir (Kwak vd., 2020).

Kısılma Vanaları

Kısılma Vanaları, yoğuşturucudan yüksek basınçta çıkan soğutucu akışkanın uygun değerlerde buharlaştırıcıya girebilmesi için basınç azalmasını gerçekleştiren kısma elemanlarıdır. El ayar vanası, elektrikli kısılma vanası, kılcal boru, şamandıralı ayar valfi, otomatik kısılma vanası ve kılcal boru gibi değişik şekillerde (Şekil 1.7) üretilmektedir (Saçkan, 2018).



Şekil 1.7. Kısılma vanası şematik resmi (Göksel, 2019).

Endüstriyel ve ısıtma-soğutma alanında kullanılan kısılma vanaları şunlardır:

1. Termostatik Kısılma Vanası: Geleneksel olarak termostatik kısılma vanaları buhar sıkıştırma esasına göre çalışan ısı pompalarında yüksek sıcaklık ve basınçtaki akışkanın sıcaklık ve basıncını düşürerek buharlaştırıcıya girmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (García vd., 2019). Bizim üniversitemizin enerji laboratuvarında bulunan deneysel çalışma yaptığımız TKIP’da bu tür kısılma vanası kullanılmaktadır.
2. El ile Ayarı Yapılan Kısılma Vanası: Bir operatör aracılığıyla ayarı yapılan kısılma vanası türüdür.
3. Şamandıraya Sahip Ayar Vanası: Yüksek basınç ve düşük basınç ayar vanası olarak iki çeşidi bulunmaktadır.
 - a. Düşük Basınç Ayar Vanası: Her çeşit soğutmanın kullanıldığı ve buharlaştırıcıdaki soğutmanın seviyesini ayarlamak için kullanılmaktadır.
 - b. Yüksek Basınç Ayar Vanası: Basıncı yüksek olan sıvılar kullanılarak ayar yapılmaktadır.
4. Otomatik Kısılma Vanası: Buharlaştırıcıda sabit bir basınç yaratmak amacıyla kullanılmaktadır.
5. Elektrikli Kısılma Vanası: Buharlaştırıcı çıkışına yerleştirilen sıcaklık ölçen bir sensör sayesinde sinyal üretilerek vananın tahrik sistemine gönderilmekte ve soğutucu akışkan seviyesi ayarlanmaktadır (Yamankaradeniz vd., 2013).

6. Kılcal Boru: Yaklaşık 0.4-2mm arasında iç çap ile ortalama 2 m uzunlukta spiral olarak üretilen bakır borudan oluşmaktadır (Ekinci, 2007).

Buharlaştırıcılar

Buharlaştırıcılar: Kısılma vanasından sonra buharlaştırıcıya gelen soğutucu akışkanın düşük sıcaklıktaki ortamdan ısının çekilmesini sağlayan (Şekil 2.8) elemanlardır. Buharlaştırıcılar soğutucu akışkanın beslenmesine, çalışma koşullarına, havanın sirkülasyon yöntemine ve havanın kontrol tipine göre değişik şekil ve boyutlarda, ısıl iletkenliği yüksek olan bakır, çelik alüminyum, demir gibi malzemelerden üretilmektedir (Saçkan, 2018). Plakalı bir ısı değiştiricisi de buharlaştırıcı amaçlı kullanılmaktadır (Duman, 2018).



Şekil 1.8. Buharlaştırıcı örneği (Gündü, 2018).

Buharlaştırıcı kapasitesini etkileyen faktörlere baktığımızda hava hızı, dış ortam ile arasında olan sıcaklık farkı, boruların çapı, kanat alanı ve aralığı, buharlaştırıcı temizliği gelmektedir (Gündü, 2018).

Yardımcı elemanlar

Yardımcı elemanlar, ısı pompasında temel elemanlar dışında kullanılan diğer elemanlarda bulunmaktadır. Bunlar: akış ve kontrol elemanları, yağ ve sıvı ayırıcılar, filtre kurutucular, susturucular, ara soğutucular gibi elemanlar yardımcı eleman adıyla adlandırılmaktadır (Aktaş, 2008).

Soğutucu Akışkanlar

Soğutucu Akışkanlar: Isı pompası sistemlerinin en temel çalışma akışkanıdır. Buharlaştırma ve yoğunlaşma aşamalarında ısıyı soğuk kaynaktan alıp sıcak kaynağa taşıma aşamasında kullanılmaktadır. Bu akışkanlar iş yapan akışkan adıyla da anılmaktadır (Şen, 2006).

1.2.3 Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompası Çeşitleri

1. Hava Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları,
2. Toprak Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları,
3. Yer Üstü Suyu Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları,
4. Yer Altı Suyu Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları,
5. Güneş Enerjisi Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları,
6. Jeotermal Enerji Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları,
7. Atık Isı Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

1. Hava Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

Mevsimsel performansları su kaynaklı ısı pompalarına göre ortalama %20 düşük olmasına rağmen doğada bol miktarda bulunması, ucuz ve sürekli bir kaynak olması en büyük tercih sebebi olmaktadır (<http://www.heatpumpcentre>). Bu tür ısı pompalarının kurulum maliyetinin ucuz olması ve fazla alan kaplamaması da avantajlı bir durum sağlamaktadır.

Isıtmaya en çok gereksinim duyulan soğuk aylarda kaynaktan yeterli ısı alınamaması durumunda ısıtma kapasite düşmekte, arta kalan ısı gereksinimi de ek bir ısıtıcı tarafından karşılanmaktadır. Sonuç olarak sıcaklık değişiminin yaşanması projelendirmeyi zorlaştırmaktadır (Bose, 1985).

2. Toprak Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

Toprak kaynaklı ısı pompası, topraktan aldığı ısıyı buharlaştırıcısında kaynak olarak kullanan ısı pompasıdır. Toprağın içerisine yatay ya da dikey tip yerleştirilen ısı değiştiricisinde iş yapan akışkanın ya da ekonomik olması amacıyla salamuranın dolaşmasıyla ısı alışverişi gerçekleştirilmektedir (Yamankaradeniz vd., 2013).

Toprak, fiziksel yapısından dolayı güneş enerjisinin büyük bir çoğunluğunu emerek depolamaktadır. Isıtma döneminde havadan daha sıcak, soğutma döneminde havadan daha soğuk bir sıcaklıkta kaynak olmasından dolayı yıl boyunca sıcaklık değeri sabit kalmaktadır (Yamankaradeniz vd., 2013). Kaynak olarak toprağı kullanmak yatırım açısından yüksek maliyete sebep olmaktadır. Toprak altında bulunan toprak ısı değiştiricileri (TID)'ın derinliği ve yüzey alanı pompa seçiminde önemli etken olmaktadır. Toprak yüzey alanının dar olduğu alanlarda çalışmak topraktan sürekli ısı çekeceğı için ısı değiştiriciye yakın bölgelerde toprak sıcaklığının düşmesiyle birlikte verimde azalmaya da sebep olabilmektedir (Göksel, 2019).

Sosyal ekonominin hızlı gelişiminden dolayı insanların kaliteli hayat için gereklilikleri sürekli bir şekilde gelişmektedir. Son yıllarda binaların ısınmasında ve klima sistemlerinde çok fazla bir enerji tüketimi yaşanmasıyla beraber toplam sosyal enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır (Nejat vd., 2015). TKIP sistemleri çevre dostluğu, yüksek çalışma verimliliğı ve düşük çalışma maliyetlerinden dolayı yaygın bir şekilde yerleşim alanlarında ve ticari işletmelerde kullanılmaktadır (Yang vd., 2010 ve Yuan vd., 2012). Yapılan çalışmalarda TKIP sisteminin uygulanabilme oranı yıllık olarak ortalama %20 olmaktadır (Luo vd., 2013).

3. Yer Üstü Suyu Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

Kaynak olarak göller, nehirler gibi yerlerin suları kullanılarak çalıştırılan ısı pompalarıdır. Türkiye’de yer üstü sularının 0°C sıcaklığın aşağısına düşmemesi bu sistemlerin kullanılmasını olanak sağlamaktadır (Ashrae, 1984).

4. Yer Altı Suyu Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

Yaklaşık 100 m derinlikteki kuyunun suyunu kaynak olarak kullanan ısı pompalarıdır. Kuyu suyunun sıcaklığı ekvatorun kuzeyinde ortalama 10°C, güneyinde ise 15°C civarına ulaşmaktadır. Yıl boyunca kuyu suyunun sıcaklık değişiminde belirgin bir fark görülmemesi bu sistemleri tercih etme de önemli bir sebep olarak görülmektedir (Ekinci, 2007).

5. Güneş Enerjisi Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

Güneş enerjisi kaynaklı doğrudan ve dolaylı olarak iki tür sistem kullanılmaktadır. Doğrudan sistemlerde buharlaştırıcı üzerine güneş paneli yerleştirilirken, dolaylı sistemlerde panelde su ya da su buharı dolaştırılarak enerji kaynağı şeklinde kullanılmaktadır.

Kış aylarında yeterli güneş enerjisi olmaması ve bu enerjinin depolanmasının zor ve pahalı olmasından ötürü ilave bir ısıtma sistemine sebep olmakta bu da ekonomik yönden maliyeti artırmaktadır (Seyrek, 2010).

6. Jeotermal Enerji Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

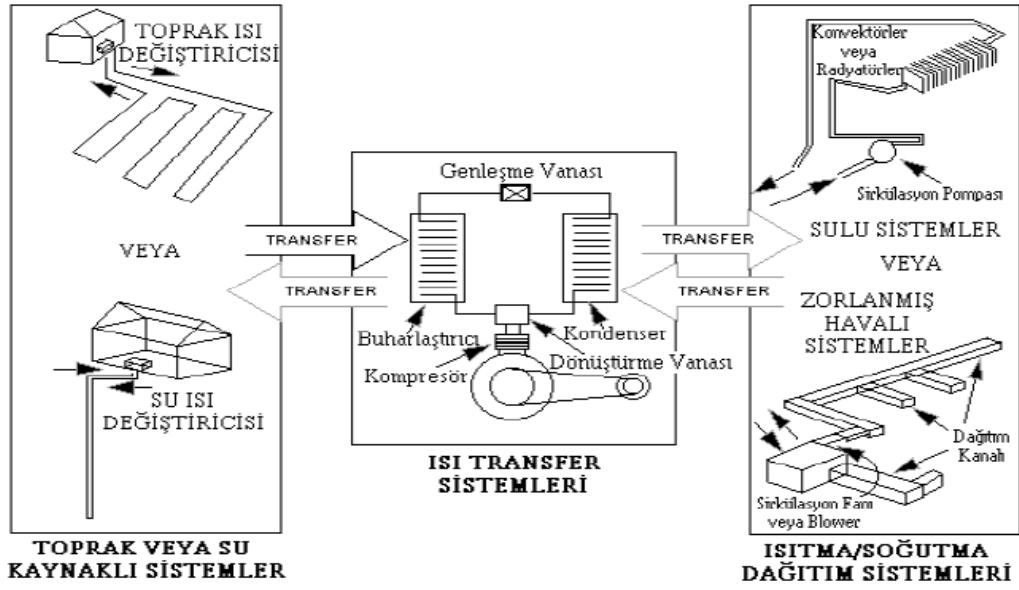
Jeotermal suyun ısı kaynağı olarak kullanıldığı sistemlerdir. Bu tür ısı pompaları kapalı çevrim ve açık çevrim sistemler olarak 2’ye ayrılmaktadır. Kapalı çevrim sistemlerde toprak altında dolaşan su+antrifiz karışımı yerine açık sistemler suyun bol olduğu göl, dere, akarsu gibi kaynaklardan aldıkları suyu kullanmaktadırlar. Açık sistemlerde kaynak olarak kullanılacak suyun ısı değiştiricisine zarar vermemesi için nitelikli olması gerekmektedir. Akarsu, dere ve göl gibi kaynaklardan gelen suyun jeotermal ısı pompası sistemini tahrip edebilme olasılığından dolayı suyun asitlik ve aşındırma testleri yapılma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır (Seyrek, 2010).

7. Atık Isı Kaynaklı Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

Değişik sistemlerden ürün halinde elde edilen ancak yararlanılmayan ısılar atık ısı denilmektedir. Isı pompası sistemleri kullanılmayan bu ısıları alarak kullanılabilir hale getirmektedir. Fabrikalarda atık ısının fazla olması sebebiyle bu sistemlerin buralarda kurulup işletilmesi daha uygun olmaktadır. Atık ısı kaynağı düşünüldüğünde egzoz havası ile gazı, atık su, soğutma suyu akla gelmektedir. Aşındırma özelliği olmayan soğutma suyu ve atık suyun kaynak olarak kullanılmasına dikkat edilmektedir (Saçkan, 2018).

1.3 Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) ısıtma-soğutma, sıcak su elde etme amaçlı kullanılmaktadır. Toprağın belirli bir derinliğinde yıl içinde sıcaklığın sabit kalması esasına dayanarak toprak tabakasında biriken ısıyı soğuk dönemlerde bina içine göndermekte sıcak dönemlerde bina içindeki ısıyı da toprak tabakasına göndermektedir. Bu nedenle TKIP sistemi çok yönlü çalışabilme özelliğine sahip bir makine olduğundan sıklıkla müşteriler tarafından tercih edilmektedir (Duman, 2018). Topraktan elde edilen ısı çoğunlukla müstakil ev, az katlı ev veya kent dışı evlerde kullanılmaktadır. Isı TID'ın borularından iş yapan akışkana transfer edilmektedir. TKIP sisteminde kullanılacak TID'ın ne şekilde seçileceği toprağın barındırdığı nem oranına, yoğunluğuna, dönecek alan büyüklüğüne bağlı olmaktadır (Esen ve İnallı, 2003).



Şekil 1.9. TKIP sistemi kapalı devresinin görseli (Arslan, 2014).

Şekil 1.9’da görülen TKIP sistemi TID, ısı transfer sistemleri ve ısıtma-soğutma dağıtım sistemlerini içermektedir. Özel mülk, daire ısıtmasında kullanılan TKIP’lar bodrum katına veya ayrı bir odaya konulurken, ticari ısıtmalarda kullanılacak TKIP’lar asma tavana ya da ayrı bir üniteye konularak kullanılmaktadır (Hepbaşlı ve Ertöz, 1999; Kavanaugh ve Rafferty, 1997).

Toprak altına yerleştirilecek TID yatay ve dikey olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. TID içerisinde ısı taşımak için su veya antifrizli su dolaştıran borulardan oluşmaktadır. Isı transfer sistemini ısı pompası elemanları oluşturmakta ve bu sistemde soğutucu akışkan dolaşmaktadır (Duman, 2018). Isıtma-soğutma sisteminde bir ortamı ısıtmak için ısıtıcı akışkanın dolaştığı yerde ısıtma sistemleri veya radyatörler kullanılmaktadır. Soğutma amaçlı ise fan-coil sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir (Süzer, 2001).

Isıtma evresinde, ısı TID’da dolaşan su veya antifrizli su çekilerek ısı pompasına gönderilmekte ve burada iş yapan akışkan buharlaştırılmaktadır. Buharlaşma işleminden sonra düşük basınçlı akışkan kompresöre gönderilmektedir. Akışkanın basınç ve sıcaklık değeri yükseltildikten sonra yoğuşturucuya transfer edilmektedir. Yoğuşturucuya gelen akışkan ısısını ısıtma suyuna aktararak yoğuşma işlemi gerçekleşmektedir. Daha sonra kısılma vanasında genişletilen akışkan

buharlaştırıcıya gönderilmektedir. Isıtma suyu ısı pompası sisteminde dolaşarak ortam ısıtılmaktadır. Isı pompasından sıcaklığı düşmüş şekilde çıkan antifirizli su tekrardan toprak altına gönderilerek bir çevrim tamamlanmaktadır (Duman, 2018).

TKIP doğalgaz ve LPG ile kıyaslandığında sırasıyla %25 ve %65 oranında işletmeye ekonomik bir kazanç sağlamaktadır (Kıncay vd., 2009). Bu sistem 1 kWh elektrik enerjisine karşılık ortalama 4 kWh ısı enerjisi ortaya çıkarmaktadır. Elde edilen bu enerji bina ısıtılması ve sıcak su elde edilmesinde kullanılarak yaklaşık %75 çevre enerjisinden yarar sağlanmaktadır (Yoldaş ve Durmaz, 2008).

Ayrıca TKIP sistemleri yıl boyunca sürekli bir sıcaklığa sahip olan jeotermal ısıyı kullanarak geleneksel klima sistemlerine kıyasla %25-%50 oranında güç tüketimini azaltabilen sistemler olmaktadır (Jun ve Cha, 2009).

1.3.1 TKIP Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

TKIP Sisteminin Avantajları

- Çevre Kirliliğine Sebep Olmamaktadır: Fosil yakıt kullanan diğer sistemler çevreye karbonmonoksit ile NOx gazını yaydıkları için çevreyi kirletmelere rağmen TKIP fosil yakıt kullanmadığı için çevre kirliliği yaratmamaktadır.
- Verimi Yüksek ve İşletmeye Maliyeti Düşük Olmaktadır: TKIP'ların verimi yüksek olmaktadır. Isıtma tesir katsayıları yaklaşık 3 ile 5 arasında değerler almaktadır.
- Daimi Isıtma ve Üstün Konfora Sahiptir: TKIP'lar ortamı ısıtmada toprağın ya da yer altı suyunun sabit olduğu yerlerden ısı enerjisini aldıklarından dolayı devamlı bir ısıtma sağlamakta bu da diğer ısı pompası sistemlerine göre üstünlüğünü göstermektedir.
- Çeşitli Şekillerde Üretilme ve Uygulama Rahatlığına Sahiptir: Değişik modellerde üretilen TKIP'lardan farklı projelerde yararlanma imkânı bulunmaktadır. Isıtmadan soğutma moduna geçişler otomatik ya da manuel olarak tek bir tuşla yapılmasıyla kullanım rahatlığı sağlamaktadır (Evirgen, 2009).

TKIP Sisteminin Dezavantajları

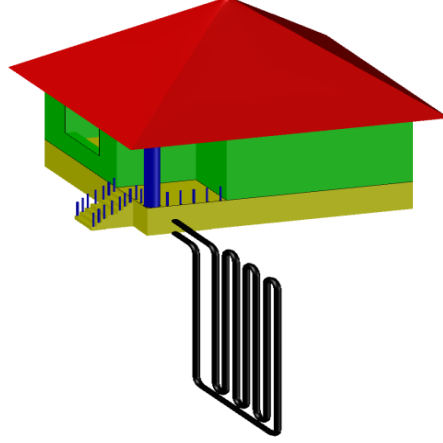
- Kurulum Maliyetleri Yüksek Olmaktadır: Standart donanım masrafları konutlarda kurulum maliyetini ikiye katlamaktadır.
- TID ve Ekipman Performansa Etki Etmektedir: TID'ın tasarımı ile montajlanmasının dikkatli ve özenli yapılması performansına büyük ölçüde etki etmektedir.
- Kaliteli Tasarımcıların Az Olması: Tasarım bütçesinin azalması ve artan yasal düzenlemeler arasında tasarımcılar yeni bir çalışma yapmamaktadır.
- Kaliteli Yüklenicilerin Az Olması: TKIP'in uzmanı olmada donanım ve zamana yapılan yatırım büyük önem taşımaktadır.
- Ekipman Satış Getirisinin Az Olması: TKIP'in ekipmanını satmak satıcılar açısından çok ilgi çekmemektedir. Basitliği ve satıldığında kâr getirisinin yüksek olması sebepleri arasında olmaktadır (Evirgen, 2009).

1.3.2 TKIP Çeşitleri

TKIP sistemleri dikey toprak ısı değiştiricili ve yatay toprak ısı değiştiricili olmak ikiye ayrılmaktadır.

Düşey Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası

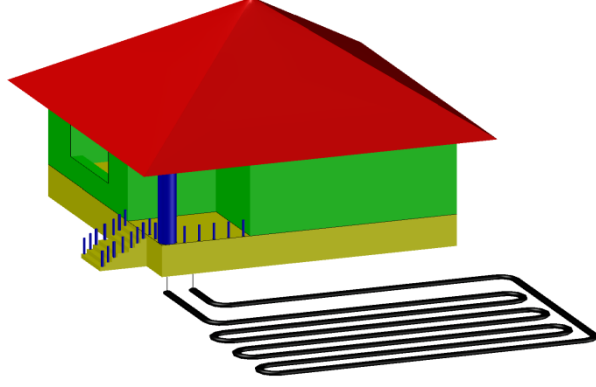
Yatay ısı değiştiricilerini yerleştirecek yeterli alanın olmadığı yerlerde, toprağın altına sondaj yaparak yerleştirildiği (Şekil 1.10) ısı pompası çeşididir. Sondaj işlemi ortalama 15 cm çapında ve yaklaşık 75 m derinliğinde olmaktadır. Boruların yerleştirildiği çukurun en derin yerinden iki küçük çaplı boruyu U şeklinde bağlamakla işlem gerçekleşmektedir. Bu uygulamanın az yer kaplaması olumlu olmasına rağmen kurulum maliyetinin çok olması olumsuz olmaktadır (Al-Khalıdı, 2018).



Şekil 1.10. Düşey toprak ısı değiştiricili ev örneği

Yatay Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası

Isı değiştiricisini yerleştirmek için çok fazla alanın olduğu yerlerde yatay ısı değiştiricilerinin kullanıldığı (Şekil 1.11) ısı pompası çeşididir. Toprak altına uygun derinlikte paralel olarak yerleştirilmektedir. Boruların uzunluğu ekstra pompa gücü gerektirmemesi amacıyla 100 m'yi geçmemek zorundadır. Borular toprak altına helezon ya da sarmal şekilde yerleştirilmektedir. Yatay borulu TKIP'lar düşük kurulum maliyetli, yıllık veriminin yüksek olması avantajlı yönü olmasına rağmen kurulum için geniş alana gereksinim duyması ve sıcaklık dalgalanmalarının yaşanması TID'a olumsuz etki yapmasından dolayı (Isısan alışmaları, 2008), dezavantaja sahip olmaktadır (Al-Khalıdı, 2018). Isıtma maksadıyla bu tür ısı pompasının kullanılması uygun görölmektedir (McQuay International, 2002).



Şekil 1.11. Yatay toprak ısı değiştiricili ev örneği

1.3.3 TKIP Sisteminin Dünyadaki Durumu

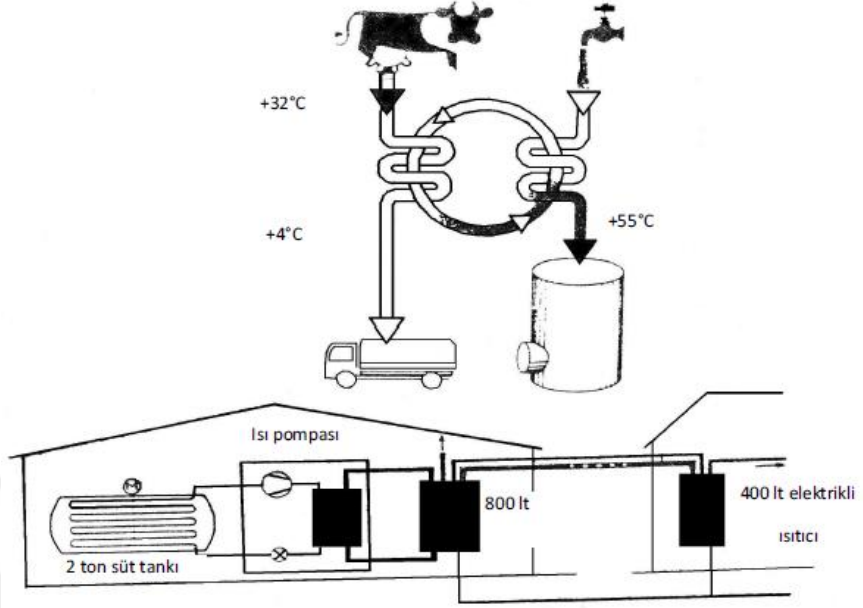
TKIP sistemleri kış mevsiminin çok sert geçtiği Kuzey Avrupa, Kuzey Amerika, Kanada gibi yerlerde ekonomik avantaj ve kullanım kolaylığı ile çeşitli kullanım şekilleri bakımından tercih edilmektedir (Yeşil Çizgi, 2001).

Yenilenebilir enerji kaynaklarında yaşanan sorunlar ve bu enerji ürünlerinin fiyatlarında yaşanan ani artışlar soğuk bir iklime sahip olan ülkelerde ısı pompası kullanım fikrine sebep olmaktadır. Üstelik Kuzey Avrupa'da ısı pompası üzerine AR-GE çalışmaları da yürütölmüştür (Süzer, 2001).

Almanya, İsviçre, Norveç, Fransa gibi Avrupa ülkelerinde toprak altına dikey olarak yerleştirilen ısı değiştiricilerine sahip olan TKIP'ların satışı yaklaşık 35 yıldır yapılmaktadır. Bu ülkelerden daha önce Amerika'da ticari olarak satışa girmiş ve yaklaşık 70 yıldır burada kullanımı devam etmektedir (Sanner vd., 2003).

1.4 Süt Sanayisinde Isı Pompası Kullanımı

Aşağıdaki şekilde göröldüğü gibi çiftlik veya köy gibi kırsal alanlarda süt elde etmek için yetiştirilen memeli hayvanlardan elde edilen 32°C'deki çiğ sütü 4°C'ye soğutmak ve 8°C'deki suyu da 55°C'ye çıkarmak için (Şekil 1.12)'de gösterildiği gibi bir ısı pompası düzeneği kullanılmaktadır (Yamankaradeniz, 2011).



Şekil 1.12. Sağılan çiğ sütün soğutulması ve sıcak su üretimi (Yamankaradeniz, 2011).

2. YOĞURT ÜRETİMİ VE ENERJİ

2.1 Yoğurt

Yoğurt sütün en az 90°C'ye kadar ısıtılıp yaklaşık 43°C sıcaklığa soğutulduktan sonra *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus* mikroorganizmaları ile mayalanmasıyla elde edilen bir süt ürünüdür (Herdem, 2006; Koçak, 2013; Taş, 2005; Demirci ve Şimşek, 1997; Hamann ve Marth, 1984).

Yoğurt oluşumunda *S. thermophilus* ve *L. bulgaricus* bakterileri 43°C civarında sıcaklıkta, enzimatik tepkimelerle asidik ortam oluşturarak sütün katılaşmasını sağlarlar (Kılıç, 1990). Yoğurt üretiminde kullanılan bu bakterilerin kendi aralarında ortak yaşama özellikleri bulunmaktadır. Uygun bir ortam sıcaklığında her iki bakterinin sayıca birbirine oranlaması ile yapılan yoğurdun özelliğinin değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Canbulat, 2010).

Süt içerisinde bulunan kazein proteini moleküllerinin mayalanma sırasında 43°C sıcaklıkta ve asidik ortamda yoğurdun kıvamlı olmasını sağladığı gözlemlenmiştir (Kalab vd., 1976).

Yoğurdun bileşiminde bulunan kültür bakterilerinin faaliyetleri ve serum proteinleri ile kazein proteinleri yoğurdun bileşimine büyük katkı sağlar. Serum proteinleri pastörizasyon sıcaklığına genelde çok hassas olup, 70°C'den yüksek sıcaklıklarda denatüre olmaktadır. Ayrıca serum proteinleri denatüre olduğu için kazein proteinleri ile etkileşime girmektedirler. Kazein proteinleri ise pastörizasyon sıcaklığına dayanıklıyken, asite karşı hassas olup, fermantasyon sırasındaki asit gelişimiyle çökme meydana gelmektedir (Özer, 2010).

Yoğurdun pH değerini 5'e kadar düşüren *S. thermophilus* bakterisi yoğurtta faaliyet gösterirken pH=5'den daha düşük değerlerde *S. thermophilus* bakterisi inhibe olur ve yerini *L. bulgaricus* bakterisine bırakır (Yıldız, 2010).

S. thermophilus bakterisi en uygun 40-45°C sıcaklıkta gelişebildiği ve bu bakterinin en az 20°C ve en fazla 52°C sıcaklıkta gelişim gösterdiği bilinmektedir

(Özyurt, 2005). Düşük Sıcaklık Uzun Zaman (LTLT) ve Yüksek Sıcaklık Kısa Zaman (HTST) pastörizasyon yöntemiyle pastörizasyona uğrayan pastörize sütlerde bu bakterinin bulunması muhtemeldir (Tunail ve Köşker, 1989; Robinson, 1999). *L. bulgaricus* bakterisi ise en uygun 45-50°C sıcaklıkta gelişebilmekte ve bu bakterinin en az 22°C ve en fazla 62°C sıcaklıkta gelişim gösterdiği bilinmektedir (Özyurt, 2005).

2.1.1 Yoğurt Çeşitleri

Yoğurt içerdiği yağ oranı bakımından, kaymaklı (tam yağlı), yarım ve az yağlı ile yağsız çeşitlerde üretilmektedir. Yoğurdun üretim tekniğine göre çeşitleri ise pıhtısı kırılmış, pıhtısı kırılmamış ve katkılı, sade, meyveli ve meyve aromalı yoğurt çeşitleri mevcuttur (Üçüncü, 2005; Akın, 2006).

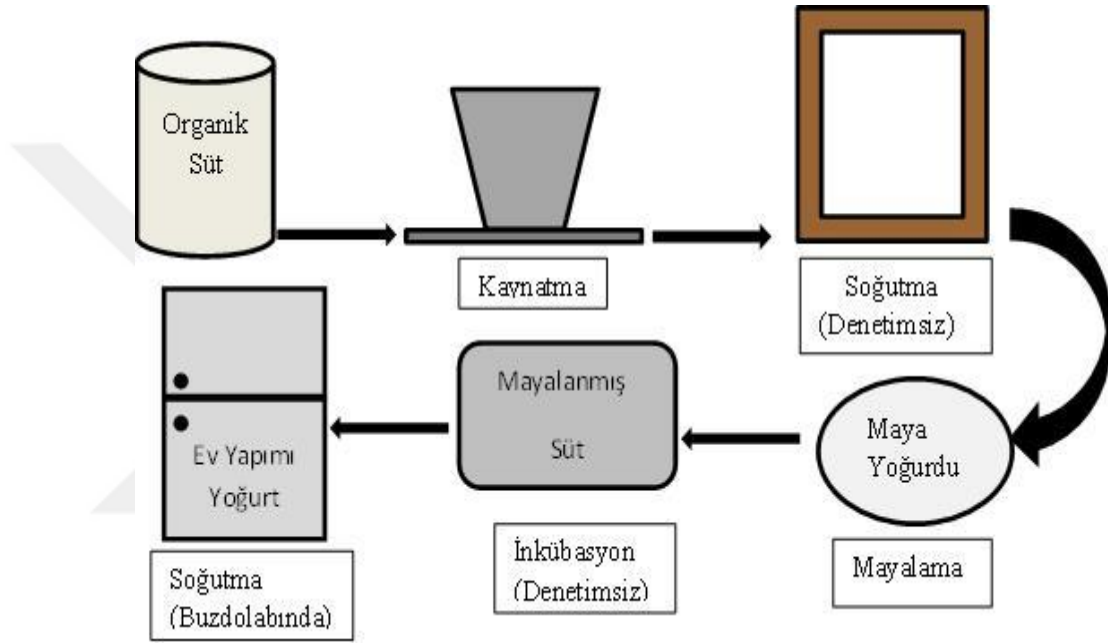
Sade yoğurt, hiçbir katkı maddesi yapılmaksızın sütün *S. thermophilus* ve *L. bulgaricus* bakterileri ile 43°C civarında sıcaklıkta fermantasyonu sonucunda oluşan doğal tada sahip yoğurt türüdür (Koçak, 2013).

Meyveli yoğurt, sütün yoğurda dönüşümü sırasında türlü meyveler, meyve suyu, reçel, renklendirici, kıvam artırıcı, yağsız süt tozu vb. gibi katılarak yapılan yoğurt çeşididir (Koçak, 2013). Meyveli yoğurt üretimi iki şekilde yapılmaktadır. Birinci yöntemde, meyve yoğurt sütüne ilave edilmekte ve mayalama gerçekleşmektedir. İkinci yöntemde ise mayalama tankında mayalanan yoğurda meyveler katılıp karıştırılarak yoğurt kaplarına dolumu gerçekleştirilmektedir (Karagözlü, 1997).

2.1.2 Ev Yapımı Yoğurt

Günümüzde ev yapımı yoğurt kullanımı yaygın olmasına rağmen yoğurt endüstrisinin gelişmesiyle birlikte hazır yoğurt üretiminde artış gözlenmiştir (Herdem, 2006). Evde yoğurt yapımında taze sağılan çiğ süt temiz bez kullanılarak süzülme ve kaynatmak üzere tencereye koyulmaktadır. Süt bir süre kaşıkla karıştırılarak kaynatılmaktadır. Kaynatılan süt sıcak bir şekilde tencerede ya da başka uygun bir kabın içerisinde etrafı battaniye vb. sarılarak mayalanma sıcaklığına

(43°C) kadar doğal olarak soğutulmakta ve mayalama sıcaklığı serçe parmağı ile kontrol edilmektedir. Mayalama sıcaklığı uygun ise içerisine bir önceki üretilen yoğurdu ilave ederek karıştırılmakta ve mayalama işlemini gerçekleştirmek amacıyla tencere ya da kabın üzeri sıcaklığının düşmemesi için tekrardan battaniye vb. ile kapatılarak beklenmektedir. Mayalama süresi ortalama 4 saat sürmektedir. Elde edilen yoğurt tam kıvamını alması için buzdolabında dinlendirilmeye bırakılmaktadır.



Şekil 2.1. Ev yapımı yoğurt üretim akış şeması

Şekil 2.1’de ev yapımı yoğurdun üretim akış şeması ve Şekil 1.2’de ise ev yapımı yoğurdun görseli görülmektedir.



Şekil 2.2. Ev yapımı yoğurt

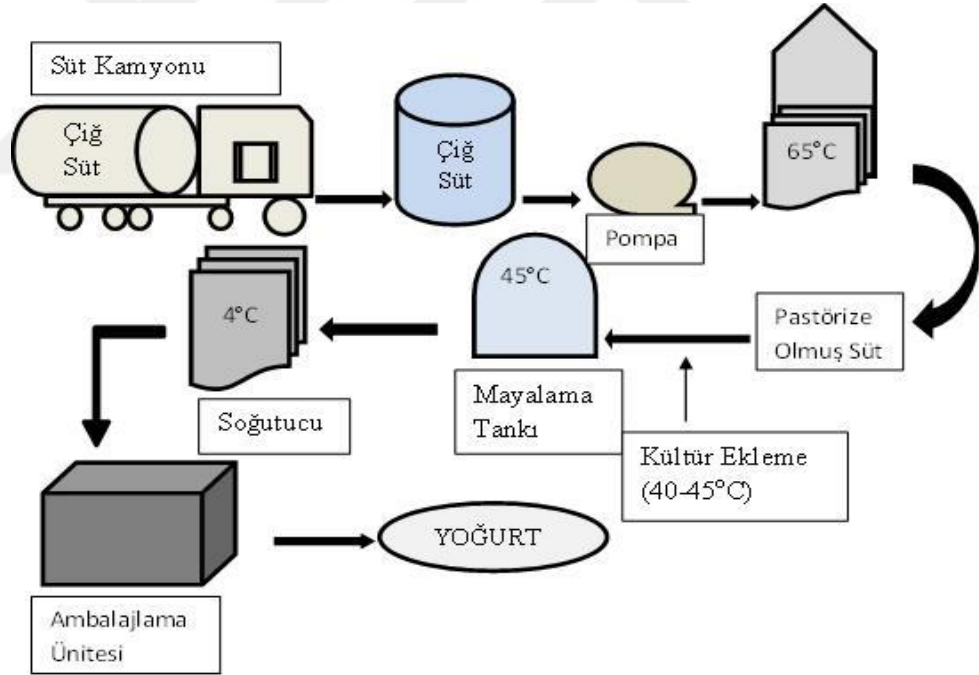
Evlerde ve yayla gibi kırsal alanlarda yoğurt yapmak için ortalama 125 ml süt içeren 6-8 bardaklık ev yapımı yoğurt makinası kullanımı yaygınlaşmaktadır (Yaygın, 1999). Günümüzde evlerde ve yayla gibi kırsal alanlarda, ev yapımı yoğurdun üretimi için taşınabilir güneş enerjisi ile çalışan (fotovoltaik) ısı pompası destekli ev yapımı yoğurt makinası üretimi planlanmaktadır (Diken, 2000). Ev yapımı yoğurt ile endüstriyel yoğurt arasındaki fark ise ev yapımı yoğurda daha önce evde yapılan yoğurt ya da endüstriyel olarak üretilen yoğurttan katılarak yapılmasıyla endüstriyel yoğurt yapımına da *S. thermophilus* ve *L. bulgaricus* bakterilerinin katılmasıyla yapılmasıdır (Tekinşen, 2000; Demirci ve Şimşek, 1997).

2.2 Endüstriyel Yoğurt Üretimi

Türkiye’de önemli süt ürünlerinden olan yoğurdun endüstriyel olarak üretilmesinde enerji verimliliğine dayanan önemli gelişmeler olmuştur. Enerji verimliliği sütün ve yoğurdun soğutulması ve ısıtılması süreçlerinde uygulanmaktadır (Uzun, 2012). Yoğurt üretimi soğuk zincirde sütün üretim yerine getirilmesi, temizlenmesi ve standardizasyon, sütün pastörizasyonu, kuru madde miktarı ayarlaması, homojenizasyon işlemi, mayalama, ambalajlama, inkübasyon, soğutma, yoğurdun depolanması ve soğuk zincirde taşınması süreçlerinden oluşmaktadır.

2.2.1 Endüstriyel Yoğurt Üretim Aşamaları

1. Soğuk zincirde çiğ sütün taşınması
2. Temizleme ve standardizasyon
3. Çiğ sütün pastörizasyonu
4. Kuru madde miktarı ayarlanması
5. Homojenizasyon işlemi
6. Mayalama
7. Ambalajlama
8. İnkübasyon
9. Soğutma
10. Yoğurdun depolanması ve soğuk zincirde taşınması



Şekil 2.3. Çiğ süttten yoğurt üretimi ve depolama süreci akış şeması

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi çiğ sütün, süt kamyonuyla taşınmasından yoğurt üretimine kadar geçen sürecin akış şeması görülmektedir.

1. Soğuk zincirde çiğ sütün taşınması:

Soğuk zincir, çiğ sütün hayvanın memesinden sağıldıktan sonra işlenecek ya da sütü işleyecek merkezler için toplanmasına kadar geçen süreçte düşük sıcaklıkta muhafaza edilmesi olarak adlandırılabilir. Soğuk zincir işleminde temiz ve sağlıklı bir şekilde elde edilen süt, 4°C'ye soğutulduktan sonra bu sabit sıcaklıkta süt fabrikalarına ulaştırılmaktadır (Yavuz vd., 2015). Ülkemizin batı kesiminde çiğ sütün taşınmasında soğuk zincir yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yavuz vd., 2015).

Endüstriyel yoğurda olan talebin artmasıyla birlikte süt sanayinde de gelişmeler olmaktadır. Sıcak iklime sahip bölgelerde özellikle yaz aylarında elde edilen çiğ sütün işletmeye gelmeden asitlenmesi ekonomik açıdan önemli kayıplara neden olmaktadır. Bu kayıpların önlenmesi için soğuk zincirle süt taşınmasının teşvik edilmesi gerekmektedir (Çoşkun ve Tunçtürk, 2003). Soğuk zincir taşıma araçlarında verimliliği kanıtlanmış olan havadan havaya ısı pompası ekipmanının kullanılabilmesi tavsiye edilmektedir (MEB, 2013).

2. Temizleme ve standardizasyon:

Soğuk zincirde (4°C) taşınan çiğ süte iki aşamadan oluşan temizleme işlemi yapılmaktadır. Bunlardan birincisi sütte gözle görülebilecek kıl, kuru ot, saman, gübre parçacıkları veya çöp gibi maddelerin klarifikatör ile alınması, ikincisi ise sütteki kan hücrelerinin seperatör adı verilen bir ayırıcıdan geçirilerek temizlenmesidir (Gönç, 1995; Tekinşen, 1997; Öztekin, 1995). Sütte bulunan yağ korunmak için sütün klarifikatörden 10°C'nin altında uygun temizleme hızında geçirilmesi büyük önem taşımaktadır (Özer, 2006). Temizleme işleminden sonra işletmeye gelen sütlerin yağ ve kuru madde miktarlarının Gıda Maddeleri Tüzüğü (GMT) ile TS yoğurt standartlarında belirtilen sabit değerlerde olması işletmenin ekonomik olarak kâr etmesine ve farklı yörelerden toplanan sütlerden aynı kalitede yoğurt üretilmesine sebep olduğu için yağ ve kuru madde miktarlarının standardize işleminden geçirilmesi gerekmektedir (Gönç, 1995; Tekinşen, 1997; Öztekin, 1995). Standardizasyon işlemi süt tozu ilavesiyle veya sütün suyunu evaporatör ile uçurmayla sağlanmaktadır. Evaporatör olmayan süt endüstrilerinde ortalama %3 oranında süt tozu katılmakta ve bu anda sütün sıcaklığı süt tozunun daha iyi

eriyebildiği 40-50°C civarında olmak zorundadır. Evaporatör bulunan süt tozu üretiminde ise temizleme işleminden sonra plakalı pastörizatör vasıtasıyla 70-75°C'ye kadar ısıtıldıktan sonra evaporatöre gönderilerek sütün suyu %40'a kadar uçurulmaktadır (Yaygın, 1999).



Şekil 2.4. Seperatör (MEB, 2011)

Şekil 2.4'de temizleme işleminde kullanılan seperatör'ün görseli görülmektedir.

Baktofügasyon

Çok kademeli sabit eksenli, dairesel dönme hareketi yapabilen bir ekipman aracılığıyla çiğ sütte bulunan bakterilerin arındırılması işlemidir (Marth ve Steele, 1998). Bu işlemde süt, bakteri ile mikroorganizma içermeyen temiz süt veya bakteri ile mikroorganizma içeren baktofüгат olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Temiz süte bilinen pastörizasyon yöntemleriyle ısıl işlem uygulanırken baktofüгат ise 130°C'de ortalama 3 saniyelik ısıl işleme tabi tutulduktan sonra temiz süt ile baktofüгат karıştırılmaktadır. Süt endüstrilerinde yapılan baktofüгasyon işlemi birinden temiz süt diğerinden bakteri ve mikroorganizma içeren baktofüгат çıkışının sağlandığı iki çıkış içeren seperatör ya da sadece bakterilerin süttten arındırılmasını sağlayan tek bir çıkış içeren seperatör kullanılarak genellikle 55-60°C'de yapılmaktadır (Özer, 2006). TKIP sistemi 65°C'ye kadar ısıtma özelliği olan bir sistem olduğu için baktofüгasyon işleminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

3. Çiğ sütün pastörizasyonu:

Sütün kimyasal ve fiziksel özelliklerini mümkün olduğunca değiştirmeksizin dayanıklı duruma dönüştürülmesi için ısııl işlem metotları geliştirilmiştir. Isıl işlem süte uygulanan ısıtma ve soğutma anlamına gelir. Isıl işlemde, süt öncelikle belirli bir sıcaklık değerine kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta bir süre bekletilir ardından soğutulur. Pastörizasyon ise süte 100°C'nin altında gerçekleştirilen ısııl işleme verilen isimdir (zyurt, 1996).

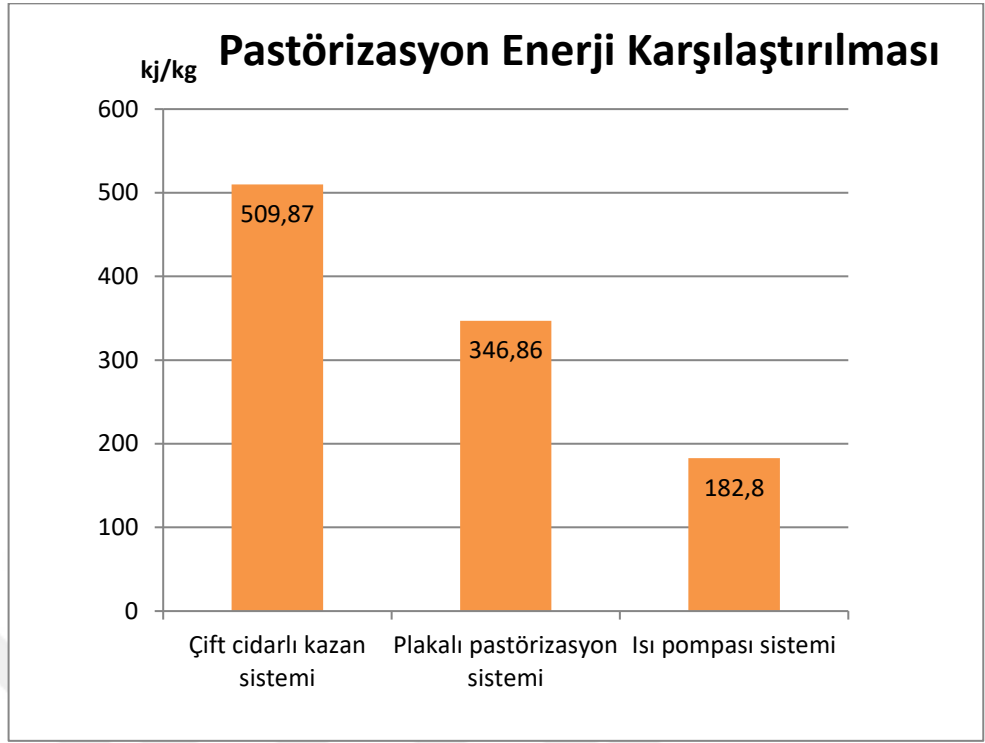
Sütten elde edilen ürünlerde kullanılan sütün mutlaka zararlı mikroorganizmaları yok edecek ısııl işleme (pastörizasyon) uğramalıdır (şen, 2006).

Isıl işlem hem insanın sağlığına zarar veren mikroorganizmaları yok eden hem de ürünlerin raf ömrünü ve duyuusal özelliklerini artıran özelliklere sahiptir (Hurşit, 1999).

Çiğ sütün pastörizasyonunda süte uygulanacak olan pastörizasyon sıcaklığının derecesi ile süresi üretilen süt ürününe göre farklı değerlerde gerçekleştirilir (Kara, 1993).

Süt pastörizasyonu ısııl pompası vasıtasıyla gerçekleştirilebilir. Isıl pompasının kondenserinden çıkan ısıı sayesinde sütün ısııl işlem sıcaklığına ulaşması olasıdır. Isıl işleme uğrayan sütün evaporatör vasıtasıyla ısıısı alınarak soğutulması da olasıdır. Bu sebepler süt pastörizasyonunda ısııl pompasının kullanıldığını açık şekilde göstermektedir (şen, 2006).

Yoğurt yapımında kullanılacak sütü pastörize etmek için çift cidarlı kazan sistemi, plakalı pastörizasyon sistemi ve ısııl pompası sisteminin kullanılabilen yapıları yapılan çalışmayla belirlenmiştir. Süt pastörizasyonu üzerine yapılan deneylerde bu üç sistem ayrı ayrı deneysel olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 1 kg sütü pastörize etmek için, çift cidarlı kazan sistemi 509,87 kJ/kg, plakalı pastörizasyon sistemi 346,86 kJ/kg ve ısııl pompası sistemi ise 182,8 kJ/kg enerji tükettiği belirlenmiştir (zyurt vd., 2004).



Şekil 2.5. Çift cidarlı kazan sistemi, plakalı pastörizasyon sistemi ve ısı pompası sistemlerinin enerji tüketim grafiği (Özyurt vd., 2004).

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi, ısı pompası sistemi, çift cidarlı kazan sistemine göre 2.8 kat ve plakalı pastörizasyon sistemine göre de 1.9 kat daha az enerji tüketimi sağlandığı görülmüştür. Bu sonuçlar, yoğurt üretiminde kullanılacak sütün pastörizasyonu için ısı pompasının enerji tüketimi bakımından çok ekonomik olduğunu göstermektedir (Özyurt, 2004).

Kuru maddesi arttırılan sütün pastörizasyonu işleminde de ön ısıtıcı olarak TKIP sistemi kullanılabilir (Özyurt, 1996). Sütün pastörizasyonu için yapılan çalışmada TKIP sistemi kullanılmış ve yüksek verimli sonuçlar alınmıştır (Özyurt, 2004).

Pastörizasyon Yöntemleri

Düşük Sıcaklık Uzun Zaman (LTLT) pastörizasyon yöntemi ile süt yaklaşık 63°C sıcaklıkta 30 dakikadan az bir sürede yapılabilir (Metin, 1998). TKIP sistemi 65°C'ye kadar ısıtma özelliği olan bir sistem olduğu için LTLT yöntemiyle sütün pastörizasyonu işleminde kullanılabilirliği düşünülmektedir.

LTLT pastörizasyon yöntemi, uzun sürede yapılması, ısı değiştiricisi bulunmadığından enerji ihtiyacı duyması ve fazla iş gücü gerektirmesi gibi etkenlerden ötürü ekonomik anlamda pahalı bir yöntemdir. Bu yöntemle yapılan pastörizasyon işlemiyle pastörize sonrası bulaşma olasılığı çoktur (Hurşit, 1999). Yatırım maliyetinin düşük olması sebebiyle küçük işletmeler açık kazan sistemleri (Şekil 2.6) kullanılmaktadırlar.

LTLT pastörizasyon yönteminin iki farklı şekilde uygulamasından birincisi çiğ sütü tanka boşalttıktan sonra ısı işlem uygulanıp paketlenmesi, ikincisi ise başta plastik torbalara veya şişelere koyulup kapatılarak ısı işlem uygulanmasıdır (Metin, 1998).

LTLT pastörizasyon yöntemi süt ürünlerini üreten işletmeler için kolay ve maliyeti düşük olan bir yöntem olmasının yanı sıra çok fazla iş gücüne ihtiyaç duyulması, bulunduğu ortamda buhardan dolayı rutubet ve sıcaklık değerlerinin artması en önemlisi de sütün hem ısıtma hem soğutma sürecinin uzun sürmesi zaman ve pastörize sütün niteliği bakımından zararlı olması dezavantajları arasındadır. Bu yöntem şişelenmiş sütlere uygulanan buharlı pastörizasyon işleminin sıcaklık-süre arasındaki ilişkinin hedeflenen pastörizasyona uygun olarak seçilmesiyle yapılmaktadır. Fakat bu şekilde yapıldığında şişelerin bazıları gerektiğinde fazla ısı işleme maruz kaldıkları için içme sütü üretiminde kullanılması uygun olmamaktadır. (Metin, 1998).

Yüksek Sıcaklık Kısa Zaman (HTST) pastörizasyon yöntemi ile süt yaklaşık 75°C sıcaklıkta ortalama 20 saniyede pastörize yapılabilir (Foodelphi, Pastörizasyon Yöntemleri).TKIP sistemi 65°C'ye kadar ısıtma özelliği olan bir sistem olduğu için HTST yöntemi sütün pastörizasyon işleminde kullanılmayacağı düşünülmektedir.

HTST pastörizasyon yönteminde denge kabındaki çiğ süt borulu ya da levhalı pastörize makinesinde ortalama 60°C'ye kadar ön ısıtılıp homojenizasyon işlemi uygulanmakta ve ortalama 75°C'de 20 saniye kadar bekletilmektedir. Bu işlem levhalı ısı değiştiricileri (şekil 2.7) ile yapılmaktadır. şayet hijyenik koşullar uygun olursa pastörizasyon uygulaması 85°C'de 60 saniyede de yapılabilir (Hurşit, 1999; TS 11150).



şekil 2.6. Pastörizatör makinası (BAİBÜ Gıda Mühendisliği Ar-Ge Laboratuvarı'ndan)

şekil 2.6'da pastörizasyon işleminde kullanılan plakalı pastörizatör makinasının görseli görünmektedir.



şekil 2.7. Plakalı pastörizatör makinası (İkizler Süt Fabrikası'ndan)

Şekil 2.7’de pastörizasyon işleminde kullanılan plakalı pastörizatör makinasının görseli görünmektedir.

Sterilizasyon

Ürünün steril olmasını sağlamak amacıyla 20-22oC sıcaklıkta saklanan ürünün normal şartlarda bozulmasına sebep olacak mikroorganizmaları ile sporları etkisiz hale getiren yalıtımlı ürüne en az 115°C sıcaklıkta 13 dakika ya da 121°C sıcaklıkta uygulanan ısıtma işlemidir (MEGEP, 2007). TKIP sistemi 65°C’ye kadar ısıtma özelliği olan bir sistem olduğu için sterilizasyon yönteminde kullanılamaz. Sterilize sütler pastörize sütlere kıyasla uzun ömürlü olması soğuk zincire ihtiyaç duymamaları hastalık yapan zararlı bakterileri bulundurmaması en çok tercih edilme sebepleri arasında gelmektedir (MEGEP, 2007).

Ultra Yüksek Sıcaklık (UHT) sterilizasyon yöntemi ile sütü her türlü mikroptan arındırmak için kullanılır. UHT yönteminde süt yaklaşık 150°C sıcaklıkta ortalama 4 saniye ısıtılmakta ve hızla soğutulmaktadır. Mikroptan arındırılmış UHT sütler ağzı açılmadan 6 ay kadar saklanabilmektedir (Foodelphi, Pastörizasyon Yöntemleri). UHT sütün raf ömrü 12 aya kadar uzamakta ve bu sütün sterilliğini kontrol etmek içinde 55°C’de 1 hafta ya da 30°C’de 15 gün bekletilip test edilmesiyle ölçülmektedir. TKIP sistemi 65°C’ye kadar ısıtma özelliği olan bir sistem olduğu için UHT sütün sterilliğini kontrol etmek için kullanılabileceği düşünülmektedir.

Sütün Termizasyon İşlemi

Termizasyon işlemi; süt fabrikalarına uzak olan köy veya kırsal alanlardan yaz aylarında toplanan sütlerin işlenmek üzere fabrikaya taşınması öncesinde yaklaşık 72°C’de 40 saniyede yapılmaktadır (Hurşit, 1999). Bu işlem, plakalı ısı değiştiricileri ile yapılmaktadır (Özer, 2006).

Termizasyon işleminde pastörizasyona uğrayan süt oksijenli solunum yapan zararlı bakterilerin gelişimini engellemek için 4°C ya da 4°C’den daha az sıcaklıkta 3 gün depolanabilmektedir. Bu işlemde mikroorganizmaları yok etme faaliyetleri

%95'in altında olduğundan pastörizasyon uygulaması olarak değerlendirilmez. Çoğu uzman, termizasyon işleminin zararlı bakteriler üzerinde olumlu faktör olduğunun bilincindedir. Bu yüzden termizasyon işlemi gerçekten zorunlu olduğu durumlarda gerçekleştirilmeli ve en garantili işlem olarak pastörizasyon işlemi uygulanmalıdır (Gıda Gündemi Termizasyon İşlemi).

4. Kuru madde miktarı ayarlanması:

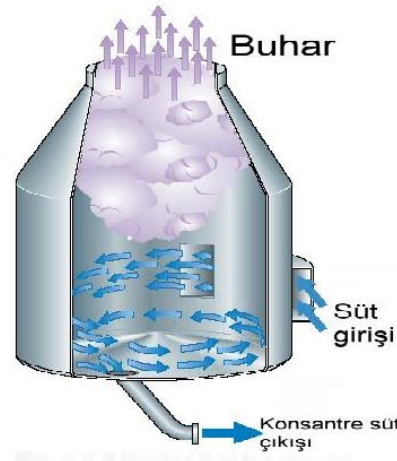
Yoğurt üretiminde kuru madde miktarının ayarlanması kaliteli ürün üretilmesi ve tüketicinin beğenmesi açısından önem taşımaktadır. Kullanılacak sütün yağsız kuru madde miktarı %12 olarak tahmin edilmekteyken GMT'de belirtilen ise %9-20 oranındadır. Bu oran %25'in üzerine çıktığında yoğurt bakterilerinin faaliyeti sınırlandırılmaktadır (MEB, 2011). Üretimde kullanılmak üzere tercih edilen koyun sütünün kuru madde miktarı %16 civarında olması nedeniyle, üretim sırasında kuru madde artırımı işlemine tâbi tutulma zorunluluğunu ortadan kaldırdığı için bu sütün kullanımı işletmeler tarafından tercih etmektedir (Özer, 2006).

Kuru madde miktarını ayarlama tekniği olarak en sık kullanılan vakum evaporasyon tekniğidir. Vakum evaporasyon tekniğinde, sütün kaynama sıcaklığı 65°C'ye düşürülerek 0.5-0.6 bar basınç altında suyunun buharlaştırılmasıyla yapılmaktadır (MEB, 2011). Kuru madde miktarının ayarlanması yoğurdun standart besin içeriğini oluşturmakta ve yoğurdun tadı, kalitesi ve fiziksel özellikleri bakımından önem kazanmaktadır (Bylund, 1995; Lucey ve Singh, 1998; Akın, 2006).

Bazı bakteriler 4°C altında da faaliyet gösterebilmektedir. Dolayısıyla yoğurdun bozulmasına sebep olmaktadır. Bu bakterilerin etkinliğini yok etmek için yoğurdun kuru madde miktarı arttırılmalıdır. Kuru madde miktarını arttırmada ısı pompası sisteminin kullanılabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2.8. Evaporatörün dış görünümü



Şekil 2.9. Evaporatörün iç görünümü (MEB, 2011)

Şekil 2.8’de ve Şekil 2.9’da kuru madde miktarı ayarlanmasında kullanılan evaporatörün iç ve dış görünümü görülmektedir.

Laboratuvarımızda kurulu olan TKIP sisteminde ısı pompası 60-65°C sıcaklık oluşturmaktadır (Çamdalı, 2011). Bu ısı pompası sütün düşük basınçta kaynatılarak suyunun uçurulması ve böylece kuru maddesinin artırılması işlemlerinde kullanılabilir. Yoğurdun raf ömrünü artırmak için yoğurta bulunan su miktarını azaltarak eskiye oranla uzun ömürlü olan “Yoğunlaştırılmış (Süzme, Torba) Yoğurt” halinde kullanmak Anadolu’nun ve Orta Doğu’nun birçok yerinde kapsamlı olarak kullanılan tek metottur (Kırdar ve Gün, 2002).

Yoğurdun kuru madde miktarını artırıp, kurutma yönteminin önemini vurgulamak açısından yoğurt üretimindeki kurutma aşamasından önce bir ön derişim işlemleri uygulanmalıdır (Tamime ve Robinson, 1999). Ön derişim işlemleri süzme, presleme, ayırma ve ultrafiltrasyon gibi fiziksel yöntemlerle suyun alınması ya da buharlaştırma yöntemiyle suyun alınmasıyla yapılabilmektedir (Kumar ve Mishra, 2004; Ozer vd., 1997; Chehade vd., 1992). Fakat fiziksel yöntemle yapılan kurutma işlemleri, yoğurtta vitamin, mineral, yağ ve aminoasit kaybına neden olmaktadır, buharlaştırma yöntemi ise yoğurtta aroma kaybına neden olmaktadır (Kumar ve Mishra, 2004; Groux, 1973; Nergiz ve Seckin, 1998).

Yoğurdun kuru madde miktarını artırmak için kurutmada birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler güneş kaynaklı kurutma, püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma, konvektif kurutma ve yeni kurutma yöntemi olarak mikrodalga kurutma şeklinde sınıflandırılabilir (Kumar ve Mishra, 2004; Rasic ve Kurman, 1978).

5. Homojenizasyon İşlemi:

Süt içerisinde heterojen karışım halinde bulunan yağ taneciklerinin normal durumunu koruyacak şekilde fiziksel bir işlem uygulanarak parçalanmasıyla homojenizasyon işlemi gerçekleşir (Gönç, 1990). Yağ fazıyla birlikte, sütü oluşturan bileşiklerin maddesel özelliklerinde önemli değişimlerde olmaktadır (Sharma ve Dalglish, 1993). Yağ taneciklerinin süt içerisinde eşit bir dağılım göstermesini sağlayan bu işlemle ürünün kalitesi doğrudan etkilenmektedir (Özünü ve Koçak, 2010). Taneciklerin boyutu 10-20 MPa basınçla yaklaşık 10 µm'den ortalama 1 µm'ye küçülmektedir (Savran, 2017).

Yoğurt üretiminde kullanılan süt, homojenizasyon işlemi için 60°C'ye kadar ısıtılmaktadır. TKIP sistemi sütün homojenizasyon işlemi sıcaklığı olan 60°C sıcaklığın elde edilmesi işlemi için kullanılabilirliği düşünülmektedir. Tek kademeli vanalı homojenizatör kullanılarak 5-20 MPa basınç değerlerinde yapılabilmektedir (Tunçtürk, 2000). Homojenizasyon işlemi mikrofluidizasyon uygulamasıyla da yapılmaktadır (Whitaley ve Muir 1996a, Whitaley ve Muir 1996b).

Homojenizasyon işlemine uğrayacak sütün ısıtma işleminden geçmesi gereklidir. Ayrıca ısıtma sıcaklığıyla ısıtma süresi arasında ters orantı vardır (Herdem, 2006). Bu işlemde üç farklı şekillerde basınç uygulanmaktadır. Bunlar, 38°C’de 5-30 kg/cm² basınç uygulanan düşük basınçlı homojenizasyon, 40-50°C’de 80-100 kg/cm² basınç uygulanan orta basınçlı homojenizasyon, 55-65°C’de 150-200 kg/cm² basınç uygulanan yüksek basınçlı homojenizasyon işlemidir (Rasic ve Kurmann, 1978). Homojenizasyon işleminin sonucunda yağ tanecik çapları küçülüp sayıları arttığından yani yüzey alanı arttığından güneş ışığını yansıtma da artmakta ve böylece yoğurt daha beyaz bir görünüm kazanmaktadır (Tamime ve Robinson, 1999).



Şekil 2.10. Homojenizatör

Şekil 2.10’da homojenizasyon işleminde kullanılan homojenizatör’ ün görseli görülmektedir.

6. Mayalama:

Kuru maddesi artırılmış ve pastörizasyona uğrayan süt mayalama sıcaklığına (45°C) kadar soğutulur ve *S. thermophilus* ve *L. bulgaricus* mikroorganizmaları mayalanma sıcaklığında özel mayalama tabancaları ile mayalama işlemi gerçekleşir. Mayalama işlemi süte %5 kadar taze yoğurt katılmasıyla da yapılabilir (Herdem, 2006). Mayalama işlemi sıcaklıkla en az 3 saat ve en fazla 18 saatte uygulanabilirken, yoğurt üretiminde yapılan mayalama 30°C sıcaklıkta uzun

mayalama veya 45°C sıcaklıkta kısa mayalama uygulaması olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. (Savran, 2017).

Ayrıca yoğurt üretiminde kullanılan *S. thermophilus* ve *L. bulgaricus* bakterileri sıcaklığı seven özellikte oldukları için yoğurt üretiminde kullanılan süte uygulandıklarında sütteki laktozun parçalanması ve dönüştürülmesiyle meydana gelen laktik asit, sütün pH değerini düşürmektedir. Mayalanmadan sonra pH değeri 3.8-4.2 oranına kadar düşmesiyle yoğurttaki zararlı bakteriler (*Escherichia coli* ve *Enterobacter earogene* gibi) etkinliğini kaybetmektedir (Okçu, 2007).

7. Ambalajlama:

Ambalaj, içinde bulundurduğu ürünü koruyan, hijyenik kalmasını sağlayarak taşınmayı kolaylaştıran ve ürünün reklamını yapan kıymetli bir malzemedir (Konus, 2018). Ambalajlama ise, ürünün üretim sürecinde ve pazarlanmasında tüketicinin ilgisini çekecek ve güvenini sağlayarak olumlu bir etki bırakacak ve üzerinde ürünle alakalı her türlü bilginin bulanabileceği şekilde tasarlanan sargılama işlemidir (Kotler, 2000).

Yoğurdun ambalajlama aşamasında ahşap, cam, plastik, paslanmaz çelik, bakır, toprak, gibi değişik ısıl iletkenliği ve hava geçirgenliği olan malzemeler kullanılabilir (MEB, 2011).

Ahşap Malzemeler: Yoğurt, pekmez, tarhana gibi gıdaların konulduğu kapaklı tahtadan yapılan malzeme türüdür (Akman, 2004). Yüksek dayanımlı ve organik yapılı olmasından dolayı çok eskilerden beri kullanılmaktadır (Yeni ve Çetin, 2015). Bu tür malzemeler yüzeyinde girinti-çıkıntıya sahip olması nedeniyle ısıl iletkenlikleri diğer tür malzeme çeşitlerine göre daha yüksektir (Öztürk vd., 2017).

Cam Malzemeler: Dışarıdan veya camdan ürüne zararlı mikroorganizma bulaşmasını önleyen malzeme türüdür. Darbelere karşı dayanımsız olması muhafaza edilmesinin zor olması gibi sebeplerden dolayı tüketiciler tarafından cam malzemeli yoğurtlar fazla tercih edilmez (MEB, 2011).

Plastik Malzemeler: Tüketiciler tarafından en çok bu malzemeyle ambalajlanan yoğurtlar tüketilmektedir. Plastik malzemeler durağan özellik göstermesi ile üretim sürecinde kap yüzeyi ve içinde yoğurda zarar verecek mikroorganizmaların olmaması şartıyla yoğurtta tat değişimine sebep olmamaktadır (MEB, 2011).

Paslanmaz Çelik Malzemeler: Cam malzeme ve plastik malzemeyle yapılan yoğurt ambalajlamasına göre kullanımı daha az olmakla birlikte kaymaklı yoğurt ambalajlamasında büyük firmalar kullanmaktadır (MEB, 2011).

Bakır Malzemeler: Bakır doğada çok kolay ve fazla bulunabilen bir maden olduğu için kullanımı çok yaygınlaşmıştır. Günümüzde bakırdan yapılan kaplar, mutfak eşyası olarak gıdaların pişirilmesinde ve saklanmasında kullanılmaktadır. Bakır kapların iç yüzeyleri çabuk oksitlenerek insan sağlığına zarar verdiği için dolayı kalay ile kaplanarak kullanılmaktadır (Diyarbakırlıoğlu, 2010). Yayla ve köy gibi kırsal alanlarda geleneksel yöntemle yapılan yoğurtlarda bakır kaplar kullanılmaktadır. Ayrıca bakırın şekil alma kolaylığı ve korozyona karşı dirençli olmasıyla iyi bir ısı iletkenlik göstermesi bakır malzemelerin endüstriyel üretimde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Barlas, 2017). Üstün özelliklerinden dolayı malzeme yapımında sıklıkla kullanılmaktadır.

Toprak malzemeler: Evlerde geleneksel yöntemle yapılan yoğurtlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

8. İnkübasyon

Kültür eklenen sütün yoğurda dönüşüncüye kadar 42-44°C'de 3-4 saat kadar bekletilmesi işlemidir. Bazı süt endüstrilerinde inkübasyon işlemi 37-39°C'de yapıldığı gözlemlenebilir (Yaygın, 1999). İnkübasyon işleminden sonra süt istenilen şekilde yoğurt halini alır (Herdem, 2006). Yoğurdun inkübasyon sıcaklığının (42°C) altında olması *S. thermophilus* bakterilerinin oranını artırmasıyla ekşimsi bir tat oluşturmasına sebep olur (İnal, 1990). Ayrıca inkübasyon sıcaklığının düşük olması yoğurtta yapı kusurunun artmasına (serum ayrılması) neden olmaktadır (Güven vd.,

1997). Kaliteli bir yoğurt üretmek için inkübasyon işleminin ne zaman sonlandırılması gerektiği bilinmelidir. Gelişmiş süt endüstrilerinde özel pH metreler kullanılarak yoğurdun pH ölçümü yapılmasıyla inkübasyonun sonu belirlenmektedir (İnal, 1990; Göncü, 1995; Yaygın, 1999; Demirci vd., 1997). İnkübasyon genellikle pH değeri 4.7-5.0 olduğunda son bulmaktadır (Yaygın, 1999).



Şekil 2.11. İnkübasyona bırakılan yoğurtlar (İkizler Süt Fabrikası'ndan)

Şekil 2.11'de inkübasyon odasında inkübasyona bırakılan yoğurtlar görülmektedir.

9. Soğutma:

İnkübasyon işleminden sonra oluşan yoğurdun asitliğini dengelemek ve bozulmasını önlemek amaçlı ortalama 40°C'den 5°C'ye düşürme işlemine soğutma adı verilir (Herdem, 2006). Soğutma aşamasında yoğurt bakterilerinin işlevlerini kontrol etmek ve zararlı mikroorganizmaları pasifleştirmek amacıyla yoğurt 10°C sıcaklığın altına soğutulmak zorundadır (Atamer ve Sezgin, 1987). Yoğurdun asitliğini azaltmak için ise soğutma süresi azaltılıp hızlı soğutma işlemi yapılmaktadır (Güven vd., 1997). Soğutma işlemiyle yoğurdun aroma içeriği

korunmaktadır (Gönç, 1995). Yoğurt soğutma süreci tek veya iki aşamalı olmaktadır (MEB, 2011).

Tek Aşamalı: Mayalanmış ürünün doğrudan 10 °C'nin altına düşürme aşamasıdır. Temel amaç, mayalanmanın ardından yoğurda herhangi bir dış etki uygulanması halinde tekstürel yapıyı muhafaza etmektir (Milli Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi Dersi, 2011).

İki Aşamalı: Gıda sanayinde en çok kullanılan soğutma aşamasıdır. Mayalanmış ürün inkübasyondan sonra sıcaklığı ortalama 20-24°C civarına soğutulduktan sonra 5°C sıcaklığın altına düşürülerek depolama işlemi gerçekleştirilerek yapılmaktadır. Bu aşamalı soğutmanın ilk aşamasında, inkübasyon odasına yerleştirilen havalandırma sistemi ile soğutma yapılmaktadır. Daha sonra ikinci aşama olarak, yoğurtların soğuk hava deposuna götürülmesiyle soğutma işlemi gerçekleşmektedir (MEB, 2011).

Üç Aşamalı: Ön soğutma, gerçek soğutma ve depolama aşamalarından oluşmaktadır. Ön soğutmada, soğutma işlemi pH=5.3-5.0'deyken başlanmakta bu esnada sıcaklıkta ortalama 43°C'den yaklaşık 38°C'ye düşmektedir. Gerçek soğutmada sıcaklık ortalama 38°C'den yaklaşık 20°C'ye düşmekte ve pH değeride en az 4.5 olmaktadır. Depolama aşamasında, sıcaklık ortalama 20°C'den yaklaşık 10°C'nin altına düşmekte ya da 4°C sıcaklığa sahip odalarda tüketilinceye kadar depolanmaktadır (Yaygın, 1999).

10. Yoğurdun depolanması ve soğuk zincirde taşınması:

Yoğurt içerisinde zararlı mikroorganizmaların yaşamasını kısıtlayıcı faktörlerden en önemlisi depolama sıcaklığıdır. Üretilen yoğurdun içerisindeki mikrobiyal faaliyetin durdurulması, yoğurdun besin özelliğinin bozulmadan korunması ve ayarlanmış pH'nın sabit tutulması için yaklaşık 4-6°C civarında bir soğuk ortamda depolanması gerekmektedir (Atasever, 2004). Daha düşük sıcaklıklarda (3°C) depolanan yoğurtlarda bile bazı özelliklerinde değişimler gözlemlenmiştir (Abrahamsen, 1978). Yoğurdun sert ve kıvamını almış bir halde

tüketicie sunulması için soğutma işleminin ardından en az 10-12 saat depolanması gerekmektedir (Akalan, 2011).

Depolama boyunca yoğurt kutularının hareketi engellenmeli, hava akımı sağlanmalı, sıcaklık dalgalanmaları önlenmeli ve en fazla 48 saat bekletilmelidir (Herdem, 2006).

Standart şartlarda üretilen yoğurtların depolanma süresi; 7-10°C’de 1 haftadan az, 5°C’de 1-2 hafta, 0-1°C’de 3-6 hafta kadar depolanması muhtemel olmaktadır (Üçüncü, 1983).

Yoğurttaki sıvı miktarın katı miktara kıyasla fazla olması yani su aktivitesinin yüksek olması, depolama için gerekli olan düşük sıcaklık koşullarında da bakterilerin faaliyetlerinin tamamen durdurulmaması gibi birtakım faktörler yoğurdun raf ömrünü kısıtlamaktadır (Kırdar ve Gün, 2002).

Koyulaştırılmış ve kurutulmuş süt ve mamullerinin depolanması sürecinde TKIP sisteminin soğutma işlemlerinden yararlanılabilir (Üçüncü, 1983).



Şekil 2.12. Yoğurtların soğuk havada depolanması (İkizler Süt Fabrikası’ndan)

Şekil 2.12’de soğuk hava depolarına bırakılan yoğurtlar görülmektedir.

Soğuk hava depolarından taşınmak üzere alınan yoğurtların duyuusal özelliklerini korumak, raf ömrünü uzatmak için soğuk zincirde yoğurdun taşınması sırasında pıhtı yapısının korunması ve serum proteinlerinin parçalanmaması amacıyla depolanma aşamasında olduğu gibi yoğurt kutularının hareketi engellenmelidir. Yoğurt kutuları sıcak aylarda frigorifik araçlarla soğuk aylarda izole edilmiş araçlarla satışa sunulacak yerlere taşınmalıdır (Yaygın, 1999).



Şekil 2.13. Frigorifik araç

Şekil 2.13’de yoğurdun satışa sunulacak yerlere taşınmasında kullanılan frigorifik aracın içten görünümü bulunmaktadır.

Yoğurt üretimi üzerine yapılan araştırma sonucunda çiğ süt, ısısal işlem görmüş süt, yoğurt ve diğer koyulaştırılmış ve kurutulmuş süt mamulleri üretiminde ısı pompasının ısıtma ve soğutma özelliklerinden yararlanılabileceği öngörülmüştür.

2.3 Yoğurt Tozu

Yoğurt tozu birçok değişik yöntemle üretilmektedir. Bunlardan bir tanesi buharlaştırma yöntemidir (Koç vd., 2008). TKIP sisteminin ısıtma modunda dışarıya verdiği yaklaşık 60°C sıcaklıktaki havayla buharlaştırma yaparak yoğurt tozu üretimi yapılabileceği düşünülmektedir.

Yoğurt, soğuk ortamda muhafaza edilmesi gereken bir ürün olması, raf ömrünün de yoğurt tozuna göre çok kısa olması ve yoğurt tozunun yoğurda göre düşük paketlenme ve depolama maliyetinin olması gibi sebeplerden dolayı yoğurdun kurutularak muhafaza edilmesi amaçlanmaktadır (Koç ve Sakin, 2009). Yoğurt tozu, bugün gelişmekte olan ülkelerde çok yaygın bir şekilde kullanılmakta ve yoğurt tozuna su katılarak yeniden yoğurt olarak ya da yoğurt mayası olarak kullanılabilir (Tamime ve Robinson, 1999).

2.4 Yoğurt Üretiminde Enerji Verimliliği

Bu kavram kaynakların üretim aşamasından tüketimine kadar geçen süreçte en yüksek faaliyette kullanılmasına imkân sağlayabilmesi şeklinde tanımlanırken başka bir ifadeyle ise; her türlü etkinlik için enerjide meydana gelen kaybı ifade eder (Koç Üniversitesi, 2012, s.21).

Gıda endüstrisinde süt ve süt ürünleri üretimi gibi birçok üretim çeşidi bulunur (Wang, 2009). İşletmelerde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla enerji analizi ve ekserji analizi yapılır ve işletme tesislerinde hammadde kaynağı tüketime sunulacak ürüne dönüşüm sürecinde enerjiden yararlanır. Enerji verimliliği üretim bandının türüne ve yapılan işleme göre değişiklik gösterir. Gıda işletmelerindeki temel enerji tüketimi termodinamiğin 1. yasasına göre ($Q - W = \Delta$) analizinin yapılabileceği elektrik enerjisi ile üretim sürecinde buhar kullanılması esasına dayanmaktadır. Enerji tüketim süreçleri ise arıtma, standardizasyon, ısıtma işlem, homojenizasyon, ısıtma, soğutma vb. aşamalardan oluşmaktadır (Taner, 2013).

Süt ve süt ürünleri üreten işletmelerde enerjinin en çok harcandığı yerler açısından inceleme yapıldığında arıtma, pastörizasyon, ısıtma-soğutma üniteleri, paketlenme makineleri gibi yerler gösterilebilmektedir. Enerji kaybına bakıldığında pompalar ve borularda enerji kaybının çok olduğu gözlemlenmiştir. Bu enerji kaybını azaltıp enerji verimliliğini sağlamak için bu kaybolan enerjiyi tekrardan faydalı enerji olarak değerlendirmek gerektiği kaçınılmaz olmaktadır (Yetişmeyen, 1985).

Bolu merkezde üretim yapan küçük ölçekli, günlük ortalama 2 ton süt işleme kapasiteli firmanın ısıtma ve soğutma işlemlerinin yanında diğer tüm elektrik giderleri 7500 TL/ay şeklinde ve enerji tüketim bedeli de 11217 kWh/ay şeklinde fatura edildiği görülmüştür. Bu firmadan alınan değerlerden elde edilen sonuçlardan günlük yoğurt üretiminde harcanan enerji miktarı ve üretim maliyeti ile 1 kg yoğurt üretiminde harcanan enerji miktarı ve üretim maliyeti bulunmuştur.

2019 yılı mart ayında toplamda 70550 kg ürün üretilmiş ve bu üretimin içinde yoğurt miktarı ise 50000 kg olarak belirlenmiştir. Buradan;

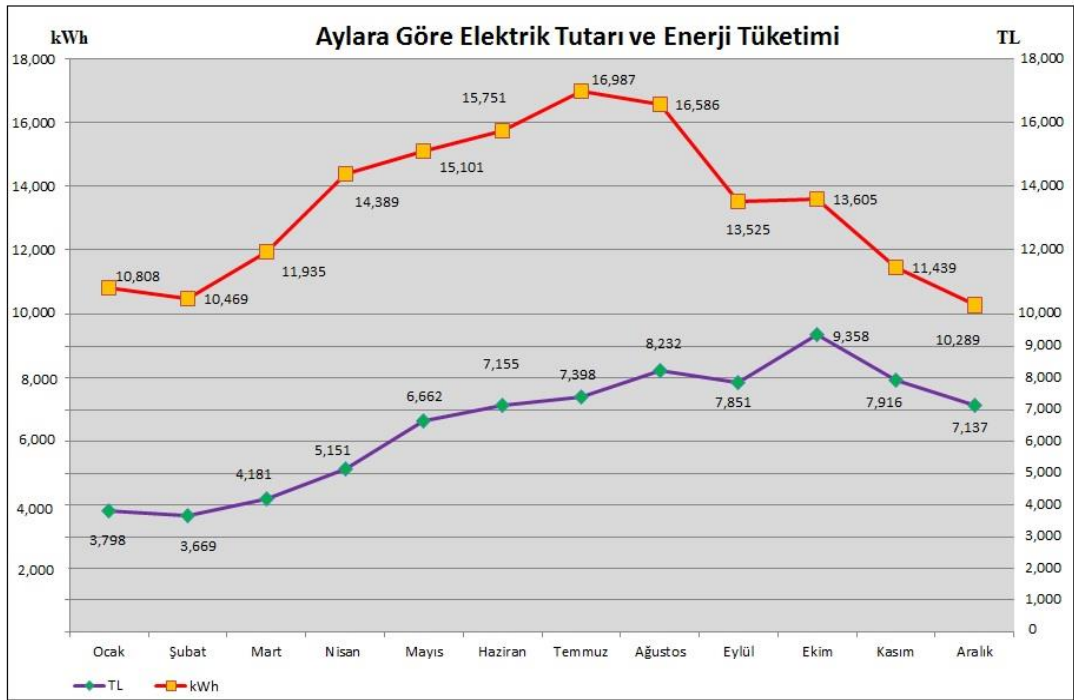
Toplam üretim içindeki yoğurt oranı 0.708 bulunurken;

Günlük yoğurt üretim maliyeti 204.23 tl/gün

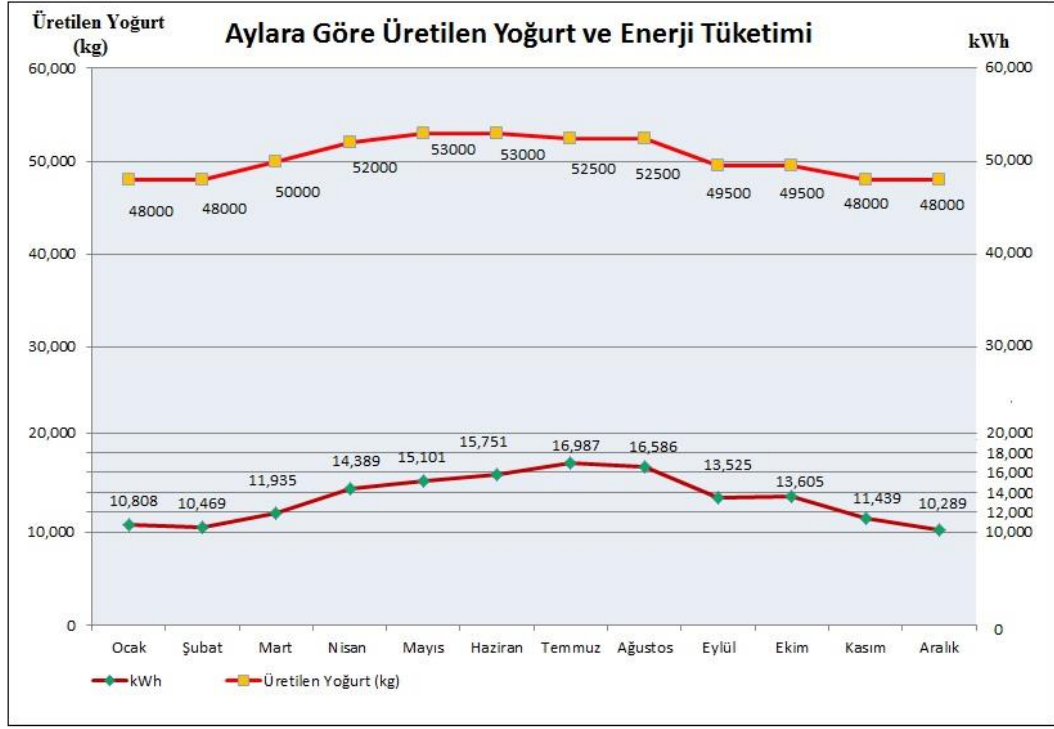
Günlük yoğurt üretimi için harcanan elektrik enerji maliyeti 305.45 kWh/gün

1 kg yoğurt için üretim maliyeti 0.106 tl/kg

1 kg yoğurt üretimi için harcanan elektrik enerji miktarı 0.159 kWh/kg



Şekil 2.14. Küçük ölçekli bir işletmenin 2019 yılında harcanılan enerji ve maliyet grafiği



Şekil 2.15. Küçük ölçekli bir işletmede üretilen yoğurt miktarı ve harcanılan enerji grafiği

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Deneysel Isı Pompası Çalışma Cihazı

Deneysel Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Laboratuvarındaki (Şekil 3.1) ısı pompası cihazıyla yapılmıştır. Isı pompası deney cihazı toprak altı ısı değiştiricileri, ısı pompası sistemi ile ısıtıcı fanlardan meydana gelmektedir.



Şekil 3.1. Deneysel ısı pompası sisteminin farklı açılardan görüntüsü

Deneysel ısı pompası cihazının bölümleri;

- Gaz Devresi: Sistemde soğutucu akışkan gaz olarak dolaşan R-134a soğutucu akışkan kimyasal formülü ($C_2H_2F_4$) olan çevreye karşı duyarlı,

yanıcı özellikte, hafif kokulu, renksiz, performans değerleri yüksek olan ve soğutma uygulamalarında sıklıkla kullanılan (Şekil 3.2) bir gazdır (Ashrae, 2005). Kullanılan deney düzeneğinde; kompresör, yoğuşturucu+fan, genişleme valfi+orifis, plakalı eşanjör (buharlaştırıcı), kurutucular, 4 yollu selenoid valf, basınç göstergeleri, gözetleme camı, termostat ve dijital termometre bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Soğutucu akışkan (R-134a)

- b. TID Devresi: Antifiriz, sirkülasyon pompası, yatay tip olarak yerleştirilmiş plastik borular, pirinç kolektörler ve küresel vanalardan oluşmaktadır.

3.1.2 Deney Cihazında Kullanılan Elemanlar

TID devresi toprak altına yatay olarak yerleştirilen 20mm çapında plastik borular, sirkülasyon pompası (Şekil 3.3) ve su-antifiriz karışımından oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Sirkülasyon pompası

Topraktan gelen antifirizli suyun ısısını plakalı ısı değiştirici (buharlaştırıcı) (Şekil 3.4) vasıtasıyla soğutucu akışkana (R-134a) aktarmaktadır.



Şekil 3.4. Plakalı ısı değiştirici (Buharlaştırıcı)

Isıtılan yoğurt tarafı termostatik tip genleşme valfi (Şekil 3.5), Kompresör (Şekil 3.6), Yoğuşturucu (Şekil 3.7) oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Genleşme valfi



Şekil 3.6. Kompresör

Kompresör

Cihazda kullanılan kompresör scroll tip kompresördür. Bu tip kompresörler çalışma mantığı açısından geleneksel ve alternatif kompresörlerden çok farklıdır. Biri diğerinin içinde olacak şekilde 2 spiralden oluşmaktadır. Spirallerden üstteki sabit kalmakta alttaki ise mile monte edildiğinden lineer olarak hareketini gerçekleştirmektedir (Gözütok, 2019).

Kompresörün deney cihazındaki işlevi akışkan basınç ve sıcaklığını artırarak sirkülasyonunu sağlamaktadır (Gözütok, 2019). Kullanılan kompresör 242 mm genişlik, 363 mm yükseklik, 242 mm uzunluğunda 27.2 kg kütleyle sahiptir. Kompresör tahrikinde 1.865 kW güç kullanılmaktadır.

Yoğuşturucu

Kompresörde sıcaklık ve basıncı yükseltilecek akışkan kızgın buhar durumunda yoğuşturucuda yoğuşturulmaktadır. Yoğuşma boyunca akışkan kompresör ve buharlaştırıcıdan aldığı ısıyı antifrizli suya aktarmaktadır (Gözütok, 2019). Yoğuşturucunun dış yüzeyi strafor ile izole edilerek (Şekil 3.7) önünde kabin oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. Yoğuşturucu

Genleşme Valfi

İş yapan akışkanın buharlaştırıcıya aynı şartlarda girebilmesi amacıyla basınç ve sıcaklığının azaltılarak düşük basınç ve sıcaklığa genişletilmesinde ve ayrıca buharlaştırıcıya verilen akışkan miktarının ayarlanmasında kullanılmaktadır (Gözütok, 2019). Deney cihazında kullanılan genleşme valfi otomatik çalışan termostatik tip genleşme valfidir.

Plakalı Isı Değişirici (Buharlaştırıcı)

TID’da dolaşan antifrizli suyun ısısını alarak bünyesinde dolaştırdığı R-134a soğutucu akışkanına bu ısıyı aktarmak için kullanılmaktadır. İşlevi soğutkana ısıyı aktararak buharlaşmasını sağlamaktır.

Günümüzde yüksek sıcaklıkta çalışan ısı pompaları için yeterli buharlaşma sıcaklıkları altında çalışabilecek kabuklu ve pirinçli ısı değiştiricileri kullanılmaktadır (Lim vd., 2018).

Yardımcı Elemanlar

Soğutucu akışkanı izlemek için gözetleme camı bulunmakta, 4 yollu selenoid valf (Şekil 3.8) kompresörün uygun kapasiteyle kontrollü çalışmasına olanak sağlamaktadır. Sistemde bulunan bir başka eleman olan kurutucuların (Şekil 3.9) işlevi ise sistemde bulunan nemi emerek buharlaşma sıcaklığı eksi değerleri gördüğünde nemin donarak sistemi tıkatmasının önüne geçmektedir.



Şekil 3.8. 4 Yollu Selenoid Yön Kontrol Valfi



Şekil 3.9. Kurutucular

Ayrıca sistemde soğutucu akışkanın ve antifrizli suyun basıncını gösteren basınç göstergeleri (Şekil 3.10), kompresöre giren soğutucu akışkanın basıncını ayarlayan basınç anahtarı (Şekil 3.11), antifrizli suyun hacmini gösteren su sayacı (Şekil 3.12), deneyde ölçüm sonuçlarını görmemize katkı sağlayan veri kaydedici (Şekil 3.13) ve bu veri kaydediciye verileri gönderen termostat, oda sıcaklığını ölçen dijital termometre, soğutucu akışkanın dolaştığı bakır borular bulunmaktadır.



Şekil 3.10. Basınç göstergeleri (Manometreler)



Şekil 3.11. Basınç anahtarı



Şekil 3.12. Su sayacı



Şekil 3.13. Veri kaydedici

3.2Yöntem

3.2.1 Enerji Analizi

Deneysel çalışmadan elde edilen hesaplamalar aşağıda verilen denklemlerden bulunmaktadır.

Kompresörün soğutucu akışkanı sıkıştırmak için harcadığı güç denklem (3.1) ile ifade edilmektedir.

$$\dot{W}_{kp} = I_{kp} V_{kp} \sqrt{3} \cos \phi \quad (3.1)$$

Buradaki;

I_{kp} = Kompresörün çektiği akım

V_{kp} = Kompresör gerilimi

$\cos \emptyset$ = Kompresör faz açısı

Kompresörün harcadığı elektrik enerjisi denklem (3.2) ile ifade edilmektedir.

$$\dot{W}_{ke} = IV \cos \emptyset \quad (3.2)$$

Buradaki;

I = Kompresörün çektiği elektrik akımı

V =Elektrik gerilimi

Sistemde kullanılan soğutucu akışkanın kütle debisi denklem (3.3) ile ifade edilmektedir.

$$\dot{m}_{R134a} = V_{dep} \frac{\lambda}{v_1} \quad (3.3)$$

Buradaki;

V_{dep} = Kompresörün deplasman hacmidir. Bu değer copeland scroll kompresör kataloğundan 0.008 m³/h olarak elde edilmektedir.

λ = Emme oranıdır. Sistemde kullanılan kompresör için 0.7 olarak alınmaktadır.

v_1 = Soğutucu akışkanın özgül hacmidir. Termodinamik tablosundan elde edilmektedir.

Yoğuşturucunun süte verdiği ısı miktarı denklem (3.4) ile ifade edilmektedir.

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_{süt} c_{psüt} (T_{süt,ç} - T_{süt,g}) \quad (3.4)$$

Antifiriz+su karışımından buharlaştırıcıya verilen ısı miktarı denklem (3.5) ile ifade edilmektedir.

$$\dot{Q}_{kar} = \dot{m}_{kar} c_{pkar} (T_{kar,g} - T_{kar,ç}) \quad (3.5)$$

3.2.2 Performans Analizi

Buhar döngülü-levhalı ısı pompası sistemlerinde iyilik dereceleri (COP) adı verilen denklem (3.6) performans katsayısı ile ölçülmektedir. Performans katsayısı ise yoğuşturucunun ortama attığı ısının kompresörde harcanan işe oranına eşittir. Yapılan bu deneyde ısı pompasının yoğuşturucusundan ısıtma ortamına atılan ısı pastörize sütün ısıtılması ve soğutulması için kullanılmaktadır (Ekinci, 2007).

Isı Pompasının Performans Katsayısı (COP):

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{W}_k} = \frac{\dot{m}_{süt} c_{psüt} (T_{süt,ç} - T_{süt,g})}{\dot{W}_k} \quad (3.6)$$

Sisteme giren net iş, sirkülasyon pompasının harcadığı iş ile kompresöre verilen işin toplamıyla elde edilmektedir. Yoğuşturucudan süte atılan ısı miktarı ısıtma ve soğutma için enerji kazancını oluşturmaktadır. Enerji kazançları ile enerji giderleri birlikte düşünüldüğünde sistemin toplam performans katsayısı denklem (3.7) ile ifade edilmektedir.

$$COP_S = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{W}_k + \sum \dot{W}_p} = \frac{\dot{m}_{süt} c_{psüt} (T_{süt,ç} - T_{süt,g})}{\dot{W}_k + \dot{W}_{ke} + \dot{W}_{sp}} \quad (3.7)$$

Isı pompası sisteminin diğer sistemler ile karşılaştırılması için ısı pompası sisteminin birincil enerji oranının bulunması gerekmektedir. Birincil enerji oranı ise denklem (3.8) ile ifade edilmektedir.

$$BEO = \eta_t COP_{ip} \quad (3.8)$$

Buradaki;

η_t = Kompresörü çalıştırmak için kullanılan elektriği üreten santralin verimidir. Bu değer enerji kayıpları hesaplandıktan sonra 0.5 olarak hesaplanmaktadır.

Isı pompası sisteminin enerji geri kazanım oranı ise denklem (3.9) ile ifade edilmektedir.

$$E_{pe} = 100 \left(1 - \frac{BEO_1}{BEO_2} \right) (\%) \quad (3.9)$$

Buradaki;

BEO_1 = Konvansiyonel sistemlere ait birincil enerji oranıdır. Bu oran 0.7 alınmıştır.

BEO_2 = Isı pompası sistemine ait birincil enerji oranıdır. (Denklem 3.8) ile ifade edilmektedir.

3.2.3 Deneylerin Yapılışı

Toprak altına yatay şekilde yerleştirilen plastik boruların içerisinde dolaşan antifiriz+su karışımı sirkülasyon pompası aracılığıyla çevrimini sağlamaktadır. Daha sonra sistemde bulunan plakalı ısı değiştiricisine kadar gelen antifiriz+su karışımı ısıyı soğutucu akışkana aktarmaktadır. Bu işlemden sonra antifiriz+su karışımı toprağa geri gönderilmektedir. Bu çevrim ile ısıtılacak ve soğutulacak olan süte yoğuşturucudan ısı aktarılmaktadır (Ekinci, 2007). Ayrıca deneyde kullanılan süt pastörizasyona uğramış günlük olarak satılan doğal süttür. Üniversitemizin yaşam merkezinde bulunan bir süpermarketten satın alınmıştır.

Deney aşamasında, ısıtma ve soğutma konumundaki sıcaklıklar, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu basıncı, antifiriz+su karışımının debisi, oda sıcaklığı ölçülmektedir. Deneyler yapılırken datalogger'dan ölçülen sonuçlar 10'ar dakika ara ile alınmaktadır.

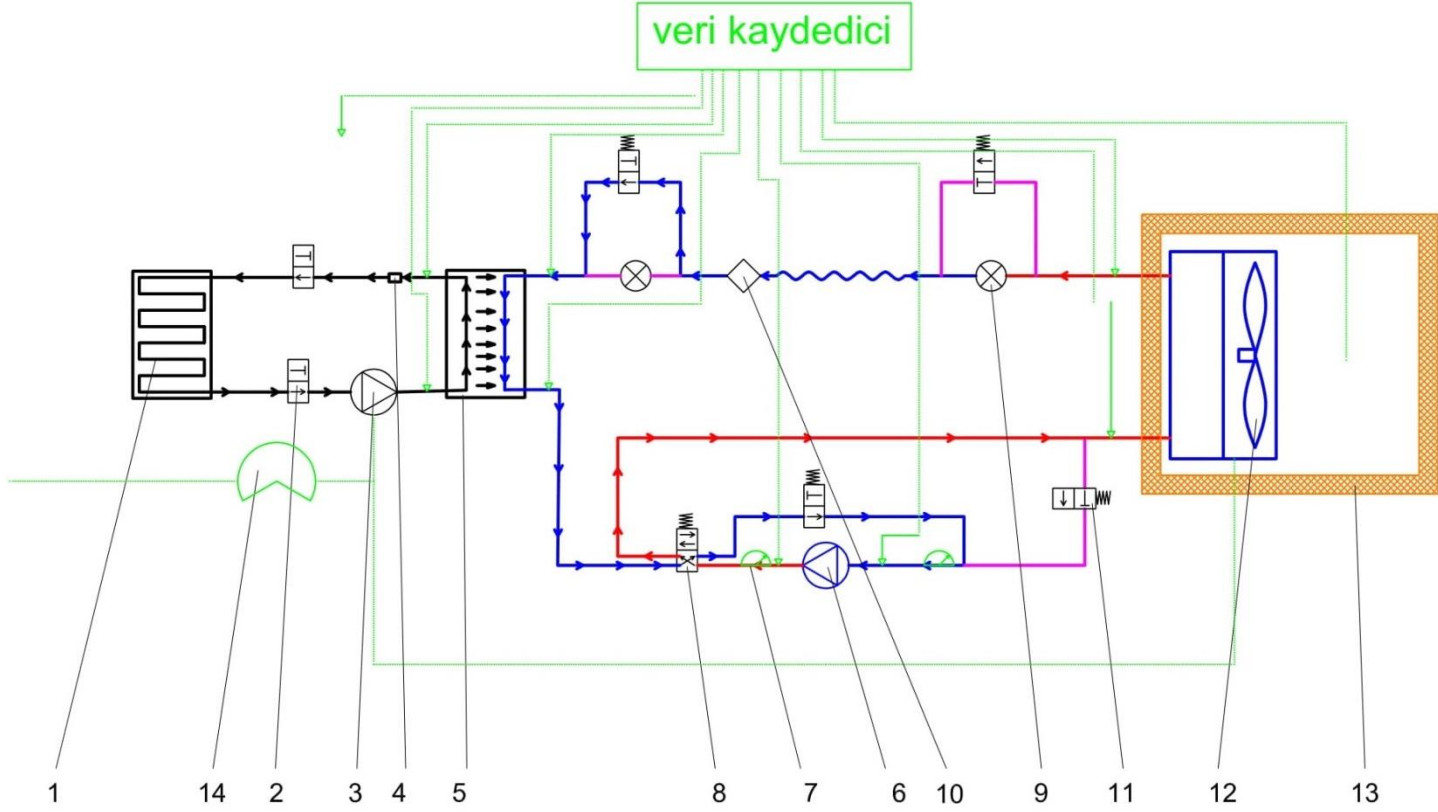
Sistem çalışmaya başladıktan sonra aşağıdaki ölçümler alınmıştır:

- a. Buharlaştırıcı basıncı (bar)
- b. Yoğuşturucu basıncı (bar)
- c. Kompresör giriş-çıkış sıcaklığı (°C)
- d. Yoğuşturucu giriş-çıkış sıcaklığı (°C)
- e. Buharlaştırıcı giriş-çıkış sıcaklığı (°C)

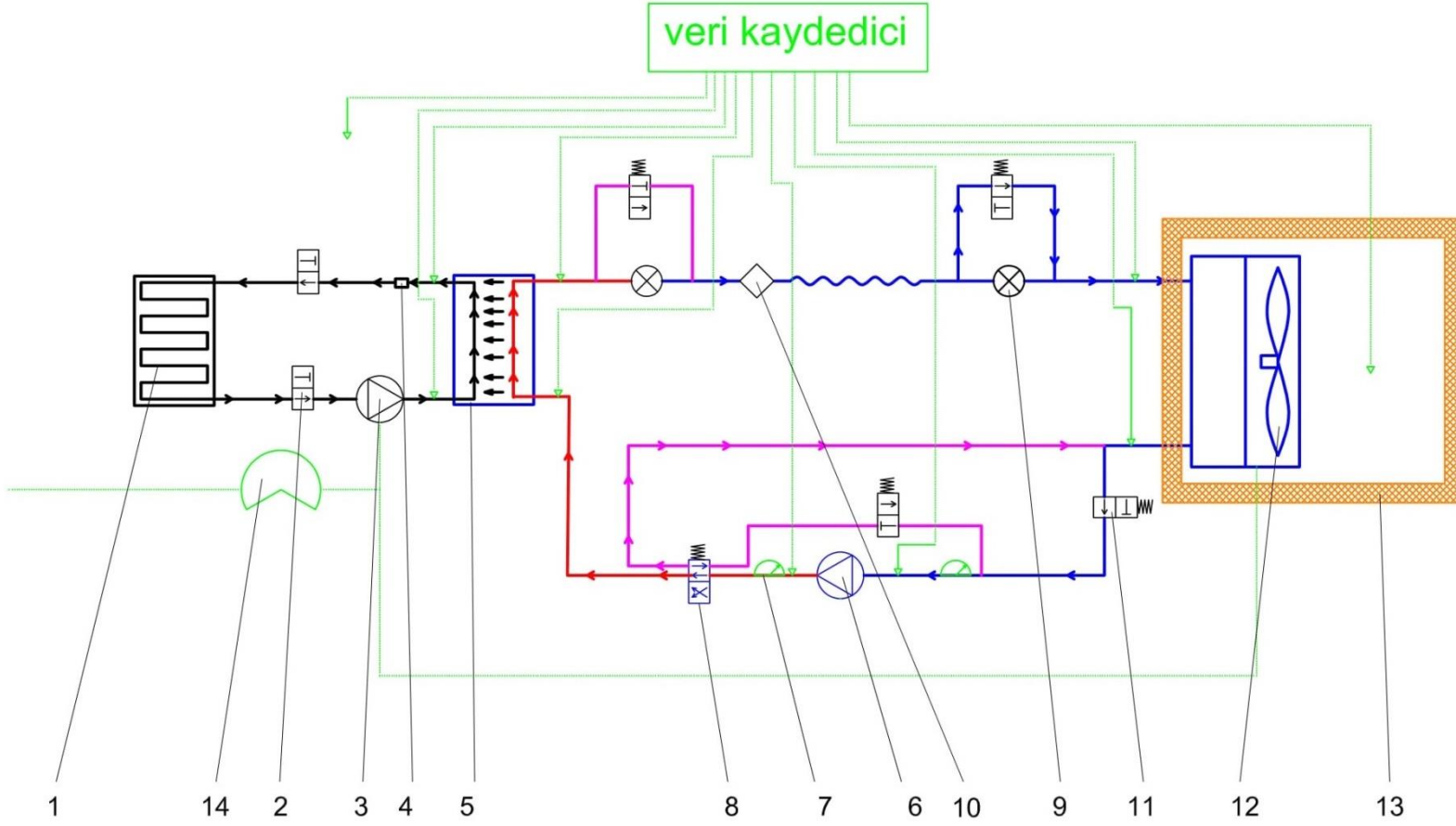
- f. Toprak altından gelen antifiriz+su karışımının plakalı ısı değiştiricisine giriş-çıkış sıcaklığı (°C)
- g. Antifiriz+su karışımının debisi (m³/s)

Sistemde alınan ölçüm sonuçlarına göre enerji analizi yapılmış ve performans katsayıları hesaplanmıştır.





Şekil 3.14. TKIP'ın sütü ısıtma modunda şematik diyagramı



Şekil 3.15. TKIP'ın sütü soğutma modunda şematik diyagramı

Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te verilmiş olan ısı pompası sistemlerinde numaralandırılmış olan ekipmanların açıklaması aşağıda verilmiştir.

1. TID
2. Musluk kollektörü
3. Sirkülasyon pompası
4. Su sayacı
5. Plakalı ısı değiştirici (buharlaştırıcı)
6. Kompresör
7. Basınç göstergeleri
8. 4 yollu selenoid yön kontrol valfi
9. Genleşme valfi
10. Gözetleme camı
11. Açma-kapama valfi
12. Yoğuşturucu
13. Yalıtımlı kabin
14. Güç kaynağı

Sistemin Sütü Isıtma Modunda Çalışma Prensibi

Toprak ısı değiştiricisinde dolaşan antifiriz+su karışımı buharlaştırıcıda ısınıp soğutucu akışkana aktardıktan sonra 4 yollu selenoid yön kontrol valfi ve açma kapama valfinden geçerek kompresöre girmekte ve buradan yüksek sıcaklık ve basınçta çıkarak yalıtılmış kabin içerisindeki yoğuşturucu aracılığıyla ısınıp pastörize süte aktardıktan sonra genleşme valfinde düşük sıcaklık ve basınçla genişletilmekte ve buharlaştırıcıya gelerek bir çevrimini tamamlamaktadır.

Sistemin Sütü Soğutma Modunda Çalışma Prensibi

Yalıtılmış kabin içerisindeki süttten ısıyı çekerek açma kapama valfinden geçip kompresöre giren soğutucu akışkan yüksek sıcaklık ve basınçta çıktıktan sonra 4 yollu selenoid yön kontrol valfinden geçerek buharlaştırıcıda toprak ısı değiştiricisinde dolaşan antifiriz+su karışımına üzerindeki ısı enerjisini aktardıktan sonra genleşme valfinde düşük sıcaklık ve basınçla genişletilmekte ve yoğuşturucuya gelerek bir çevrimini tamamlamaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

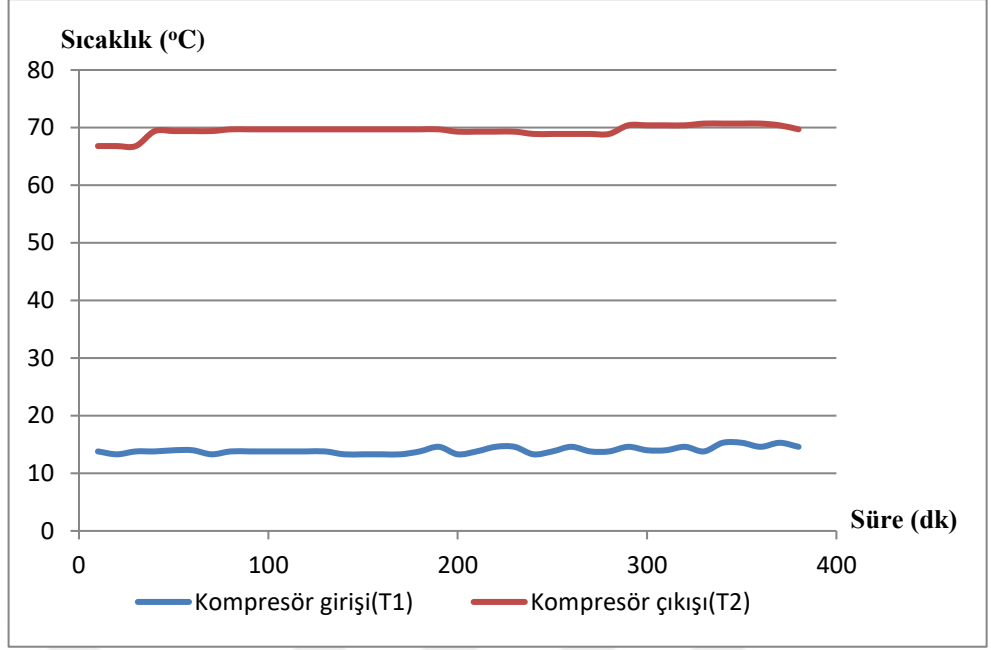
TID’da dolaşan antifiriz+su karışımının topraktan aldığı ısıyı, ısı pompası sistemine vermesiyle gerçekleştirilen yoğurt üretim süreci enerji laboratuvarındaki ısı pompası deney cihazıyla yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada kullanılan ölçüm sonuçları 2019 yılının Mayıs ayında TKIP sistemi kullanılarak 10’ar dakika arayla ölçümü alınmak istenen noktalara termokupllar yerleştirilerek alınmış ve çalışma sonucunda aşağıdaki parametre verileri elde edilmiştir.

Bu araştırmada TKIP sisteminin kurulu bulunduğu odanın ısı yalıtımsız olması ve sistemin çok eski teknolojiyle yapılmış olması gibi sebeplerden dolayı standartlara yakın değerlerde kaliteli ve düşük enerji tüketimiyle süttten yoğurt üretim sürecindeki ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılabilmesini sağlamak amacıyla bir çalışma yapılmıştır.

4.1 TKIP Sisteminden Elde Edilen Sıcaklık Grafikleri

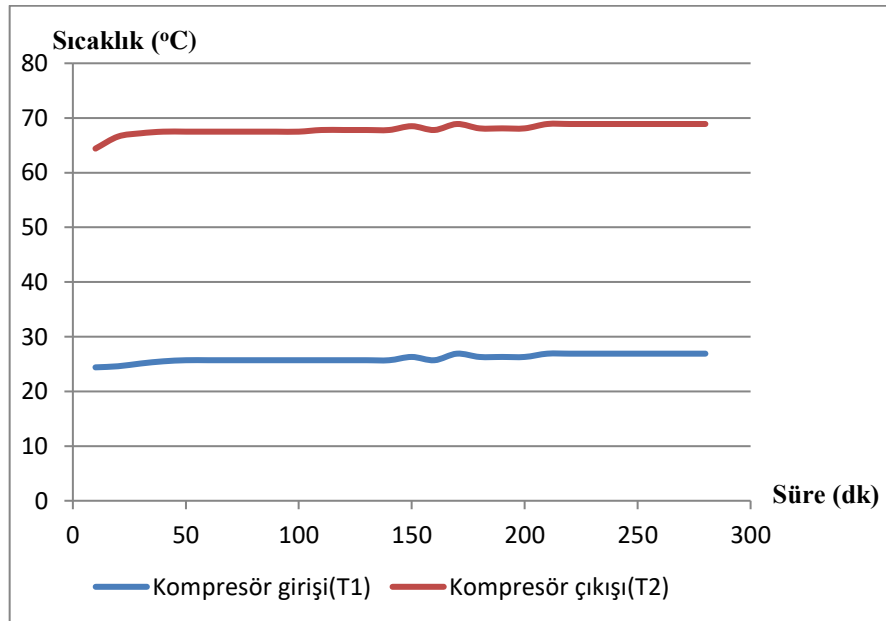
Sistemin sütü ısıtma modunda deneyler yapılarak kompresör sıcaklık değerleri alınmış ve sonuçlar (Şekil 4.1)’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sütü ısıtma modunda kompresör sıcaklık ölçümü

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sistemin sütü ısıtma modunda yapılan deneylerde kompresör giriş sıcaklığı ortalama 14°C ve çıkış sıcaklığı ortalama 69°C bulunmuştur.

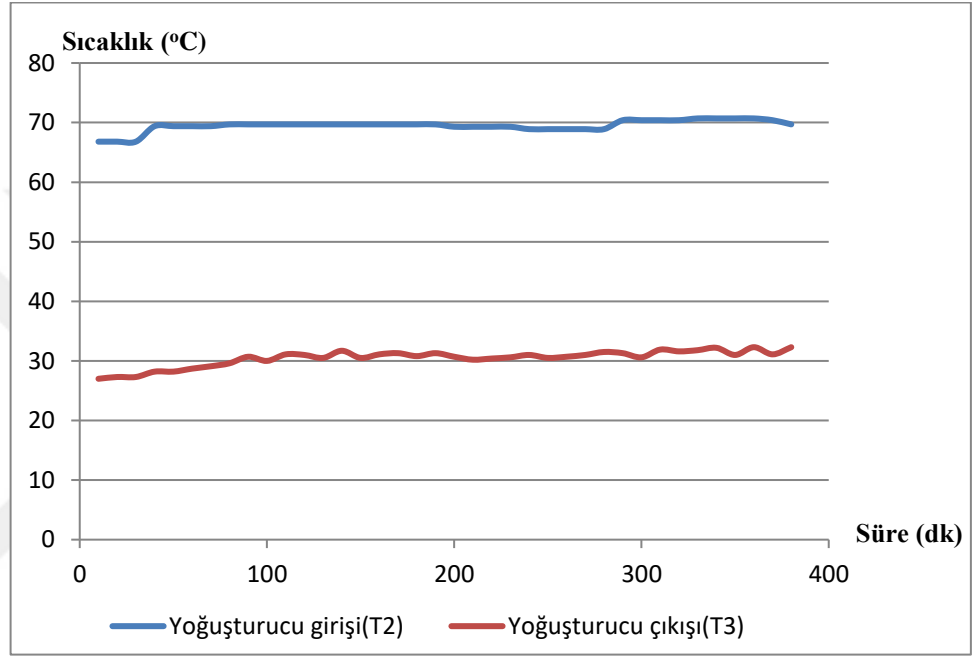
Sistemin sütü soğutma modunda deneyler yapılarak kompresör sıcaklık değerleri alınmış ve sonuçlar (Şekil 4.2)’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sütü soğutma modunda kompresör sıcaklık ölçümü

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi sistemin sütü soğutma modunda yapılan deneylerde kompresör giriş sıcaklığı ortalama 25°C ve çıkış sıcaklığı ortalama 67°C bulunmuştur.

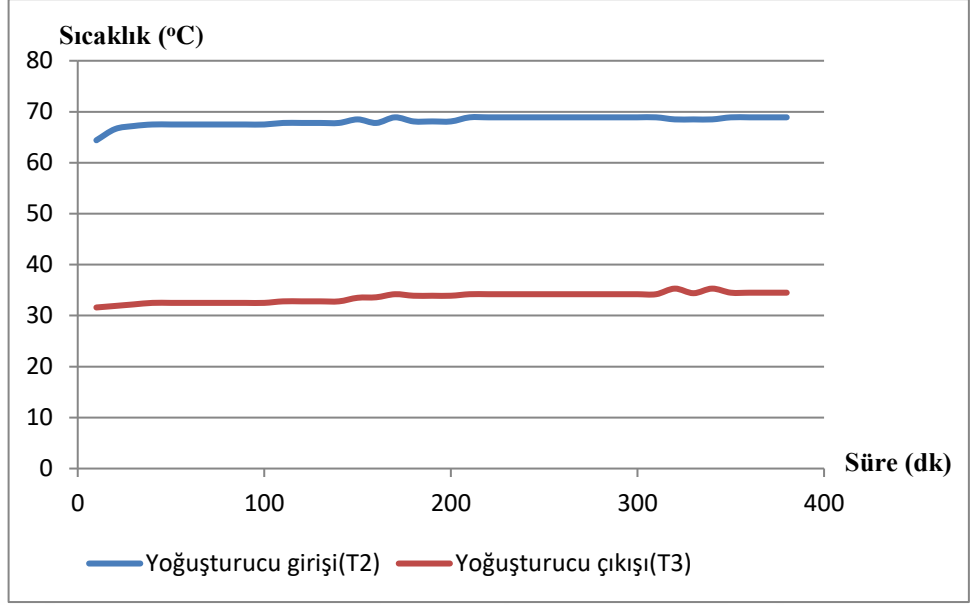
Sistemin sütü ısıtma modunda deneyler yapılarak yoğuşturucu sıcaklık değerleri alınmış ve sonuçlar (Şekil 4.3)’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sütü ısıtma modunda yoğuşturucu sıcaklık ölçümü

Şekil 4.3’te görüldüğü gibi sistemin sütü ısıtma modunda yoğuşturucu giriş sıcaklığı ortalama 69°C ve çıkış sıcaklığı ortalama 30°C bulunmuştur.

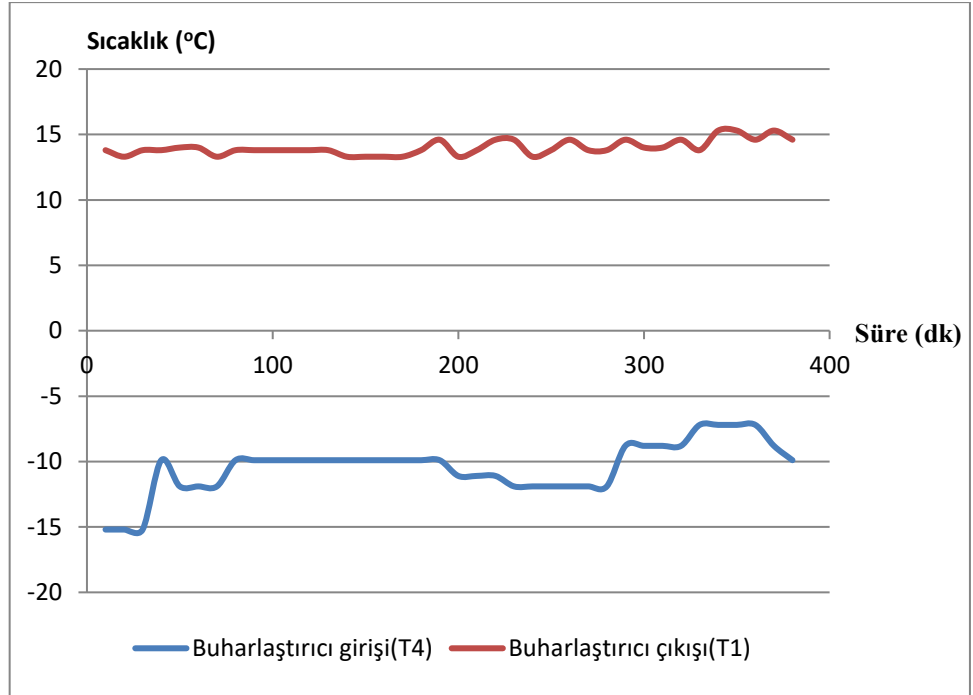
Sistemin sütü soğutma modunda deneyler yapılarak yoğuşturucu sıcaklık değerleri alınmış ve sonuçlar (Şekil 4.4)’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Sütü soğutma modunda yoğuşturucu sıcaklık ölçümü

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi sistemin sütü soğutma modunda yoğuşturucu giriş sıcaklığı ortalama 67°C ve çıkış sıcaklığı ortalama 33°C bulunmuştur.

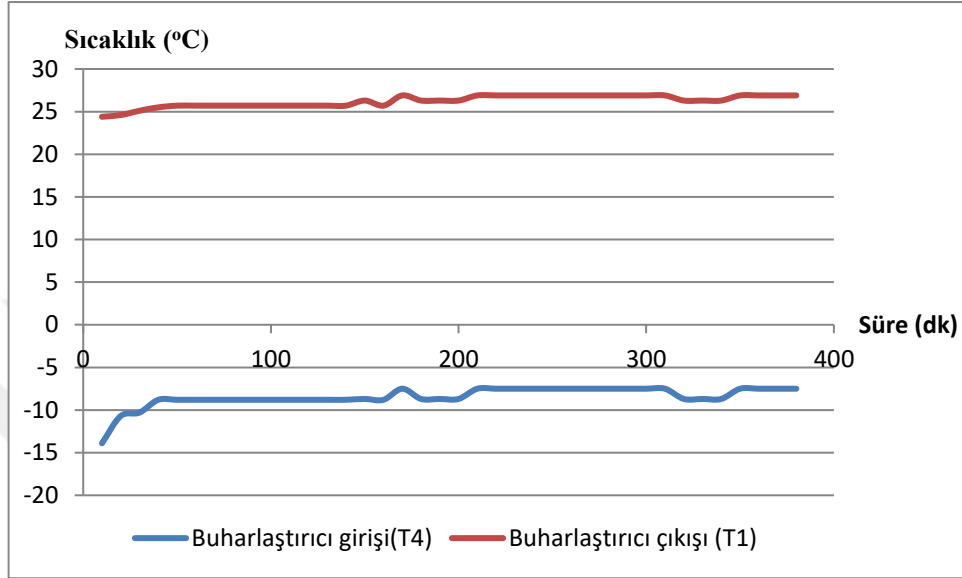
Sistemin sütü ısıtma modunda deneyler yapılarak buharlaştırıcı sıcaklık değerleri alınmış ve sonuçlar (Şekil 4.5)'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Sütü ısıtma modunda buharlaştırıcı sıcaklık ölçümü

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi sistemin sütü ısıtma modunda buharlaştırıcı giriş sıcaklığı ortalama -10°C ve çıkış sıcaklığı ortalama 14°C bulunmuştur.

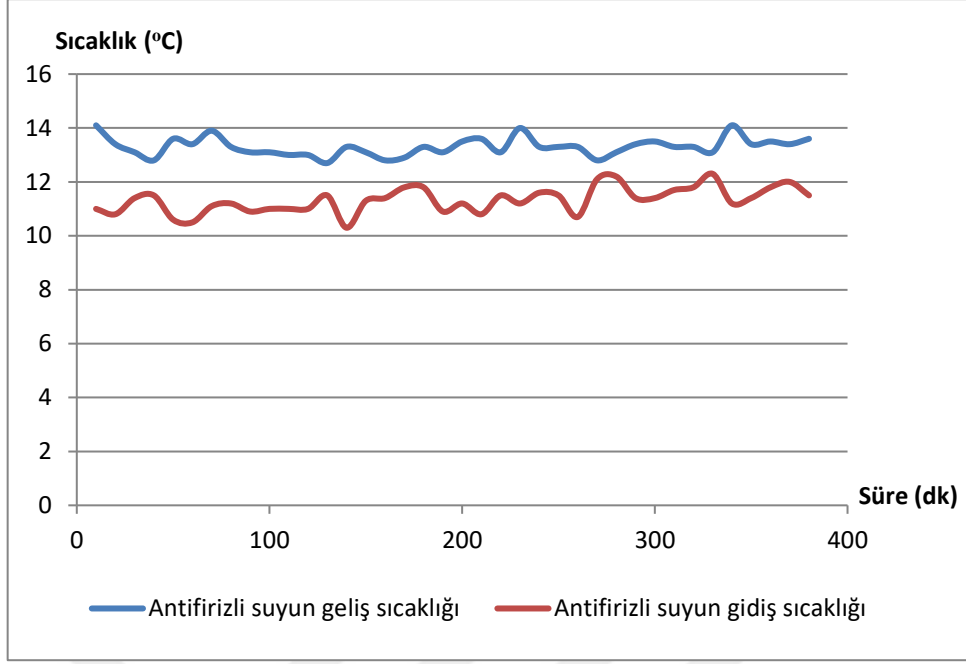
Sistemin sütü soğutma modunda deneyler yapılarak buharlaştırıcı sıcaklık değerleri alınmış ve sonuçlar (Şekil 4.6)'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sütü soğutma modunda buharlaştırıcı sıcaklık ölçümü

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi sistemin sütü soğutma modunda buharlaştırıcı giriş sıcaklığı ortalama -9°C ve çıkış sıcaklığı ortalama 25°C bulunmuştur.

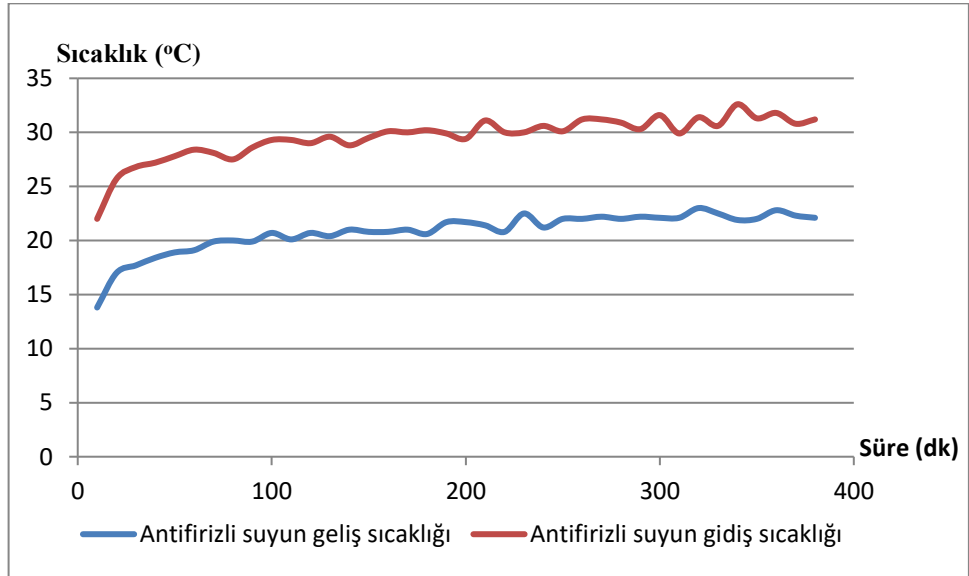
Sistemin sütü ısıtma modunda deneyler yapılarak antifirizli suyun geliş ve gidiş sıcaklık değerleri alınmış ve sonuçlar (Şekil 4.7)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Sütü ısıtma modunda antifirizli suyun geliş ve gidiş sıcaklığının ölçümü

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi sistemin sütü ısıtma modunda antifirizli suyun geliş sıcaklığı ortalama 13°C ve gidiş sıcaklığı ortalama 11°C bulunmuştur.

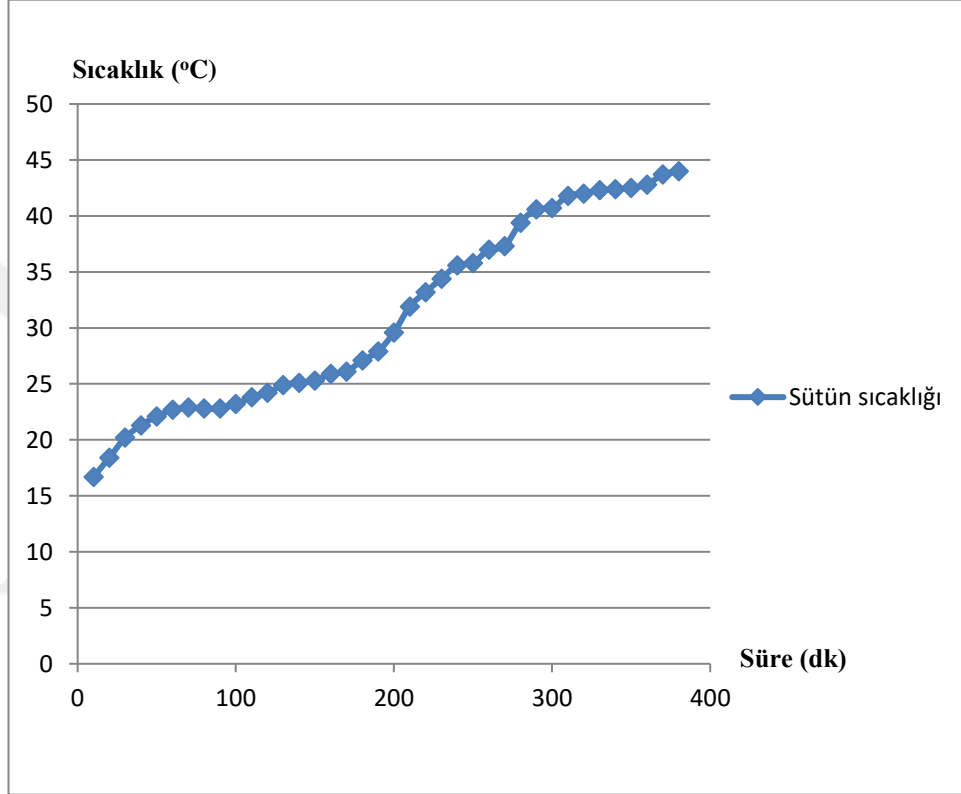
Sistemin sütü soğutma modunda deneyler yapılarak antifirizli suyun geliş ve gidiş sıcaklık değerleri alınmış ve sonuçlar (Şekil 4.8)’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Sütü soğutma modunda antifirizli suyun geliş ve gidiş sıcaklığının ölçümü

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi sistemin sütü soğutma modunda antifirizli suyun geliş sıcaklığı ortalama 20°C ve gidiş sıcaklığı ortalama 30°C bulunmuştur.

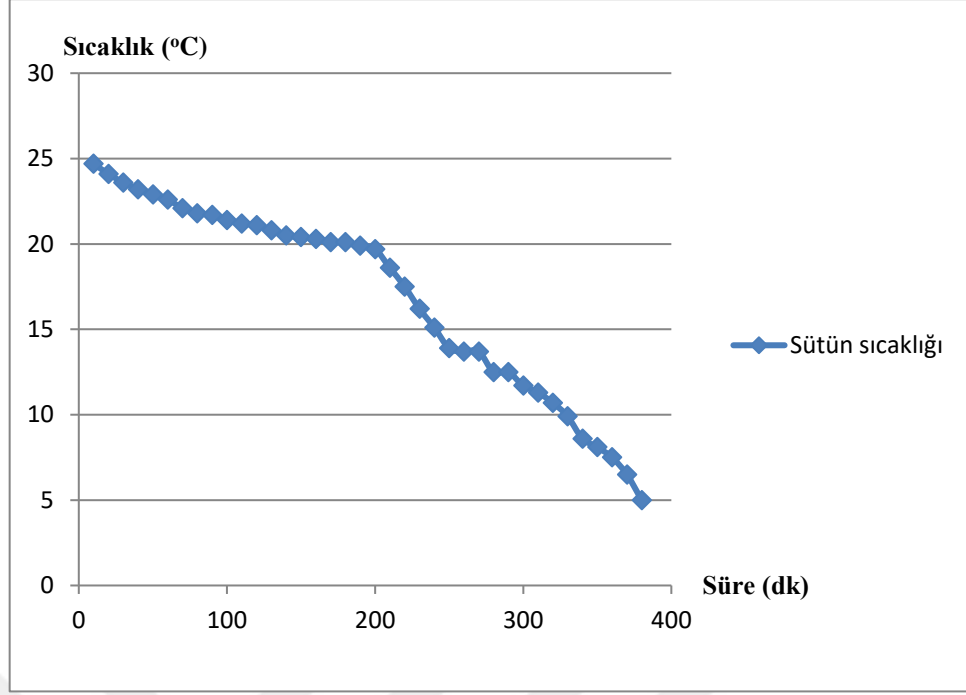
Sistemin sütü ısıtma modunda deneyler yapılarak sütün sıcaklığı mayalanma sıcaklığı olan 44°C çıkarılmış ve sonuçlar (Şekil 4.9)’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Isıtma modunda sütün sıcaklık ölçümü

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi sistemin sütü ısıtma modunda sütün sıcaklığı 16°C’den 44°C’ye çıktığı gözlemlenmiştir.

Sistemin sütü soğutma modunda deneyler yapılarak 44°C’de mayalanan süt 24°C’den 5°C’ye kadar soğutulmuş ve sonuçlar (Şekil 4.10)’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Soğutma modunda sütün sıcaklık ölçümü

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi sistemin sütü soğutma modunda yoğurdun sıcaklığı 24°C’den 5°C’ye düştüğü gözlemlenmiştir.

4.2 Sistemde Kullanılan Soğutucu Akışkanın Termodinamik Özellikleri

Sistem; sütü ısıtma modunda çalıştırılırken sistemde kullanılan elemanların sıcaklık değerleri ölçülerek ortalama sıcaklık değerlerine göre soğutucu akışkanın termodinamik hali bulunmuş ve sonuçlar (Çizelge 4.1)’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Sütü ısıtma modunda termodinamik özellikler

Sistem elemanları	Giriş özellikleri			Çıkış özellikleri		
	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Faz	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Faz
Kompresör	14	200	Kızgın buhar	69	1000	Kızgın buhar
Yoğuşturucu	69	1000	Kızgın buhar	30	1000	Sıkıştırılmış sıvı
Kısılma vanası	30	1000	Sıkıştırılmış sıvı	-11	200	Doymuş sıvı-buhar
Buharlaştırıcı	-11	200	Doymuş sıvı-buhar	14	200	Kızgın buhar

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi sütü ısıtma modunda sıcaklık ve basınç değerine göre soğutucu akışkanın çevrimde hangi halde olduğu bulunmaktadır.

Sistem; sütü soğutma modunda çalıştırılırken sistemde kullanılan elemanların sıcaklık değerleri ölçülerek ortalama sıcaklık değerlerine göre soğutucu akışkanın termodinamik hali bulunmuş ve sonuçlar (Çizelge 4.2)’de gösterilmiştir.

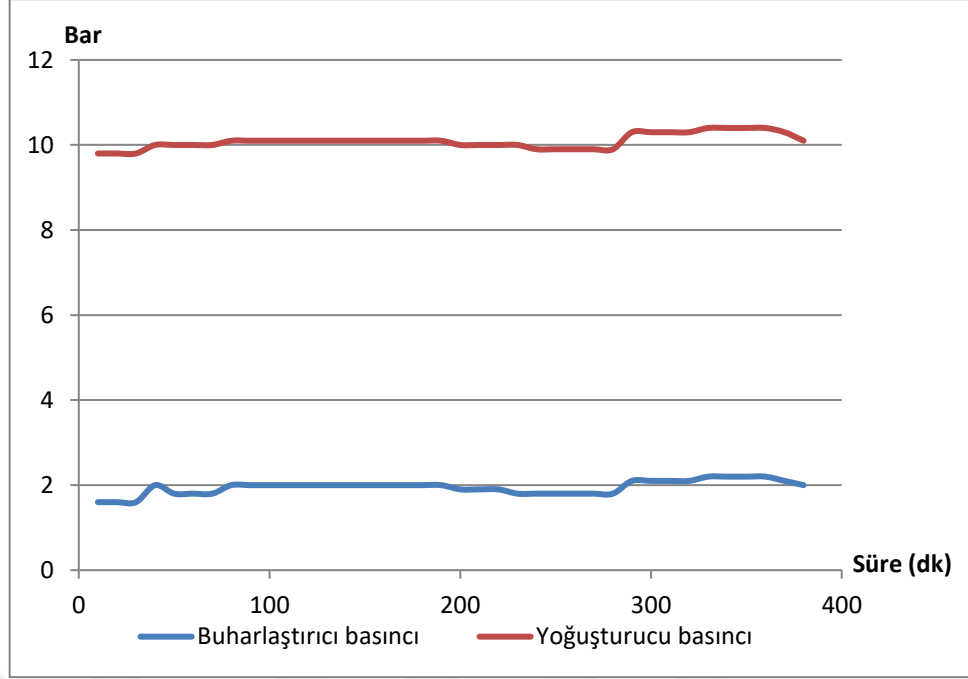
Çizelge 4.2. Sütü soğutma modunda termodinamik özellikler

Sistem elemanları	Giriş özellikleri			Çıkış özellikleri		
	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Faz	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Faz
Kompresör	25	200	Kızgın buhar	67	1240	Kızgın buhar
Yoğusturucu	67	1240	Kızgın buhar	33	1240	Sıkıştırılmış sıvı
Kısılma vanası	33	1240	Sıkıştırılmış sıvı	-9	200	Doymuş sıvı-buhar
Buharlaştırıcı	-9	200	Doymuş sıvı-buhar	25	200	Kızgın buhar

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi sütü soğutma modunda sıcaklık ve basınç değerine göre soğutucu akışkanın çevrimde hangi halde olduğu bulunmaktadır.

4.3TKIP Sisteminden Elde Edilen Basınç Grafikleri

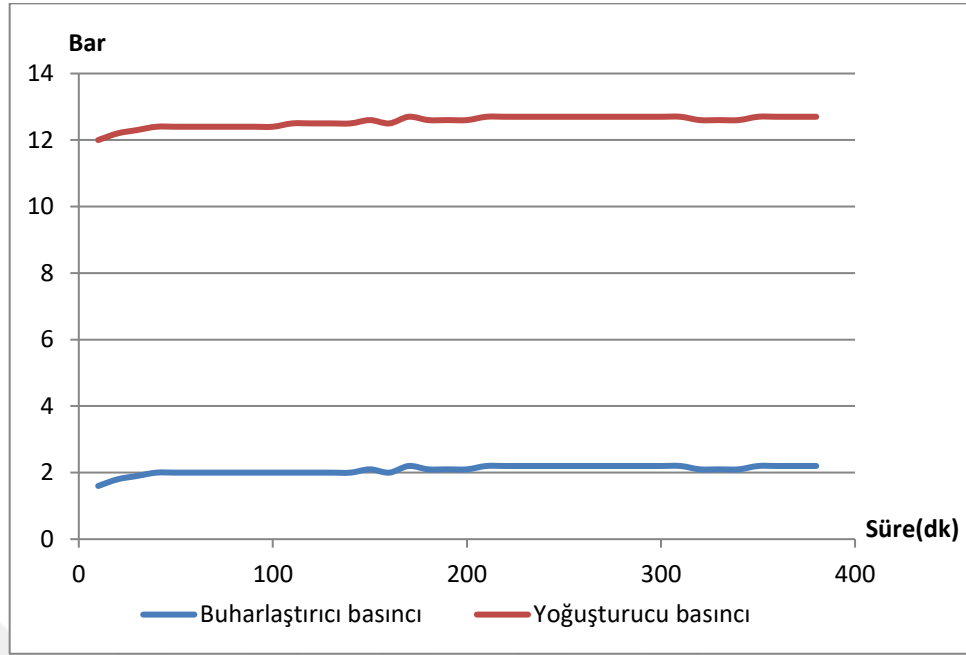
Sistem sütü ısıtma modunda çalışırken buharlaştırıcı ve yoğusturucu basınçları ölçülmüş ve sonuçlar (Şekil 4.11)’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Sütü ısıtma modunda buharlaştırıcı ve yoğuşturucu basınç ölçümü

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi sütü ısıtma modunda buharlaştırıcı basıncı ortalama 2 bar ve yoğuşturucu basıncı ise ortalama 10 bar ölçülmüştür.

Sistem sütü soğutma modunda çalışırken buharlaştırıcı ve yoğuşturucu basınçları ölçülmüş ve sonuçlar (Şekil 4.12)’de gösterilmiştir.

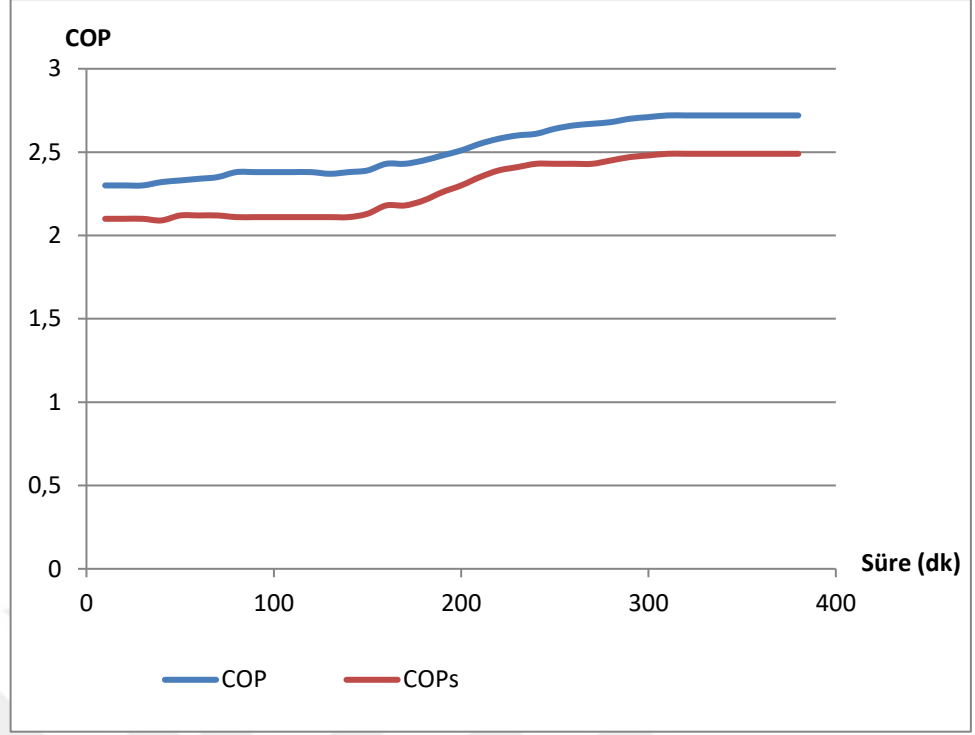


Şekil 4.12. Sütü soğutma modunda buharlaştırıcı ve yoğuşturucu basınç ölçümü

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi sütü soğutma modunda buharlaştırıcı basıncı ortalama 2 bar ve yoğuşturucu basıncı ise ortalama 12.4 bar ölçülmüştür.

4.4TKIP Sisteminden Elde Edilen Performans Katsayısı Grafikleri

Sistem sütü ısıtma modunda çalışırken ısı pompasının ve tüm sistemin performans katsayısı hesaplanmış ve sonuçlar (Şekil 4.13)’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Sütü ısıtma modunda ısı pompası ve sistemin performans katsayısı değişimi

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi sütü ısıtma modunda ısı pompasının performans katsayısı ortalama ($COP=2.6$) ve tüm sistemin performans katsayısı ortalama ($COPs=2.4$) olarak hesaplanmıştır.

Sistem sütü soğutma modunda çalışırken ısı pompasının ve tüm sistemin performans katsayısı hesaplanmış ve sonuçlar (Şekil 4.14)'da gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Sütü soğutma modunda ısı pompası ve sistemin performans katsayısı değişimi

Şekil 4.14’da görüldüğü gibi sütü soğutma modunda ısı pompasının performans katsayısı ortalama ($COP=2.6$) ve tüm sistemin performans katsayısı ortalama ($COPs=2.4$) olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada TKIP sisteminin yoğurt üretiminde uygulanabilirliğinin deneysel analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel analizler sonucunda üretilen 1 kg yoğurt için alınan ölçüm sonuçlarına göre ısı pompasının performans analizi yapılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre yoğurt üretiminde süte uygulanacak olan ısıtma ve soğutma işleminin TKIP sistemi kullanılarak yapılması durumunda kompresörün güç tüketimi ve yoğuşturucu kapasitesinde yaşanan dalgalanmalar nedeniyle değişik sonuçlar gözlenmiştir. Deneysel ölçümler sonucunda TKIP sisteminin topraktan aldığı sıcaklığa göre sütü ısıtma ve soğutma sürecinde ortalama performans katsayıları $COP = 2.6$ ve $COPs = 2.4$ olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışma sonucunda ısı pompasının diğer sistemlerle karşılaştırılmasında kullanılan birincil enerji oranı 1.3 olarak elde edilirken, enerji geri kazanım oranı ise %46 olarak hesaplanmıştır.

TKIP sistemiyle yoğurt üretim sürecinde yoğuşturucudan çıkan havanın sıcaklığı standartlara uygun seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca sütü ısıtma sürecinde buharlaştırıcı çıkışında antifrizli suyun sıcaklığının düştüğü, sütü soğutma sürecinde ise antifrizli suyun sıcaklığının yükseldiği gözlenmiştir.

Sistem ekipmanlarının daha az enerji tüketen özellikte olması durumunda elektrik birim maliyetleri düştüğü takdirde sadece elektrik gücüyle çalışan ısı pompası sistemlerinin hem ısıtma hem soğutma yapabilme özellikleri dikkate alındığında diğer birçok alanda kullanıldığı gibi süt ve süt ürünlerinin üretiminde bu sistemlerin kullanılması ekonomik ve teknik üstünlük sağlayacaktır.

Bu kurulu sistem çok yüksek miktarda enerji tüketen sirkülasyon pompası, kompresör pompası ve fan dinamosundan oluşmaktadır. Günümüzde yeni nesil ısı pompalarında kullanılan dinamo ve pompalar elektriği çok az miktarda tüketen ekipmanlardan yapılmaktadır. Buna ek olarak eğer ısı pompasının elektrik enerjisi

tüketimi güneş veya rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan sağlandığında sistemin verimi çok daha artacaktır. Ayrıca ısıtma ve soğutma yapılan birimin çok iyi bir ısı yalıtımının yapılmasıyla birlikte sistem COP'si daha da artacaktır.

TKIP sisteminin alt ve üst ısı değerleri dikkate alınarak yoğurt üretimi yapıldığında gözlemlenen sonuç; yoğurt üretimi yapan işletmelerin kullandığı sıcaklık değerlerinin bu sistem aracılığıyla elde edilmesi sayesinde TKIP'ın bizim bildiğimiz mahal ısıtması özelliğinin yanı sıra yoğurt ve benzeri ürünlerinde bu sistem kullanılarak yapılabileceği görülmektedir. TKIP Sisteminin yoğurt üretiminde kullanımının net olarak söylenmesi için ekonomik analizinde yapılması gerekmektedir. Bu analizde ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti belirlenerek birim kg başına üretilen yoğurt için harcanan enerji miktarında hem klasik sistemde hem de ısı pompası sisteminde belirlenerek karşılaştırılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akalan FE (2011) Kaymakaltı Sütünün Değişik Oranlarda İnek Sütü ile Karışımından Üretilen Yoğurtların Bazı Fiziksel, Kimyasal, Mikrobiyolojik ve Duyusal Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Aktaş Y (2008) R-134a Soğutucu Akışkanlı Isı Pompası Sisteminin Sütün Pastörizasyonunda Kullanımının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Al-Khalıdı MMH (2018) Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Isparta Şartlarında Bir Isıtma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Arslan AE (2014) Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Doğal Gazlı Kombi Birleşik Sisteminin Enerji Verimliliği Yönünden Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Barlas Z (2017) “SKK Ve SKNK Yöntemlerinde Kullanılan Parametrelerin Bakır ve Pirinç Malzemelerin Birleştirme Özelliklerine Olan Etkilerinin İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (5): 806-815.
- Baskın N (2017) Bir Soğuk Hava Deposunda Farklı Kontrol Yöntemlerinin Enerji Verimliliği Yönüyle Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Başkal A (2011) Duvardan Isıtma ve Soğutmalı Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Canbulat Z (2010) Lactobacillus Rhamnosus Kültürü ile Probiyotik Yoğurt Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Çelik A (2011) Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtma Alternatifleri, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Çoşkun H, Tunçtürk Y, Atındağ S ve Demir A (2005) “Van’da Faaliyet Gösteren Süt İşletmelerinin Mevcut Durumları, Sorunları ve Çözüm Önerileri”, Tarım Bilimleri Dergisi 15(1): 11-15.
- Değirmen M (2015) Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Verimliliği Optimizasyonunda Altı Sigma Metodolojisinin Kullanılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.

- Diken Ö (2000) Fotovoltaik Ünite Tasarımı, Elektrik Enerjisi Üretimi ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dikici A, Akbulut A ve Gülçimen F (2006) “Güneş Hava ve Toprak Enerjisi Kaynaklı Isı Pompalarının Elazığ Şartlarında Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması ve Enerji ve Ekserji Analizleri”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 25(2): 49-61.
- Duman N (2018) Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Sivas Şartlarında Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Ekinci DA (2007) Erzurum’da Mahal Isıtma Amaçlı Kullanılan Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Erşan S (2011) Bacillus Indicus HU36’nın Yoğurt Üretiminde Kullanımı ve Kalite Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Esen H ve İnallı M (2003) “Elazığ İklim Şartlarında Yatay Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Performansı” F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2): 109-117.
- Evirgen YF (2009) Karayollarında Buzlanmayı Engelleyici Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Analizi ve PLC-SCADA ile Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Foodelphi, Pastörizasyon Yöntemleri, <https://www.foodelphi.com/tag/pastorizasyon-yontemleri/>, 13 Nisan 2019
- Garcia J, K. J. Quinatoa ve F. Castro Ruiz (2019) “Experimental Study of The Static and Dynamic Behavior of a Novel Heat Driven Electronic Controlled Expansion Valve”, Applied Thermal Engineering, 19: 3-3.
- Gıda Gündemi, Termizasyon İşlemi. <http://forum.gidagundemi.com/termizasyon-islemi-t27308.html>, 15 Nisan 2019
- Göksel Y (2019) Yatay Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Sivas için Soğutma Performansının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas
- Gözütok M (2019) Soğuk İklim Bölgesinde Isıtma Amaçlı Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Gündü İ (2018) Isı Pompasında Ejektör Yardımı ile Isıtma Kapasitesi ve Etkinliğinin Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.

- Herdem A (2006) Farklı Yörelere Toplanan Geleneksel Yöntemle Üretilen Yoğurt Örneklerinin Bazı Niteliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Hurşit A (1999) Süt Bilimi ve Teknolojisi, 2.baskı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayınları, Samsun
- Kara YA (1993) Süt Pastörizasyon İşlemlerinde Isı Pompası Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kılıç S “Yoğurt Kültürünü Oluşturan *L. bulgaricus* ve *S. thermophilus* Bakterilerinin Antibakteriyel Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma”, Gıda The Journal Of Food, 15(6):333-338.
- Kırdar S ve Gün İ (2007) “Süzme Yoğurt Üretiminde Elde Edilen Serumun Bazı Özellikleri”, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11-1: 26-28.
- Kim MJ, Seo BM, Lee JM, Choi JM ve Lee KH (2018) “Operational Behavior Characteristics and Energy Saving Potential of Vertical Closed Loop Ground Source Heat Pump System Combined with Storage Tank in an Office Building”, Energy & Buildings, 179: 239-252.
- Koçak K (2013) Tüketime Sunulan Yoğurtlarda Bazı Katkı Maddelerinin (Nişasta, Jelatin, Natamisin) Kullanımı ve Mikrobiyolojik Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Piyasa Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Konuş E (2018) Farklı Ambalajlarda Mayalanan Yoğurtların Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kwak Y, Hwang S ve Jeong JH (2020) “Effect of Part Load Operating Conditions of an Air Conditioner on the Number of Refrigerant Paths and Heat Transfer Performance of a Condenser”, Energy Conversion and Management, 203: 2-11.
- Li B, Han Z, Bai C ve Hu H (2019) “The Influence of Soil Thermal Properties on the Operation Performance on Ground Source Heat Pump System”, Renewable Energy, 141: 903-913.
- Limb J, Song KS, Kim D, Lee D ve Kim Y (2018) “Condensation Heat Transfer Characteristics of R245fa in a Shell and Plate Heat Exchanger for High-Temperature Heat Pumps”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 127: 730-739.
- Okçu Y (2007) Yoğurt Üretiminde Haccp Sisteminin Kurulması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Osma E (2011) Evaporatif Soğutma Sistemlerinin Mekanik Buhar Sıkıştırılmış Soğutma Sistemleri ile Termodinamik ve Ekonomik Bakımdan

Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Özer B (2006) Yoğurt Bilimi ve Teknolojisi, 1.Baskı, Toprak Ofset, İzmir

Öztürk H, Birinci AU ve Demirkır C (2017) ‘‘Yapısal Ahşap Ürünlerin Isı Yalıtım Özellikleri’’, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 6 (3): 522-527.

Öztürk T (2013) Farklı Oranlarda Süt Tozu ve Yayıkaltı Kullanılarak Üretilen Yoğurtların Kalite Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun

Özünü BT ve Koçak C (2010) ‘‘Süte Farklı Homojenizasyon Basınçları Uygulamanın Ayran Kalitesine Etkisi’’, Gıda The Journal Of Food, 35(2): 189-195.

Özyurt Ö (1996) Süt Pastörizasyonunda Isı Pompasının Kullanımı ve Klasik Sistemlerle Mukayesesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Özyurt Ö (2002) Isı Pompası Sisteminin Süt Pastörizasyonunda Kullanımının Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Özyurt Ö, Çomaklı Ö, Yılmaz M ve Karşlı S (2004) ‘‘Heat Pump Use in Milk Pasteurization: an Energy Analysis’’, International Journal of Energy Research, 28:833–846 (DOI: 10.1002/er.999).

Özyurt Ş (2005) Doğal (Yerel) Streptococcus salivarius subsp. thermophilus ve Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus Suşlarında Endüstriyel Öneme Sahip Özelliklerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Peker H (2012) Keçiboynuzu Gamı Kullanılarak Az Yağlı Yoğurt ve Zeytin Yaprağı Ekstraktı Kullanılarak Fonksiyonel Meyveli Yoğurt Üretimlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Saçkan Ö (2018) Deniz Suyu Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Termodinamik Analizi: Bir Otel Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Savran D (2017) Yoğurt Üretimi ve Depolaması Sırasında Salmonella Enteritidis’in Canlı Kalma Durumunun Modellenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Seyrek A (2010) Mahal Isıtmasında Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

- Süzer B (2001) Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Hava Kaynaklı Isı Pompasının Tekno-Ekonomik Açından Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şen L (2006) Süt Pastörizasyonu Uygulaması için Isı Pompası Simulasyonu, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Pastörize ve Sterilize İçme Sütü, www.megep.meb.gov.tr, 27.05.2019
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Frigorifik Araç ve Araç Kliması Montajı, www.megep.meb.gov.tr, 27.05.2019
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Yoğurt, www.megep.meb.gov.tr, 27.05.2019
- Taner T (2013) Gıda Sektöründe Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi: Şeker Fabrikası Örneği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tello-Oquendo FM, Navarro-Peris E ve González-Maciá's J (2019) “Comparison of The Performance of a Vapor-İnjection Scroll Compressor and a Two-Stage Scroll Compressor Working with High Pressure Ratios ”, Applied Thermal Engineering, 160:1-1.
- Tunçtürk Y, Ocak E ve Zorba Ö (2010) “Farklı Homojenizasyon Basıncı Derecelerinin Kaşar Peynirinin Kimyasal, Biyokimyasal, Mikrobiyolojik ve Duyusal Özelliklerine Etkisi”, Tarım Bilimleri Dergisi, 20(2): 88-99.
- Tunçtürk Y, Zorba Ö ve Özrenk E (2000) “Farklı Homojenizasyon Basıncı Derecelerinin Set Yoğurtların Bazı Fiziksel, Kimyasal, Mikrobiyolojik ve Duyusal Özelliklerine Etkisi (1)”, Tarım Bilimleri Dergisi, 10(1): 45-52.
- Üçüncü M (1983) “Süt ve Mamullerinin Soğukta Depolanması”, Gıda/The Journal Of Food, 08(4): 185-192.
- Yamankaradeniz B (2011) Isı Pompası Kullanılarak Kurutma İşlemlerinde Enerji Tasarrufunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Yaşar S (2011) Temel Mekanik Soğutma Arızalarının Basınç Entalpi Diyagramı Yardımıyla Teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yaygın H (1999) Yoğurt Teknolojisi, 1.Baskı, Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Antalya
- Yetişmeyen A (1985) “Süt Fabrikalarında Enerji Gereksinimi ve Verimli Kullanımı”, Gıda The Journal Of Food, 10(4): 255-265.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan TÜRK

Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu / 22.02.1993

Lisans Üniversite : Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Makine
Mühendisliği

Elektronik posta : hasan_93_turk@hotmail.com

İletişim Adresi : Karacasu Beldesi Fatih Mahallesi Okul Sokak
No:8 Bolu