

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİR SÜT FABRİKASINDA SÜT TOZU ÜRETİMİ PROSES  
İHTİYACI İÇİN ISI EŞANJÖRÜ TASARIMI VE ANALİZİ**

**ULAŞ KÖSE**

**KOCAELİ 2021**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİR SÜT FABRİKASINDA SÜT TOZU ÜRETİMİ PROSES**  
**İHTİYACI İÇİN ISI EŞANJÖRÜ TASARIMI VE ANALİZİ**

**ULAŞ KÖSE**

**Prof. Dr. Elif ÖĞÜT**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Prof. Dr. Kamil KAHVECİ**  
**Jüri Üyesi, Trakya Üniversitesi** .....

**Doç. Dr. Canan CİMŞİT**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 01.04.2021**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüz şartlarında ürün elde etmek için kullanılan enerji maliyet ve miktarları oldukça artmıştır. Bu artış sebebiyle rakip firmalar ile rekabet etmek oldukça güç hale gelmiştir. Bu nedenle enerji tasarrufları gün yüzüne çıkmıştır. Maliyetleri azaltmak için enerjiden tasarruf edilmesi elzem duruma gelmiştir. Fabrikada tespiti yapılan bölümlerdeki geri kazanımların geri dönüşü kısa sürede olduğu, maliyet analiz ve çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır. Günümüzde verimlilik artırıcı projelerin geri dönüşümleri, en hızlı geri dönen yatırımlar arasındadır. Yapılan çalışma da bir süt fabrikasında buhar ile ısıtılması yapılan havayı, ön ısıtma yaparak ısı geri kazanımı hedeflenmiştir. İmal edilen ısı değiştiricinin bütün alan hesaplamaları termodinamik kurallarına göre yapılmış olup, analizi ise Star-Ccm programında doğrulanmıştır.

Isı eşanjörü tasarımı ve Analizi konusunda bana çalışma fırsatı veren, katkılarıyla bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Elif ÖĞÜT'e, her zaman bana destek olan sevgili eşim İsan KÖSE'ye ve mesai Arkadaşım Makine Yüksek Mühendisi Tefik AYTEKİN'e teşekkür ederim. Ayrıca Manisa Cici-Süt fabrikasında bana desteklerini esirgemeyen Cici-Süt Direktörü Halim BURUCU'ya sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Nisan – 2021

Ulaş KÖSE

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	3
1.1. Süt.....	3
1.1.1. Sütün tanımı.....	3
1.1.2. Sütü kurutmanın tarihçesi.....	3
1.2. Süt Tozu Üretimi .....	4
1.2.1. Çiğ süt alımı .....	5
1.2.2. Seperatör .....	6
1.2.2.1. Seperatör tipleri .....	10
1.2.3. Pastörizasyon işlemi .....	11
1.2.4. Kuru madde oranını artırma işlemi .....	14
1.2.5. Sütü kurutma işlemi.....	17
1.2.6. Süt tozu paketleme işlemi.....	21
2. LİTERATÜRÜN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ .....	23
3. ISI EŞANJÖRLERİ .....	26
3.1. Isı Eşanjörü Tipleri.....	27
3.1.1. Isı eşanjörü kanat tipleri .....	29
4. MALZEME VE YÖNTEM .....	30
4.1. Malzeme .....	30
4.1.1. Isı eşanjörü.....	30
4.1.1.1. Isı eşanjörünü oluşturan bileşenler .....	30
4.1.2. Isı geri kazanım için projede kullanılan malzemeler.....	31
4.1.2.1. Hava Atıcı.....	32
4.1.2.2. Pozisyonerli pnömatik vana .....	33
4.1.2.3. Çek valf .....	34
4.1.2.4. Metal körüklü (globe) vana .....	35
4.1.2.5. Pislik tutucu .....	35
4.1.2.6. Buhar kapağı.....	36
4.1.2.6.1. Buhar kapanlarının çalışma prensibine göre sınıflandırılması .....	36
4.1.2.6.1.1. Termodinamik buhar kapağı.....	36
4.1.2.6.1.2. Termostatik buhar kapağı .....	37
4.1.2.6.1.3. Bimetalik buhar kapağı.....	37
4.1.2.6.1.4. Ters kovalı buhar kapağı .....	38
4.1.2.6.1.5. Şamandıralı buhar kapağı .....	38
4.1.2.7. Buhar Sayacı.....	39
4.1.2.8. Termometre .....	39

4.1.2.9. Manometre.....	40
4.1.2.10. Gözetleme elemanı .....	40
4.2. Deney Düzenegi .....	41
4.3. Isı Eşanjör Basınç Testi Düzenegi .....	45
5. ISI EŞANJÖRÜ TASARIMI .....	47
5.1. Isı Eşanjörü Geometri Oluşturulması .....	49
6. DENEY SONUÇLARI .....	51
6.1. Isı Transferi Hesaplamaları .....	52
6.2. Isı Geri Kazanım Hesabı .....	54
6.3. Isı Eşanjörü Hesabı.....	54
7. SAYISAL ANALİZ.....	58
7.1. STAR-CCM+ Yönetici Denklemler.....	58
7.2. Geometrinin Oluşturulması .....	60
7.3. Sayısal Çalışmanın Doğrulanması .....	61
8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	64
9. SONUÇ .....	69
KAYNAKLAR .....	72
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	75
ÖZGEÇMİŞ .....	76

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Süt tozu prosesi akış şeması.....	4
Şekil 1.2.	Çiğ süt alım akış şeması.....	5
Şekil 1.3.	Krema seperatörü ve Pastörizasyon prosesi akış şeması .....	6
Şekil 1.4.	Krema Ayırıcı Seperatör .....	7
Şekil 1.5.	Temizleme Seperatörü .....	7
Şekil 1.6.	Krema Seperatörü demontajı .....	8
Şekil 1.7.	Krema Seperatörü demontajı .....	8
Şekil 1.8.	Krema Seperatörü demontajı .....	9
Şekil 1.9.	Krema Seperatörü demontajı .....	9
Şekil 1.10.	Seperatör kesit görünümü .....	10
Şekil 1.11.	Yağ-süt ayırıştırma prosesi .....	11
Şekil 1.12.	Pastörizasyon Prosesi.....	11
Şekil 1.13.	Plakalı pastörizatör.....	12
Şekil 1.14.	Plakalı Pastörizatör .....	12
Şekil 1.15.	Plakalı pastörizatör bekleme boruları .....	13
Şekil 1.16.	Plakalı pastörizatör PLC ekranı .....	13
Şekil 1.17.	1.Film evaporatör .....	14
Şekil 1.18.	2.Film evaporatör .....	15
Şekil 1.19.	Düşey film evaporatör ürün buhar girişi.....	16
Şekil 1.20.	Film Tabakası .....	16
Şekil 1.21.	Süt kulesi.....	17
Şekil 1.22.	Debi ölçer.....	17
Şekil 1.23.	Otomasyon ekranı .....	18
Şekil 1.24.	Süt kulesi iç yüzeyi .....	18
Şekil 1.25.	Süt kulesi.....	19
Şekil 1.26.	Süt Kulesi püskürtmeli kurutucu .....	19
Şekil 1.27.	Süt kulesi akış şeması .....	20
Şekil 1.28.	Akışkan yataklı elek.....	20
Şekil 1.29.	Ürün Tartım ünitesi.....	21
Şekil 1.30.	Ürün dikim ünitesi .....	22
Şekil 1.31.	Metal detektör konveyörü .....	22
Şekil 3.1.	Endüstriyel tesislerde kullanılan kanat tipleri.....	26
Şekil 3.2.	Plakalı eşanjör .....	28
Şekil 3.3.	Borulu kanatlı ısı eşanjör tipleri.....	29
Şekil 4.1.	Borulu kanatlı ısı eşanjörü .....	30
Şekil 4.2.	Ana buhar hattı ve ekipmanları.....	31
Şekil 4.3.	Hava atıcı .....	32
Şekil 4.4.	Hava atıcı çalışma prensibi .....	32
Şekil 4.5.	Pnömatik vana.....	33
Şekil 4.6.	Çek valf.....	34
Şekil 4.7.	Çekvalf çalışma sistemi .....	34
Şekil 4.8.	Metal körüklü (globe) vana.....	35
Şekil 4.9.	Pislik tutucu armatür .....	35

Şekil 4.10. Termodinamik buhar kapaını .....	36
Şekil 4.11. Termostatik buhar kapaını .....	37
Şekil 4.12. Bimetalik buhar kapaını .....	37
Şekil 4.13. Ters kovalı buhar kapaını.....	38
Şekil 4.14. Şamandıralı buhar kapaını .....	38
Şekil 4.15. Buhar sayacı.....	39
Şekil 4.16. Termometre.....	39
Şekil 4.17. Manometre .....	40
Şekil 4.18. Gözetleme elemanı.....	40
Şekil 4.19. Gözetleme elemanı.....	41
Şekil 4.20. Ön ısıtma projesi .....	41
Şekil 4.21. Hat sonu tesisatı .....	42
Şekil 4.22. Süt kulesi buhar ana hattı.....	42
Şekil 4.23. Buhar bataryaları giriş hattı .....	43
Şekil 4.24. Kondens dönüş hattı.....	44
Şekil 4.25. Ön ısıtma bataryası .....	45
Şekil 4.26. Ön ısıtma bataryası 27 bar basınç testi .....	45
Şekil 4.27. Ön ısıtma bataryası 27 bar basınç testi .....	46
Şekil 4.28. Ön ısıtma bataryası 27 bar basınç testi .....	46
Şekil 5.1. Hava ve su giriş debisi ile tasarım çıktısı .....	48
Şekil 5.2. Ön ısıtma bataryası montaj resmi .....	49
Şekil 5.3. Ön ısıtma bataryası çekme boru montaj resmi.....	50
Şekil 7.1. Sayısal analiz öncesi modelleme .....	60
Şekil 7.2. M5 modelin ağ yapısı .....	61
Şekil 7.3. M4 modelin kanatçık ağ yapısı.....	62
Şekil 7.4. M4 modelin ağ yapısı .....	63
Şekil 8.1. Eşanjör kesit görünüşü sıcaklık görseli.....	64
Şekil 8.2. Eşanjör kesit görünüşü sıcaklık görseli.....	65
Şekil 8.3. Eşanjör su giriş görseli.....	66
Şekil 8.4. Eşanjör su çıkışı sıcaklık görseli.....	66

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 6.1. Ortalama sıcaklıktaki fiziksel özellikler .....	52
Tablo 6.2. Fiziksel özellikler.....	53
Tablo 6.3. Ortalama sıcaklıktaki fiziksel özellikler .....	54
Tablo 7.1. Ağ bağımsızlığı için merkez borudaki suyun çıkış sıcaklığının karşılaştırılması .....	62
Tablo 8.1. Ortalama su çıkış sıcaklıklarının analiz sonucu çıktısı.....	66
Tablo 8.2. Ortalama hava giriş ve çıkış sıcaklıklarının analiz sonucu çıktısı .....	67
Tablo 8.3. Ortalama giriş ve çıkış hızlarının analiz sonucu çıktısı .....	67
Tablo 8.4. Ortalama hava giriş ve çıkış hızlarının analiz sonucu çıktısı.....	67



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\Delta P$	: Basınç değişimi, (Pa)
$P$	: Basınç, (Pa)
$\dot{m}$	: Kütlesel debi, (kg/h)
$V$	: Hacimsel debi, (l/dk)
$T$	: Sıcaklık, ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T$	: Sıcaklık değişimi, ( $^{\circ}C$ )
$N$	: Hız, (m/s)
$A$	: Kesit alanı, ( $m^2$ )
$L$	: Boru uzunluğu, (mm)
$D$	: Boru dış çapı, (mm)
$h_{hava}$	: Havanın ısı taşıyım katsayısı, ( $W/m^2K$ )
$h_{su}$	: Su tarafı ısı taşıyım katsayısı, ( $W/m^2K$ )
$\mu$	: Viskozite, (kg/m.s)
$\rho$	: Yoğunluk, ( $kg/m^3$ )
$Nu$	: Nusselt sayısı
$C_p$	: Özgöl ısı, (kJ/kg K)
$Pr$	: Prandtl sayısı
$Re$	: Reynolds sayısı
$St$	: Stanton sayısı
$k$	: Isıl iletkenlik katsayısı, ( $W/mK$ )
$Q$	: Isıl yük, (kW)
$h$	: Entalpi, (kJ/kg)
$b$	: Kanatçık kalınlığı, (mm)
$l$	: Kanatçık genişliği, (mm)
$AID$	: Alt ısı değer, (kW)
$M$	: Birim kilogram malzenin ortalama satın alma maliyeti, ( $£/kg$ )
$GK$	: Birim zamandaki tasarruf miktarı, ( $£/h$ )
$t$	: Fabrikanın yıllık çalışma süresi, ( $h$ )
$d_{su,h}$	: Kondens borusunun hidrolik çapı, (mm)
$\Delta T_m$	: Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, ( $^{\circ}C$ )
$m$	: Hava tarafında kanat etkenliği, ( $m^{-1}$ )
$r_o$	: Kondens borusu dış yarıçap, (mm)
$r_i$	: Kondens borusu dış yarıçap, (mm)
$\eta$	: Kanatlı yüzeyin toplam etkenliği
$F$	: Düzeltme katsayısı
$D_{o,h}$	: Dış boru hidrolik çapı, (mm)
$K_d$	: Isı değiştiricinin toplam ısı geçiş katsayısı, ( $W/m^2 \text{ }^{\circ}C$ )

## **BİR SÜT FABRİKASINDA SÜT TOZU ÜRETİMİ PROSES İHTİYACI İÇİN ISI EŞANJÖRÜ TASARIMI VE ANALİZİ**

### **ÖZET**

Bir endüstriyel süt tesisinde iki farklı yarı mamulden, altı farklı ana mamul elde edilmektedir. İstenilen protein ve yağ oranlarına göre farklı kalitelerde ve farklı alt ürünlerde elde edilmektedir. Peynir altı suyu tozu, Peynir altı suyu kreması, Süt, Süt tozu, Süt kreması, Tereyağı gibi üretimi yapılan ürünler farklı karbonhidrat, yağ, protein oranlarında paketlenerek merkez fabrikaya sevk edilmektedir.

Süt tozu üretimi, işlenmemiş sütün fabrikaya gelmesi ile başlar. Üç farklı basamakta meydana gelir. Bunlar: Ön işlem, Standardizasyon ve Yoğunlaştırılmış sütün kurutulmasıdır. Yoğunlaştırılmış sütün kurutulması süt kulelerinde yapılmaktadır. Süt kulesinde “Atomizer” tip püskürtücüler mevcuttur. Pompa vasıtasıyla 35 metre yükseklikteki püskürtücüye 300 bar basınçta gönderilen yoğunlaştırılmış süt, buhar ile ısıtılmış, şartlandırılmış ve girdap şeklinde yönlendirilmiş olan sıcak havaya püskürtülerek kurutma işlemi gerçekleştirilir. Peynir altı suyu kulelerinde ise nozel tip püskürtücüler kullanılmaktadır. Bu tip nozul püskürtücülerde ürün pompa ile basınçlandırılarak kuleye transfer edilir. Süt tozu prosesinde olduğu gibi peynir suyu prosesinde de girdap şekline gelen sıcak havanın üzerine konsantre ürün püskürtülerek kuruma işlemi gerçekleştirilir.

Her iki proseste de kurutma işlemi için buhar kullanılmaktadır. Peynir altı suyu tozu için 12,3 bar 192,7 °C buhar, süt tozu için ise 13,5 bar 196,6 °C buhar kullanılmaktadır. Bu sistemde amaç, ürünü ısıtılmış olan hava ile kurutmaktır.

Süt tozu fabrikalarında süt tozunu kurutmak için buhar kullanılır. Kullanılan buhar, kondense dönüştüğünde üzerindeki basınçtan dolayı enerji bulunmaktadır. Bu enerji genel anlamda atık ısı olarak adlandırılmaktadır. Atık ısıyı geri kazanmanın birçok yolu bulunmaktadır. Yapılan bu çalışma kapsamında ön ısıtma bataryasının hesapları yapılarak kondens suyunun üzerindeki gizli ısıyı havaya aktararak atık ısı geri kazanımı sağlanmış olacaktır. Günümüz şartlarında enerji verimliliğini sağlayabilmek adına atık ısı geri kazanım prosesleri önem arz etmektedir. Sektörün birçok tasarruf tedbirleri kapsamında projeler geliştirdiği ve en hızlı geri dönüşüm olarak enerji verimliliği projelerinin oluştuğu piyasada görülmektedir. Rekabet edilebilen enerjiyi daha verimli kullanmak adına yola çıkılan bu çalışmada, havanın debisini pitot tüpü yardımıyla doğrularak kondensin üzerinde bulunan ısı yükünün ne kadarının havaya aktarabileceği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar doğrultusunda elde edilen veriler ile tasarımı yapılmış olan batarya sisteme entegre edilerek devreye alınmıştır. Entegre edilen bataryanın sıcaklık ve basınç farkları ölçülmüştür. Deneysel sonuçlardan elde edilen ısı transferi ve basınç kayıpları HAD paket programıyla elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Tüketimi, Enerji Verimliliği, Eşanjör Analizi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Isı Eşanjörü.



## **HEAT EXCHANGER DESIGN AND ANALYSIS FOR MILK POWDER PRODUCTION PROCESS NEEDS IN A MILK FACTORY**

### **ABSTRACT**

Six different main products are obtained from two different semi-products in an industrial dairy plant. It is obtained in different quality sub-products according to the desired protein and fat ratios. Products such as whey powder, whey cream, milk, milk powder, milk cream, butter are packaged in different carbohydrate, fat and protein ratios and shipped to the central factory.

Milk powder production begins with the arrival of raw milk to the factory. It occurs in three different steps: pretreatment, standardization and drying of condensed milk. The condensed milk is dried in milk towers. There are "Atomizer" type sprayers in the milk tower. The condensed milk, which is sent to the sprayer at a height of 35 meters by means of the pump at 300 bar pressure, is sprayed to the hot air heated with steam, conditioned and directed in a vortex, and drying process is performed. Nozzle type sprayers are used in whey towers. In this type of nozzle sprayers, the product is pressurized by a pump. As in the milk powder process, the drying process is carried out by spraying the concentrated product on the hot air that turns into a swirl of the whey process.

Steam is used for the drying process in both processes. 12.3 bar 192.7 ° C steam is used for whey powder and 13.5 bar 196.6 ° C steam is used for milk powder. The purpose of this system is to heat the air with steam and dry the product.

Steam is used to dry the milk powder in milk powder factories. When the steam used turns into condense, there is energy due to the pressure on it. This energy is generally referred to as waste heat. There are many ways to recover waste heat. Within the scope of this study, the calculations of the preheating coil will be made, and waste heat recovery will be achieved by transferring the latent heat above the condensate water to the air. In today's conditions, waste heat recovery processes are important in order to ensure energy efficiency. It is seen in the market that the sector develops projects within the scope of many savings measures and energy efficiency projects are formed as the fastest recycling. In this study, which was set out to use the competitive energy more efficiently, it was calculated how much of the heat load on the condensate could transfer to the air by verifying the air flow rate with the help of the pitot tube. The battery designed with the data obtained in line with these calculations was integrated into the system and commissioned. The temperature and pressure differences of the integrated battery were measured. The heat transfer and pressure losses obtained from the experimental results were compared with the values obtained with the HAD package program.

**Keywords:** Energy consumption, Energy efficiency, Heat Exchanger Analysis, Computational Fluid Dynamics, Heat Exchanger.

## GİRİŞ

Dünya genelinde enerji ihtiyacının büyük bir oranı, son yıllarda hızlıca tükenmekte olan fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu durum enerji temini ve enerji fiyatlarında öngörülemeyen bazı durumlara sebebiyet vermektedir. Bizim ülkemiz gibi enerji için gerekli olan fosil yakıtlarını dışarıdan temin eden ülkeler için bu durum ayrı bir öneme sahiptir.

Günümüzde küreselleşen ekonomi ile artan rekabet şartları endüstriyel işletmelerin Enerji Maliyetlerini gözden geçirmeye zorlamaktadır. Önceleri yakıtın ucuz ve rekabetin az olmasından dolayı enerji maliyetleri önemsenmemekteydi. Ancak günümüzde artan enerji maliyetleri ve bu konuda yükselen bilincin sonucu olarak işletmeler, boşa yakıt tüketme lüksüne sahip olmadıklarının farkına varmaya başlamışlardır. Enerjiden tasarruf etmenin temel kuralı üretim kalitesini ve miktarını düşürmeden elde edilen ısı yükünü etkin bir şekilde kullanmaktan geçer. Buda büyük AVM'lerde, endüstriyel tesislerde, konut, otel vb. gibi birçok alanda rekabet gücünün artmasını sağlayacaktır.

Enerji tüketimini azaltmak amacıyla yapılmış olan bu çalışmada birim ürün başına kullanılan buhar miktarını düşürmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın yapıldığı tesisin süt fabrikası olması nedeniyle çiğ sütün ve peynir suyunun fabrikaya ulaşmasından itibaren muhafaza edilmesi için soğutma sistemleri kullanılır. Kurutma proses gereği için de buhar kullanılmaktadır. Bu kapsamda işletmede soğutma ihtiyacı iki adet hava soğutmalı Chiller ile karşılanmaktadır. Bunun yanında Nanofiltre ve kule suyu soğutma işlemleri de soğutma kulesi yardımı ile yapılmaktadır. Birinci Chillerin soğutma kapasitesi 610 kW ikinci Chillerin soğutma kapasitesi 609 kW'tır ve soğutma çevrim sıcaklığı 0-4 °C'dir. Soğutma kulesinin kapasitesi 1.150.000 kcal'dir ve çevrim yapılan suyun soğutması için 5,5 kW gücünde 3 fan çalıştırılmaktadır. Tesiste proسته kullanılmak için buhar kullanılır. Buharı elde etmek için 1 adet su borulu 15 bar basınçta 15.000 kg/h'lik buhar kapasitesinde kömür kazanı mevcuttur. Pastörize inek sütünün kurutulması ile süt tozu elde edilir. Fabrikalarda, sütün besin değerlerine zarar vermeden kurutma işlemi yapan modern kule kurutma sistemleri mevcuttur.

Çalışmada kademeli olarak Filtre Sınıfı EN 779 standardında G4(EU4) tipi Sentetik Polyester filtre ve F7 (EU7) hassas torba filtreden geçen şartlandırılmış hava 55 kW 1000mm SS basıncına sahip radyal fan vakum yaparak hava girişi sağlamaktadır.

Endüstriyel tesislerde ısı eşanjörlerinin ısı transferini engelleyen temel sebeplerin arasında yapışan ve yüksek sıcaklıktan yanmış olan tozların sisteme girmesi yer almaktadır. Proje kapsamında yapılmış olan şartlandırmanın temel amacının yanı sıra toz ve katı partiküllerin girişi engelleyerek mikrobiyel kalitenin artmasını sağlamaktır. Şartlandırılmış hava mevcut sistemde direk buhar bataryalarının üzerinden transfer edilerek sisteme gönderilmektedir. Geri dönüş kondens suyu 15 bardaki kondens suyu kondens tankına gönderilmekte ve kondens tankı atmosfere açılmakta ve üzerindeki basınçtan dolayı gizli ısı bulunmakta ve enerjisinin büyük bir bölümü atmosfere 1 bar basınçta buharlaşarak gitmektedir. Termodinamiğin temelini oluşturan ısı transferi sıcaklıkları farklı iki sistem arasında meydana gelerek sistemler arasından ısı transferini sağlamaya dayanır. Yapılan projeden kondens suyunun üzerindeki yükü ön ısıtma bataryası imalatı yapıldıktan sonra devreye alınması sonucu atmosfere atılan ıslıyı geri kazanarak sistemde kalması sağlanmıştır. Kazanılan ısı yükü enerji verimliliği açısından incelenecektir.

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Süt**

Süt, bünyesinde barındırdığı çeşitli besin maddelerinden dolayı memeli hayvanlarda organizmanın gereksinimlerini karşılayabilen temel gıda maddesidir. Ana besin gıdası olan süt, insanlar için günlük tüketilebilen besin maddesi olmakla beraber bazı gıdalar için ürün hammaddesidir. Süt protein mineral bakımından zengin besin kaynağıdır. Çiğ sütün işlenmesi için elde edilen çeşitli süt ve süt ürünleri mevcuttur. [2]

#### **1.1.1. Sütün Tanımı**

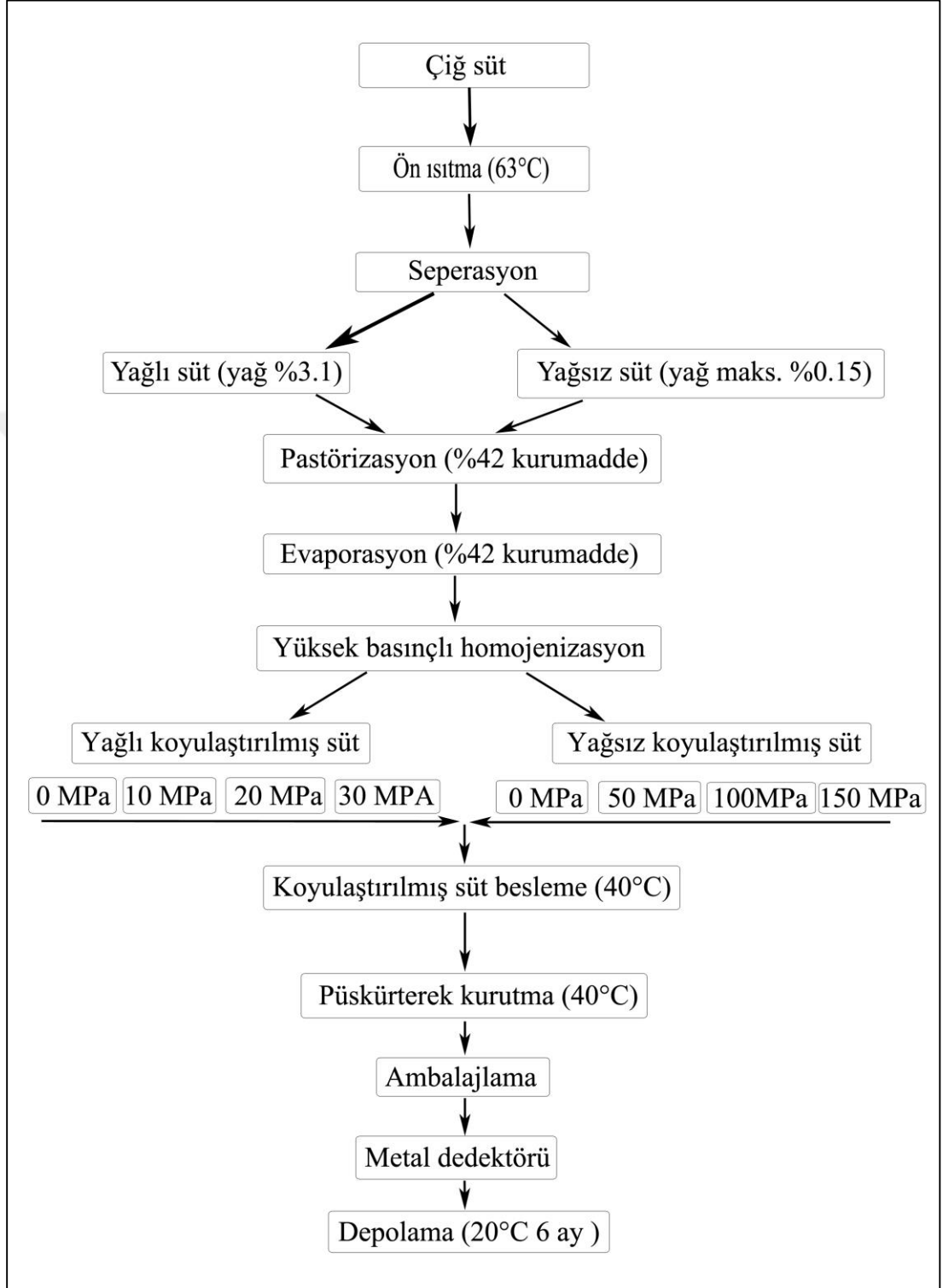
Süt; dişi ve memeli olan hayvanların yavrularını belirli bir zamana kadar beslemek için süt bezlerinde farklı zamanlarda salgılanan, içinde yavrunun kendisini besleyecek olan kalsiyum, fosfor, B<sub>2</sub> vitamini ve çeşitli besleyici maddeleri bünyesinde bulunduran besleyici sıvıdır. Kazein, laktoglobülin, süt yağı, laktoz, laktoalbümin gibi bileşenler sadece sütün yapısında mevcuttur [2]. Yapısında mevcut olan bu bileşenleri ve maddeleri içeren süt insanlar ve hayvanlar için besleyici ve koruyucu bir gıda besin maddesidir.

Sütün yapısında yüzlerce tür molekül mevcuttur. Şeker(laktoz), su ve proteinler, mineraller, hormonlar, enzimler ve çeşitli bileşikleri sütün yapısında bulunur. Süt yüksek besin değerinin ve yapısında bulunan su, yağ, lipitler, vitaminler makro elementler, mikro elementler, karbonhidratlar, eser elementler sayesinde eksiksiz bir gıda olarak kabul edilir [3].

#### **1.1.2. Sütü Kurutmanın Tarihçesi**

Sütten süt tozu üretiminin tarihi orta çağa dayanmaktadır. Sütü kurutmanın ilk verileri Marco Polo'nun kayıtlarına rastlanmaktadır. Marco Polo bir süre Moğol imparatorluğu bünyesinde çalışmıştır ve kayıtlarında Moğol askerinin kumanyasında süttozu bulunduğundan bahsetmiştir [2].

## 1.2. Süt Tozu Üretimi



Şekil 1.1. Süt tozu prosesi akış şeması [9]

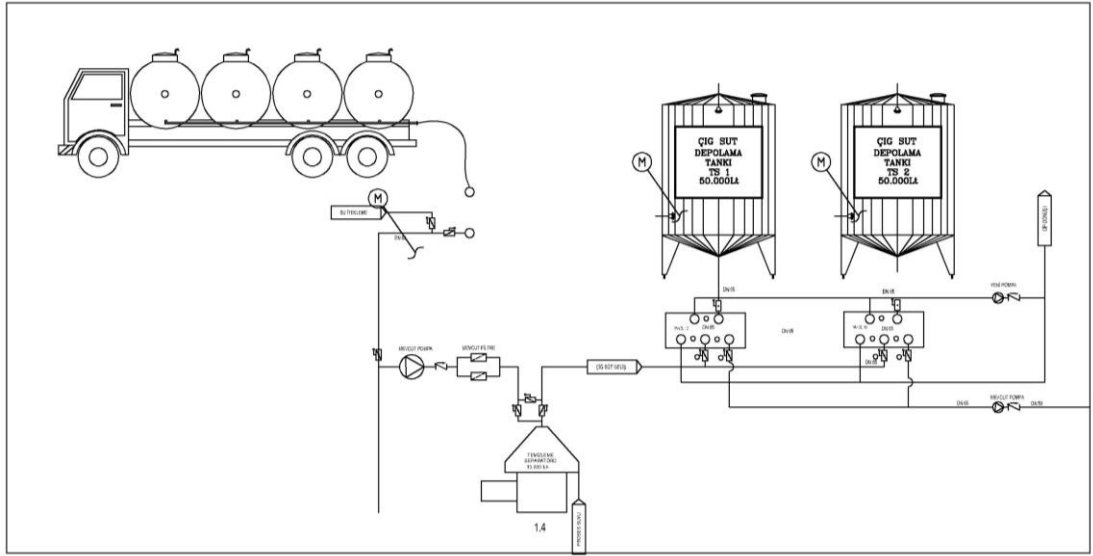


Kurutma, Sütün uzun raf ömrü elde etmek ve mikroorganizmaların üremesini engellemek için içerisindeki suyun tamamına yakın miktarının buharlaştırılması prosesidir. Elde edilen ürüne süt tozu denir.

Yağsız süt tozunun raf ömrü yaklaşık 3 yıldır. Tam yağlı süt tozunun yaklaşık raf ömrü 6 aydır. Yağlı süt tozunun ömrünün az olmasının nedeni içerisindeki yağın zamanla oksitlenmesindedir. [4]

Şekil 1.1.'de süt tozu prosesi akış şeması görünmektedir. Proses, çiğ sütün kamyonlar vasıtasıyla fabrikaya girmesiyle başlar ve yoğunlaştırılmış kıvamdaki sütün kurutularak paketlenmesiyle son bulur.

### 1.2.1. Çiğ Süt Alımı

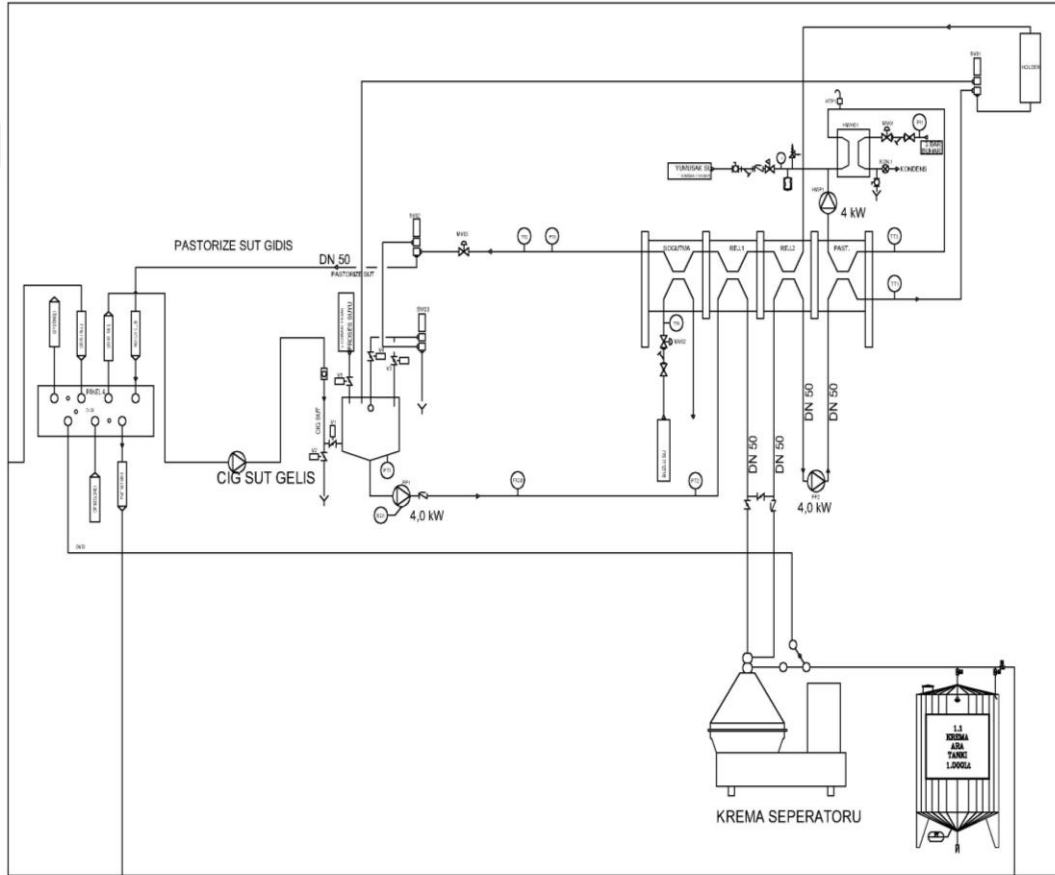


Şekil 1.2. Çiğ süt alım akış şeması

Şekil 1.2.'de çiğ süt akış şeması görünmektedir. İşletmenin standartlarına uygun niteliklerde olan çiğ süt laboratuvar testlerine tabi tutulduktan sonra kantar vasıtasıyla tartım işlemi gerçekleştirilerek işletmeye kabul edilir. Pompa vasıtasıyla temizleme seperatöründen diğer adıyla klarifikasyondan geçen çiğ süt, karıştırıcı şartlandırılmış stok tanklarına aktarılır.

### 1.2.2. Seperatör

Sütün içerisinde bakteri ve sporların ürememesi ve yapısındaki proteinlerin bozulmaması için 65 ° C de ön ısıl sıcaklığa ulaştırılıp transfer edilmesi gerekir. [4] Seperatörler yoğurt ve ayran da bakteri oluşumu geciktirir. Sütün ömrü uzatılır. Tesisteki stok tanklarında hazır olan çiğ süt 65 ° C- 70 ° C arasında ön ısıtma işlemine tabi tutulduktan sonra krema seperatöründen geçerek pastörizasyon prosesine pompa vasıtasıyla transfer edilir.



Şekil 1.3. Krema seperatörü ve Pastörizasyon prosesi akış şeması

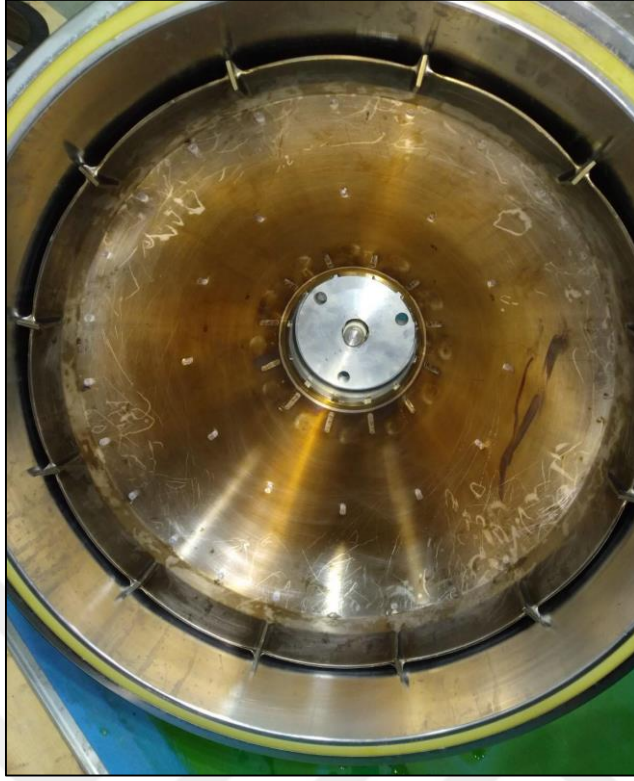
Seperatörler, Elektrik motorundan elde edilen mekanik enerjiyi merkezkaç kuvvete dönüştürerek sütün içerisinde kremayı ayırıştıran makinelerdir. Şekil 1.4-1.9 da seperatör çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Krema Ayırıcı Seperatör



Şekil 1.5. Temizleme Seperatörü



Şekil 1.6. Krema Seperatörü



Şekil 1.7. Krema Seperatörü





Şekil 1.8. Krema Seperatörü

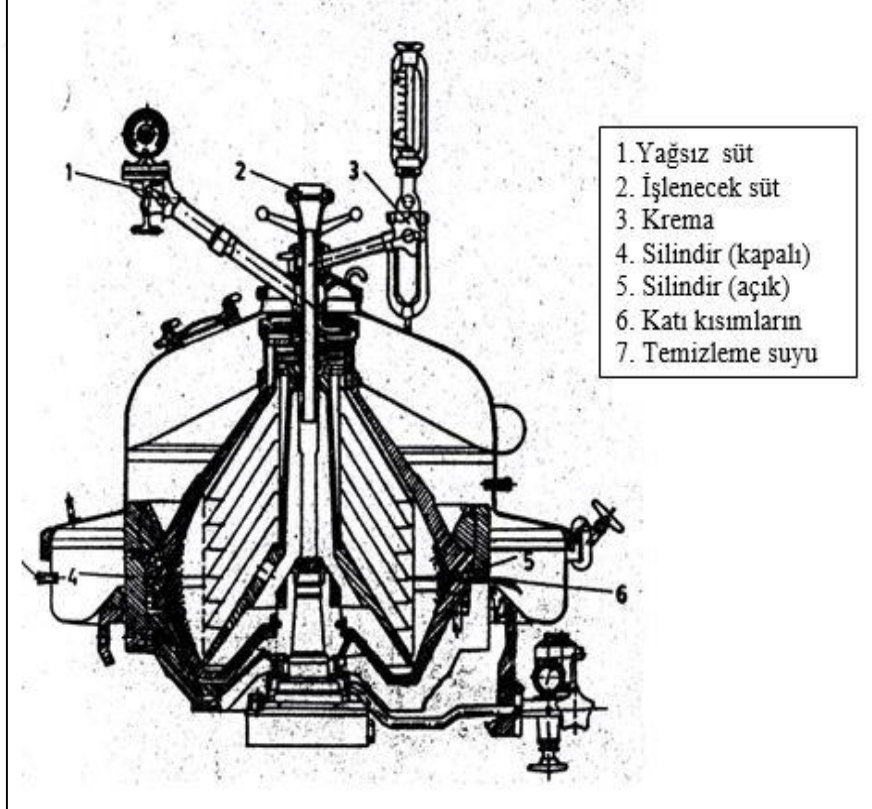


Şekil 1.9. Krema Seperatörü

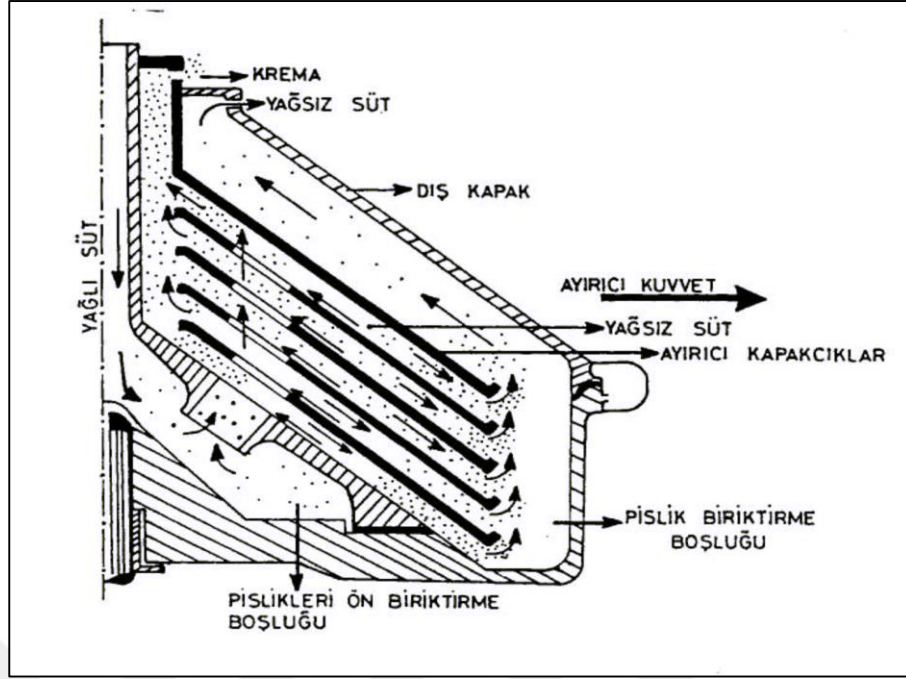
### 1.2.2.1. Seperatör tipleri

Seperatörler genel olarak üç başlık altında sınıflandırılırlar.

- Kullanılan amaca göre,
- Krema ayırıcı seperatörler: Sütün içindeki yağı ayırtmada kullanılır.
- Temizleme seperatörleri: Kullanım yerine göre içerisine aktarılan akışkanın temizlenmesi için kullanılır.
- İşletme şekline göre,
- Operatör tarafından çalıştırılan seperatörler,
- Elektrik enerjisi ile çalışan seperatörler,
- Kombine seperatörler.
- Dış havaya göre ayrılma işinin bitiş durumuna bağlı seperatörler,
- Açık tip seperatörler
- Yarı açık tip seperatörler
- Kapalı tip seperatörler [4]



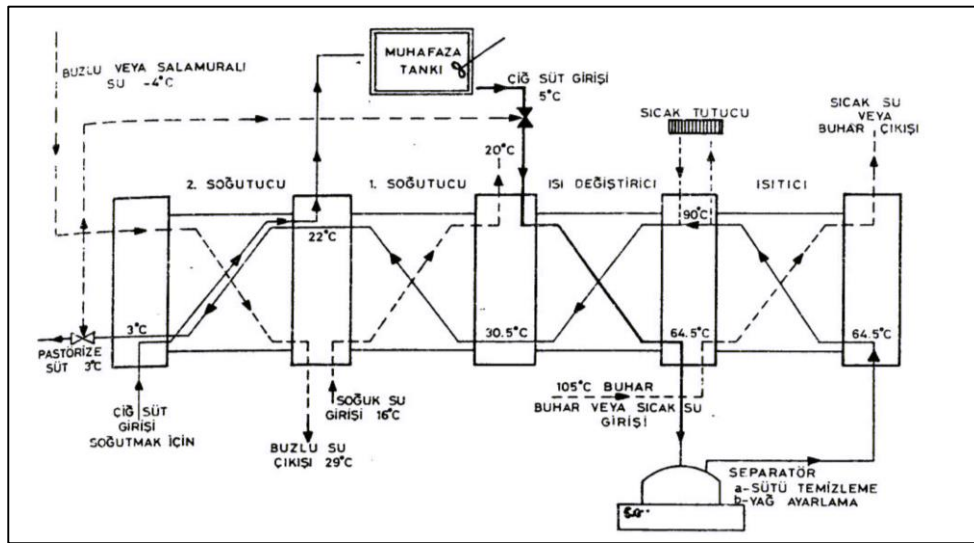
Şekil 1.10. Seperatör kesit görünümü [5]



Şekil 1.11. Yağ-süt ayırıştırma prosesi [5]

Süt seperatöre Şekil 1.10.'da ki 2 numaralı girişten yani merkezinden girmektedir. Motor vasıtasıyla merkezkaç kuvvetlerin etkisine maruz kalan süt yoğunluk farkından dolayı disklerin iç ve dış yüzeyinde toplanır ve birikir. Yoğunluk farkından dolayı ayrılan yağsüz süt ve yağ globülleri ayrılması Şekil 1.11.'de görülmektedir [5]

### 1.2.3. Pastörizasyon işlemi



Şekil 1.12. Pastörizasyon Prosesi [5]

Pastörizasyon prosesi Şekil 1.12’de olduğu gibi dört bölümden oluşur. İlk bölümde çiğ süt, pastörize prosesi tamamlanmış sütünle ön ısıtılması yapılır. İkinci bölümde pastörize süt ile ısıtılan çiğ sütün pastörizasyon sıcaklığına ulaşmasıyla sona erer ve üçüncü bölümde pastörize prosesi tamamlama, süt ön soğutmasının ardından dördüncü bölüme geçer burada ürün buzlu suyla soğutma yapılarak stok tanklarına transfer edilir. [5]



Şekil 1.13. Plakalı pastörizatör



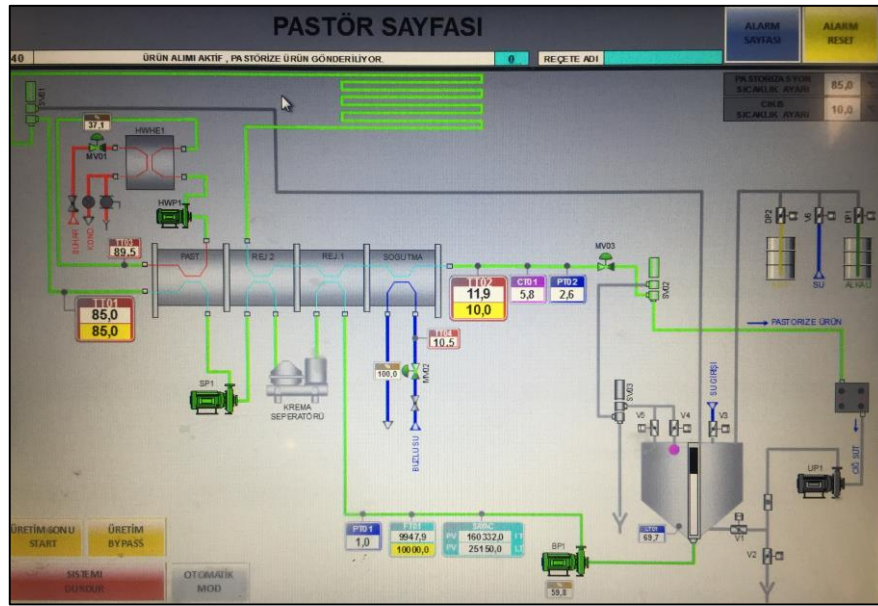
Şekil 1.14. Plakalı Pastörizatör





Şekil 1.15. Plakalı pastörizatör bekleme boruları

Şekil 1.13. ve Şekil 1.14.'de plakalı pastörizatör örnekleri görülmektedir. Şekil 1.15.'te plakalı pastörizatörlerin bekleme boruları görülmektedir. Süttozu üretimi için amaca uygun olarak uygulaması yapılan ısıl işlem, belirli sıcaklık ve zaman aralığına sahiptir. Literatürden edinilen bilgilere dayanarak 120 °C ile 75 °C arasında 1 saniyeden 25 dakikayı bulan ısı zaman prosesleri mevcuttur [6].



Şekil 1.16. Plakalı pastörizatör PLC ekranı

Şekil 1.16.'da PLC otomatik veya manuel kullanılabilen kontrol ekranı görülmektedir. Anlık veri okuma ve kontrol imkânına sahip otomasyon sistemiyle, belirlenmiş tolerans aralıklarında ısıl işlemler yapılmaktadır. Isıl işlem 4 farklı zaman-sıcaklık normunda uygulanmaktadır.

Isıl normları:

- 93,5-100 °C'de 10-25 dakika
- 95 °C'de 10 dakika
- 120 °C (Mevcut dereceye 5 saniye ulaşması gerekmektedir) 3-4 dakika
- 135 °C'de 4 saniye [6]

#### 1.2.4. Kuru madde oranını arttırma işlemi



Şekil 1.17. 1.Film evaporatör

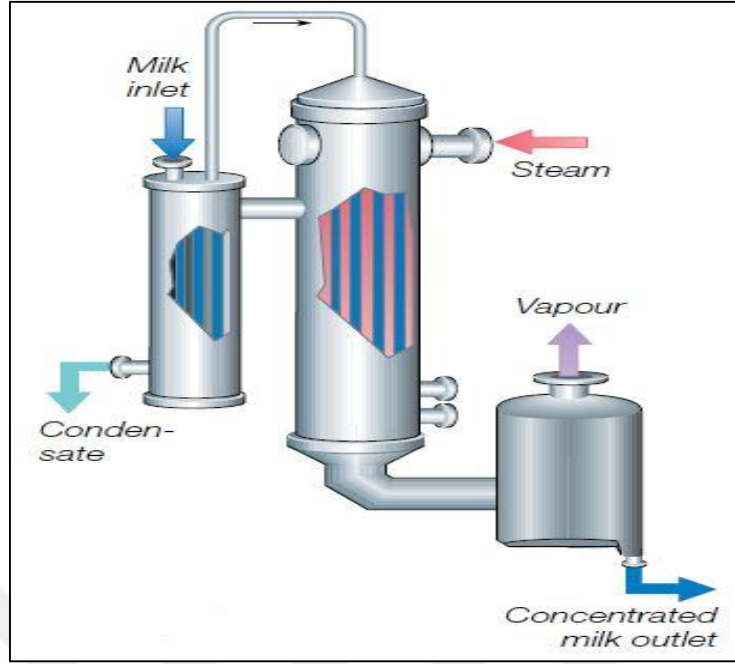
Plakalı eşanjörlerde ısıl işlem tamamlandıktan sonra süt 70 °C sıcaklıkta kuru madde oranını değiştirmek amacıyla film evaporatörlere gönderilir. Şekil 1.17. ve Şekil 1.18.'de düşey film evaporatörler ve vakum hazneleri görülmektedir.



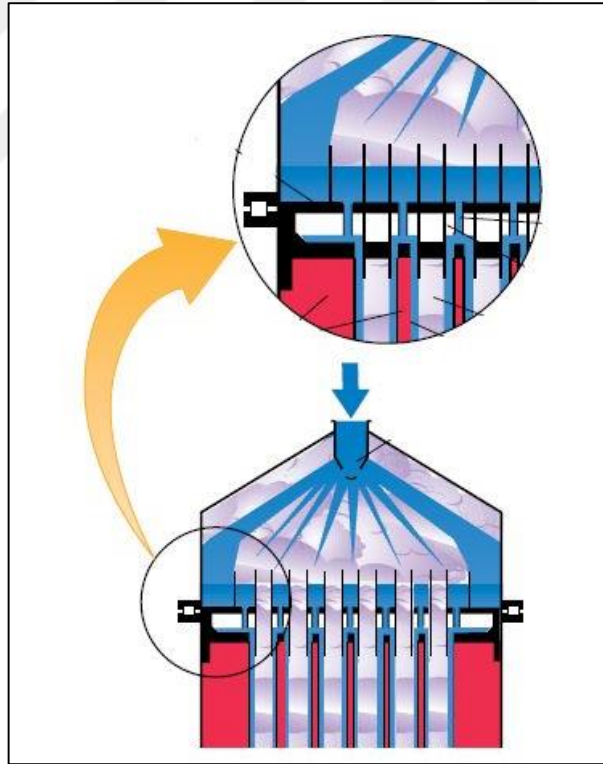
Şekil 1.18. 2.Film evaporatör

Tesiste kullanılan film evaporatörler: pompa, kondenser, dikey borulu eşanjörlerinden ve buhar separatörlerinden oluşur. Sütün kuru madde oranını arttırmak için süt endüstrisinde en çok kullanılan eşanjör tipi olan düşey film evaporatördür. Isıl işlem sonrasında pastörize edilmiş olan süt pompa vasıtasıyla düşey film evaporatörlere transfer edilir. Süt dikey olarak yerleştirilmiş ve buhar ile ısıtılan borulardan oluşan evaporatörden yerçekimi sayesinde aşağı düşerken borunun çevresinde film tabakası oluşturur. Şekil 1.19. ve Şekil 1.20.'de film tabakası şeklinde borulardan akışı görülmektedir. Isınan süt evaporatörden vakum çemberine gelir burada ürün girişinin borunun kenarından verilmesiyle girdap oluşur. Oluşan girdap sayesinde vakum çemberinde bekleme süresi artarak ve sütün üzerinde buharlaşma meydana gelir. Üzerinde buharlaşma meydana gelmesi sayesinde çıkan ürünün yoğunluğu artarak bir sonraki sütuna aktarılır. Ürün buharları enerjiyi etkin kullanmak amacıyla bir sonraki sütunun ısıtma girişine bağlanır. Kuru madde oranı arttırılan ürün bir sonraki sütuna pompa vasıtasıyla transfer edilir. Yoğunluğu artan süt kurutma kulesine gönderilmeden önce stok tanklarında depolanır.





Şekil 1.19. Düşey film evaporatör ürün buhar girişi [24]



Şekil 1.20. Film Tabakası [24]

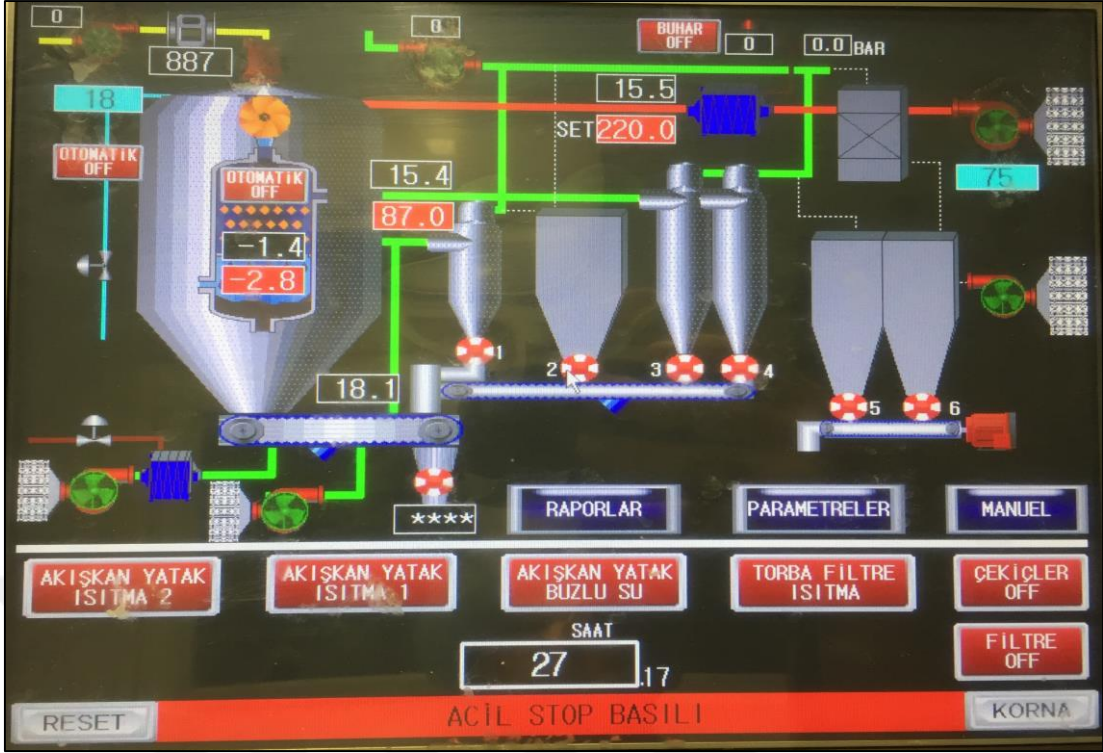
### 1.2.5. Sütü kurutma işlemi



Şekil 1.21. Süt kulesi



Şekil 1.22. Debi ölçer



Şekil 1.23. Otomasyon ekranı



Şekil 1.24. Süt kulesi iç yüzeyi





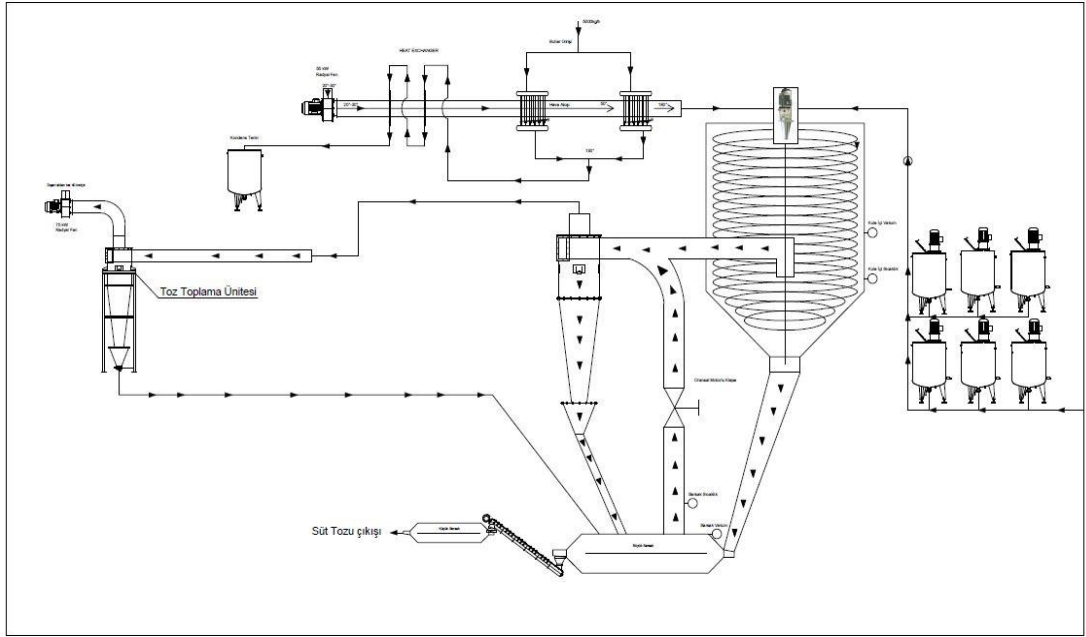
Şekil 1.25. Süt kulesi

Şekil 1.21.-25.'de sütün hava ile kurutulması sağlanan süt kulesi ve ekipmanları görülmektedir.



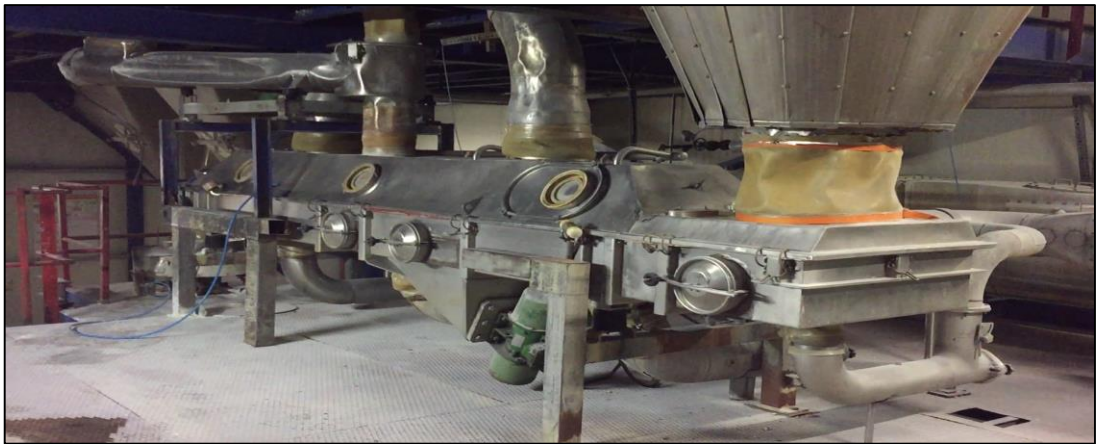
Şekil 1.26. Süt Kulesi püskürtmeli kurutucu

Dikey film evaporatörden çıkan ürün debimetreden geçerek pompa vasıtasıyla püskürtmeli kurutucu (atomizere) gönderilir. Şekil 1.26.'da atomizerin kule içerisindeki püskürtücü nozul bölümü görülmektedir. Atomizerin temel amacı, buharla ısıtılan havanın içine yoğunlaştırılmış olan sütü püskürterek hızlı bir şekilde kurutmaktır. Ürün ve havanın karışım oranı, ısıtma, soğutma gibi parametreler PLC ekranı üzerinden ayarlanmaktadır. Şekil 1.23.'de süt kulesinin otomasyon ekranı görülmektedir.



Şekil 1.27. Süt kulesi akış şeması

Süt kulesinin proses akış şemasının iki boyutlu çizimi Şekil 1.27.'de görülmektedir.



Şekil 1.28. Akışkan yataklı elek



Sıcak hava sayesinde üzerindeki nemin büyük bir kısmı alınan süt, içerisinde delikli sac tabakalardan imal edilmiş olan akışkan yataklı eleğe gelir. Buradaki temel amaç topaklanmayı önleyerek üzerinde kalan nemin sıcak hava ile alınması ve sonrasında soğuk hava ile soğutularak paketlenmeye göndermektir.

#### 1.2.6. Süt tozu paketleme işlemi



Şekil 1.29. Ürün Tartım ünitesi

Şekil 1.29.'da ürün tartım ünitesi görülmektedir. Ürün tartımı yük hücreleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Yük hücreleri fiziksel kuvveti elektrik sinyaline çeviren sistemlerdir. Genel elektrik sinyali doğrultusunda tartım ünitesine gelen süt tozu helezonlar tarafından paketin içine aktarılır. Paketin içerisindeki toz önceden sabitlenmiş olan 25 kiloya geldiğinde toz aktarımı durmaktadır. Tartı vasıtasıyla paketin kilosu doğrularak ürün dikim ünitesine transfer edilir.

Dikim ünitesi Şekil 1.30.'da görülmektedir. Dikim ünitesine transfer edilen ürünün ağız kısmı dikilerek hava alması engellenir. Sistemdeki metal aksamdan kopabilecek parçaları algılayan, metal detektörler mevcuttur. Şekil 1.31.'de Metal detektör konveyörü görülmektedir. Metal detektörün metali algılaması durumunda konveyörü durdurarak alarm vermektedir. Alarm verilen ürünler kalite tarafından incelenmek üzere karantina bölümüne alınarak karantina prosesi uygulanır. Satışa uygun olan ürünler şartlandırılmış olan depolara sevk edilir.



Şekil 1.30. Ürün dikim ünitesi



Şekil 1.31. Metal detektör konveyörü

## 2. LİTERATÜRÜN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Isı eşanjörü tasarımı ile ilgili teorik, deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmaktadır. Bu bölümde ısı eşanjörleri hakkında literatür araştırılması yapılmıştır.

Varol [7] tarafından kompakt ısı eşanjörlerinde kanatçık kalınlıkları ve kanatçıklar arası mesafe değiştirilerek basınç kayıpları incelenmiş; kanatçık kalınlığı 0 mm değerine yaklaşırken basınç kayıp oranının artmakta olduğu, bütün kanatçık kalınlıklarında basınç kayıp oranının aynı değere yaklaşmakta olup kanatçık kalınlığının, basınç kayıp oranına etkisinin kalkmakta olduğu ve kanatçık kalınlığı sonsuza giderken kanatçıklar arası mesafenin basınç kaybına etkisinin olmadığını bildirmiştir.

Akkoca vd. [8] literatürdeki deneysel çalışmadan alınmış olan mevcut kanatlı borulu ısı eşanjörlerinin Fluent yazılım programında mevcut bulunan 3 farklı duvar fonksiyonunun akım ve ısı transfer özelliklerinin belirlenmesindeki etkilerini incelemişlerdir. Reynold sayısı arttıkça giriş ve çıkış arasındaki basınç kayıp katsayısının azaldığı, Reynold sayısı azaldıkça ısı transfer katsayısının azaldığını bulmuşlardır.

Alt vd. [9] farklı tipteki borulu ısı eşanjörlerinin kişisel bilgisayarlarda bulunan mikroişlemcilerin farklı soğutucu sıvılarla soğutulması deneysel olarak karşılaştırılması incelenmiş, en verimli akışkandan daha az verimli akışkana doğru sırasıyla etanol, R404, R22 olduğunu ifade etmişlerdir.

Köseoğlu vd. [10] tarafından 3 farklı modeldeki kombi cihazlarının ısı eşanjörlerinin performansları deneysel olarak incelenmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, aynı güce sahip olan K1, K2, K3 olarak adlandırılan kombi cihazlarından birleşik ısı eşanjörlü K1 kombi cihazının diğer birleşik ısı eşanjörlü ve çift ısı değiştiricili kombi cihazlarından ısı enerjisi transfer özellikleri açısından avantajları olduğunu göstermişlerdir.

Yılmaz vd. [11] tarafından çapraz akışlı düz borulu saptırmalı ısı eşanjörlerinde deneysel olarak ısı transferi ve basınç kayıpları ölçülmüş ve literatürde verilen eşitliklerle kıyaslamasını yapmışlardır.

Öğüt ve Dilki [12] dalgalı trapez plakalı ısı eşanjöründe su ve nanoakışkanın, akış ve ısı transfer karakteristikleri incelenmiş, nanoakışkanın ısı transferini arttırdığı ve basınç düşüşüne yol açtığını ifade etmişlerdir.

Guardo vd. [13] tarafından sabit yataklı reaktörün 5 farklı türbülans modelindeki basınç düşümü ve ısı transfer parametreleri incelenmiştir. Sonuçlara göre 5 modelde Basınç değişimi-Reynold sayısının Nusselt sayısı-Reynold sayısının grafiğinin birbirine yakın olduğunu, türbülans viskozite-Reynold sayısı grafiğinde “Realizable k- $\epsilon$ ” türbülans modeli farklılık gösterdiğini bulmuşlardır.

Daştan ve Çetin [14] tarafından ısı eşanjörlerinde ısı transferi iyileştirme yöntemlerinin sayısal ve deneysel analizleri yapılmıştır ve deneylerden elde edilen sonuçlarla literatürde verilen değerler arasında uyum olduğunu göstermişlerdir.

Özaydın [15] tarafından buharlaştırıcı hava giriş koşullarının ve buharlaştırıcı sıcaklığının nem alma performansını deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Yapılmış olan deneyler sonucunda sisteme giriş havasının bağıl nem değeri atıkça, gizli ısı oranı ve yoğuşma hızının arttığı birim yoğuşma başına harcanan enerjinin azaldığını bildirmiştir.

Pulat [16] devre kartı üzerinde zorlanmış taşınım olan ısı transferini “ANSYS-FLOTRAN” kodu kullanılarak “k- $\epsilon$ ” türbülans modeli kullanılarak çözmüş, elde edilen sonuçlarla literatürdeki deneysel sonuçları karşılaştırarak değerlendirmiştir.

Kocaman vd. [17] tarafından kanatlı borulu bir ısı eşanjöründe, tasarım parametrelerinin kapasite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Geliştirilmiş olan yazılımla yapılan performans analizi, kontrol hacmi yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Çeteci [18] gövde borulu ısı eşanjörünün, soğutucu ve nem alıcı serpantinler ile ısıtıcı serpantinlerinin matematiksel modelleri oluşturmuş ve bilgisayar programı yardımıyla

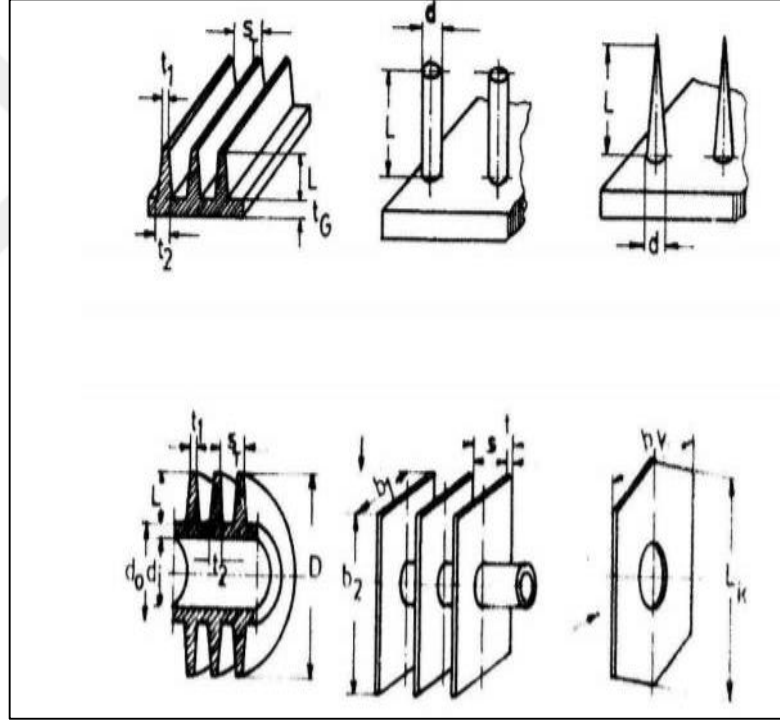
incelemiştir. Visual Basic programıyla oluşturulmuş olan programın maliyet, ısı performans özelliklerinin çıktılarını bildirmiştir.

Bozkula [19] Kısa kanatlı bir boru ile farklı kanat yapılarına sahip içten ve dıştan kanatçıklı borular “Solidworks Flow Simulation” programı ile incelenmiştir, yapılan analizler sonucunda iç akıştaki Reynold sayısı arttıkça ısı geçişi ve basınç düşümünün arttığını ifade etmiştir.

Yakut [20] Isı eşanjörlerinin parametrelerini hesaplayan tasarıma imkân sağlayan “C#” bilgisayar dilinde program geliştirmiştir. Programdan elde edilen veriler doğrultusunda deneysel çalışmayla farkını incelemiştir, literatürdeki bilgilerin deneysel çalışmayla uyum sağladığını bildirmiştir.

### 3. ISI EŞANJÖRLERİ

Isı eşanjörlerinin temel prensibi termodinamiğin ikinci yasasına dayanır. İkinci yasa ısı geçiőinin azalan sıcaklık yönünde gerçekteőtiđini ifade eder. Başka bir deyiőle farklı sıcaklıktaki iki veya daha fazla katı, sıvı, gaz halinde bulunan akışkan maddelerin arasında gerçekteően ısı transferidir. Isı eşanjörleri sanayide ve günlük yaőamda ısı deđiőtirici olarak da adlandırılmaktadır [21]. Isı eşanjörleri endüstriyel tesislerde ve günlük hayatta soğutma, ısıtma, iklimlendirme, atık ısının geri kazanımı gibi birçok yerlerde kullanılır.



Şekil 3.1. Endüstriyel tesislerde kullanılan kanat tipleri [19]

Isı eőanjörlerin tasarımında en iyi sonuçlar elde etmek için birçok parametre mevcuttur. Isı eşanjöründe kullanılacak olan sıcaklıklar, debiler, basınç düşümleri, akışkan tipleri ve fazları, konstrüksiyon, ısı geçiş mekanizması gibi parametreler verime doğrudan etki eder [14].

Endüstriyel tesislerde kullanılan radyatörlerin kanat tipleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Yapılmış olan tez çalışmasında borulu kanatlı tip ısı eşanjörü kullanarak akışkana herhangi bir ek enerji vermeden ısı enerjisinin sisteme tekrar geri kazanımı gerçekleştirilmiştir.

### 3.1. Isı Eşanjörü Tipleri

- Isı değişim şekline göre sınıflandırma
  - Akışkanların doğrudan temaslı olduğu ısı eşanjörleri
  - Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı eşanjörleri
- Isı geçişi yüzeyinin ısı geçişi hacmine oranına göre sınıflama (kompaktlık)
  - Kompakt olmayan ısı eşanjörleri
  - Kompakt ısı eşanjörleri
- Akışkan sayısına göre sınıflama
  - Çok akışkanlı
  - Üç akışkanlı
  - İki akışkanlı
- Isı geçişi mekanizmasına göre sınıflama
  - İki tarafta da tek fazlı akış
  - Bir tarafta tek fazlı, diğer tarafta çift fazlı akış
  - İki tarafta da çift fazlı akış
  - Taşınım ve ışınlama beraber ısı geçişi
- Konstrüksiyon özelliklerine göre sınıflama
  - Borulu ısı eşanjörleri
    - Düz borulu ısı eşanjörler
    - Spiral borulu ısı eşanjörler
    - Gövde borulu ısı eşanjörleri
  - Levhalı ısı eşanjörleri
    - Contalı levhalı ısı eşanjörler
    - Spiral levhalı ısı eşanjörleri
    - Lamelli ısı eşanjörler
  - Kanatlı yüzeyli ısı eşanjörler
    - Levhalı kanatlı ısı eşanjörler

- Borulu kanatlı ısı eşanjörleri
- Rejeneratif ısı eşanjörleri
- Sabit dolgu maddeli rejeneratörler
- Döner dolgu maddeli rejeneratörler
- Karıştırılmalı kaplar
- Akıma göre sınıflama
- Tek geçişli ısı eşanjörler
- Paralel akımlı ısı eşanjörler
- Ters akımlı ısı eşanjörler
- Çapraz akımlı ısı eşanjörler
- Çok geçişli ısı eşanjörler
- Çapraz-ters ve çapraz-paralel akımlı ısı eşanjörler
- Çok geçişli gövde-borulu ısı eşanjörleri
- N adet paralel levha geçişli ısı eşanjörleri [1]

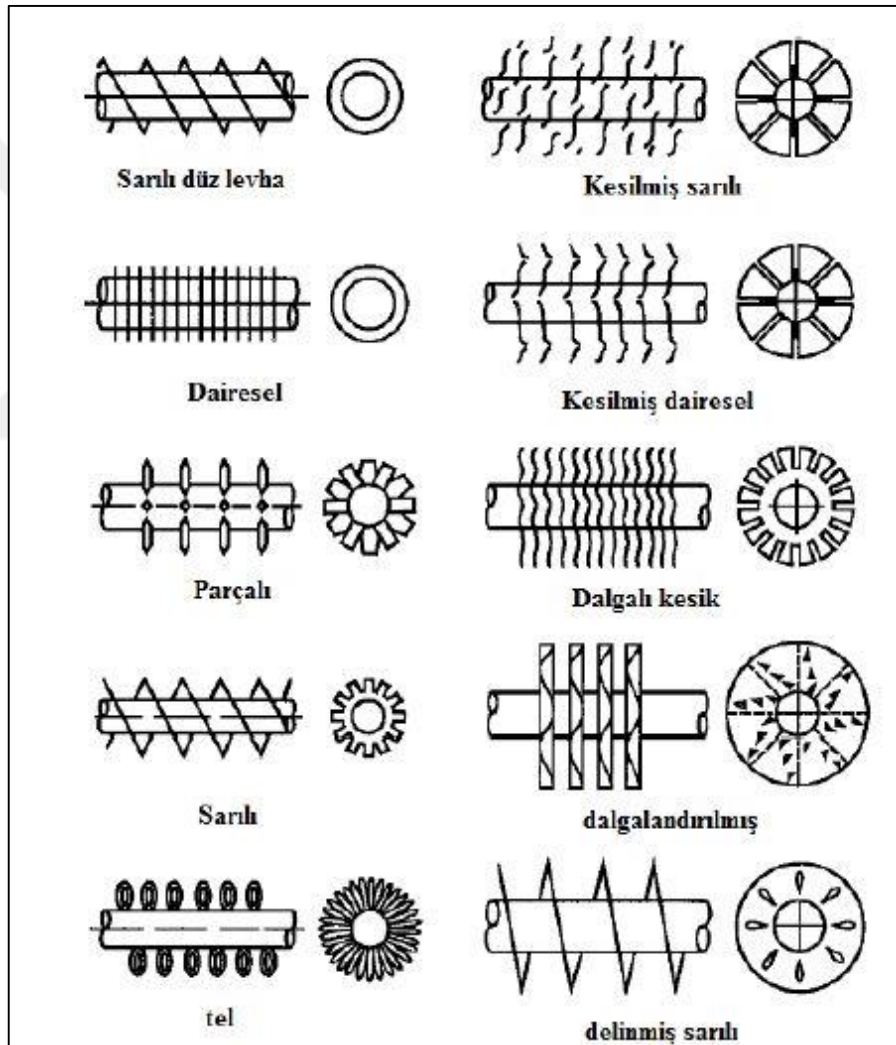


Şekil 3.2. Plakalı ısı eşanjör



### 3.1.1. Isı eşanjörü kanat tipleri

Endüstriyel tesislerde sıkça rastlanan tip olan borulu kanatlı ısı eşanjörleri genellikle havayı ısıtmak veya soğutmak için kullanılır. Borulu kanatlı ısı eşanjörlerine Chillerlerdeki kondensörler klima santralleri, soğutma dolapları, buhar radyatörleri gibi birçok örnek verilebilir. Proses için ihtiyaç olan ısı yüküne göre kullanımı uygun görülen çeşitli sıvı veya gaz akışkanlar (sıcak su, soğuk su, buhar, amonyak, kloroflorokarbon vb.) boru içerisinden akar. Boru dışarısından gaz akıtılır. Borulu kanatlı ısı eşanjör tipleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



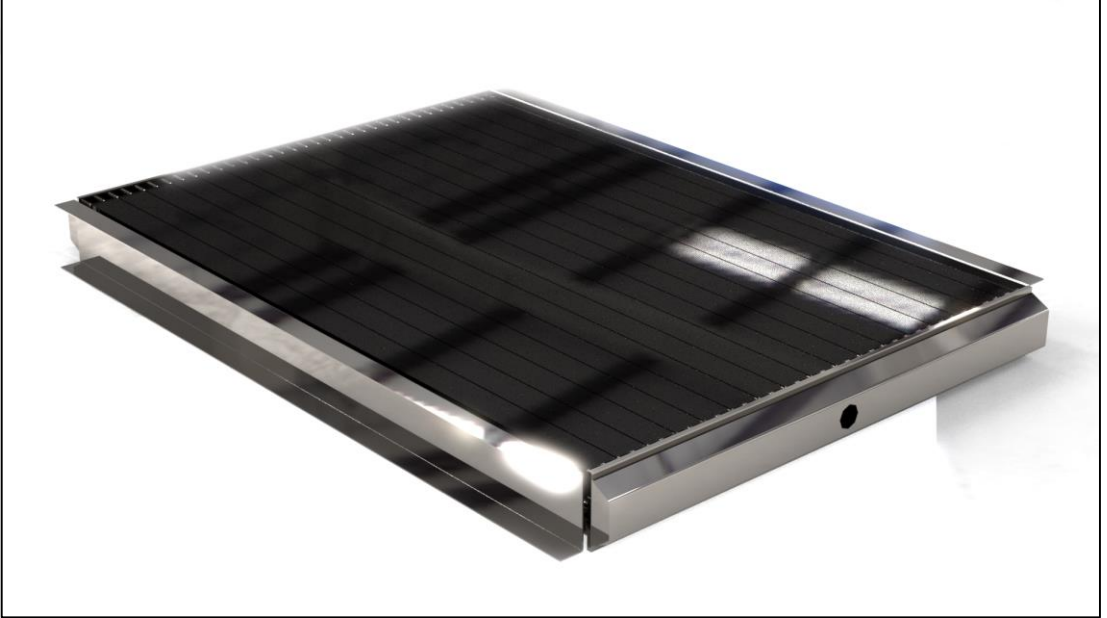
Şekil 3.3. Borulu kanatlı ısı eşanjör tipleri [13]

## 4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan malzemeler ve deneysel ve sayısal yöntemler anlatılmıştır.

### 4.1. Malzeme

#### 4.1.1. Isı Eşanjörü



Şekil 4.1. Borulu kanatlı ısı eşanjörü

Isı eşanjörü, aralarında sıcaklık farkı olan en az iki akışkanın ısı değişiminin gerçekleştiği devre elemanlarıdır. Endüstriyel tesislerde günlük hayatta kullanılmak için kullanım amacına göre çeşitli tasarımlar mevcuttur. Mevcut olan tezde Şekil 4.1’de görünen kanatlı tip borulu ısı eşanjörü kullanılmıştır.

##### 4.1.1.1. Isı eşanjörünü oluşturan bileşenler

- Akışkan giriş nozulu
- Akışkan çıkış nozulu
- Akışkan giriş kollektörü

- Akışkan çıkış kollektörü
- Borular
- Kanatçıklar
- Gövde

#### 4.1.2. Isı geri kazanım için projede kullanılan malzemeler

- Hava atıcı
- Pozisyonerli pnömatik vana
- Çekvalf
- Metal körüklü (globe) vana
- Bağlantı elemanları (Boru, Bombe, manşon, nipel, flanş)
- Buhar kapanı (Kondestop)
- Pislik tutucu
- Buhar sayacı
- Termometre
- Manometre
- Gözetleme elemanı



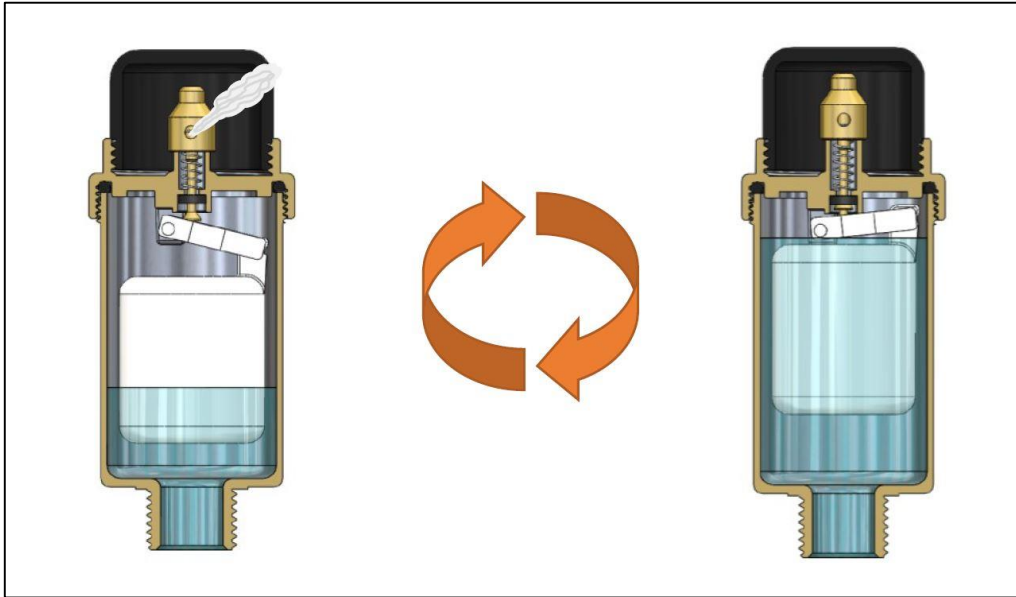
Şekil 4.2. Ana buhar hattı ve ekipmanları

#### 4.1.2.1. Hava Atıcı



Şekil 4.3. Hava atıcı [27]

Şekil 4.2’den de görüldüğü gibi hava atıcılar, (Purjör) ısıtma sistemlerinde yer alan su veya başka bir akışkan maddenin içerisindeki havayı almaya(dışarıya tahliyesine) yarayan tesisat elemanıdır. Kapalı çevrim sistemlerde sistemde bulunan hava daima en üst noktada toplanır ve hava atıcı tarafından tahliye edilir. Toplanan hava tahliye



Şekil 4.4. Hava atıcı çalışma prensibi [34]

edilmezse hava ısı geçirgenlik direncinin yüksek olması ve akışkanın sirkülasyonu zorlaşmasından dolayı ısı verim düşer. Bu da istenilen bir durum değildir. Hava atıcı seçilirken hem sıcaklık dayanımı hem de basınç dayanımının tesisata uygun olması gerekmektedir.

#### 4.1.2.2. Pozisyonerli pnömatik vana



Şekil 4.5. Pnömatik vana

Buhar tesisatlarında sistem durdurulup buhar kapatıldığında sistemde yoğuşma meydana gelir. Buhar tekrar devreye alındığında buharın hızı suyun hızından yüksek olduğundan önündeki suyu kendi hızıyla (yaklaşık 15-25 m/s) sürükleyerek ekipmana zarar verir. Bu olaya hidrolik koç darbesi denir.

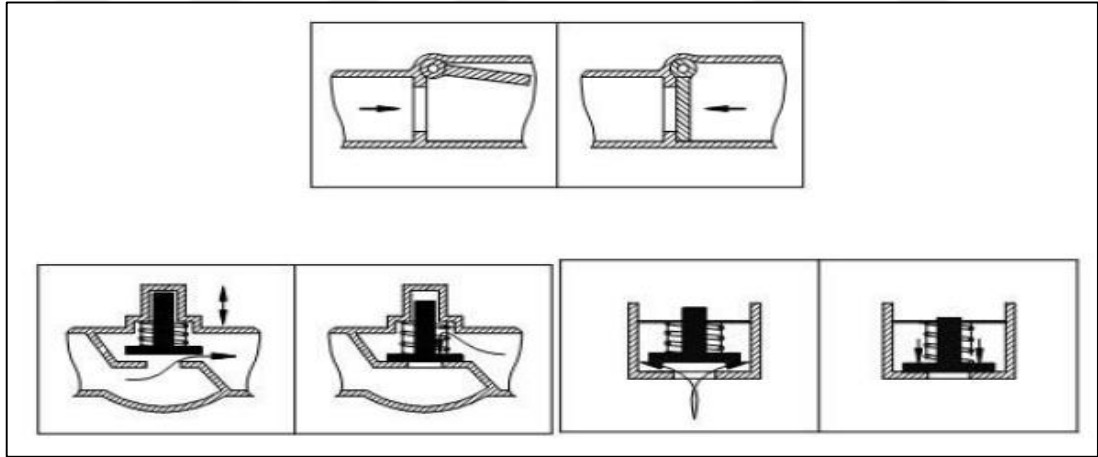
Proje kapsamında pozisyonerli pnömatik vananın kullanım amacı: buhar vanasının oransal olarak açılıp kapanmasını sağlayarak buhar bataryalarının ve sistemdeki diğer kademeli olarak ısınmasını sağlayarak kullanılan ekipmanlarının ve buhar bataryalarının zarar görmesini engellemektir. Otomatik pozisyonerli pnömatik vananın kullanılmasındaki bir diğer amaç ise kullanım kolaylığı sağlamaktır. Çünkü otomatik vanaya bir kontrol paneli üzerinden müdahale etmek daha kolaydır. Bu durum manuel vanada ise el ile yapıldığından lokasyon olarak vananın yanına gidilmeden müdahale yapılamamaktadır. Bu durum sistemde problem teşkil

edeceğinden dolayı pozisyonerli pnömatik vana kullanımı tercih edilmesine sebep olmaktadır.

#### 4.1.2.3. Çek valf



Şekil 4.6. Çek valf [28]

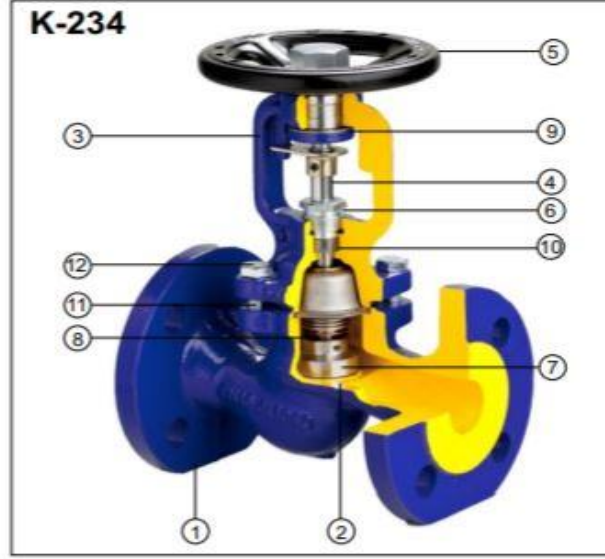


Şekil 4.7. Çekvalf çalışma sistemi [32]

Çek valfin içerisinde akışkanın tek yönde hareket etmesini sağlayan menteşeli veya yaylı klape bulunur. Kondens tahliye oldukça menteşeli veya yaylı klape açık kalarak tek yönlü akış sağlanır, tersi yönde akış hareketi olduğunda klape kapanarak tersi yöndeki akış kısıtlanmış olur. Çekvalfin Şekil 4.6.'da çalışma sistemi görünmektedir.



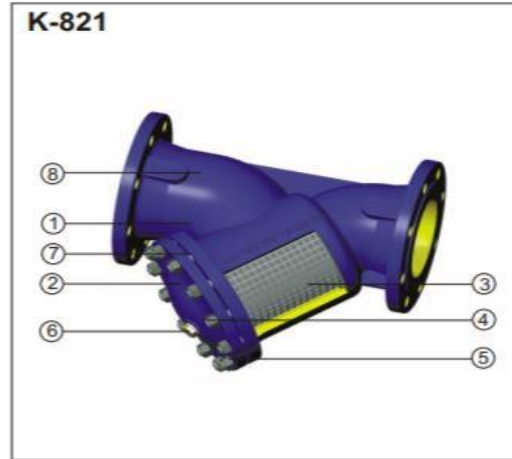
#### 4.1.2.4. Metal körüklü (globe) vana



Şekil 4.8. Metal körüklü (globe) vana [29]

Buhar, sıcak su, soğuk su, kızgın yağ gibi akışkanların kontrolü için kullanılır. Kolay açılır kapanır olmasının yanı sıra bakım gerektirmemesi nedeniyle endüstriyel tesislerde sıklıkla kullanılır.

#### 4.1.2.5. Pislik tutucu



Şekil 4.9. Pislik tutucu armatür [30]

Pislik tutucu; Sistemdeki cihazların sağlıklı çalışmasını sağlamak amacıyla akışkanın hat boyunca transfer ettiği yabancı maddeleri filtre etmek amacıyla kullanılan armatürdür. Yapılmış olan tesisatta buhar kapanının sağlıklı çalışmasını sağlamak

amacıyla pislik tutucu buhar kapanının önünde kullanılmıştır. Buhar tesisatlarında debinin düşümü yaşandığında kontrol edilmesi gereken ilk armatürdür.

#### 4.1.2.6. Buhar kapaını

Buharın yoğuşması kondens olarak adlandırılır. Isı transferini arttırmak amacıyla sistemdeki yoğuşan suyun tahliye edilmesi gerekmektedir ve bu amaçla buhar kapaını kullanılır. Buhar kapanları bağlandığı hattaki yoğuşan suyu ve havayı tahliye eden cihazlardır [22].

##### 4.1.2.6.1. Buhar kapanlarının çalışma prensibine göre sınıflandırılması

- Dinamik Hız Farkı Prensibine Göre alışan Kondenstoplar
  - Termodinamik buhar kapaını
- Sıcaklık Farkı Prensibine Göre alışan Kondenstoplar
  - Termostatik buhar kapaını
  - Bimetalik buhar kapaını
- Yoğunluk Prensibine Göre alışan buhar kapanları
  - Ters kovalı buhar kapaını
  - şamandralı buhar kapaını [23]

##### 4.1.2.6.1.1. Termodinamik buhar kapaını

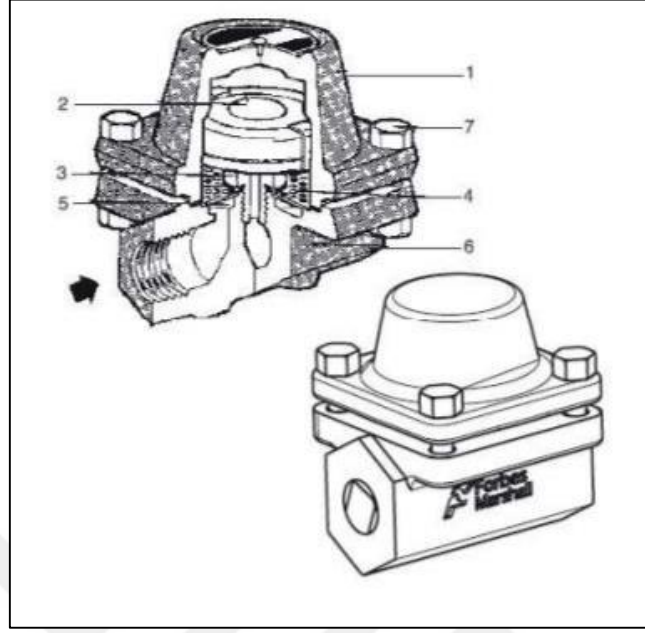


şekil 4.10. Termodinamik buhar kapaını [31]

Termodinamik buhar kapanları genellikle ana hatlarda kullanılır. “Bernouilli” prensibine göre çalışan termodinamik buhar kapaını küçük olması, geniş basınç aralığında kullanılması tercih sebebidir [22].



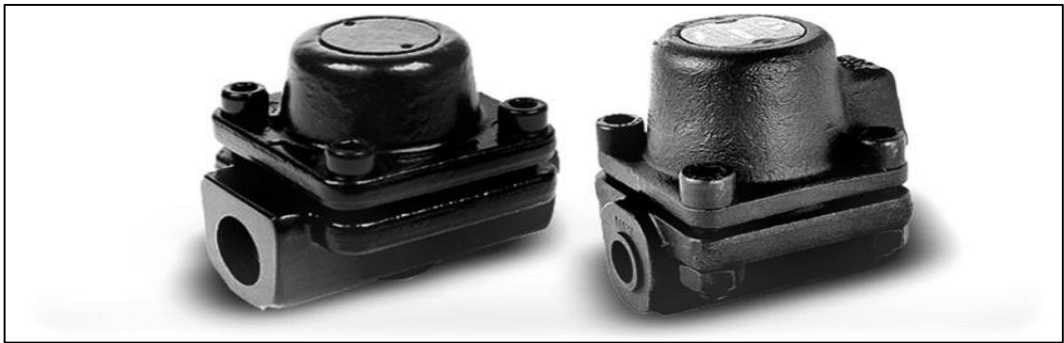
#### 4.1.2.6.1.2. Termostatik buhar kapaını



Şekil 4.11. Termostatik buhar kapaını [22]

Termostatik buhar kapaınları sıcaklık farkını algılayarak çalışır. Buhar ve kondens sıcaklıkları farkı prensibi ile çalışır. Körük içerisindeki alkol su karışımı özel bir sıvı bulunur ve bu sıvının kaynama noktası sudan daha düşüktür. Körüğün kondensle teması sırasında büzülerek vanayı açar. Buhar ile temasında genişleyerek kapanır [22].

#### 4.1.2.6.1.3. Bimetalik buhar kapaını



Şekil 4.12. Bimetalik buhar kapaını

Termostatik buhar kapaınındaki sıcaklık farkı prensibiyle çalışır. Termostatik buhar kapaınından farkı körüğün yerine bimetal elemanlar bulunmasıdır.

#### 4.1.2.6.1.4. Ters kovalı buhar kapaı



Şekil 4.13. Ters kovalı buhar kapaı [21]

İçerisinde kova ve kaldırıcı mekanizması bulunması sayesinde buhar ile kondensi yoğunluk farkından ayırarak çalışır. Gövde içerisinde buhar bulunduğunda kaldırıcı mekanizması yükselerek buhar tarafını kapatır. Gövde içerisinde kondens bulunması durumunda kaldırıcı mekanizması alçalarak kondensi tahliye eder [23].

#### 4.1.2.6.1.5. Şamandıralı buhar kapaı



Şekil 4.14. Şamandıralı buhar kapaı [22]

Gövde içerisine kondensin girmesiyle birlikte şamandıra yoğunluk farkından yükselerek bağlı bulunduğu mekanizmayı tahrik eder bu mekanizma kondensi tahliye eder.

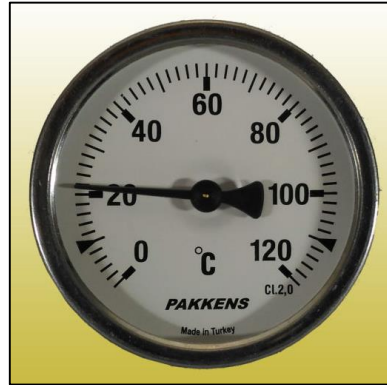
#### 4.1.2.7. Buhar Sayacı



Şekil 4.15. Buhar sayacı

Buhar sayaçları endüstriyel tesislerde birim ürün başına harcanan enerji maliyetini ölçmek ve takip etmek amacıyla kullanılır. Yapılmış olan projede enerji geri kazanımını ölçmek amacıyla kullanılmıştır.

#### 4.1.2.8. Termometre



Şekil 4.16. Termometre [32]

Alkollü ve cıvalı termometreler en yaygın ve en ucuz olan termometrelerdir. Termometreler yapılmış projede buhar giriş sıcaklıklarını ve kondens giriş-çıkış sıcaklıklarını kontrol etmek amaçlı kullanılmıştır.

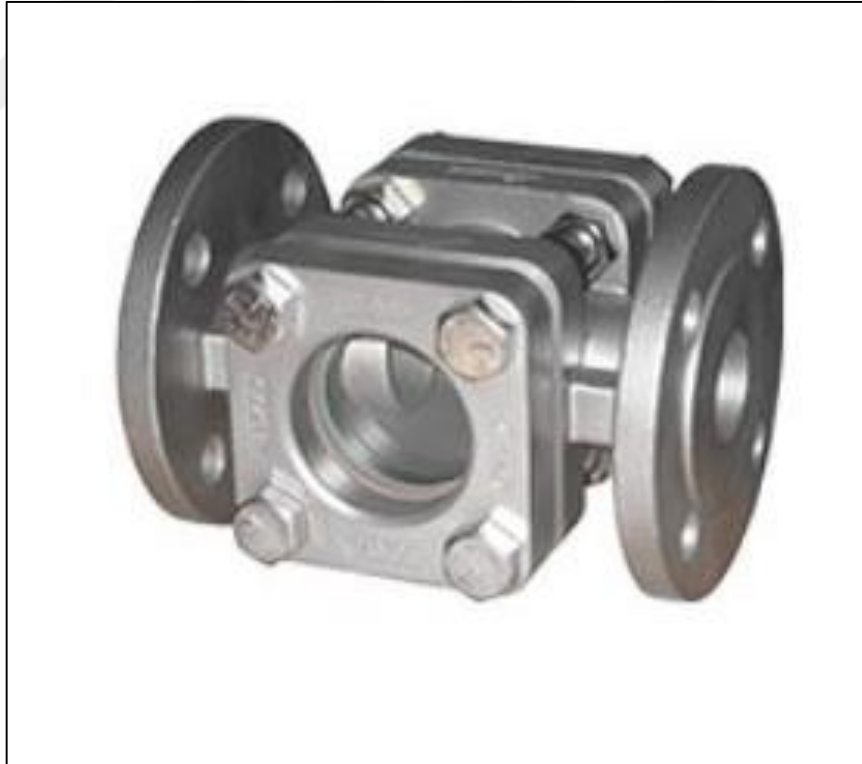
#### 4.1.2.9. Manometre



Şekil 4.17. Manometre [32]

Manometreler buhar tesisatın birçok yerinde görev yapmaktadır. Buhar ve kondens girişlerinde olmak üzere iki adet manometre vardır. Sistemin düzgün çalışır halde olup olmadığı gözlenir.

#### 4.1.2.10. Gözetleme elemanı



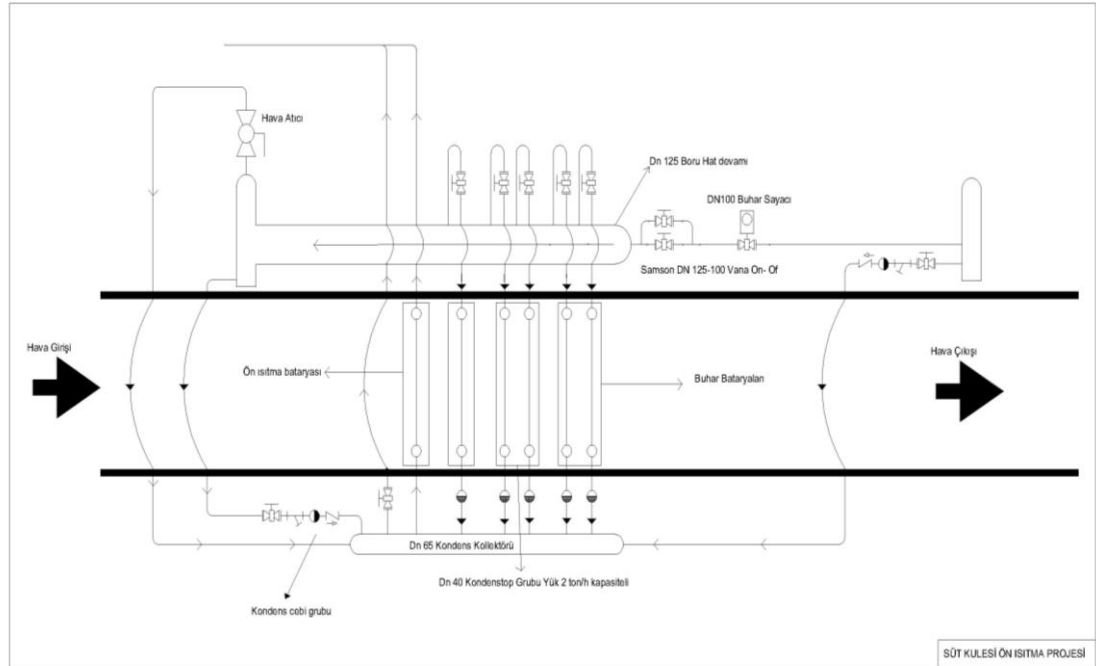
Şekil 4.18. Gözetleme elemanı [35]

Gözetleme elemanının üzerinde bulunan cam sayesinde buhar kapanının buharı kaçırıp kaçırmadığı belirli periyotlarda gözlenir. Buhar kaçağı, buhar kaçağı tespit cihazıyla da belirlenebilmektedir. Enerjiyi verimli kullanmak için buhar kaçaklarını engellemek elzemdir. Buhar kaçaklarını kontrol altında tutmak için 6 ayda bir buhar kapanlarının buhar kaçağı tespit cihazıyla ölçülmesi gereklidir.



Şekil 4.19. Gözetleme elemanı

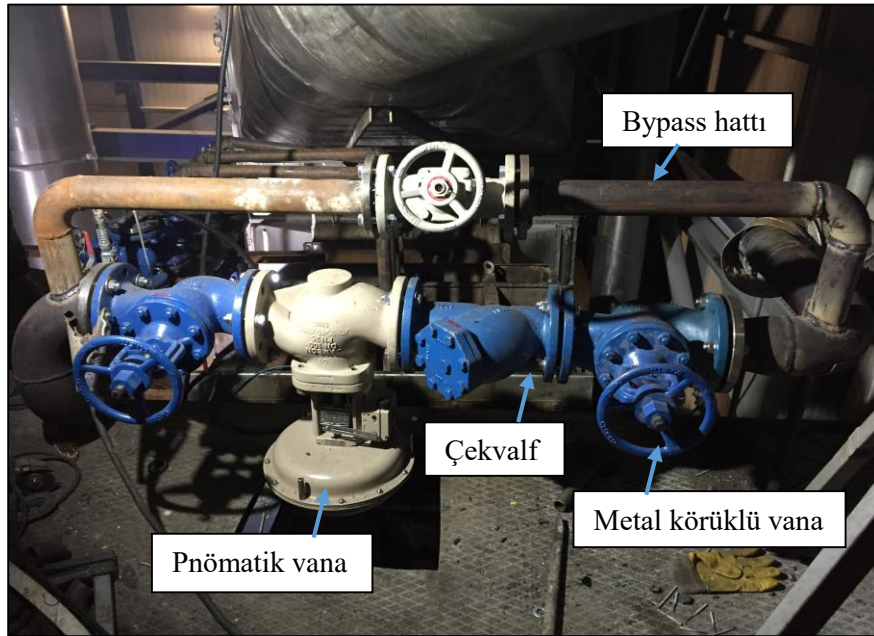
## 4.2. Deney Düzeneği



Şekil 4.20. Ön ısıtma sistemi

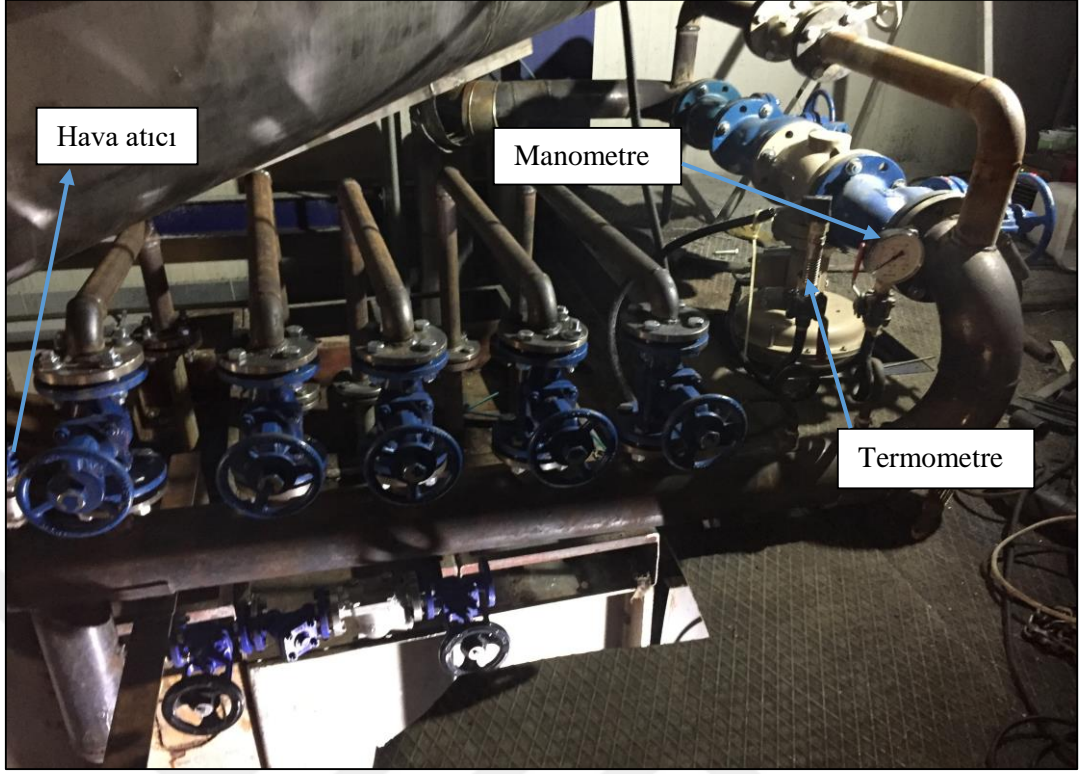


Şekil 4.18’de ön ısıtma sistemi için gerekli olan ekipmanlar iki boyutlu olarak gösterilmiştir. Yapılmış olan proje kapsamındaki deney düzeneği Manisa Salihli CİCİ Süt fabrikası bünyesinde oluşturulmuştur. Bu araştırmada borulu kanatlı ısı eşanjörü için deneysel sistem tasarlanmıştır. Şekil 4.19.’da hat ve ekipman çizimleri literatürdeki bilgilere dayanarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.22. Süt kulesi buhar ana hattı





Şekil 4.23. Buhar bataryaları giriş hattı

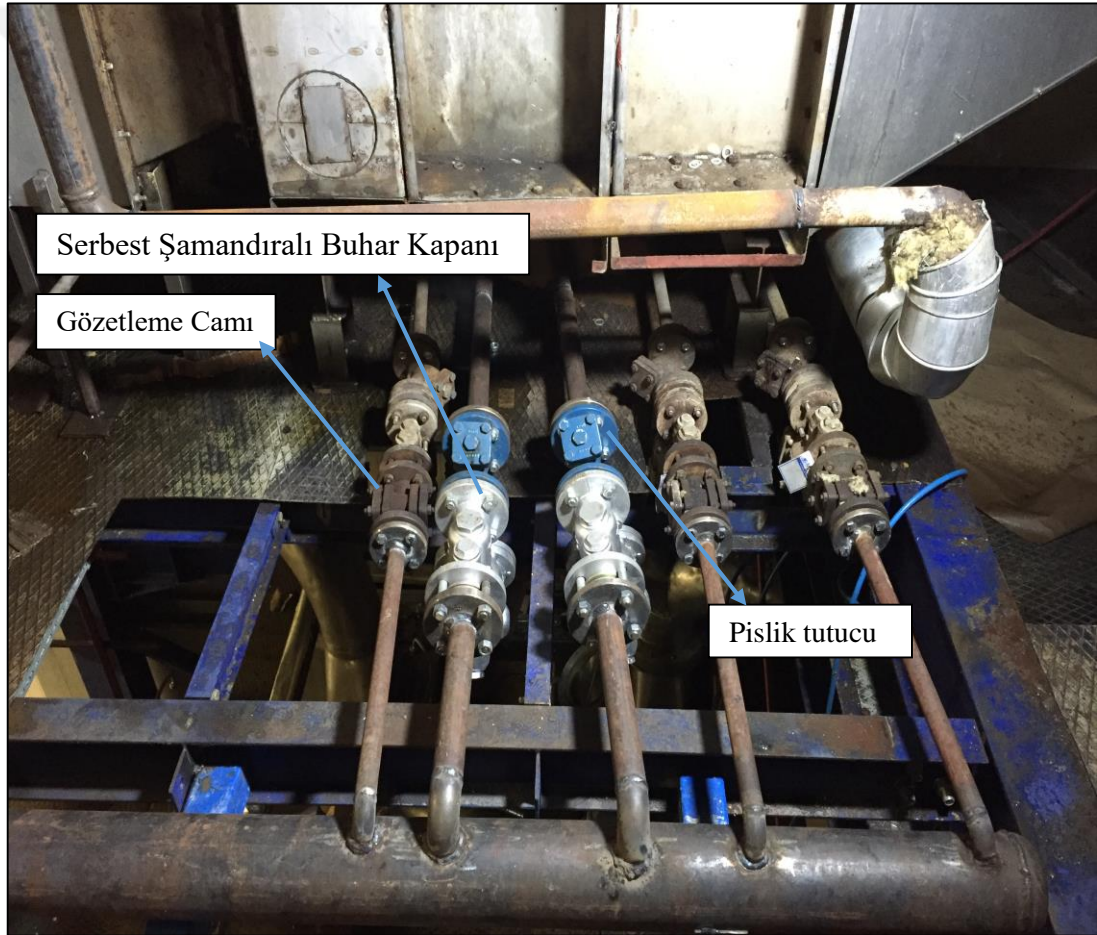
Proje kapsamında yapılan iyileştirmeler enerjiden tasarruf etmenin yanında kurutma kapasitesini arttırarak birim ürün için gerekli buhar miktarını düşürmektir. Bu kapsamda buhar bataryalarının kapasitelerine göre buhar kapanları seçimi yapılmıştır. Tesisatta hat sonu kondens suyu ayrıştırılması için kondenstop takılmıştır. Bu kondenstop buhar bataryalarına kondens suyu girişini önleyeceğinden aktif olarak kullanılması hem verimlilik hem bataryaların patlamasına sebep olan darbenin engellenmesi için gereklidir. Tesisatta gerekli olan hatlarda pislik tutucu filtreler ve hava atıcılar kullanılmıştır. Ana buhar hattı DN100, kondens hattı DN65 olarak yapılmıştır. Şekil 4.1.'de verilen ısı eşanjörü ön ısıtma bataryası olarak kullanılmıştır. Isı eşanjörünün kanatçıkları dikdörtgen olarak seçilmiştir. Eni 63 mm boyu 53mm kalınlığı 0.4 mm'dir. Alüminyum malzemedan imal edilmiştir.

Isı eşanjörünün boru,ayna ve kollektör parçaları AISI 304 kalite paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Kullanılan çekme boruların dış çapı 16 mm et kalınlığı 1.5 mm'dir.

AISI 304 Kalitedeki çekme borularda sıcaklık değişiminden dolayı termal genişleme meydana gelmektedir. Termal genişleme boruların hacminin genişlemesine sebep

olduğundan ayna ile olan kaynaklarında kopmalar meydana gelmektedir. Eşanjörün üst ayna kısmı sabit bağlantı yapılarak alt kısmı sabitlenmemiştir. Alt kısmı sabitlenmediği için termal genişmeden meydana gelen kaynaklı bağlantılardaki kopmaların önüne geçilmiştir.

Üç sıra borulu kanatçıklı olarak imalatı yapılmış olan ısı eşanjörü toplamda 102 adet borulu kanatçığa sahiptir. Tesisatta mevcut bulunan buhar sayacı sayesinde sistemdeki toplam kullanılan buhar miktarından toplam kondens kapasitesi, Pitot tüpü yardımıyla havanın giriş sıcaklığı, basıncı ve hız değerleri ölçülerek veriler elde edilmiştir. Elde edilmiş olan değerlere uygun olarak tasarım ve analizi yapılmıştır.



Şekil 4.24. Kondens dönüş hattı



Şekil 4.25. Ön ısıtma bataryası

### 4.3. Isı Eşanjör Basınç Testi Düzenegi



Şekil 4.26. Ön ısıtma bataryası 27 bar basınç testi



Isı eşanjörü montajı yapılmadan önce ısı eşanjörünün basınç testi yapılması gerekmektedir. Manuel test pompasıyla soğuk su 27 bar basınçta transfer edilerek sızdırmazlık testi yapılmıştır.



şekil 4.27. Ön ısıtma bataryası 27 bar basınç testi



şekil 4.28. Ön ısıtma bataryası 27 bar basınç testi

## 5. ISI EŞANJÖRÜ TASARIMI

Süt kulesinin boyut limitleri de düşünülerek aşağıda detayları verilen ısı değiştiricisi tasarlanarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Kanal ölçülerindeki en boy limitleri sırasıyla 1104 mm, 1620 mm'dir. Dolayısı ile tasarımı bu limitler içerisinde olmalıdır. Belirlenmiş olan limitler ve gerekli olan veriler doğrultusunda yazılım çıktısı alınmıştır. Yazılım çıktısı Şekil 5.1.'de verilmiştir.

Kondensin verileri:

- $\dot{m}_{kondens} = 5.000 \text{ kg/h}$  Yoğuşan su (Soğutulmak istenen su miktarı)
- $T_{giriş,kondens} = 120 \text{ °C}$  (Kondens giriş termometresinde ölçülen anlık değer)
- $T_{çıkış,kondens} = 80 \text{ °C}$  (Kondens çıkış termometresinde elde edilmek istenen anlık değer)
- $P_{giriş,kondens} = 2 \text{ bar}$  (Kondens giriş manometresinde ölçülen anlık değer)

Havanın verileri:

- $V_{hava} = 28.000 \text{ m}^3/\text{h}$  (Fan etiket değeri)
- $v_{giriş,hava} = 4.349 \text{ m/s}$  (Pitot tüpüyle ölçülen ortalama hız)
- $A_{hava} = 1,788 \text{ m}^2$  (Eşanjörün yerleştirildiği kanal boyutları)
- $T_{giriş,hava} = 25 \text{ °C}$  (Sisteme giren havanın anlık değeri)
- $P_{giriş,hava} = 1,013 \text{ bar}$  (Manometrede ölçülen anlık değer)

Deney sırasında ölçülmüş olan değerler ve elde edilmek istenen değerler paket programa girilmiştir. Paket programın çıktısı doğrultusunda üç boyutlu tasarımı yapılmıştır.

Design of tube register heat exchangers

Rectangular finned heat exchanger (liquid / gas)

**Bundle geometry**

Type of pitch : < 2 > 1: Aligned, 2: Staggered, 3: Partly staggered  
 Tube design: < 1 > 1: Straight tube/Chamber, 2: U-tube/Bend  
 Flow direction < 1 > 1: Cross counterflow, 2: Cross coflow

Number of tubes per base row **34** -  
 Staggered rows with 1 tube less than base rows? *N*  
 Feed pipes clustered in flow direction? *J*  
 Mean number of tubes per row NR : 34 -  
 Number of tube rows NRow : 3 -  
 ⇒ Total number of tubes Ntotal = **102** -  
 Number of tube-side passes ND : 4 -  
 of these are in co/counterflow to outside flow 1 -  
 Displacement per side 0 mm

**Pitches/Diameters:**

Outside tube diameter DRA : 16 mm  
 Inside tube diameter DRI : **13** mm  
 Tube wall thickness : 1.5 mm  
 Crosswise pitch s1 : 32 mm  
 Longitudinal pitch s2 : 34 mm  
 Pitch angle φ : **25.2** °  
 Name of tube material  
 Thermal conductivity of tube material λ<sub>G</sub> : 15 W/(m·K)

**Rectangular fins (around the tubes):**

Fin length in direction of flow D1 : 33 mm  
 Fin length crossw.to direction of flow Dh : 31 mm  
 Fin tip thickness s1 : 0.4 mm  
 Thickness at the root of fin s2 : 0.4 mm  
 Fin pitch t<sub>R</sub> : 3 mm  
 Name of fin material  
 Thermal conductivity of fin material λ<sub>R</sub> : 238 W/(m·K)

**Outside geometry of the bundle:**

Clear distance between bundle and duct wall *g* **0.5** mm  
 Duct width = **1104** mm  
 Bundle depth = **101** mm  
 Bundle length : 1620 mm

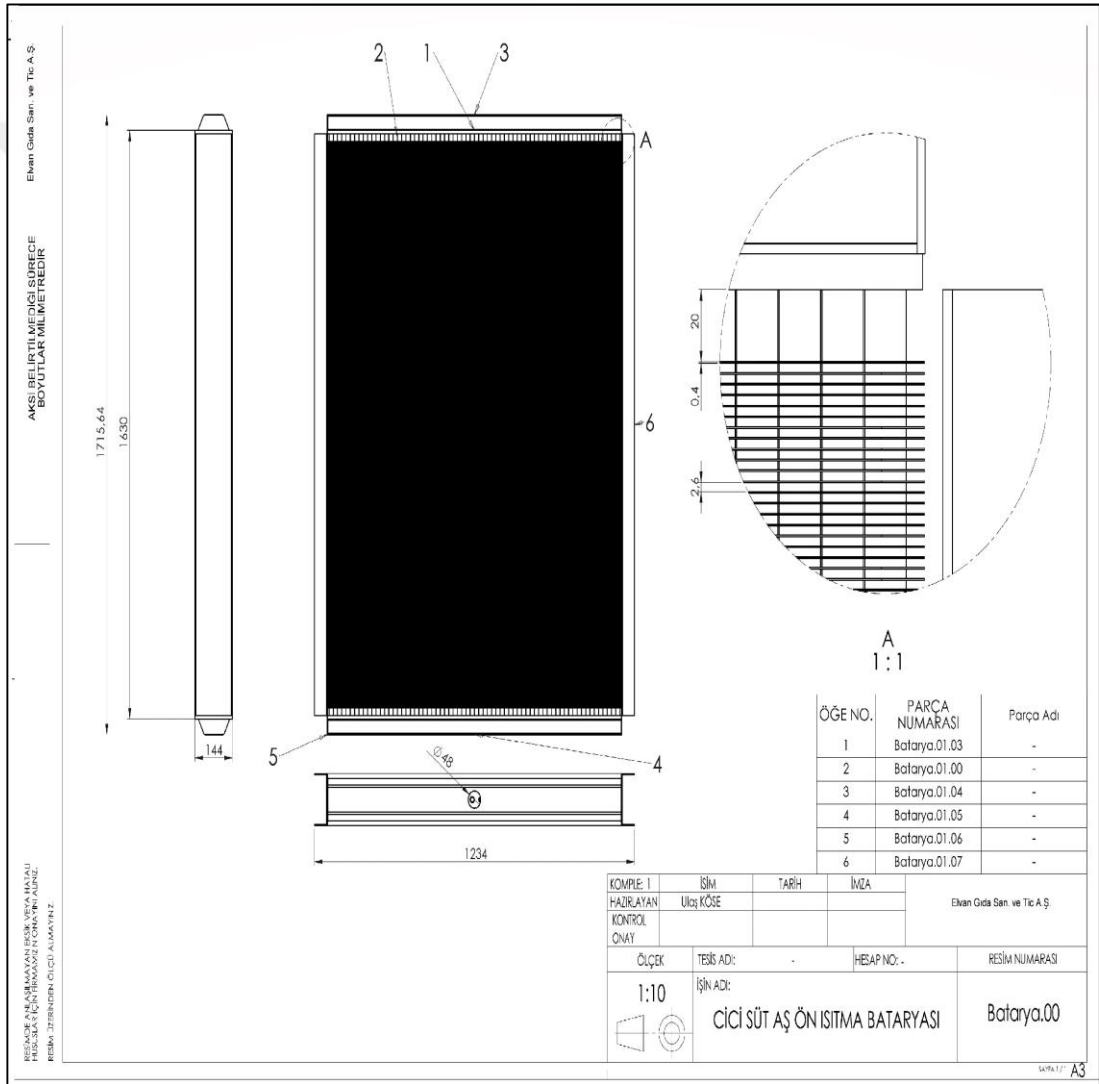
Tubesheet thickness	10 mm	Height of housing	mm
Volume of tubes =	<b>22.07</b> l	Flow cross-section F=	<b>1.788</b> m <sup>2</sup>
Volume of headers :	1		
Total volume =	1		

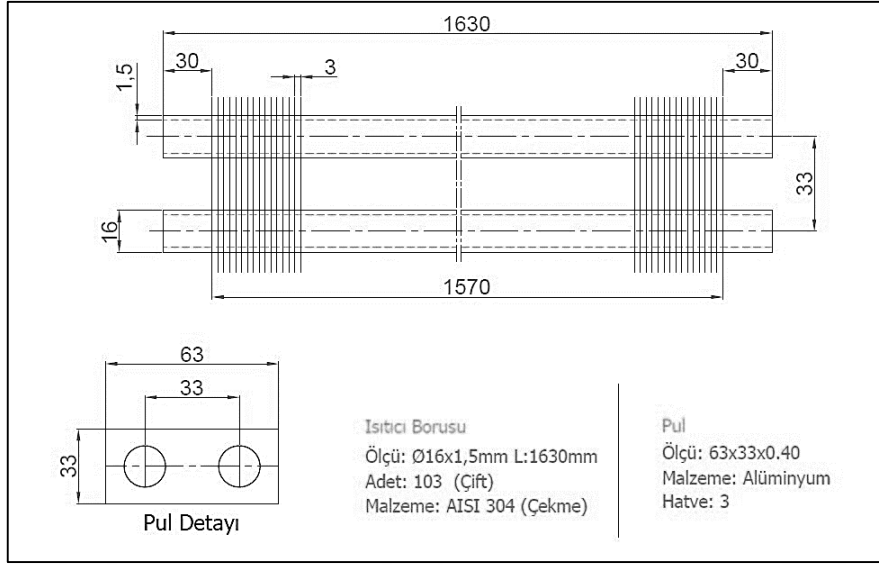
Şekil 5.1. Hava ve su giriş debisi ile tasarım çıktısı



## 5.1. Isı Eşanjörü Geometri Oluşturulması

Tasarım çalışması, ısı eşanjörü tasarımı paket programıyla yapılmış olup; Solidworks 2013 paket programıyla oluşturulmuş olan üç boyutlu geometrisi Şekil 4.1.'de mevcuttur. Şekil 5.2.'deki ana montaj resmine ve oluşturulmuş olan imalat resimlerine göre imal edilip devreye alındıktan sonra deneysel çalışma yapılmıştır. Sonuçlar sayısal tabanlı parametrik bir program olan STAR-CCM+ paket programıyla sayısal analizler gerçekleştirilerek deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır.





## 6. DENEY SONUÇLARI

Isı eşanjörünün devreye alınması için yapılmış olan kaynak ve montaj işlemlerinin sonrasında ana hatta buhar verilmiştir. Sistemin dengeye ulaşması sonrasında sisteme bağlanmış ekipmanlardan anlık elde edilen değerler bulunmuştur.

Kondensin verileri:

- $T_{\text{giriş,kondens}} = 120 \text{ °C}$  (Eşanjör giriş sıcaklığı)
- $T_{\text{çıkış,kondens}} = 80 \text{ °C}$
- $P_{\text{giriş,kondens}} = 2 \text{ bar}$
- $P_{\text{çıkış,kondens}} = 1,96 \text{ bar}$
- $\Delta P = P_{\text{giriş,kondens}} - P_{\text{çıkış,kondens}} = 0,04 \text{ bar}$
- $v_{\text{giriş,kondens}} = 0,333 \text{ m/s}$  (Eşanjör girişi borusu)
- $D_{\text{giriş,kondens}} = 37,2 \text{ mm}$
- $v_{\text{çıkış,kondens}} = 0,333 \text{ m/s}$  (Eşanjör çıkış borusu)
- $D_{\text{çıkış,kondens}} = 37,2 \text{ mm}$

Havanın verileri:

- $T_{\text{giriş,hava}} = 25 \text{ °C}$
- $T_{\text{çıkış,hava}} = 50,3 \text{ °C}$
- $\Delta T = T_{\text{çıkış,hava}} - T_{\text{giriş,hava}} = 25,3 \text{ °C}$
- $P_{\text{giriş,hava}} = 1,013 \text{ bar}$
- $P_{\text{çıkış,hava}} = 1,012 \text{ bar}$
- $\Delta P = P_{\text{giriş,hava}} - P_{\text{çıkış,hava}} = 158,2 \text{ Pa}$
- $v_{\text{giriş,hava}} = 4,349 \text{ m/s}$  (Pitot tüpüyle ölçülen ortalama hava giriş hızı)
- $v_{\text{çıkış,hava}} = 4,349 \text{ m/s}$  (Pitot tüpüyle ölçülen ortalama hava çıkış hızı)

## 6.1. Isı Transferi Hesaplamaları

Peynir altı suyu kulesinden ve süt kulesinden gelen toplam 10.000 kg/h debideki kondens ortalama 2 bar 120 °C'deki kondens tankına transfer edilmektedir. Kondens tankı atmosfere açık olması sebebiyle 120 °C'deki kondens suyunda kaynama meydana gelir. Kaynama noktasındaki su buharlaşmak için sudan ısı alır. Bu alınan ısıya gizli denir. İki farklı kuleden gelen kondensin atmosfere verdiği gizli ısının sistemde kalabilmesi için ve denge sıcaklığının 100 °C altında olabilmesi için süt kulesinin çıkış sıcaklığını 80 °C'de olması gerekmektedir. Kondens tankının ortalama sıcaklığının kaynama noktasının altında kalması hedeflenerek gizli ısının sistemde kalması sağlanmıştır.

Havayı ideal gaz kabul ederek eşanjör çıkışındaki basınç kaybını kabul ederek deney sonuçlarından elde edilen 1 bar basınçtaki ve 34,1 °C ortalama sıcaklıktaki havanın özellikleri tablodan hesaplanmıştır.

Tablo 6.1. Ortalama sıcaklıktaki fiziksel özellikler [1]

	$\rho\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	$Cp\left(\frac{kJ}{kg.\text{°C}}\right)$	$\mu\left(\frac{kg}{m.s}\right)$	$k\left(\frac{W}{m.\text{°C}}\right)$	$Pr$
Hava (37,65 °C, 1 bar)	1,142	1,0063	$2,001 \times 10^{-5}$	0,02698	0,705

Havanın verileri:

- $v_{hava}=4,349$  m/s
- $A_{hava}=1,788$  m<sup>2</sup>
- $V_{hava}=27.993$  m<sup>3</sup>/h (Isıtılmak istenen hava miktarı)
- $\dot{m}_{hava}=31.968$  kg/h

$$Cp = 1,0063 \text{ kJ/kg.°C (Tablo değeri)}$$

$$Q = \dot{m}x C_p x \Delta T \quad (\text{ısı yükü belirlenmesi}) \quad (6.1)$$

$$Q = \dot{m}_{Hava} x C_{p_{Hava}} x \Delta T \quad (6.2)$$

$$Q = 31.968 \times 1,0063 \times 25,3$$

$$Q_{su} = 813.885 \text{ kJ/h}$$

$Q_{Hava} = 226 \text{ kW}$  suyun ısı yükü havaya aktarılmıştır.

Tablo 6.2. Fiziksel özellikler [1]

	$\rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	$h \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$
Su (120 °C, 2 bar)	942,50	503,7
Su (80 °C, 2 bar)	971,81	334,70

Yapılmış olan hesaplamada suyun çıkış basıncı 1,96 bar yerine 2 bar olarak kabul edilmiştir.

Suyun verileri:

- $\dot{m}_{su} = 5.000 \text{ kg/h}$
- $\dot{m}_{su} \cong 1,38 \text{ kg/s}$
- $V_{su} \cong 1,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  (Ortalama yoğunluktaki eşanjör borsundaki su debisi)

$$Q = \dot{m} \times \Delta h \quad (\text{ısı yükü belirlenmesi}) \quad (6.3)$$

$$Q = 5000 \times (503,7 - 334,7)$$

$$Q_{su} = 845.000 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{su} = 234 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{ısıt kayıplar}} = Q_{su} - Q_{hava} \quad (6.4)$$

$$Q_{\text{ısıt kayıplar}} = 234 \text{ kW} - 226 \text{ kW} = 8 \text{ kW}$$

## 6.2. Isı Geri Kazanım Hesabı

$$AID_{Kömür} = 4,0705 \text{ kW (1 kg kömürün alt ısı değeri)}$$

$$Q_{Hava} / AID_{Kömür} \cong 55,5 \text{ kg/h (Kömür geri kazancı)} \quad (6.5)$$

$$M_{Kömür} = 0,5 \text{ ₺/kg (2020 yılı 1 kg kömürün ortalama maliyeti)}$$

$$GK_{Kömür} = 27,76 \text{ ₺/h}$$

$$GK_{Kömür} \times t = 27,76 \times 8000 \quad (6.6)$$

$$GK_{Kömür} = 222.085 \text{ ₺/yıl (Kömürden yıllık kazanç miktarı)}$$

## 6.3. Isı Eşanjörü Hesabı

$$Q_{Su} = 845.000 \text{ kJ/h (Bölüm 6.1'de hesaplanmıştır)}$$

Tablo 6.3. Ortalama sıcaklıktaki fiziksel özellikler [1]

	$\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right)$	$Cp \left( \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$	$\mu \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$	$k \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$	$Pr$
Hava (37,65 °C, 1 bar)	1,14	1,0063	$2,001 \times 10^{-5}$	0,027	0,705

Havanın verileri:

- $v_{hava}=4,349 \text{ m/s}$
- $A_{hava}=1,788 \text{ m}^2$
- $V_{hava}=27.993 \text{ m}^3/\text{h}$  (Isıtılmak istenen hava miktarı)
- $\dot{m}_{hava}=31.912 \text{ kg/h}$

Hava tarafı için Reynold sayısı ve ısı taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Re_{hava} = \frac{v_{hava(\min)} \times d_{hava,h}}{\mu / \rho} \quad (6.7)$$



$$h_{hava} = St(Pr)^{2/3} \times \frac{k}{d_{hava,h}} \times Re_{hava} \times Pr^{1/3} \quad (6.8)$$

$$Re_{hava} = 15044; \quad h_{hava} = 80 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Su tarafı için Reynold sayısı, Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Re_{su} = \frac{v_{su} \times d_{su,h}}{\mu/\rho} \quad (6.9)$$

$$Nu_{su} = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \quad (6.10)$$

$$h_{su} = \frac{Nu_{su} \times k_{su}}{d_{su,h}} \quad (6.11)$$

$$Re = 18943; \quad h_s = 4348 \text{ W/m}^2 \cdot K; \quad Nu_{su} = 94,20$$

Hava tarafı için kanat etkenliği,

$$b = 0,4 \text{ mm} \quad (\text{Kanat kalınlığı})$$

$$l = 3 \text{ mm} \quad (\text{Kanat yüksekliği})$$

$$k_{Al} = 238 \text{ W/m}^2 \cdot K \quad (\text{Kanat malzemesi ısı iletim katsayısı})$$

$$m = \sqrt{2 \times \frac{h_{hava}}{b \times k_{Al}}} \quad (6.12)$$

$$m = 40,99 \text{ m}^{-1} \quad (\text{Hava tarafındaki kanat etkenliği})$$

$$m \times l = 0,12 \quad (6.13)$$

$$\frac{r_0}{r_i} = 3,8 \quad (6.14)$$

$$\eta_k = 0,95 \quad (\text{Değerler göz önünde bulundurularak kabul edilmiştir})$$

$$\eta = \eta_k \times \frac{A_k}{A} + \frac{A_0}{A} \quad (\text{Kanatlı yüzeyin toplam etkenliği}) \quad (6.15)$$

Kirlilik, temas ve boru et kalınlıklarından olan ısı iletim dirençleri ihmal edilerek eşanjör için toplam ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır.

$K_{\text{toplam Eşanjör}}$ =Eşanjör için toplam ısı transfer katsayısı

$$\frac{1}{K_{\text{toplam Eşanjör}}} = \frac{1}{h_{iç}} \frac{A}{A_{iç}} + \frac{1}{\eta h_{dış}} \quad (6.16)$$

$$K = 49,66 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C},$$

$$Cp = 1,0063 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C} \text{ (Tablo değeri)}$$

$$\dot{m}_{\text{Hava}} = 31,912 \text{ kg/s} \text{ (Hava debisi)}$$

$$\Delta T = 26,3 \text{ °C} \text{ (Havanın giriş – çıkış sıcaklık farkı)}$$

$$Q = \dot{m}_{\text{Hava}} \times Cp_{\text{Hava}} \times \Delta T \quad (\text{Isı değiştirici kapasitesi}) \quad (6.17)$$

$$845.000 = 31912 \times 1,0063 \times (T_{2ç} - 25)$$

$$T_{2ç} = 51,3 \text{ °C}$$

$$P = \frac{t_{2ç} - t_{2g}}{t_{1g} - t_{2g}} ; \quad R = \frac{t_{1g} - t_{1ç}}{t_{2ç} - t_{2g}} \quad (6.18)$$

$$P = \frac{51,3 - 25}{120 - 25} ; \quad R = \frac{120 - 80}{51,3 - 25}$$

$$P = 0,276 ; \quad R = 1,52$$

Yaklaşık olarak  $K=50 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , akışın çapraz akım ortalama logaritmik sıcaklık farkı için F düzeltme katsayısı yaklaşık olarak 0,94 bulunmuştur. [1]

$$\Delta T_{m(\text{ters})} = \frac{(t_{1g} - t_{2ç}) - (t_{1ç} - t_{2g})}{\ln \frac{t_{1g} - t_{2ç}}{t_{1ç} - t_{2g}}} \quad (6.19)$$

$$\Delta T_{m(\text{ters})} = \frac{(120 - 51,3) - (80 - 25)}{\ln \frac{120 - 51,3}{80 - 25}}$$

$$\Delta T_{m(ters)} = 61,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A = \frac{Q}{KxFx\Delta T_{m(ters)}} \quad (6.20)$$

$$A = \frac{234x10^3}{50x0,94x61,5}$$

$$A = 80,95 \text{ m}^2$$

1 adet borunun dış yüzey alanı yaklaşık 0,84 m<sup>2</sup> olacak şekilde 1 sırada 34 adet toplamda 102 adet dizilerek tasarımı yapılmıştır. Toplam ısı transfer katsayısı hesaplanarak doğrulanmıştır.

## 7. SAYISAL ANALİZ

Bu tez çalışmasında sıcak akışkan olarak su, soğuk akışkan olarak hava kullanılmıştır. Giriş kollektöründen geçen sıcak su, paralel kanatçıklı borulardan geçerek üzerindeki ısı enerjisinin büyük kısmını havaya aktardıktan sonra çıkış kollektörüne gelerek kondens tankına transfer edilir.

Çalışma, Solidworks 2013 paket programıyla hava, su ve eşanjör için üç boyutlu geometrisi oluşturulup STAR-CCM+ paket programına aktarılmıştır. Analizler sayısal tabanlı parametrik bir program olan STAR-CCM+ paket programıyla gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Isı eşanjörlerinin ısı transferi hesaplarının ve analizlerinin yapılabilmesi için bazı kabuller yapılmıştır;

- Isı değişiminin sürekli rejimde olduğu,
- Isı eşanjörü boyunca toplam ısı geçiş katsayısının sabit olduğu,
- Isı eşanjörünün ortama karşı yalıtılmış olduğu,
- Isı eşanjörü içinde bir ısı üretimi olmadığı,
- Akışkanların özgül ısıları ve fiziksel özelliklerinin sabit olduğu,
- Isı eşanjörü içinde belirli bir kesit boyunca akışkan sıcaklığının aynı olduğu,
- Isı eşanjörü yüzey malzemesinde akışkanların hareketi doğrultusunda iletimle bir ısı geçişi olmadığıdır.

### 7.1. STAR-CCM+ Yönetici Denklemler

Yapılmış olan sayısal analizde akış koşulları ve ısı transferi içi; kararlı hal, sıkıştırılmaz ve Newton tipi akışkan, türbülanslı akış, viskoz ısıtmanın ihmal edildiği kabulleri yapılarak tek fazlı model yaklaşımı ile yönetici denklemler, Denklem (7.1), Denklem (7.2) ve Denklem (7.3) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (7.1)$$

Momentum denklemi;

$$\frac{\partial u_i u_j}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( (v + v_t) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) \quad (7.2)$$

Enerji denklemi;

$$\frac{\partial u_i T}{\partial x_i} = \rho \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \frac{v}{Pr} + \frac{v_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (7.3)$$

$u$  ortalama hızı,  $\rho$  yoğunluğu,  $Pr$  Prandtl sayısını,  $Pr_t$  türbülanslı Prandtl sayısını (0.85) ve  $v$  kinematik viskoziteyi temsil etmektedir.

Analizlerde türbülanslı akış için kullanılan realizable  $k$ - $\varepsilon$  modelindeki taşınım denklemleri aşağıda verilmiştir. Boru cidarı yakınındaki hesaplamaların doğru yapılabilmesi için iyileştirilmiş duvar fonksiyonu kullanılmıştır.

Türbülanslı kinetik enerji  $k$  denklemi Denklem (7.4) 'de verilmiştir ;

$$\frac{\partial u_i k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \Gamma - \varepsilon \quad (7.4)$$

Türbülanslı enerji dağılımı  $\varepsilon$  denklemi Denklem (7.5) 'de verilmiştir ;

$$\frac{\partial u_i \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + c_1 \Gamma \varepsilon - c_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} \quad (7.5)$$

$\Gamma$  ortalama hız gradyanına bağlı türbülanslı kinetik enerji üretimini temsil etmektedir. Denklem (7.6) 'da verilmiştir:

$$\Gamma = -u_i u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \nu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (7.6)$$

Türbülanslı kinematik viskozite denklemi Denklem (7.7) 'de verilmiştir ;

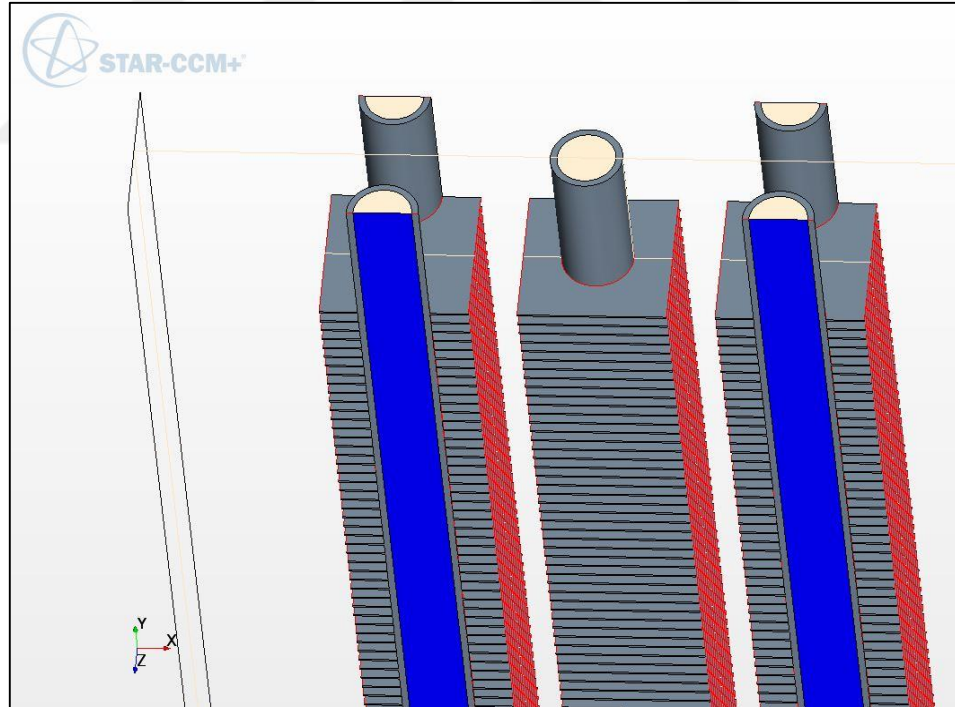
$$\nu_t = c \frac{k^2}{\mu \varepsilon} \quad (7.7)$$

k-ε modeli için ampirik sabitler ;

$$c_1 = \max[0,43\mu/(\mu_t+5)]; c_2=1,9; \sigma_k=1,0; \sigma_\varepsilon=1,2$$

$\mu$  dinamik viskoziteyi,  $\sigma_k$  ve  $\sigma_\varepsilon$  sırasıyla k ve  $\varepsilon$  için Prandtl sayısını temsil etmektedir.

## 7.2. Geometrinin Oluşturulması



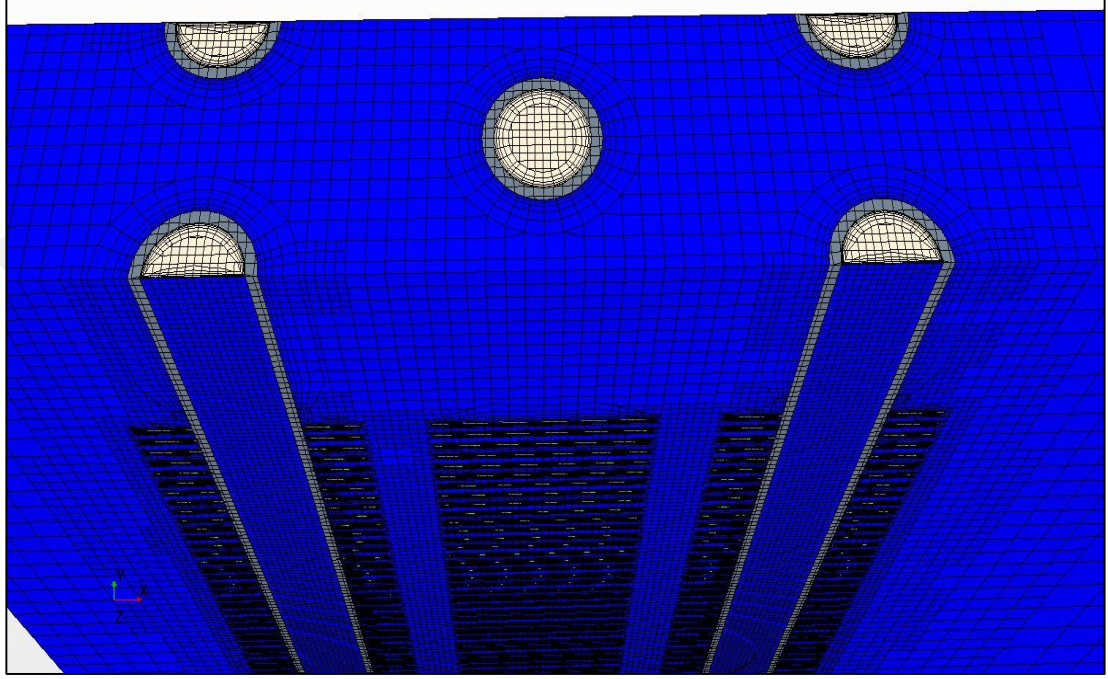
Şekil 7.1. Sayısal analiz öncesi modelleme

Borulu kanatlı ısı eşanjörü, hava ve su için gerçek boyutlarıyla çizilerek analiz öncesi modellenmiştir. Şekil 7.1'de geometri verilmiştir. +X yönünde ısıtılmak istenen hava. -Y yönünde mavi renkte görülen sıcak su geçmektedir. Su tarafının ve hava tarafının



giriş ve çıkış bölgeleri ayrı ayrı tanımlandıktan sonra başlangıç koşulları için sayısal değerler girilmiştir. Temas yüzeyleri sıvıdan katı yüzeye ve katıdan gaza doğru olmak üzere tanımlanmıştır. Analize uygun ağ yapısında modellenen eşanjörün analizi paket program ile yapılmıştır.

### 7.3. Sayısal Çalışmanın Doğrulanması



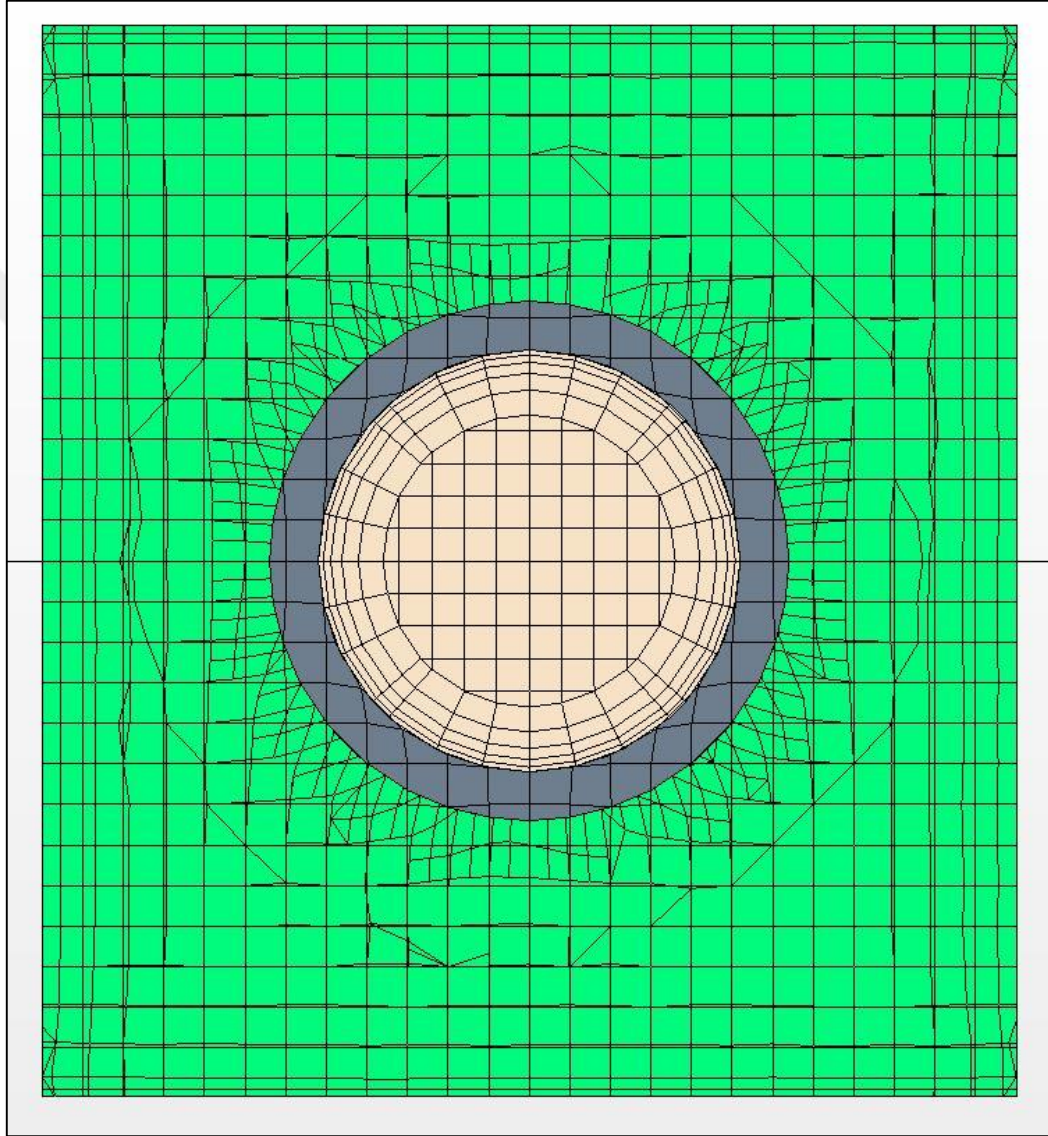
Şekil 7.2. M5 modelin ağ yapısı

Literatürde yapılmış olan çalışmalardan farklı olması nedeniyle yapılmış olan deneysel çalışma HAD paket programıyla kıyaslama yapılmıştır.

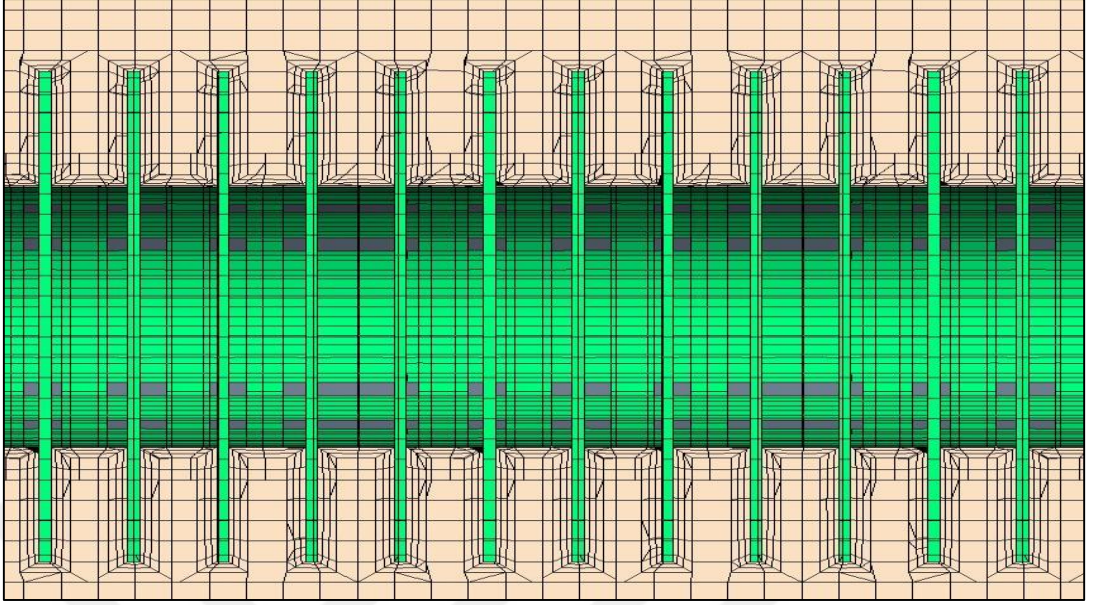
Tablo 7.1. Ağ bağımsızlığı için merkez borudaki suyun çıkış sıcaklığının karşılaştırılması

Ağ yapısı	Çıkış Sıcaklıkları (°C)
M1- 8790124	92,76
M2-10411904	90,53
M3-12643561	83,23
M4-13654788	80,95
M5-14782429	80,06

Yapılmış olan çalışmada modelin akış alanına ait uygun ağ yapısının seçilmesi amacıyla beş farklı ağ yapısı incelenmiştir. 5.000 kg/h Kondens suyunun çıkış sıcaklıkları için birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Tablo 7.3’de verilen sonuçlardan M4 için ağ yapısının bağımsızlığının elde edildiği sonucuna varılmıştır. Şekil 7.3’de çalışılan üç boyutlu geometrinin mesh yapısı verilmiştir.



Şekil 7.3. M4 modelin ağ yapısı

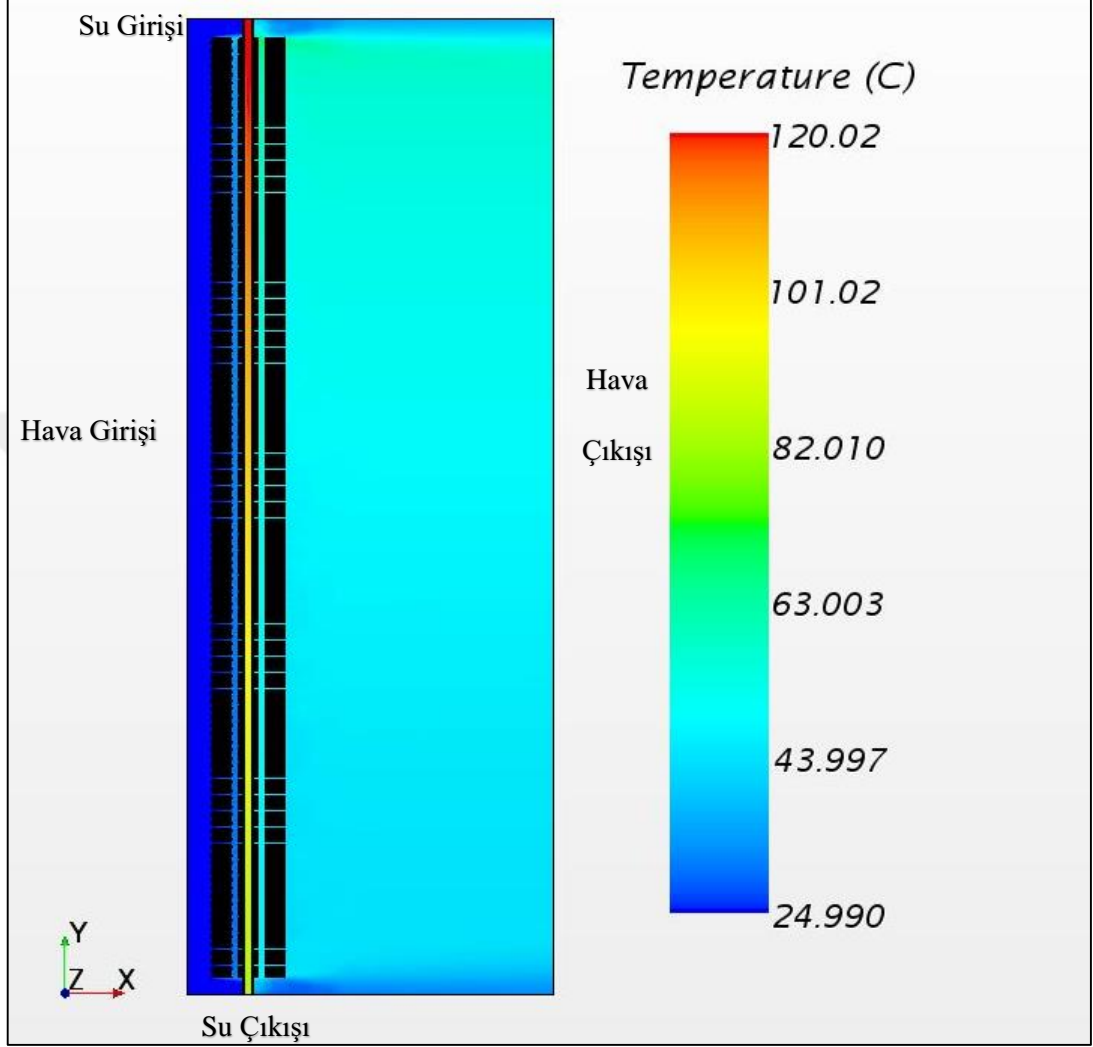


Şekil 7.4. M4 modelin kanatçık ağ yapısı



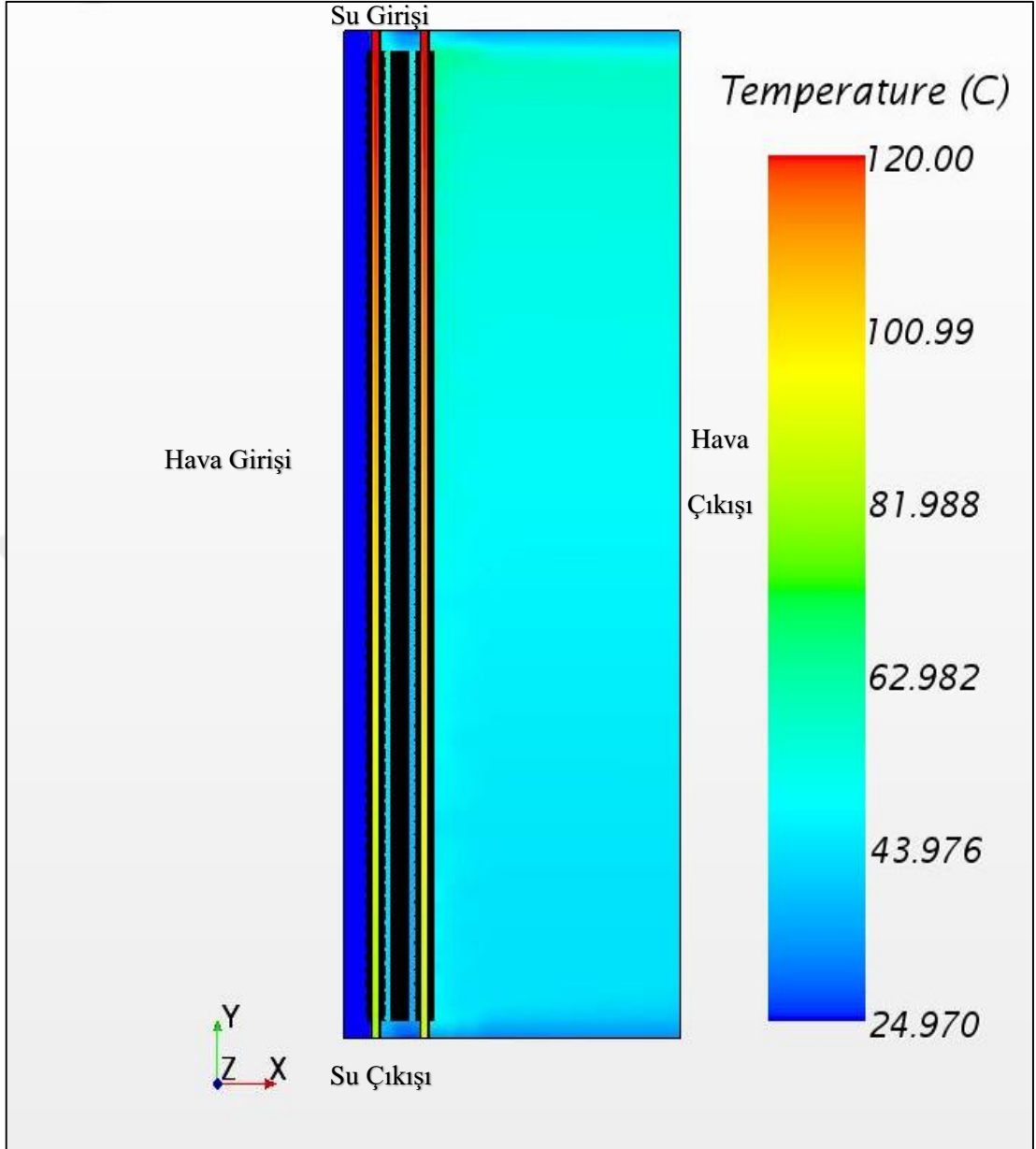


## 8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ



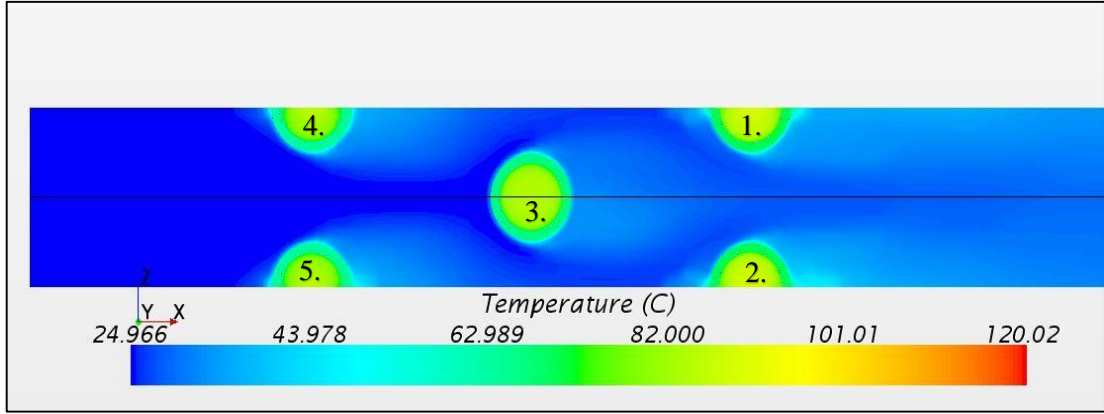
Şekil 8.1. Eşanjör kesit görünüşü sıcaklık görseli

Ağ yapısı oluşturulmuş olan üç boyutlu eşanjör tasarımının iki boyutlu orta boru sıcaklık görseli Şekil 8.1.'de verilmiştir. Analize başlamadan önce suyun ve havanın başlangıç koşulları HAD paket programına girilmiştir. -Y yönünde orta boruların içerisinde 120 °C su transfer edilen suyun sıcaklığı ortalama 80 °C sıcaklığa düştüğü paket program çıktısında bulunmuştur. Belirtilmiş olan kanal içerisindeki limitlerden +X yönüne doğru ortalama 25 °C sıcaklıkta havanın ortalama 50,9 °C sıcaklığa yükseldiği bulunmuştur.

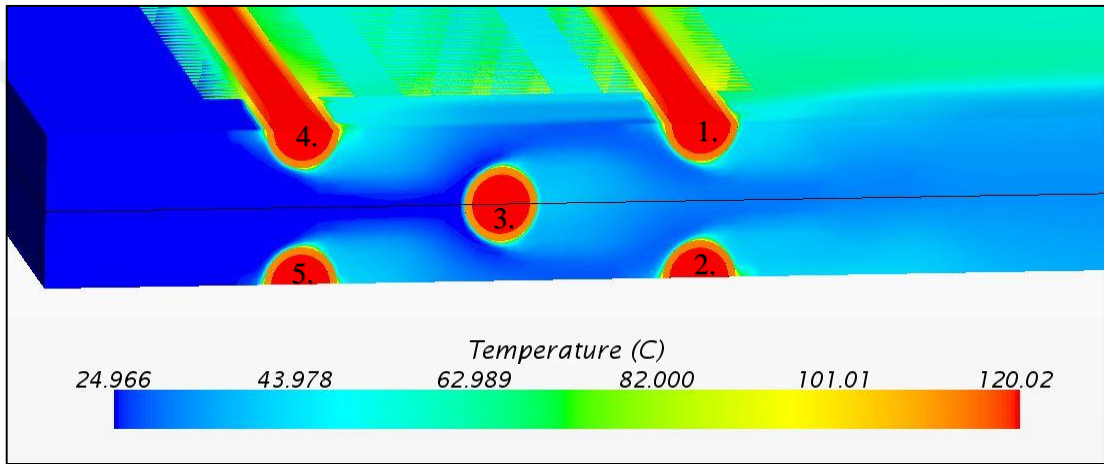


Şekil 8.2. Eşanjör kesit görünüşü sıcaklık görseli

Ağ yapısı oluşturulmuş olan üç boyutlu eşanjör tasarımının iki boyutlu birinci ve üçüncü sıradaki boruların kesitlerinin sıcaklık görseli Şekil 8.2.'de verilmiştir. İkinci ve üçüncü sıra boruların sıcaklıkları, ilk sıra borunun çıkış sıcaklığından daha yüksek olduğu bulunmuştur. İlk sıra borunun çıkış sıcaklığının düşük olmasının nedeni hava ile ilk sıra borunun arasındaki sıcaklık farkının diğer sıra borulardan fazla olmasındandır. Şekil 8.3 ve 8.4 de ise su çıkış ve giriş grafikleri verilmiştir. Logaritmik sıcaklık farkından Şekil 8.4 de havanın daha yüksek sıcaklık değerine yükseldiği bulunmuştur.



Şekil 8.3. Eşanjör su çıkışı sıcaklık görseli



Şekil 8.4. Eşanjör su giriş görseli

Tablo 8.1. Ortalama su çıkış sıcaklıklarının analiz sonucu çıktısı

Parça Adı	Çıkış Sıcaklıkları (°C)
1. Su giriş borusu	84,05990
2. Su giriş borusu	84,00617
3. Su giriş borusu	80,63894
4. Su giriş borusu	78,35339
5. Su giriş borusu	78,34499

Yapılmış olan analizin sonuç çıktısında hava ile ilk temasın gerçekleştiği 4. ve 5. numaralı su giriş borulardır. 3. Su giriş borusu havanın ikinci temas ettiği borudur. 1. ve 2. borular havanın son temas ettiği borulardır. Tablo 8.1 den de görüldüğü gibi



havanın ilk temas ettiği 4. ve 5. boruların çıkış sıcaklıklarının 1., 2., 3. giriş borularının çıkış sıcaklığından düşük olduğu bulunmuştur.

Tablo 8.2. Ortalama hava giriş ve çıkış sıcaklıklarının analiz sonucu çıktısı

Bölge Adı	Çıkış Sıcaklıkları (°C)
Hava Girişi	25,00000
Hava Çıkışı	50,90036

Tablo 8.3. Ortalama giriş ve çıkış hızlarının analiz sonucu çıktısı

Bölge Adı	Hız (m/s)
Hava Girişi	4,349
Hava Çıkışı	4,349
1 adet su borusu girişi	0,104
1 adet su borusu çıkışı	0,104

Tablo 8.4. Ortalama hava giriş ve çıkış basınçlarının analiz sonucu çıktısı

Bölge Adı	Basınç (bar)
Hava Girişi	1,001
Hava Çıkışı	1
1 adet su borusu girişi	2
1 adet su borusu çıkışı	1,96

Ticari faaliyet amacıyla kullanılan paket programlar, maliyeti yüksek tasarım aşamasındaki projelerin deneysel çalışma öncesi, sonucu düşük hata payıyla öngörmemizi sağlamaktadır. Öngörölmüş sonuç doğrultusunda elde edilen veriler nihai proje kararı için önemlidir.

Yapılmış olan analiz çalışmasında geometrik ağ yapının sıklığı, geometrik yapı tipi, başlangıç şartları, yineleme sayısı gibi parametreler değiştirilerek analiz denemeleri yapılmıştır. Ağ yapısının yoğunluğuna bağlı olarak merkez borudaki sıcaklık değişimi

Tablo 7.1’de verilmiştir. Verilmiş olan ağ yapı sayısına bağlı olan sıcaklık değerleri doğrultusunda ağ yapının optimum değerlere yaklaşıldığında orta borunun çıkış sıcaklığındaki hata oranının azaldığı bulunmuştur. Yapılmış olan analiz çalışmasında sıcaklık değeri toleransı %1 olarak kabul edilebileceğinden Tablo 7.1’deki ağ yapı sayısı olan M5 değeri optimum kabul edilmiştir.



## 9. SONUÇ

Bu tez çalışmasında Cici Süt A.Ş'nin enerji maliyetlerini azaltmak için çalışmalar ve sayısal analizler yapılmıştır. Bölüm 6.2'de yapılan hesaplamalar sonucunda yatırımdan elde edilen geri kazanım yıllık 222.085 TL'dir. 37.000 TL yatırım sağlanması sonucunda projenin geri dönüş süresi yaklaşık olarak 6 ay olduğu bulunmuştur.

Eşanjörün devreye alınması sırasında buhar bataryalarının ısı transfer yüzeyleri üzerinde yanmış toz ve yabancı maddelerin bulunduğu gözlenmiştir. Buhar bataryalarının ısı transfer yüzeylerine yapışan bu yabancı maddeler, kirlilik katsayısını arttırarak ısı transferini azalttığı tespit edilmiştir. Buhar bataryalarından kopup ürüne karışabilen bu yabancı maddeler, ürün kalitesi ve sağlık açısından sakıncalıdır. Yanmış olan yabancı maddeler temizlendiğinde ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Kaba toz ve ince toz filtre kasetlerinin, buhar bataryası hava girişine monte edilerek sisteme toz ve yabancı madde girişi engellenmiştir. Sisteme toz girişinin engellenmesi sayesinde buhar bataryaların ısı transfer yüzeyinde toz tabakasının oluşması engellenmiştir. Isı transfer yüzeyinde oluşan toz tabakasının oluşumu engellenmesi sayesinde havanın çıkabileceği maksimum sıcaklık değeri artmıştır. Buhar bataryalarında verimin arttığı görülmüştür.

Buhar bataryalarının ısı transfer yüzeyine yapışan toz tabakası, havanın geçişini engelleyerek direnç oluşturmaktadır. Oluşan bu direnç engellendiğinde buhar bataryaları giriş-çıkış basınçları arasındaki farkın azaldığı görülmüştür.

Sistemin devreye alınmasından sonraki süreçte, buharın entalpisini arttırmak amacıyla süt kulesine ait ana buhar hattında buhar separatörü devreye alınmıştır. Buhar separatörleri; buharın üzerinde oluşan sıvıyı girdap kuvvetiyle ayıran buhar ekipmanlarıdır. Devreye alınan buhar separatörü sayesinde buharın kuruluk değeri artmıştır. Buharın kuruluk değerinin artması sebebiyle havaya aktarılan ısı

transferi artmıştır. Artan ısı transferi sayesinde, sisteme giren havanın debisi artmıştır. Bu sayede son mamul üretim kapasitesinde artış olmuştur.

Sistemin devamlılığını sağlamak için korozyon, kireçlenme gibi istenmeyen durumların engellenmesi gerekmektedir. Bu gibi durumları engellemek için kazan besi suyunun şartlandırılması ve yumuşatılması gerekmektedir. Sistemden eksilen suyun miktarı, kazanın üst kısmında bulunan seviye ölçen prob tarafından algılanır. Otomasyon sistemi tarafından algılanan analog veri sayesinde kazan besi suyu yumuşatma ve şartlandırma sisteminden geçerek pompa vasıtasıyla kazana transfer edilir. Sistemde yapılmış olan iyileştirmeler sayesinde önceden kaynamadan dolayı buharlaşan suyun sistemde kalması sağlanmıştır. Yapılmış olan tasarruf sayesinde suyun birim maliyeti, kimyasal şartlandırma ve yumuşatma maliyetinden tasarruf sağlanmıştır.

Yapılmış olan analiz çalışması sonucunda Şekil 8.1-4'deki üç boyutlu grafikler elde edilerek ortalama değerler elde edilmiştir. Elde edilen değerler doğrultusunda ağ yapısının sıklığı, şekli, boyutu gibi parametrelerin hata payına etki ettiği bulunmuştur. Elde edilen kesin analiz çalışmaları yapılırken bir ve birden fazla kanatçıklı borular modellenip çıkış sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.3'deki 102 adet kanatçığın bulunduğu borulu eşanjörün ısı transferi ve eşanjörün üretim maliyeti açısından ideale yakın olduğu bulunmuştur.

Mevcut sistemde sekiz adet buhar bataryası mevcuttur. Sekiz buhar bataryası çıkışında iki adet buhar kapamı bulunmaktadır. Havanın ilk temas ettiği borularda ikinci, üçüncü ve dördüncü borularda oluşan yoğuşma daha fazla olmaktadır. Yoğuşmanın fazla olduğu borulardaki kondens suyu, yerçekimi kuvveti etkisiyle kondensstopa gelerek burada tıkanmaya yol açmaktadır. Buhar bataryalarındaki tıkanmalar sonucunda sisteme aktarılan ısı transferi azalmaktadır ve sistemin veriminin düşmesine yol açmaktadır. Her batarya için ayrı ayrı yoğuşma miktarlarının hesaplanması gerekmektedir. Her batarya çıkışına yapılan yoğuşma kapasite hesabına uygun tipte kondensstop bağlanması gerekmektedir. Sistemde bulunan kondensstopuz buhar bataryalarına yoğuşma kapasitelerine uygun beş adet şamandıralı kondensstop monte edilmiştir. Yapılmış olan revizyon sayesinde sistemdeki tıkanıkların önüne geçilerek sistemin verimliliği arttırılmıştır.

Havanın nüfuz ettiği ilk sıra, ikinci sıra, üçüncü sıra boruların su çıkış sıcaklıklarının farklı olduğu yapılmış olan analiz sonucunda bulunmuştur. Su çıkış sıcaklıkları analiz sonuçları Tablo 8.1’de verilmiştir. Tablo 8.4.’de verilmiş olan havanın giriş-çıkış basınc farkı yaklaşık 130,3 Paskal olarak bulunmuştur. 25 °C sıcaklıkta sisteme girmekte olan hava 50,9 °C sıcaklıkta çıkmaktadır. Tablo 8.1’de analiz sonucu elde edilen havanın giriş ve çıkış sıcaklığı verilmiştir. Bulunan değerler nümerik çalışma sonucunda elde edilen değerdir. Bu elde ettiğimiz değerler bize kesin sonuç vermese de ideale yaklaşma olanağı sağlamaktadır. Yapılmış olan işlem sonucunda ise havanın çıkış sıcaklığı 50,3 °C bulunmuştur. Bunun sebebi kullanılan buhar tüketiminin anlık olarak değişkenlik göstermesinden ve ısıl kayıplardan dolayıdır. Yapılmış olan deneyler, elde edilmiş olan analiz ve sayısal sonuçları kıyaslandığında, birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Endüstriyel tesiste kondens suları buharın yoğuşması ile ortaya çıkmaktadır. Yoğuşan kondens suyunun sistemden rahat tahliye edilmesi sistemin devamlılığı için önemlidir. Kondens suyu kondens tankına gönderilmeden önce ara kondens tankına alınıp tesisat basıncı dış ortam basıncına indirgenerek atmosfere açılmaktadır. Atmosfer basıncına indirgenen kondens suyu pompa vasıtasıyla ana kondens tankına transfer edilmektedir. Kondensin atmosfere açılması sonucunda yüksek sıcaklıktaki su da kaynama meydana gelir. Kaynama meydana gelmesi nedeniyle kondensin buharlaşma miktarı artmaktadır. Devreye alınmış olan buhar ekipmanları ve eşanjör sayesinde ortalama sıcaklık kaynama sıcaklığının altına indirilerek kaynama meydana gelmesi önlenmiştir. Kondens suyunun üzerindeki buharlaşma entalpisinden geri kazanılan enerji, ön ısıtma bataryası sayesinde havanın üzerine aktarılarak kazanılmıştır.

Atmosfere açılan kondens suyunun buharlaşma entalpsi geri kazanılarak sistem içerisinde kalması sağlanmıştır. Geri kazanım sayesinde buhar üretmek için kullanılan kömürden tasarruf sağlanmıştır. Geri kazanımdan elde edilen enerjinin sistemde kalması sağlanarak yıllık 222.085 TL tasarruf yapıldığı gibi kömür tüketiminin azalması sayesinde karbon salınımı azalması sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Genceli O. F., *Isı Değiştiricileri*, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [2] Sezgin E., Atamer M., Koçak C., Yetişemiyen A., Gürsel A. Ve Gürsoy A., *Süt Teknolojisi*, Ankara Üniv. Basımevi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [3] Tongur A., Ayran Üretiminde Sütçülük Yan Ürünlerinin Değerlendirilme İmkanlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2019, 549930.
- [4] Bylund G., *Dairy processing handbook*, Tetra Pak Processing Systems AB, İsveç, 1995.
- [5] Özdemir E., Aydın Yöresinde Faaliyet Gösteren Süt İşleme Tesislerinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye, 2002, 131684.
- [6] Anonim, *Gıda Teknolojisi Süt Tozu*, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2012.
- [7] Varol Y., Kompakt Isı Eşanjörlerinde Kanatçık Düzenlemelerinin Basınç Kaybına Etkisi, *Mühendislik Bilimler Dergisi*, 2002, **8**(1), 27-31.
- [8] Akkoca A., Şahin B. ve Tutar M., Kanat-Borulu Isı Eşanjörlerinin Akım ve Isı Transfer Özelliklerinin Belirlenmesinde Farklı Duvar Fonksiyonlarının Etkisi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2005, **20**(4), 77-87.
- [9] Alt N., Özbaş E. ve Çay Y., *Farklı Tipteki Isı Borularının Performanslarının Karşılaştırılması*, e-Journal of New Word Sciences Academy, 2010, **5**(4), 344-352.
- [10] M. F. Köseoğlu, Ş. Başkaya ve T. Çalışır, Farklı Isı Eşanjörlerine Sahip Kombi Cihazlarının Performanslarının Deneysel Olarak Karşılaştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 2015, **30**(1), 29-37.
- [11] A. Yılmaz ve T. Yılmaz, Çapraz Akışlı Düz Borulu Saptırmalı Boru Demetinde Isı Transferi ve Basınç Kaybının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2015, **30**(1), 33-39.
- [12] E. Öğüt ve S. Dilki, Dalgalı trapez plakalı ısı eşanjörü içindeki nanoakışkanların akış ve ısı transfer karakteristiklerin incelenmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 2018, **10**(3), 933-943.
- [13] A. Guardo; M. Coussirat; M.A. Larrayoz; F. Recasens; E. Egusquiza, *Influence of the turbulence model in CFD modeling of wall-to-fluid heat*, Chemical Engineering Science, 2005, **60**, 1733-1742.



- [14] Çetin. F. Daştan, *Isı Eşanjörlerinde Isı Transferi İyileştirme Yöntemlerinin Sayısal Ve Deneysel Olarak İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [15] Özaydın. H. C., *Buharlaştırıcı Hava Giriş Koşullarının ve Buharlaştırıcı Sıcaklığının Nem Alma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [16] Pulat E., *Yüzeyle Aynı Hizada Monte Edilmiş Ayrık Isı Kaynakları Üzerinden Olan Akışta Eşlenik Isı Transferinin Hesaplamalı Olarak Araştırılması*, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2000, **2**(1), 175-182.
- [17] Kocaman Y. ve Tosun H., *Kanatlı Borulu Isı Değiştiricileri*, Mühendis ve Makina, 2013, 54(646), 27-36.
- [18] Çeteci Ö. M., *Bilgisayar Yardımıyla Isı Değiştiricisi Tasarımı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1999.
- [19] Bozkula G., *Kendinden Kanatlı (Finli) Ve Türbülantlı Turbo Fin Boru Sisteminin Geliştirilmesi*, T.C Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 2016.
- [20] Yakut G., *Gövde Borulu Isı Değiştiricisinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitim A.B.D, Isparta, Türkiye, 2007.
- [21] Çengel Y. A. ve Boles M. A., *Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla*, Güven Yayınevi, İzmir, Türkiye, 2011.
- [22] Ünlü C., *Buhar Sistemleri*, MaxVal Buhar Teknolojileri ve Vana San. Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye, 2019.
- [23] Anonim, *Verimli Bir Buhar Sistemi İçin Kondensatörlerin Kontrolü*, *Termodinamik Dergisi*, no. 165, 2006.
- [24] <https://www.gea.com/tr/binaries>, (Ziyaret tarihi:12 Haziran 2020).
- [25] Mercan E., *Yüksek Basınç Uygulanmış Yağlı ve Yağsız Sütten Üretilen Süt Tozlarının Farklı Sıcaklıklarda Depolanması Süresince Bazı Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi*, T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2019.
- [26] Yüncü H., Kakaç S., *Temel Isı Transferi*, Türkiye Bilim Yayıncılık, Türkiye, 1999.
- [27] <https://www.eca.com.tr/yapi/su-tesisati-ve-dogalgaz-vanalari/isitma-sistem-valfleri/otomatik-havalandirici-ve-purjorler/otomatik-havalandirici>, 2020.
- [28] [http://www.tlv.com/global\\_pdf/tuk/u-ckf3m-hp.pdf](http://www.tlv.com/global_pdf/tuk/u-ckf3m-hp.pdf), (Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2020).

- [29] [http://www.venkava.com.tr/pdfFiles/K234\\_Metal\\_Koruklu\\_Vana.pdf](http://www.venkava.com.tr/pdfFiles/K234_Metal_Koruklu_Vana.pdf), (Ziyaret tarihi: 12 Haziran 2020).
- [30] [http://www.venkava.com.tr/pdfFiles/K821\\_Pislik\\_Tutucu.pdf](http://www.venkava.com.tr/pdfFiles/K821_Pislik_Tutucu.pdf), (Ziyaret tarihi: 5 Nisan 2020).
- [31] <https://www.maxval.com.tr/sayfalar.409.buhar-cihazlari.html>, (Ziyaret tarihi: 1 Haziran 2020).
- [32] Aytekin T., *Bir Şeker Fabrikasında Şeker Üretimi Proses İhtiyacı İçin Soğutma Kapasitesinin Belirlenmesi ve Soğutucu Tasarımı*, T.C. Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye 2019.
- [33] <https://www.valftek.com/urun/bimetalik-kondenstop/>, (Ziyaret tarihi: 1 Haziran 2020).
- [34] [http://www.caseventil.com/Library/downloads/teknik\\_dokuman/otomatik\\_hava\\_tahliye\\_cihazı.pdf](http://www.caseventil.com/Library/downloads/teknik_dokuman/otomatik_hava_tahliye_cihazı.pdf), (Ziyaret tarihi: 4 Haziran 2020).
- [35] <http://www.berkonproses.com/Upload/199201614934934960.jpg>, (Ziyaret tarihi: 3 Haziran 2020).
- [36] Yetişemiyen A., Koyulaştırılmış ve Kurutulmuş Süt Ürünleri Teknolojisi, [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/122426/mod\\_resource/content](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/122426/mod_resource/content). (Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2020).
- [37] Bergles A.E., Kakaç S., Mayinger F., *Heat Exchangers: Thermal –Hydraulic Fundamentals and Design*, Hemisphere Pub. Corp., Washington, USA, 1981.
- [38] Yüncü H., Kakaç S., *Temel Isı Transferi*, Türkiye Bilim Yayıncılık, Türkiye, 1999
- [39] Lee J., Mudawar I., Assessment of the effectiveness of nanofluids for single-phase and two-phase heat transfer in micro-channels, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2007, **50.3-4**, 410-521.
- [40] Pantzalia M.N., Kanarisa A.G., Antoniadisb K.D., Mouza A.A., Paras S.V., Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface, *International Journal Heat and Fluid Flow*, 2009, **30**, 691-699.
- [41] STAR-CCM+ User Guide, CD-adapco., 2015.
- [42] Çengel Y., Ghajar A.J., *Isı ve Kütle Transferi Esaslar ve Uygulamaları*, 4.Basım, Palme Yayıncılık, ISBN: 9789339223199, Ankara, Türkiye, 2015.
- [43] Thulukkanam K., *Heat Exchanger Design Handbook*, 2nd ed, CRC, New York, USA, 2013.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Ögüt E., Köse U., Bir Süt Fabrikasında Süt Tozu Üretimi Proses İhtiyacı için Isı Eşanjörü Tasarımı ve Analizi, *International Marmara Sciences Congress*, Kocaeli, 19-20 Haziran 2020.



## ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Meslek Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2016 Kasım ayında başladığı askerlik görevini 2017 Mayıs ayında tamamlamıştır. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 Haziran ayında başladığı, çalışma alanı gıda ürünleri imalatı olan Elvan Gıda Tic. A.Ş.'de Teknik ve Bakım mühendisi olarak çalışmakta ve yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

