

**BACA GAZİNİN EKONOMİZERE GİRİŞ  
VE ÇIKIŞ TASARIMININ ISI GERİ  
KAZANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Kadir Can DEMİR**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ**

**2017**

**T.C.  
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BACA GAZININ EKONOMİZERE GİRİŞ VE ÇIKIŞ TASARIMININ  
ISI GERİ KAZANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Kadir Can DEMİR**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ**

**TEKİRDAĞ – 2017**

**Her hakkı saklıdır**

Prof.Dr. Serdar Osman YILMAZ danışmanlığında, Kadir Can DEMİR tarafından hazırlanan “Baca Gazının Ekonomizere Giriş ve Çıkış Tasarımının Isı Geri Kazanımına Etkisinin İncelenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ (Danışman)

*İmza :*

Üye: Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

*İmza :*

Üye: Yrd. Doç. Dr. Sencer S. KARABEYOĞLU

*İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof.Dr. Fatih KONUKCU

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BACA GAZININ EKONOMİZERE GİRİŞ VE ÇIKIŞ TASARIMININ  
ISI GERİ KAZANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Kadir Can DEMİR**

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

Günümüzde enerjinin öneminin giderek artması sebebi ile ısı kayıplarının minimum düzeylerde olması istenilmektedir. Endüstride ve birçok alanda önemli bir parametre olan ısı değiştiricilerinin verimliliğini arttırmak bu açıdan büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada iki farklı ekonomizerin özelliklerinin, kullanılan su debisinin ve atık gaz hızının ısı geçişine etkisi incelenmiştir. Isıl hesaplar ile “Solidworks Flow Simulation” programı sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu tezde amaç, baca gazının ekonomizere giriş çıkış tasarımında değişiklik yapıp, ısı etkenliğini arttırmaktır.

**Anahtar kelimeler:** Isı değiştiricileri, Isı transferi, Isı geri kazanımı, Ekonomizer

**2017, 45 sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

**THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE ECONOMIZER INLET AND  
OUTLET DESIGN ON THE HEAT RECOVERY OF THE FLUE GAS**

**Kadir Can DEMİR**

Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

Nowadays, it is demanded that the heat losses are at minimum levels because of the increase of the energy demand. Increasing the efficiency of the heat exchangers, which are an important parameter of the industry and of many areas, is a great proposition in this respect. In this study, the effects of the characteristics of the two different economisers, the water jet used and the waste gas velocity on the heat transfer were investigated. The results of the "Solidworks Flow Simulation" program were compared with the thermal calculations. The aim in this thesis is to change the flue gas design of the inlet and outlet of the economizer and to increase its thermal efficiency.

**Keywords:**Heat exchangers, Heat transfer, Heat recovery, Economizer

**2017, 45 pages**

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETİ</b> .....	<b>2</b>
2.1 Enerji Tasarrufu ve Önemi .....	2
2.2 Ekonomizer Makinesi ve Çalışma Prensibi.....	3
2.3 Isı Geri Kazanım Sistemleri .....	5
2.3.1 Isı Değiştiricileri Sınıflandırması .....	5
2.3.1.1 Isı Değişim Şekline Göre Sınıflandırma.....	6
2.3.1.1.1 Doğrudan temasın olduğu ısı değiştiricileri.....	6
2.3.1.1.2 Doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiricileri .....	6
2.3.1.2 Isı Geçiş Yüzeyinin Isı Geçiş Hacmine Oranına Göre Sınıflama .....	7
2.3.1.3 Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflama .....	7
2.3.1.4 Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflama .....	8
2.3.1.4.1 İki tarafta da tek fazlı akış .....	8
2.3.1.4.2 Bir tarafta tek fazlı, diğer tarafta çift fazlı akış.....	8
2.3.1.4.3 İki tarafta da çift fazlı akış .....	8
2.3.1.4.4 Taşınım ve ışınlama beraber ısı geçişi .....	8
2.3.1.5 Konstrüksiyon Özelliklerine Göre Sınıflama .....	9
2.3.1.5.1 Borulu ısı değiştiricileri .....	9
2.3.1.5.1.1 Düz Borulu ısı değiştiricileri .....	9
2.3.1.5.1.2 Spiral borulu ısı değiştiricileri .....	10
2.3.1.5.1.3 Gövde borulu ısı değiştiricileri .....	10
2.3.1.5.2 Levhalı ısı değiştiricileri .....	12

2.3.1.5.2.1 Contalı levhalı ısı değiştiricileri .....	12
2.3.1.5.2.2 Spiral levhalı ısı değiştiricileri.....	13
2.3.1.5.2.3 Lamelli ısı değiştiricileri.....	14
2.3.1.5.2.4 İnce film ısı değiştiricileri.....	14
2.3.1.5.3 Kanatlı Yüzeyli ısı değiştiricileri.....	14
2.3.1.5.4 Rejeneratif ısı değiştiricileri .....	15
2.3.1.6 Akıma Göre Sınıflama .....	16
2.3.1.6.1 Tek Geçişli Isı Değiştiricileri .....	16
2.3.1.6.1 Çok Geçişli Isı Değiştiricileri .....	16
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>18</b>
3.1 Materyal.....	18
3.2 Yöntem .....	19
<b>4. ARAşTIRMA BULGULARI VE TARTIşMA .....</b>	<b>28</b>
4.1 N1 Ekonomizerin İncelenmesi .....	28
4.2 N2 Ekonomizerin İncelenmesi .....	34
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>40</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>44</b>
<b>ÖZGEÇMİş .....</b>	<b>45</b>

## ÇİZELGE DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1: Akışkanların değerleri planı.....	20
Çizelge 3.2: Boru demeti üzerinde çapraz akışta, Denklem 3.7’de gösterilen sabitler.....	24
Çizelge 3.3: $N_L < 20$ için Denklem 3.9’da yer alan $C_2$ düzeltme çarpanı ( $Re_{D,max} \geq 10^3$ )..	24
Çizelge 3.4: Isı değıştircilerinde etkenlik bağıntıları.....	27
Çizelge 5.1: N1 Ekonomizer, N2 Ekonomizer ve Analitik Hesaplamaların Kapasite Karşılaştırılması.....	42



## ŞEKİL DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1. Düz borulu ısı değiştirici-1 .....	9
Şekil 2.2. Düz borulu ısı değiştirici-2 .....	9
Şekil 2.3. Spiral borulu ısı değiştirici .....	10
Şekil 2.4. Gövde borulu ısı değiştirici-1 .....	11
Şekil 2.5. Gövde borulu ısı değiştirici-2 .....	11
Şekil 2.6. Contalı-plakalı ısı değiştirici.....	13
Şekil 2.7. Spiral plakalı ısı değiştirici.....	13
Şekil 2.8. Lamelli ısı değiştirici.....	14
Şekil 2.9. Plakalı-kanatlı ısı değiştirici.....	15
Şekil 3.1. Ekonomizer görünümü.....	18
Şekil 3.2. Numune Ekonomizer.....	19
Şekil 3.3. Bir boru demeti üzerinde çapraz akışın şematik görünümü.....	21
Şekil 3.4 Bir boru demetinde boru dizilişleri: (a) düzgün sıralı, (b) kaydırılmış sıralı.....	22
Şekil 3.5. (a) Düzgün sıralı ve (b) kaydırılmış sıralı boru demetleri için akış koşulları.....	22
Şekil 3.6. Ters akışlı bir ısı değiştiricisinde akışkanların sıcaklık dağılımları.....	26
Şekil 4.1. N1 Ekonomizer görünümü.....	28
Şekil 4.2. N1 Ekonomizer gaz tarafı sıcaklık dağılımı.....	29
Şekil 4.3. N1 Ekonomizer su tarafı sıcaklık dağılımı.....	29
Şekil 4.4. N1 Ekonomizer gaz tarafı sıcaklık akış analizi.....	29
Şekil 4.5. N1 Ekonomizer gaz tarafı basınç akış analizi.....	30
Şekil 4.6. N1 Ekonomizer gaz tarafı hız akış analizi.....	30
Şekil 4.7. N1 Ekonomizer su tarafı sıcaklık akış analizi.....	30
Şekil 4.8. N1 Ekonomizer gaz tarafı akım çizgileri.....	31
Şekil 4.9. N1 Ekonomizerin gaz hızı - sıcaklık farkı değişim grafiği.....	31
Şekil 4.10. N1 Ekonomizerin gaz hızı - basınç farkı değişim grafiği.....	32
Şekil 4.11. N1 Ekonomizerin gaz hızı – ısı geçişi farkı değişim grafiği.....	32
Şekil 4.12. N1 Ekonomizerin su debisi – ısı geçişi değişim grafiği.....	33
Şekil 4.13. N2 Ekonomizer görünümü.....	34
Şekil 4.14. N2 Ekonomizer gaz tarafı sıcaklık dağılımı.....	35
Şekil 4.15. N2 Ekonomizer su tarafı sıcaklık dağılımı.....	35
Şekil 4.16. N2 Ekonomizer gaz tarafı sıcaklık akış analizi.....	35

Şekil 4.17. N2 Ekonomizer gaz tarafı basınç akış analizi.....	36
Şekil 4.18. N2 Ekonomizer gaz tarafı hız akış analizi.....	36
Şekil 4.19. N2 Ekonomizer su tarafı sıcaklık akış analizi.....	36
Şekil 4.20. N2 Ekonomizer gaz tarafı akım çizgileri.....	37
Şekil 4.21. N2 Ekonomizerin gaz hızı - sıcaklık farkı değişim grafiği.....	37
Şekil 4.22. N2 Ekonomizerin gaz hızı - basınç farkı değişim grafiği.....	38
Şekil 4.23. N2 Ekonomizerin gaz hızı – ısı geçişi değişim grafiği.....	38
Şekil 4.24. N2 Ekonomizerin su debisi – ısı geçişi değişim grafiği.....	39
Şekil 5.1 Hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği, su debisi 1000 kg/h.....	40
Şekil 5.2 Hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği, su debisi 1200 kg/h.....	40
Şekil 5.3 Hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği, su debisi 1500 kg/h.....	41
Şekil 5.4 Hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği.....	41
Şekil 5.5 Ekonomizer Montajı .....	42

## SİMGELER DİZİNİ

Sembolü	SI Temel Birimlerde Açıklama	Türetilmiş Büyüklük
A	m <sup>2</sup>	Alan
L	m	Isıtıcı borunun uzunluğu
D	m	Boru çapı
S <sub>T</sub>	m	Boru eksenleri arasında akışa dik yönde aralık
S <sub>L</sub>	m	Boru eksenleri arasında akışa dik yönde aralık
P	Pa	Basınç
ΔP	Pa	Basınç Düşümü
T	°C	Sıcaklık
Q	Watt	Isı Geçişi
Q <sub>t</sub>	W	Sıcak akışkandan sağlanan ısı enerjisi
Q <sub>c</sub>	W	Taşınım ile olan ısı transferi
ΣQ <sub>R</sub>	W	Toplam ışınlama ile olan ısı transferi
Q <sub>w</sub>	W	Gövde yüzeyinden hava ile taşınan ısı miktarı
λ	W/m <sup>2</sup> ·K	Isı iletim katsayısı
h <sub>w</sub>	W/m <sup>2</sup> ·K	Gövde etrafında oluşan ısı transferi katsayısı
h <sub>0</sub>	W/m <sup>2</sup> ·K	Görünür ısı transferi katsayısı
A <sub>0</sub>	m <sup>2</sup>	Toplam ısı geçiş yüzeyi
c <sub>p</sub>	kJ/kg·°C	Sabit Basınçta Molar Isı Kapasitesi
k	W/m·K	Termal İletkenlik
ε <sub>i</sub>		Yüzey yayılımı

Nu		Nusselt sayısı
NTU		Birim Isı Transfer Sayısı
Pr		Prandtl sayısı
Re		Reynolds sayısı
$\eta_k$		Kanatlı yüzeye ait verim
$\eta_f$		Kanat Verimi
V	m/s	Hız
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Yoğunluk
$\mu$	Pa·s	Dinamik Viskozite
$\nu$	m <sup>2</sup> /s	Kinematik Viskozite
$f$		Sürtünme Kayıp Katsayısı
$c_{su}$	kJ/kg·°C	Suyun özgül ısıma ısısı
$C_{hava}$	kJ/kg·°C	Havanın özgül ısıma ısısı
$T_w$	°C	Isıtıcı Yüzey sıcaklığı
$T_h$	°C	Isıtılan hava sıcaklığı
$T_{c,i}$	°C	Suyun ısıtıcı boruya giriş sıcaklığı
$T_{c,o}$	°C	Suyun ısıtıcı borudan çıkış sıcaklığı
$\Delta T_{su}$	°C	Suyun ısıtıcı boruya giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı
$\Delta T_{hava}$	°C	Havanın borudan çıkış ile giriş arasındaki sıcaklık farkı
$T_{h,i}$	°C	Havanın ısıtıcı boruya giriş sıcaklığı
$T_{h,o}$	°C	Havanın ısıtıcı borudan çıkış sıcaklığı
$\dot{m}_{su}$	kg/h	Suyun kütleli debisi
$\dot{m}_{hava}$	kg/h	Havanın kütleli debisi
$v$	m/sn	Havanın hızı

## **ÖNSÖZ**

Tez konusunun seçimi, çalışmaların yönlendirilmesi, tezin düzenlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi sırasında yol gösteren, destek olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ'a, tez çalışmam süresince her yönden desteğini esirgemeyen Konuk Isı firmasına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde enerjinin kıymetinin giderek artması, enerjii verimli kullanan ülkelerin gelişmesi sebebi ile verimli sistemler ülkemizin enerji ve ekonomik kazanımları için önem arz etmektedir. Özellikle bizim gibi gelişmekte olan ülkelerde enerjinin verimli kullanılması ülke ekonomisini etkilen en önemli parametrelerden biridir. Isı değiştiricilerin önemi gün geçtikçe artmakta ve kullanım alanları da fazlalaşmaktadır. Örneğin ülkemizde; deri sektörü, tekstil sektörü, kâğıt sektörü, petrol üretim tesisleri, dökümhaneler, elektrik üretim tesisleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Mühendislik uygulamalarında en önemli ve en çok uygulanan işlemlerden birisi, farklı sıcaklıklardaki akışkanlar arasındaki ısı değişimidir. Bu değişimin yapılabilmesi için de ısı değiştiricileri en çok kullanılan mühendislik elemanlarıdır. Isı değiştirgeçleri, sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki ısı transferini sağlayan araçlardır. Birçok uygulamada farklı tipte ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Isıtma, soğutma, iklimlendirme, enerji üretimi, atık ısı geri kazanımı gibi birçok farklı kullanım alanı bulunmaktadır. Isı değiştiricilerinin verimliliğini arttırmanın ve maliyetini düşürmenin en etkili yolu ısı taşınım katsayısının arttırılmasıdır.

Isı değiştiricilerin tasarımındaki önemli parametreler; ısı geçişi, basınç düşümü, boyutu, verimliliği ve maliyetidir.

Kullanılan farklı iyileştirme metotları ile ısı transfer katsayısı arttırılırken, sürtünme katsayılarının artışıdan dolayı basınç düşümünde de artışa sebep olabilmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur. Isı değiştiricisinin boyutlarının küçülmesi istenirken, fazladan pompa gücünün kullanılması istenilmemektedir.

Akışkanlara ek bir enerji vermeden istenilen enerji kazanımını arttırma için ısı değiştiricilerde birçok farklı geometrilerde ve Re aralıklarında çalışmalar yapılmıştır.

Bu tezin amacı, farklı geometrik boyutlara göre tasarlanan ekonomizer ısı değiştirici cihazının, belirli çalışma sıcaklıklarında ne kadar ısı geçişini sağlayabileceğini ve bu ısı geçişini hangi parametrelerin ne kadar etkilediğini hesaplamak ve incelemektir. Yapılacak hesaplamalar için gerekli olan formülasyonlar ve bilgisayar programına tezde değinilmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1. Enerji Tasarrufu ve Önemi

Artan enerji fiyatlarının kontrolü, sürdürülebilir enerjinin sağlanması ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması çalışmalarının sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları ve enerjinin verimli kullanımı önem kazanmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimliliğinin önemini arttıran bir başka gelişme de çevre bilincidir. Bu bilinç, geleneksel enerji üretim ve tüketimin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde bölgesel, yerel ve küresel seviyede doğrudan olumsuz etkilere neden olduğunun anlaşılmasına ve enerjinin verimli kullanımının destek görmesine yol açmıştır. Böylece başlangıçta sadece sanayileşmiş ülkelerin gündeminde yer alan enerjinin verimli kullanımı kavramı tüm dünya ülkelerinin enerji politikalarındaki ortak prensiplerinden biri haline gelmiştir.

Enerji kaynakları açısından kısıtlı kaynaklara sahip dışa bağımlı konumda olan ülkemizde, enerji ihtiyacının güvenilir, yeterli ve ekonomik olarak sağlanması temel hedeftir. Enerjinin verimli kullanımı bu hedefin gerçekleşmesinde kullanılacak en önemli araçlardan birisidir.

Enerji verimliliğinin artırılması, atık enerjilerin değerlendirilmesi ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji miktarının ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesi olarak tanımlayabileceğimiz enerji tasarrufu; enerji krizi yaşayan ülkelerin sorunlarının çözümünde önemli katkıları olacaktır.

Enerji tasarrufu; enerjinin akıllıca kullanımı ile kayıpların en aza indirilmesi, aynı enerji ile daha çok iş yapılması veya aynı iş için daha az enerji kullanılması anlamını taşımaktadır.

Enerji verimliliğinin artırılması, ek yeni enerji kaynaklarının devreye sokulması için yapılacak yatırımlardan daha ekonomiktir. Tasarruf edilerek kazanılabilecek enerjiyi üretmek için, daha çok pahalı yatırımlara ve çok daha uzun zamana ihtiyaç vardır. Ama enerji tasarrufu, daha hızlı ve ucuza elde edilebilen bir enerji kaynağıdır. Doğru uygulandığı takdirde, ısı geri kazanım yöntemleri önemli ölçüde tasarruf sağlamakta, kalite ve üretim seviyesini arttırmaktadır. Geri kazanılan ısı ise ya ortaya çıktığı proses için tekrar kullanılmakta, ya da çevre veya başka bir işlem için ısıtmada kullanılabilir. 2

## 2.2. Ekonomizer Makinesi ve Çalışma Prensibi

Ekonomizer baca gazlarının atık ısısından yararlanarak, buhar kazanları, kızgın yağ kazanları, sıcak ve kızgın su kazanlarında sistem geri dönüş akışkanının ısıtılmasında kullanılarak yakıt tasarrufu ve kazan verimliliğinin arttıran sistemlerdir.

Kazan çalışma sıcaklığı ve buna bağlı olarak kazan duman gazı çıkış sıcaklığı yükseldikçe, duman gazları vasıtasıyla çevreye atılan enerji miktarı da artmaktadır. Bacadan atılan bu atık ısının bir kısmının geri kazanılması, kazan veya sistem verimini yükselterek yakıt tasarrufu sağlayacaktır. Ekonomizerler, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkararak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü, bünyelerinde sirküle eden suya aktarmak suretiyle, geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Geri kazanılan bu ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, banyo, yıkama, vb. amaçlar için kullanılacak suya da verilebilir. Geri kazanılacak ısının hava veya bir gaze aktarılması söz konusu olduğunda ise hava ısıtıcılar kullanılır. Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazanın çalışma rejimine, kazanın bünyesel verimine, kazan-brülör uyumuna ve yakıt cinsine bağlı olarak belli bir büyüklükte olur. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığını ise, kullanılan yakıtın cinsi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma koşulları belirler.

Bir ekonomizerde geri kazanılabilecek ısının büyüklüğü, kazan duman gazı çıkış sıcaklığına bağlı olduğu gibi duman gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığına da bağlıdır. Ekonomizere giren ve çıkan duman gazları sıcaklıkları farkı ne denli büyük olursa geri kazanılan ısı, dolayısıyla verim artışı da o denli büyük olur. Ancak korozyona sebep olabilecek asit gazlarının yoğunlaşmasını önlemek için atık gazların sıcaklıklarının belli bir derecenin altına indirilemeyeceği göz önüne alınmalıdır. Bir ekonomizerde, doğalgaz ve benzeri gaz yakıtlı kazanlarda 140°C, motorin, fuel oil ve kömür yakıtlı kazanlarda 220°C ve daha büyük duman gazı sıcaklıklarından ekonomik olarak yararlanmak olanaklıdır. Bir duman gazı ısı geri kazanım sisteminde ulaşılacak baca gazı sıcaklığının minimum seviyesi, kullanılan yakıtın cinsine bağlıdır. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığı, fuel oil yakıtlı kazanlarda 180°C, motorin yakıtlı kazanlarda 150°C, doğal gaz ve LPG yakıtlı kazanlarda 110°C'ye kadar düşürülebilir.



Isı, buhar veya güç üretim tesislerinde ekonomizer kullanılmasıyla sağlanacak yararlar şunlardır; Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı ve yakıt cinsine bağlı olarak kazan veya tesis veriminde % 3 ile % 7 arasında verim artışı sağlanır. Sağlanan verim artışına bağlı olarak, aynı kapasite için daha az yakıt harcanması veya aynı miktarda yakıt harcanması için daha fazla ısı üretimi gerçekleşir. Kazanılan ısının kazan besleme suyuna verilmesi halinde, kazanın maksimum yüklerde dahi zorlanmadan çalışması, değişik yüklere daha iyi bir şekilde uyum sağlaması ve kazan veriminin değişik yüklerde nispeten yüksek ve sabit kalması sağlanır. Optimal kapasitesinin üzerinde çalışan veya yapısı itibarıyla düşük verimli olan kazanlara ekonomizer ilavesi ile kazan kapasitesi ve verimi optimum düzeylere çıkarılabilir. Ekonomizer uygulama alanları, oldukça çeşitlidir. Önemli olan, sistemden geri kazanılan ısının, sistemin çalışma süresi boyunca kullanılmasıdır.

### 2.3. Isı Geri Kazanım Sistemleri

Mühendislik uygulamalarının en çok karşılaşılan ve en çok karşılaşılan işlemlerinden biri olan, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkanlar arasındaki ısı değişimidir. Bu değişimin yapıldığı sistemler, genelde ısı değiştirici olarak adlandırılmakta olup, termik santrallerde, ısıtma, soğutma, iklimlendirme tesisatlarında, kimya endüstrilerinde, taşıt araçlarında, elektronik cihazlarda, alternatif enerji kaynaklarının kullanımında vb. birçok yerde kullanılabilir.

İşletme için uygun olan ısı geri kazanım yönteminin belirlenmesinden önce, kullanılacak ısı değiştiricinin gereksinimlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bunlar;

- sıcaklık aralığı
- uygulanacak maksimum basınç
- akışkan sınırlamaları
- mevcut boyut aralığı

Isı değiştiricileri içerisinde buharlaşma ve yoğuşma gibi bir faz değişimi yoksa, bunlara duyulur ısı değiştiricileri, içinde faz değişimi olanlara ise gizli ısı değiştiricileri adı verilmektedir.

Çoğunlukla ısı değiştiricilerinde akışkanlar, birbirleriyle karıştırılmadan ısı geçişinin doğrudan yapıldığı genelde metal malzeme olan katı bir yüzey ile birbirinden ayrılmaktadır. Bu tip ısı değiştiricileri yüzeyli veya reküperatif olarak adlandırılmaktadır. Isı geçişinin doğrudan olmayıp, ısı önce sıcak akışkan tarafından döner veya sabit bir dolgu maddesine verilerek depo edilip, daha sonra bu dolgu maddesindeki ısı soğuk akışkana verilenlere de dolgu maddeli veya rejeneratif adı verilmektedir. Genel olarak reküperatif ısı değiştiricilerindeki incelemeler zamandan bağımsız, rejeneratif ısı değiştiricilerinde incelemeler zamana bağlı olmaktadır.

#### 2.3.1 Isı Değiştiricilerin Sınıflandırması

Pratikte çok farklı tipte bulunabilen ısı değiştiricileri; ısı geçiş şekline, konstrüksiyon özelliklerine, akış düzenlemesine, akış sayısına ve akışkanların faz değişimlerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Isı değiştiricileri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Isı Değişim Şekline Göre Sınıflandırma
- Isı Geçişi Yüzeyinin Isı Geçişi Hacmine Oranına Göre Sınıflandırma (Kompaktlık)
- Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflandırma
- Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflandırma
- Konstrüksiyon Özelliklerine Göre Sınıflandırma
- Akıma Göre Sınıflandırma

### **2.3.1.1 Isı Değişim Şekline Göre Sınıflandırma**

Bu sınıflandırmada, ısı değiştiricileri, akışkanlar arasından veya katı cisimler ile bir akışkan arasında doğrudan doğruya bir temasın olduğu veya olmadığı şekillerde olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

#### **2.3.1.1.1 Doğrudan temasın olduğu ısı değiştiricileri**

Bu tip ısı değiştiricileri içinde farklı sıcaklıklardaki akışkanlar veya bir akışkan ile katı maddeler birbiri ile doğrudan doğruya karıştırılmakta veya temasa geçirilmektedir. İki akışkan kullanıldığı durumlarda genelde akışkanlardan biri gaz, diğeri buharlaşma basıncı düşük olan bir sıvı seçilir. İşlem bitiminde iki akışkan kendiliğinden ayrılır. Bu tip ısı değiştiricilerine endüstriden; soğutma kuleleri, jet veya sprey yoğunlaştırucuları, püskürtmeli ve tablalı yoğunlaştırucular örnek olarak verilebilir.

#### **2.3.1.1.2 Doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiricileri**

Üç gruba ayırabileceğimiz bu tip ısı değiştiricilerinde temel prensip ısıyı önce sıcak akışkandan ayırıcı yüzeye veya bir kütleye iletip, daha sonrada bu ısıyı ara yüzeyden veya kütleden soğuk akışkana geçirmektir. Bu tip ısı değiştiricileri, yüzeyli (ince cidarlı boru veya levha), dolgu maddeli (rejeneratör) veya akışkan yataklıdır.

### 2.3.1.2 Isı Geçiş Yüzeyinin Isı Geçiş Hacmine Oranına Göre Sınıflandırma

Bu sınıflama yapılırken ısı değiştiricileri için bir yüzey alanı yoğunluğu ( $\beta$ ) büyüklüğü tanımlanır. Isı geçişi yüzeyinin ( $m^2$ ) ısı değiştici hacmine ( $m^3$ ) oranını tanımlayan  $\beta$  literatürde  $>700 m^2/m^3$  olduğunda ısı değiştiricisi kompakt  $\leq 700 m^2/m^3$  olduğunda ısı değiştirici kompakt olmayan olarak nitelendirilir.

Çok kanatlı boru veya levhalardan oluşan kompakt ısı değiştiricilerinde, bir tarafında gaz diğer tarafında sıvı bulunması durumunda; genellikle gaz akışkanlarındaki ısı taşımın katsayılarının sıvı akışkanlara göre daha küçük olmasından dolayı gaz tarafındaki yüzey alanı arttırılmalıdır. Yüzey alanını arttırmak ısı değiştiricisinin kompaktlığının arttırılması anlamına gelir. Bu artışı yüzeylere ilave edilen kanatlarla sağlamak mümkündür. Kullanılan borular dairesel kesitli veya yassı olabilir. Akış kesitleri ve içlerindeki akış genellikle çok küçük olan (laminer akış) kompakt ısı değiştiricileri tek geçişli veya çok geçişli olarak kullanılabilirler. Ayrıca düz veya dalgalı kanatlı olarakta seçilebilirler.

Kompakt ısı değiştiricileri sayesinde ağırlıktan ve hacimden kazanç sağlanabilir. Bu tip ısı değiştiriciler, projelendirme açısından esneklik sağlar. Avantajlarının haricinde, bazı dezavantajları da vardır. Bu tip ısı değiştiricilerinde akışkanların biri en az gaz olmalıdır. Yüzeyi kirleten, koroziyel olan akışkanlar kullanılamaz. Ayrıca, bu tip ısı değiştiricilerde aşırı yük kaybını yenebilmek için ilave vantilatör veya pompa kullanılması gerekmektedir

### 2.3.1.3 Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflandırma

Pratikteki birçok uygulamada ısı değiştiricilerinde, genellikle iki akışkan arasında ısı geçişi gerçekleşmektedir. Uygulamalarda ikiden çok akışkanın kullanılması da mümkündür. Hidrojenin saflaştırılması ve sıvılaştırılması, havanın ayrıştırılması, soğutma tekniği gibi olaylarda üç akışkanlı ısı değiştiricileriyle karşılaşılabilir. Pompasız soğutma makinası da farklı akışkan sayısına göre sınıflandırılabileceğimiz ısı değiştiricilerine girer. Bu tip ısı değiştiricilerinin tasarımıları güç olmakla birlikte analizleri de oldukça karmaşıktır.

### **2.3.1.4 Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflandırma**

#### **2.3.1.4.1 İki tarafta da tek fazlı akış**

Isı değiştiricilerinin iki tarafındaki tek fazlı akışlardaki ısı taşınımı bir pompa veya vantilatör ile tahrik edilen zorlanmış veya yoğunluk farkı sebebiyle doğal olarak olabilmektedir. İki tarafta da tek fazlı akışın bulunduğu ısı değiştiricilerinin uygulamalarına örnek olarak; oda ısıtıcıları, buhar kazanları ekonomizerleri ve hava ısıtıcıları, taşıt radyatörleri ve hava soğutmalı ısı değiştiricileri verilebilir.

#### **2.3.1.4.2 Bir tarafta tek fazlı, diğer tarafta çift fazlı akış**

Termik santrallerin, soğutma sistemlerinin yoğuşturucuları veya buharlaştırıcıları ile buhar kazanlarının örnek gösterildiği bu tip ısı değiştiricilerinin bir taraflarında zorlanmış veya tek fazlı akış varken, diğer tarafta kaynamakta veya yoğuşmakta olan iki fazlı akış vardır.

#### **2.3.1.4.3 İki tarafta da çift fazlı akış**

Bu tip ısı değiştiricilerin bir tarafında buharlaşma, diğer tarafında yoğuşma işleminin vardır. Bu tipler hidrokarbonların distilasyonunda, yüksek basınçlı buhar kullanılarak alçak basınçlı buhar elde edilmesinde kullanılmaktadır. rnek olarak su püskürtmeli yoğuşturucular ve su püskürtmeli buharlaştırıcılar verilebilir. Bir akışkanın yoğuşarak havaya ısı verdiği veya yoğuşarak havadan ısı aldığı yüzeyli ısı değiştiricilerinde hava içine su püskürtmek ısı geçişini daha etkin bir hale sokar.

#### **2.3.1.4.4 Taşınım ve ışımla beraber ısı geçişi**

Özellikle bir tarafında yüksek sıcaklıkta gaz olan ısı değiştiricilerinde taşınım ile ışımla ısı geçişi bir arada görülür. Yüksek sıcaklıkta dolgu maddeli rejeneratörler, fosil yakacak yakan ısıtıcılar, buhar kazanları bu tip ısı değiştiricilerine örnek olarak gösterilebilirler.

### 2.3.1.5 Konstrüksiyon Özelliklerine Göre Sınıflandırma

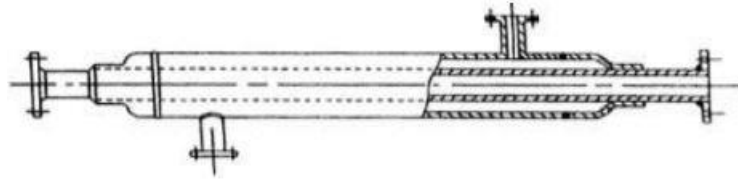
Isı değiştiricileri genellikle konstrüksiyon özelliklerine göre karakterize edilir.

#### 2.3.1.5.1 Borulu ısı değiştiricileri

Eliptik, dikdörtgen ve çoğunlukla da dairesel kesitli boruların kullanıldığı bu tip ısı değiştiricilerinde; boru çapının, boyunun ve boruların düzeninin kolayca değiştirilebilmesi, projelendirmede büyük kolaylıklar sağlar. Bunun yanı sıra geometrisi sayesinde dairesel kesitli boruların kullanıldığı ısı değiştiricileri yüksek basınçlarda rahatlıkla kullanılabilir.

##### 2.3.1.5.1.1 Düz borulu ısı değiştiricileri

Boru demetinden yapılmış çeşitleri bulunmaktadır. Aynı eksenli iki borudan yapılan çift borulu ısı değiştiricileri uygulamalardaki en basit ısı değiştiricileridir. Çift borulu ısı değiştiricilerinin çalışma prensibi akışkanlardan biri içteki borudan akarken diğerinin dıştaki borudan akmasıdır. Akış yönleri paralel veya ters akımlı olarak seçilebilir. Seri halde montajları yaparak ısıl kapasiteyi ve ısı geçiş yüzeyini arttırmak mümkündür.



şekil 2.1. Düz borulu ısı değiştirici-1



şekil 2.2. Düz borulu ısı değiştirici-2

### 2.3.1.5.1.2 Spiral borulu ısı değiştiricileri

Basit ve ucuz şekilde elde edilebilen, bir veya daha fazla borudan spiral ile bu spiralin dışındaki bir depodan meydana gelen bu tipteki ısı değiştiricilerinde ısı genleşmenin oluşturduğu gerilme problemleri yoktur. Bu ısı değiştiricileri çoğunlukla havuz ve depolardaki akışkanların sıcaklık kontrolünde kullanılabilirler. Serpatinin adımı helisel bir şekilde yapılabilir, sarım çapı ve alanı uygun bir şekilde seçilebilir. Buyk serpantinlerin depo içinde desteklenmeleri gerekirken küçük serpantinlerin byyle bir ihtiyaı yoktur. Boru iç yüzeyi hariç spiral borunun dış yüzeyi ve depo kolaylıkla temizlenebilir. Depo tarafındaki ısı kapasite debilerinin küçük olmasının nedeni bu taraftaki debi ve akışkan hızlarının aynı şekilde küçük olmasıdır.



şekil 2.3. Spiral borulu ısı değiştirici

### 2.3.1.5.1.3 Gövde borulu ısı değiştiricileri

Silindirik bir gövde ile bu gövde içine yerleştirilen birbirine paralel borulardan meydana gelen gövde borulu ısı değiştiricilerinde akışkanlardan birisi boruların içinden diğeri ise gövde içinden akar. Borular veya boru demeti, gövde, iki baştaki kafalar, boruların tespit edildiği n ve arka aynalar ile gövde içindeki akışı yönlendiren borulara destek olabilen şaşırtma levhaları veya destek çubukları bu ısı değiştirici tipinin elemanlarıdır. Bu ısı değiştiricilerinin uygulama alanlarına örnek olarak petrol rafineleri, termik santralleri gösterilebilir. Bu ısı değiştiricilerinin konstrüksiyonunun standartları borulu ısı değiştiricisi imalatları birliği, TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) tarafından belirlenmiştir. Basınç ve sıcaklık farkından dolayı meydana gelebilecek uzamaları

karşılabilmesi, sabit boru demetli ısı değiştiricileri dzenlemelerinde göz önüne alınmalıdır. Bu tip ısı değiştiricilerinin gövde ve borularında kullanılan akışkanlar için önerilen standart anma basınçları genel olarak 2, 5, 6, 10, 16, 25 ve 40 bar değerlerindedir.



şekil 2.4. Gövde borulu ısı değiştirici-1



şekil 2.5. Gövde borulu ısı değiştirici-2

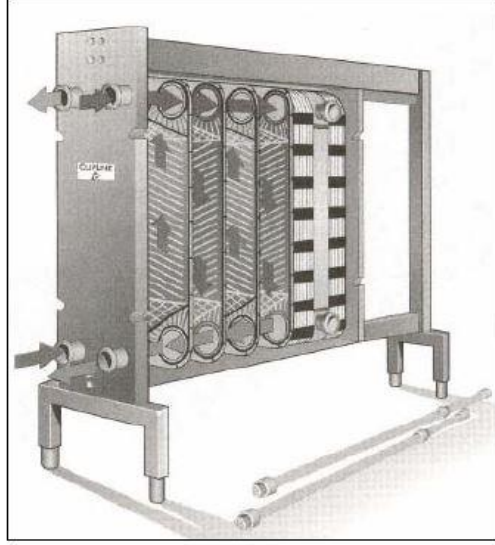


### **2.3.1.5.2 Levhalı ısı değiştiricileri**

Borulu tipte olan ısı değiştiricilerine nazaran yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlara daha az dayanıklı olan levhalı ısı değiştiricilerinde esas ısı geçişinin olduğu yzeyeleler genelde döz veya dalgalı ince metal levhalardan yapılır. Plakalı ısı değiştiricileri olarak da adlandırılan bu tip ısı değiştiricilerinde plakaların üzerinde akışkan için giriş, çıkış bağlantıları bulunmaktadır. Akışkan, iki farklı akışkan plakaların birlikte dizilmesi ile oluşan kanallar arasından geğer. İki baskı levhası saplamalar aracılığıyla sıkıştırılmaktadır. Contalar vasıtasıyla sızdırmazlık ve iki akışkanın birbirine karışmaması sağlanır. Akışkanın debisi, fiziksel özellikleri, mevcut basınç dözümü ve sıcaklık programı plakaların paleti ve boyutlarını belirleyen faktörlerdir. Akışkanların türbölanslı bir şekilde akmasına ve çok sayıda temas noktası oluşturacak plaka paletinin istenen mukavemete ulaşması amacıyla plakaların üzerinde akış esnasında akışkanın yönü ve hızını sürekli olarak değiştiren ve böylece düşük akış hızlarında bile yüksek türbölans değerlerine ulaşmayı sağlayan balık sırtı desenli bir yapı oluşturulur. Balık sırtı desenli yapının bir diğer faydası da akışın durgunlaştığı ölü noktaları ortadan kaldırması, eşanjörün kirlenmesi ve sağırlaşmasını geciktirmesidir. Özel durumlar dışında uygulamaların çoğunda ısı değiştirici sadece tek geçişli olarak imal edilir. Hacimsel olarak karışlaştırıldıklarında aynı işi gören borulu ısı değiştiricilerine göre 1/5 ile 1/3 oranında daha düşük bir hacim kaplayan levhalı ısı değiştiricileri ayrıca özel conta dizaynları sayesinde akışkanların birbirine karışması ihtimalini tamamen ortadan kaldırılırlar.

#### **2.3.1.5.2.1 Contalı levhalı ısı değiştiricileri**

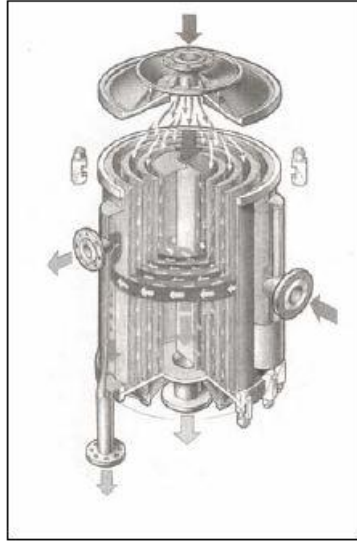
Dört tarafında delik bulunan ve dözey olarak yerleştirilen metal levhaların paket haline getirildiği bu tip ısı değiştiricilerinde uygun contalarla levhalar arasındaki boşluklardan sıcak ve soğuk akışkanların birbirlerine karışması engellenir. Isıl kapasite sisteme levha eklenmesi veya çıkarılması sayesinde istenilen şekilde değiştirilebilir.



**Şekil 2.6.** Contalı-plakalı ısı değiştirici

#### 2.3.1.5.2.2 Spiral levhalı ısı değiştiricileri

Bu ısı değiştiricileri uzun ince metal iki levhanın sarılmasıyla imal edilirler. İki levha arasına saplamlar konularak istenilen uygunlukta bir aralık elde edilebilir. Sızdırmazlığı sağlamak için; levhaların iki tarafına contalı kapaklar konulur.

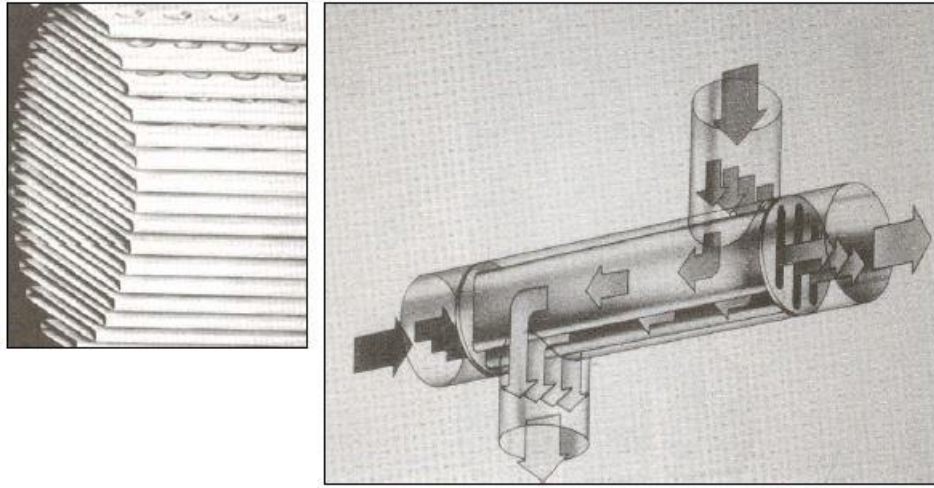


**Şekil 2.7.** Spiral plakalı ısı değiştirici

Akışkanlar birbirine göre paralel veya ters yönde akıtılabilir. Tortu yapabilen viskoz akışkanlar temizlenmeleri kolay olduğundan tercih edilir. Basınç kayıpları gövde borulu ve contalı ısı değiştiricilerine nazaran daha az olması dolayısıyla bu tip ısı değiştiricileri özellikle kağıt selüloz endüstrisinde, sülfat ve sülfid fabrikalarında kullanılır.

### 2.3.1.5.2.3 Lamelli ısı değiştiricileri

Bu ısı değiştiriciler, lamel adı verilen bir gövde içerisinde yassılaştırılmış borulardan yapılmış bir demetin yerleştirilmesiyle elde edilirler. Bu lameller genelde nokta veya elektrikli dikiş kaynağıyla birbirine tutturulurlar. Uygulama alanları olarak kağıt, besin ve kimya endüstrileri nde gelir.



şekil 2.8.Lamelli ısı değiştirici

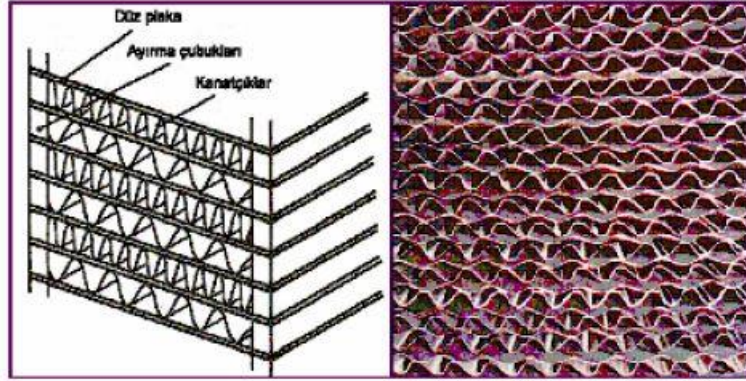
### 2.3.1.5.2.4 İnce film ısı değiştiricileri

Pratikte çoğu zaman buharlaştırıcı olarak kullanılan bu ısı değiştiricilerinin içinde sıcağa duyarlı maddelerin kalış süresi kısa, değiştiricinin ısı taşınım katsayısı büyüktür. Bu nedenle çok yüksek viskoziteli ve sıcaklığa duyarlı maddelerin ısıtılmasında ve soğutulmasında bu tip ısı değiştiricileri tercih edilir.

### 2.3.1.5.3 Kanatlı Yüzeyli Isı Değiştiricileri

Borulu ve levhalı ısı değiştiricilerinde ısı taşınım katsayısının küçük olduğu akışkan tarafına kompaktlığı ve ısı iletkenliği arttırmak amacı ile kanat adı verilen ısıtma yüzeylerini arttıran çıkıntılar eklenir. Bu sayede küçük hacimde daha fazla ısı geçişi sağlanabilir; ancak dikkat edilmesi gereken bir husus ilave edilen kanatların oluşturduğu ilave basınç kayıplarıdır. Bu bağlamda kanat profillerini konstrüktif açıdan uygun seçmek önemlidir. Kanatların profillerine göre levhalı kanatlı ısı değiştiricileri ve borulu kanatlı ısı değiştiricileri olarak ikiye ayrılırlar. Levhalı kanatlı ısı değiştiricilerinde dz, delikli, tırtıklı ve zikzak şeklinde olabilen kanatlar, paralel levhalar arasındaki yüzeylere mekanik olarak preslenerek,

lehimlenerek veya kaynak edilerek tespit edilir. Borulu kanatlı ısı değiştircilerinde ise yüksek basınçlı akışkan (sıvı) dairesel veya oval kesitli boru içerisinden akıtılır.



Şekil 2.9. Plakalı-kanatlı ısı değiştircisi

#### 2.3.1.5.4 Rejeneratiflı Değiştircileri

Dolaylı yoldan ısı geçişi prensibi ile çalışan rejeneratif ısı değiştircilerinde ısı önce sıcak akışkan tarafından bir ortamda depo edilir, daha sonra sıcak akışkana verilir. Bu değiştircilere bazen rejeneratör adıda verilir. Isının depolandığı gözenekli elemanlar dolgu maddesi veya matris olarak adlandırılır. Rejenatörler kompaktlık, ilk yatırım masrafının azlığı ve sistemin kendi kendini temizleme özelliği bakımından üstünken; sadece gaz akışkanlarda kullanılabilmeleri sıcak ve soğuk akışkanlar arasında daima bir miktar kaçak olması ve akışkanların birbirlerine etki edebilmeleri durumunda kesinlikle kullanılamamaları nedeniyle dezavantajlıdır. Sabit dolgu maddeli, döner dolgu maddeli ve paket yataklı olmak üzere üç temel tip rejeneratör vardır. Periyodik alışan ısı değiştircileri adı da verilen sabit dolgu maddeli ısı değiştircilerinde belirli zamanlarda klapeler döndürülerek dolgu maddesi içinden sıcak veya soğuk akışkan geçmesi gerçekleştirilir. Sistemin sürekli çalışması için aynı tipten en az iki rejeneratör gereklidir. Çoğu işletmede üç veya dört rejeneratör aynı anda kullanılır. Gaz türbinlerinde, buhar kazanlarında, cam fabrikalarında yakma havasının sıcak duman gazlarıyla ısıtılmasında iklimlendirme tesisatlarında enerji ekonomisi için sıkça kullanılan döner dolgu maddeli ısı değiştirciler disk ve silindir tipi olmak üzere iki gruba ayrılır. En büyük sakıncaları gaz kaçaklarıdır. Devamlı alışan dolgu maddeli ısı değiştircilerinden bir diğeri de, konstrüktif olarak basit, fakat basınç kayıpları fazla olan paket yataklı rejeneratörlerdir.

### **2.3.1.6 Akıma Göre Sınıflandırma**

Isı değiştircileri akıma göre tek geçişli veya çok geçişli olarak sınıflandırılabilirler.

#### **2.3.1.6.1 Tek Geçişli Isı Değiştircileri**

Paralel, ters ve çapraz akımlı olmak üzere üç gruptan oluşan tek geçişli ısı değiştircilerinde iki akışkan ısı değiştirici içinde birbirine göre sadece bir kere karşılaşırlar. Tek geçişli ısı değiştircileri paralel akımlı, ters akımlı ve çapraz akımlı ısı değiştircilerine ayrılabilir.

Paralel akımlı ısı değiştircileri, cidar sıcaklığı fazla değişmediğinden ısı gerilmelerin istenmediği yerlerde tercih edilirler. Bu ısı değiştircide iki akışkan, değiştiricinin aynı ucundan girip, birbirlerine paralel olarak akarlar ve değiştiricinin diğer ucundan çıkarlar. Sıcaklık değişimi ısı değiştirici boyunca tek boyutludur. Ters akımlı ısı değiştircileri, ortalama sıcaklık farkının ve etkenliğin diğer bütün akış düzenlemelerine göre daha büyük olması sebebiyle tercih edilirler. Pratikte tercih edilen bu tip ısı değiştircide akışkanlar birbirine paralel borularda, ters yönlü olarak akarlar. Bu düzenlemenin dezavantajları ise imalattaki konstrüksiyon güçlükleri ve ısı geçişi olan malzeme sıcaklığının değiştirici boyunca fazla değişmesidir.

Çapraz akımlı ısı değiştircileri, akışkanların birbirlerine dik olarak aktığı ısı değiştiricisi tipidir. Bu ısı değiştiricisinin düzenlemesinde yapılan konstrüksiyona göre kanatlar veya şaşırtma levhaları yardımıyla akışkanlar kendileriyle karşılaşabilir veya karşılaşmayabilir. Eğer akışkan değiştirici borular içinde akıyorsa ve bitişik kanal içerisindeki akışkan ile karışmıyorsa, bu akışkana karışmayan akışkan aksi hallerde ise karışan akışkan denilir.

#### **2.3.1.6.2 Çok Geçişli Isı Değiştircileri**

Çok geçişli ısı değiştirciler, çapraz-ters ve çapraz-paralel akımlı düzenlemeleri, çok geçişli gövde borulu ısı değiştircileri, çok sayıda paralel levha geçişli düzenlemeleri kapsarlar.

Çapraz-ters ve çapraz-paralel akımlı düzenlemeler, kanatlı yüzeyli ısı değiştircilerinde çoğunlukla tercih edilirler. Bu düzenlemelerde birden fazla sayıdaki çapraz geçişler arka arkaya ters veya paralel akımlı olacak şekilde seri olarak bağlanır. İmalat masraflarını azaltmak için yüksek sıcaklıklı uygulamalar haricinde, sıcaklığın yüksek olmadığı bölgelerde ucuz malzemeler kullanılması tercih edilebilir. Çok geçişli gövde borulu ısı değiştircilerinin pratikte en çok uygulamalarda kullanılan tipleri gövde akışkanının karşılaştırıldığı, paralel-

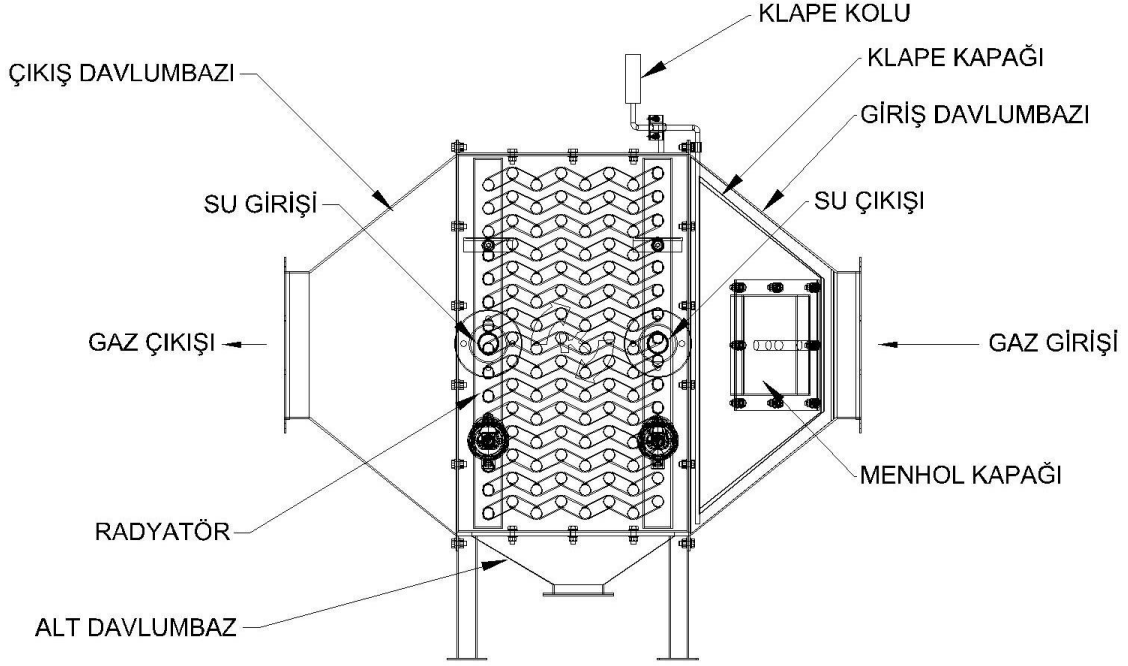
ters, bölünmüş akımlı, ayrık akımlı düzenlemelerdir. Boru sayısı arttırıldığında sistemin etkenliği iki akışkanın karıştığı çapraz akımlı ısı değiştiricisine yaklaşmaktadır. İmalat güçlükleri ve ısı gerilmeler sebebiyle, daha etken olmasına rağmen bir gövde içerisindeki tek sayıda boru geçiş düzenlemesi tercih edilmez.

Çok sayıda paralel levha geçişli düzenlemelerde, çok geçişli akımlar elde edilir. Levhaların değişik düzenlenme şekilleriyle geçişler sağlanır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Yeni tasarım ile etkinliğini artırılmasının amaçlandığı bu çalışmada, kömür kazanları için kullanılabilir ekonomizer imal edilmiştir. Ekonomizer ve bileşenleri Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ekonomizer görünümü

Ekonomizer hava giriş ve çıkış arası mesafe 1165mm olarak tasarlanmıştır. 300mm davlumbaz yüksekliği olacak şekilde giriş ve çıkış davlumbazı olarak 2 adet kullanılacaktır. Giriş davlumbazında basınç artışı görüldüğü zaman emniyet açısından tüm sistemin durdurulmaması için klap sistemi eklenecektir. Basınç artışı görüldüğünde akış, klap ile bypass hattına çevrilecektir. Davlumbazlar arasında borulardan oluşan 1 adet radyatör bulunacaktır. Ekonomizerin eni 1170mm, boyu 1065 mm, yüksekliği 870 mm olarak belirlenmiştir. Hava giriş çıkış boğaz ölçüsü 300x300 mm olarak belirlenmiştir. Isıtıcı boru çapı Ø26,9 mm, et kalınlığı 2 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Numune Ekonomizer

### 3.2. Yöntem

Belirlenen matematik modeller ve parametrelerine göre, eski tasarım ekonomizer ve iyileştirilmiş yeni tasarım ekonomizer akış analizleri yapılmıştır. Isıtma ve soğutma görevinde kullanılan tasarımların ısı verimliliklerinin artırılması, üzerinde en çok çalışılan konular arasındadır. Belirlenen kapasite aralıklarındaki ekonomizerlerin akış analizleri “SolidworksFlowSimulation” ile incelenmiştir. Ekonomizerin ısı geçişi hesaplarını yaparak ısı performansları sanal ortamda değerlendirilmiştir. Akışkan ve katıların malzeme tanımını yapıldıktan sonra kullandığımız akışkanların başlangıç sıcaklık, basınç ve debileri tanımlanmıştır. Akışkanların giriş-çıkış sıcaklık farkı, ısı kaybı veya kazanımı gibi ilgilendiğimiz parametrelerin analiz sonuçlarını değerlendirilecektir. “Solidworks Flow Simulation” ile yapılan analiz sonuçları ile matematiksel değerlerin kıyaslanması yapılacaktır. Baca gazının ekonomizere giriş ve çıkış tasarımının ısı geri kazanımına etkisi incelenmiştir.



**Çizelge 3.1** Akışkanların değerleri planı

Baca Gazı Giriş Sıcaklık (°C)	Baca Gazı Hızı (m/sn)	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	Su Debisi (kg/h)
240	10	20	1000
240	12	20	1000
240	15	20	1000
240	10	20	1200
240	12	20	1200
240	15	20	1200
240	10	20	1500
240	12	20	1500
240	15	20	1500

Su tarafından ısıtıcı boru yüzeyine aktarılan ısı,

$$Q_{su} = \dot{m}_{su} * c_{su} * \Delta T_{su} \quad (3.1)$$

formülü kullanılarak bulunur.

Bu ısıtıcı boru yüzeyi vasıtası ile kanatlı borunun dışından geçen havaya taşınım ve ışınım ısı transferi yöntemleri ile aktarılacaktır. Işınım değeri ihmal edilecek kadar küçük olduğu kabul edilmektedir.

Su tarafından hava tarafına geçen ısı miktarı;

$$Q_h = \dot{m}_h * c_h * \Delta T_h \quad (3.2)$$

formülünden hesaplanır.

Denklem (3.3)'de sudan havaya geçebilecek ısı miktarı gösterilmektedir. Isıtıcı boruya giren enerji, çıkan enerjiye eşit olacağından,

$$\dot{m}_{su} * c_{su} * \Delta T_{su} = \dot{m}_h * c_h * \Delta T_h + Q_{\text{çevre}} \quad (3.3)$$

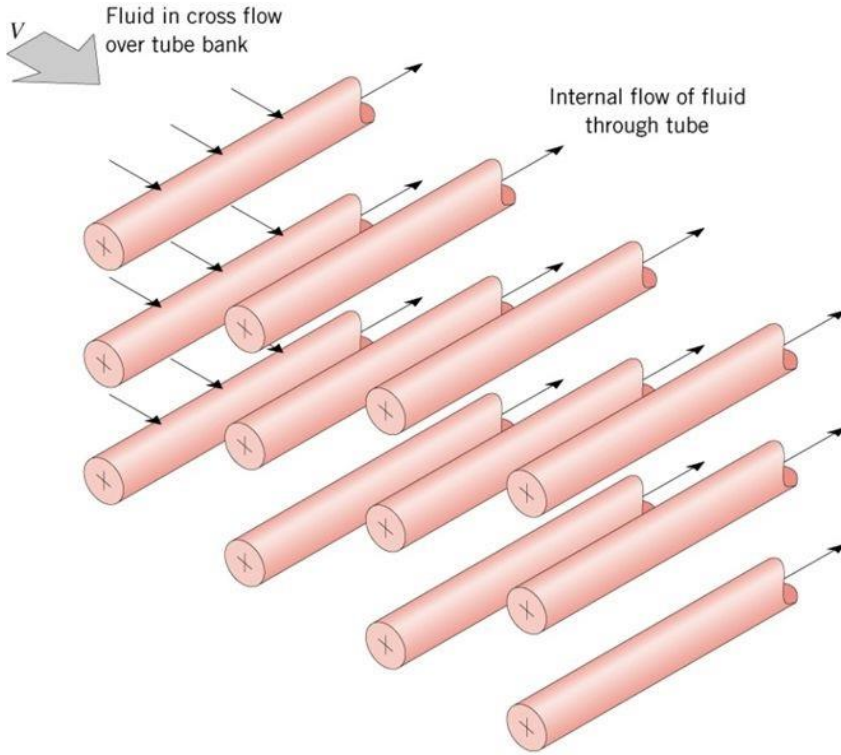
şeklinde olmaktadır.  $Q_{\text{çevre}}$ , yalıtım nedeniyle ihmal edilecek düzeyde küçük olmaktadır.

Taşınım ile ısı transferi hesabı

$$Q = U * A * \Delta T_m \quad (3.4)$$

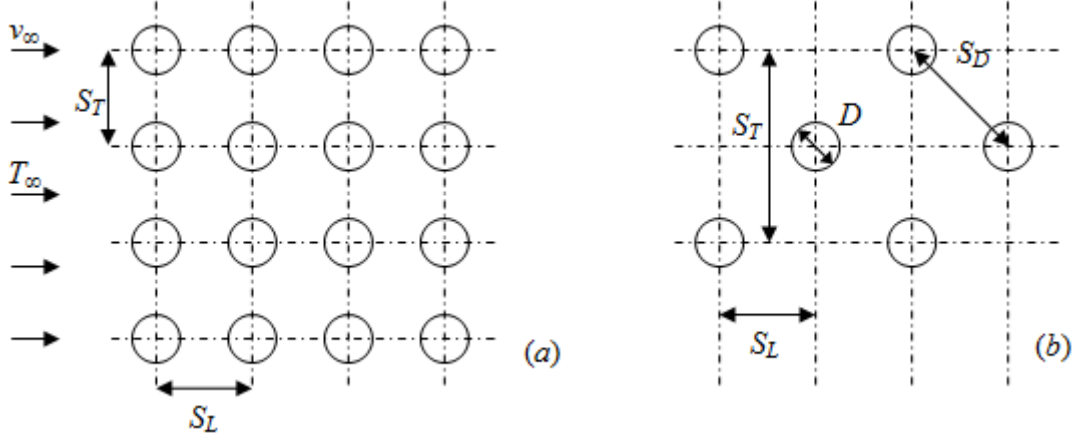
$$\frac{1}{U * A} = \frac{1}{h_i * A_i} + \frac{s}{k * A_k} + \frac{1}{h_d * A_d} \quad (3.5)$$

Çapraz akışta bir boru demetine veya demetinden ısı geçişi; bir kazanda buhar üretimi veya bir iklimlendirme cihazının serpantininde havanın soğutulması gibi çok sayıda endüstriyel uygulamada geçerlidir. Bir boru demeti şematik olarak Şekil 3.3.'de gösterilmiştir. Sıcaklıkları farklı olan akışkanlardan biri boruların içinden, diğeri boru demetleri üzerinden akar.



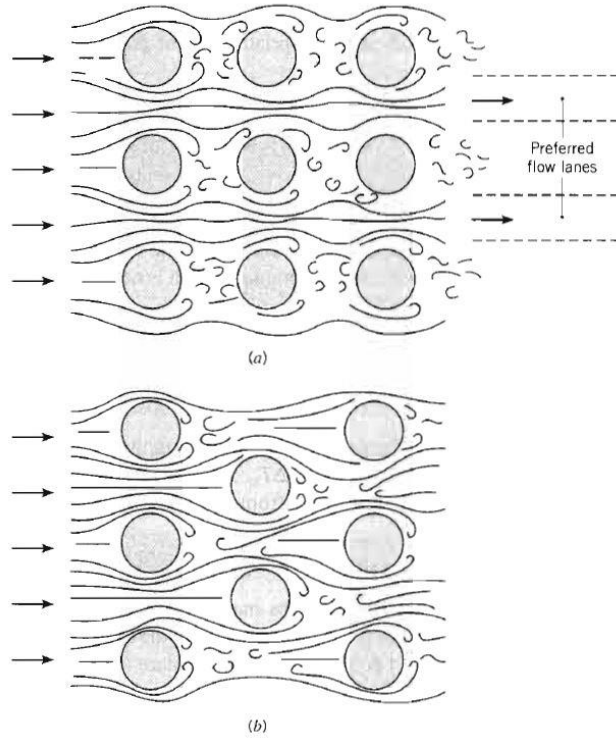
**Şekil 3.3.** Bir boru demeti üzerinde çapraz akışın şematik görünümü

Boru demetini oluşturan borular,  $V$  akış hızı yönünde ya kaydırılmış olarak ya da düzgün sıralı olarak yerleştirilir, (Şekil 3.4.). Düzenleme biçimi, boru çapı  $D$ , boru eksenleri arasında akışa dik yönde aralık,  $S_T$  ve akışa paralel yönde aralık  $S_L$  ile belirlenir.



**Şekil3.4** Bir boru demetinde boru dizilişleri: (a) düzgün sıralı, (b) kaydırılmış sıralı

Bir boru demetinin ilk sırasındaki borular çevresinde akış, çapraz akışta tek silindir için olan akışa benzer. Dolayısıyla ilk sıradaki boru için ısı taşınım katsayısı, tek silindir üzerindeki çapraz akış için bulunan değerdir. Arka sıradaki borular için, akış koşulları boru demetinin dizilişine bağlıdır. (Şekil 3.5). İlk sıradan sonra gelen düzgün sıralı borular, önceki boruların art bölgesindedir ve  $S_L$ 'nin ara değerleri için sonraki sıralara ait taşınım katsayıları, karışma veya türbülans nedeniyle artar.



**Şekil3.5.** (a) Düzgün sıralı ve (b) kaydırılmış sıralı boru demetleri için akış koşulları

Genel olarak, bir sıranın taşınım katsayısı, yaklaşık olarak beşinci sıraya kadar sıra sayısı arttıkça artar. Bundan sonra akış koşullarında ve buna bağlı olarak taşınım katsayısında çok az bir değişim olur. Büyük  $S_L$  değerleri için, ön sıraların etkisi azalır ve arka sıralardaki ısı geçişi artmaz. Bu nedenlerden dolayı,  $S_T/S_L < 0.7$  olduğu zaman düzgün sıralı boru demetleri kullanılmaz. Kaydırılmış sıralı boru dizilişlerinde, ana akışın yolu daha karmaşıktır ve dolayısıyla akışkanın karışması, düzgün sıralı boru dizilişine göre daha fazladır. Genel olarak, ısı geçişinin artırılması, özellikle küçük Reynolds sayıları için ( $Re_D \leq 100$ ), kaydırılmış sıralı diziliş ile daha kolay sağlanır.

Mühendislik uygulamalarında, genellikle tüm boru demeti için ortalama ısı geçiş katsayısının hesaplanması istenir. Zukauskas aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$Re_{D,max} = \frac{v_{max} * D}{\nu} \quad (3.6)$$

$$\overline{Nu}_D = C_1 Re_{D,max}^m Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{1/4} \quad (3.7)$$

$$N_L \geq 20$$

$$0.7 \leq Pr \leq 500$$

$$10 \leq Re_{D,max} \leq 2 \times 10^6$$

$$\overline{h}_d = \overline{Nu}_D \frac{k}{d} \quad (3.8)$$

burada  $N_L$ , boru sıra sayısıdır.  $Pr_s$  dışında tüm özellikler, akışkanın giriş ( $T_i = T_\infty$ ) ve çıkış sıcaklığının ( $T_o$ ) aritmetik ortalamasında hesaplanmalıdır.  $C_1$  ve  $m$ , Tablo 3.7’de verilmiştir. Akışkan özelliklerinin, giriş ve çıkış sıcaklıklarının aritmetik ortalamasında hesaplanmasının gerekliliği, akışkan sıcaklığının borulara veya borulardan olan ısı geçişi nedeniyle, sırasıyla azalması veya artmasından kaynaklanır. Eğer akışkan ortalama sıcaklığının değişimi,  $|T_i - T_o|$ , büyük ise özelliklerin giriş sıcaklığında hesaplanması önemli hatalara yol açabilir.

**Çizelge 3.2** Boru demeti üzerinde çapraz akışta, Denklem 3.7’de gösterilen sabitler

Conguration	$Re_{D,max}$	$C_1$	$m$
Aligned	10–10 <sup>2</sup>	0.80	0.40
Staggered	10–10 <sup>2</sup>	0.90	0.40
Aligned	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>	Approximate as a single (isolated) cylinder	
Staggered	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>		
Aligned ( $S_T/S_L > 0.7$ ) <sup>a</sup>	10 <sup>3</sup> –2 × 10 <sup>5</sup>	0.27	0.63
Staggered ( $S_T/S_L < 2$ )	10 <sup>3</sup> –2 × 10 <sup>5</sup>	0.35( $S_T/S_L$ ) <sup>1/5</sup>	0.60
Staggered ( $S_T/S_L > 2$ )	10 <sup>3</sup> –2 × 10 <sup>5</sup>	0.40	0.60
Aligned	2 × 10 <sup>5</sup> –2 × 10 <sup>6</sup>	0.021	0.84
Staggered	2 × 10 <sup>5</sup> –2 × 10 <sup>6</sup>	0.022	0.84

<sup>a</sup>For  $S_T/S_L < 0.7$ , heat transfer is inefficient and aligned tubes should not be used.

Boru sıra sayısı 20 veya daha az ise ( $N_L \leq 20$ ), ortalama ısı taşınım katsayısı azalır ve aşağıdaki biçimde bir düzeltme uygulanabilir.  $C_2$  değerleri, Çizelge 3.3’de verilmiştir.

$$\overline{Nu}_D, (N_L < 20) = C_2 \overline{Nu}_D, (N_L \geq 20) \quad (3.9)$$

**Çizelge 3.3**  $N_L < 20$  için Denklem 3.9’da yer alan  $C_2$  düzeltme çarpanı ( $Re_{D,max} \geq 10^3$ )

$N_L$	1	2	3	4	5	7	10	13	16
Aligned	0.70	0.80	0.86	0.90	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99
Staggered	0.64	0.76	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99

Yukarıdaki bağlantılarda Reynolds sayısı,  $Re_{D,max} = V_{max}D/\mu$ , boru demeti içindeki en yüksek akışkan hızına göre tanımlanmıştır. Düzgün sıralı diziliş için,  $V_{max}$ , Şekil 3.5a’da gösterilen, akışa dik düzlem üzerindeki borular arasında ( $A_1$ ) oluşur ve sıkıştırılmaz bir akışkan için kütle korunumu ilkesinden,

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \quad (3.10)$$

olarak bulunur.

Kaydırılmış sıralı dizilişler için, en yüksek hız, Şekil 3.5b’de gösterildiği gibi, ya akışa dik düzlem üzerindeki borular arasında,  $A_1$ , ya da kaydırılmış borular arasındaki köşegen düzlemi üzerinde,  $A_2$ , oluşur. Sıralar,

$$2(S_D - D) < (S_T - D) \quad (3.11)$$

olacak biçimde yerleştirilmişse, en yüksek hız  $A_2$ ’de gerçekleşir.

Burada, 2 çarpanı;  $A_1$  düzleminden,  $A_2$  düzlemlerine akan akışkanın iki kola ayrılmasından kaynaklanmaktadır. Bundan ötürü,

$$S_D = [S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2}\right)^2]^{1/2} < \frac{S_T + D}{2} \quad (3.12)$$

olduğunda  $V_{max}$ ,  $A_2$ ’de gerçekleşir. Bu durumda, en yüksek hız,

$$V_{max} = \frac{S_T}{2(S_D - D)} V \quad (3.13)$$

biçiminde yazılabilir.

$V_{max}$ , kaydırılmış sıralı diziliş için  $A_1$ ’de gerçekleşirse, yine denklem 3.10’dan hesaplanabilir.

Pürüzsüz dairesel borularda tam gelişmiş (hidrodinamik ve ısı olarak) türbülanslı akış için Nusselt sayısı, Dittus-Boelter denkleminde elde edilir.

$$Re = \frac{V^* D}{\nu} \quad (3.14)$$

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \quad (3.15)$$

$$h_i = \frac{k}{D} Nu_D \quad (3.16)$$

Burada ısıtma ( $T_s > T_m$ ) için  $n=0.4$ , soğutma ( $T_s < T_m$ ) için  $n=0.3$  alınır. Bu denklemler,

$$0.6 \leq Pr \leq 160$$

$$Re_D \geq 10000$$

$$\frac{L}{D} \geq 10$$

koşulları aralığında deneysel olarak doğrulanmıştır. Bu denklemler, sadece küçük ve orta sıcaklık farkları,  $T_s - T_m$  için kullanılmalı ve tüm özellikler  $T_m$ ’de hesaplanmalıdır.

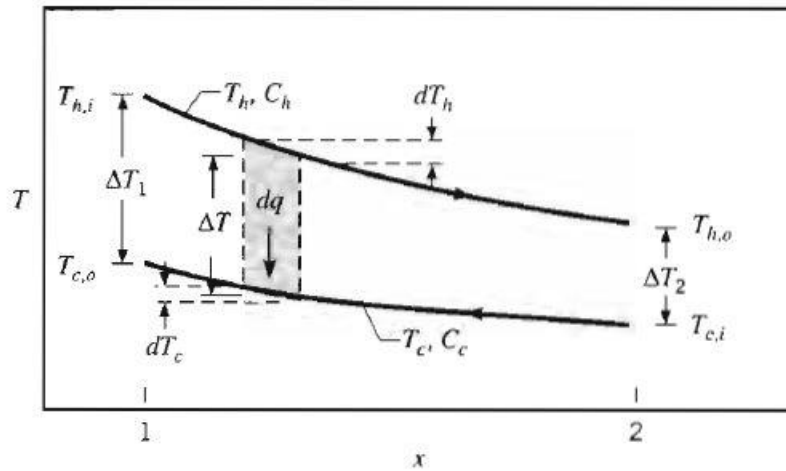
Bir ısı değiştiricisinde akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının bilinmeleri veya enerji korunum denklemlerinden kolayca hesaplanabilmeleri durumunda ısı değiştiricisinin

çözümlemesinde ortalama logaritmik sıcaklık farkı (LMTD) yöntemi çok kolaylık sağlar. Bu durumda ısı değiştiricisi için  $\Delta T_{lm}$  değeri kolayca belirlenebilir. Ancak bir ısı değiştiricisinde akışkanların sadece giriş sıcaklıkları biliniyorsa LMTD yöntemini kullanmak için deneme yanılma yoluna gitmek gerekir. Bu yol da işlem sayısı bakımından zor ve zaman alıcıdır. Bu gibi durumlarda Etkenlik-NTU yöntemi olarak adlandırılan farklı bir yöntemin kullanılması daha uygundur.

Bir ısı değiştiricisi için etkenlik tanımı yapmadan önce, bu ısı değiştiricisinde olabilecek en fazla ısı geçişini,  $q_{maks}$  belirlemek gerekir. Bu ısı geçişi ilke olarak, sonsuz uzunluktaki ters akışlı bir ısı değiştiricisinde (Şekil 3.6.) gerçekleşir. Böyle bir ısı değiştiricisinde akışkanlardan biri, mümkün olabilen en yüksek sıcaklık farkına,  $T_{hi} - T_{ci}$ , ulaşır. Sıcak akışkanın ısı kapasite debisi  $C_h = \dot{m}_h c_{p,h}$ , soğuk akışkanın ısı kapasite debisi  $C_c = \dot{m}_c c_{p,c}$ 'dir.

$$q_{maks} = C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (3.17)$$

Burada,  $C_{min}$  değeri,  $C_c$  veya  $C_h$  değerlerinden hangisi küçükse, o değere eşit alınır.



Şekil 3.6. Ters akışlı bir ısı değiştiricisinde akışkanların sıcaklık dağılımları

Bu açıklamalardan sonra,  $\epsilon$  veya etkenlik, bir ısı değiştiricisinde gerçek ısı geçişinin, olabilecek en yüksek ısı geçişine oranı olarak tanımlanabilir.

$$\epsilon = \frac{q}{q_{maks}} \quad (3.18)$$

**Çizelge 3.4** Isı değıştiricilerinde etkenlik bağıntıları

Flow arrangement	relationship
Concentric tube	
Parallel flow	$\epsilon = \frac{1 - \exp[-N(1+R)]}{(1+R)}$ ; $R = C_{\min} / C_{\max}$
Counter flow	$\epsilon = \frac{1 - \exp[-N(1-R)]}{1 - R \exp[-N(1-R)]}$ ; $R < 1$ $\epsilon = N / (1 + N)$ for $R = 1$
Cross flow (single pass)	
Both fluids unmixed	$\epsilon = 1 - \exp\left[\left(1/R\right)(N)^{0.22} \left\{\exp\left(-R(N)^{0.78}\right) - 1\right\}\right]$
$C_{\max}$ mixed, $C_{\min}$ unmixed	$\epsilon = (1/R) \left[1 - \exp\left\{-R\left(1 - \exp(-N)\right)\right\}\right]$
$C_{\min}$ mixed, $C_{\max}$ unmixed	$\epsilon = 1 - \exp\left[-R^{-1} \left\{1 - \exp(-RN)\right\}\right]$
All exchangers ( $R = 0$ )	$\epsilon = 1 - \exp(-N)$

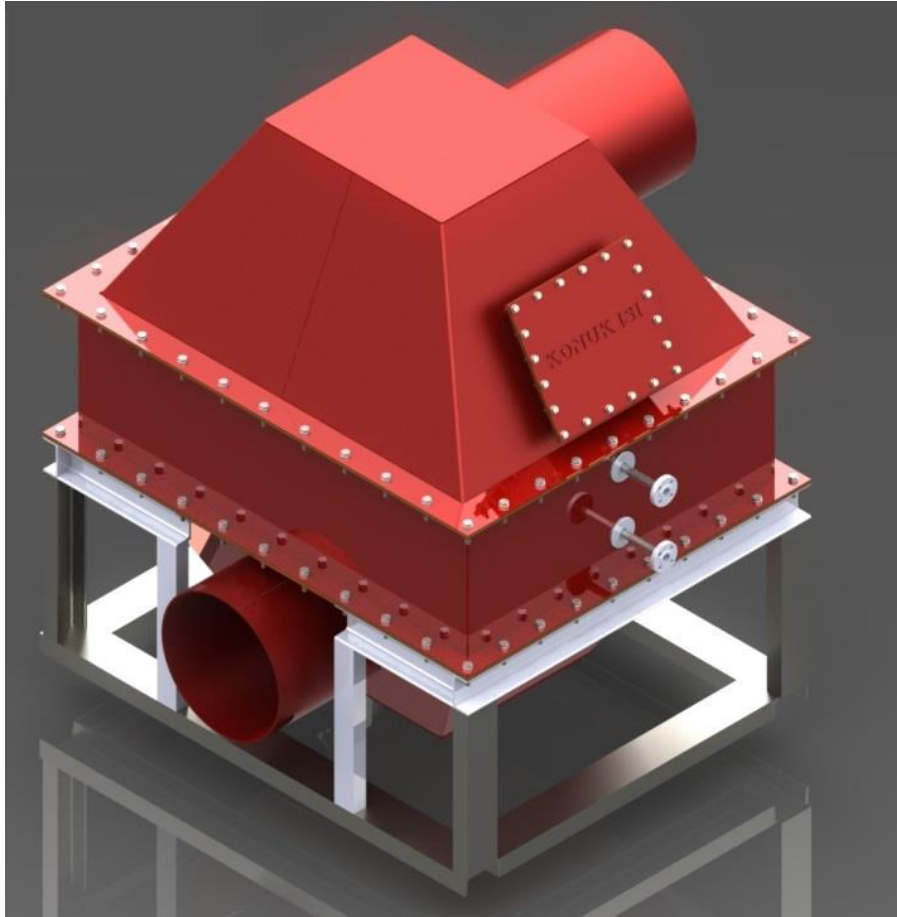
Analitik hesaplamalar ile akış analizleri yapılan ekonomizer numuneleri arasında kapasite farkı incelenecektir. Bu hesaplamalara göre N1 ekonomizer ile N2 ekonomizer arasındaki verimlilik en az %5 olması planlanmıştır. Yeni tasarlanan N2 ekonomizeri ile analitik hesaplar arasında maksimum %20 sapma olması öngörülmüştür.



#### 4. ARAŐTIRMA BULGULARI VE TARTIŐMA

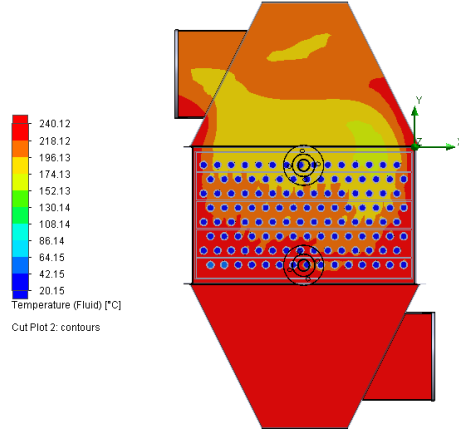
##### 4.1. N1 Ekonomizerin İncelenmesi

N1 Ekonomizerin Şematik grnŐŐekil 4.1.'de verilmiştir.N2 Ekonomizerde kullanılan aynı ısıtıcı boru adetinde radyatör kullanılmıştır. Boruları arası geçiş, kollektrlerdeki geçiş plakalarıyla olmaktadır.

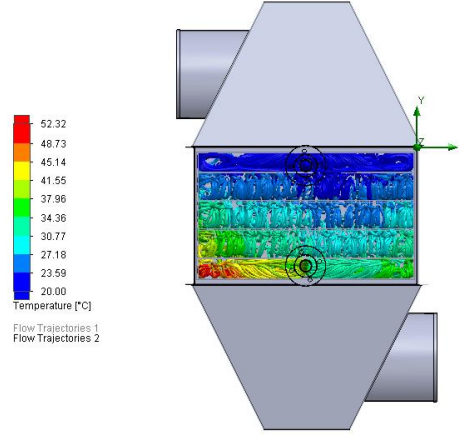


Şekil 4.1.N1 Ekonomizer görünümü

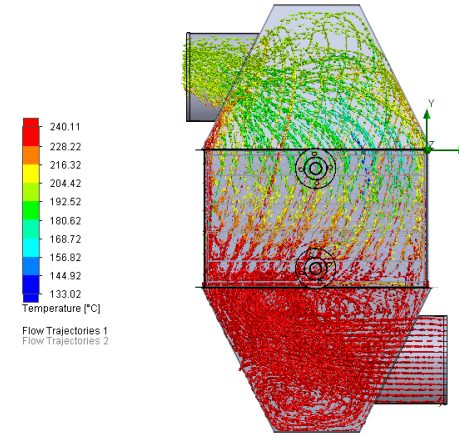
N1 Ekonomizerin gaz tarafı ve su tarafı sıcaklık dağılımları Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de verilmiştir. Şekillerde verilen analiz görüntüleri gaz hızı 15m/sn, su debisi 1500kg/h için verilmiştir. Yapılan analizlerde gaz sıcaklığı 240°C, su sıcaklığı 20°C olarak alınmıştır.



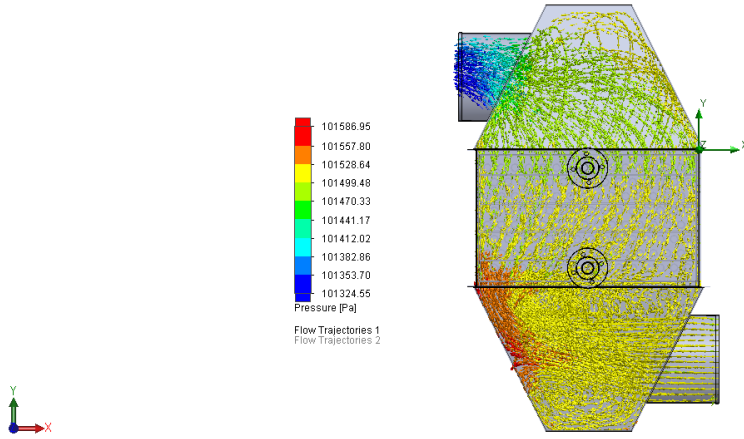
Şekil 4.2.N1 Ekonomizer gaz tarafı sıcaklık dağılımı



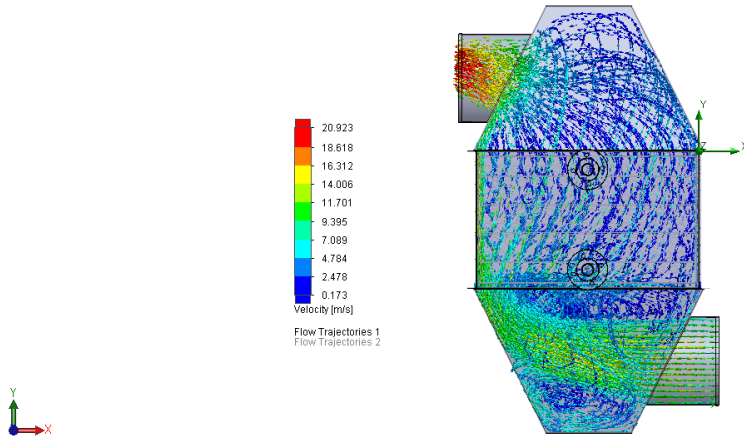
Şekil 4.3.N1 Ekonomizer su tarafı sıcaklık dağılımı



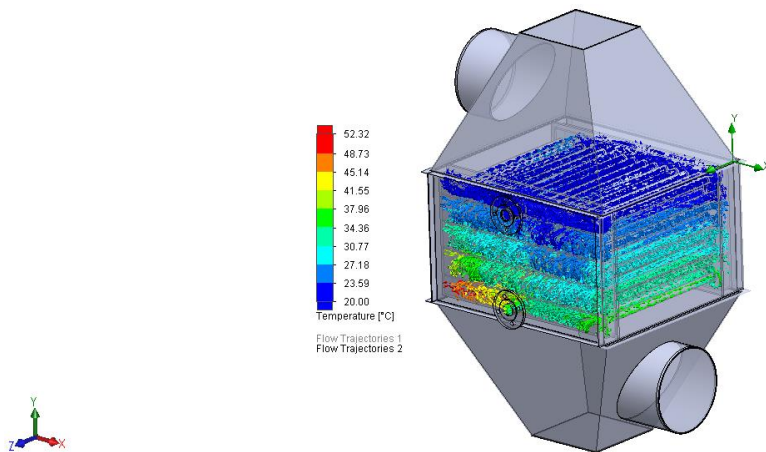
Şekil 4.4. N1 Ekonomizer gaz tarafı sıcaklık akış analizi



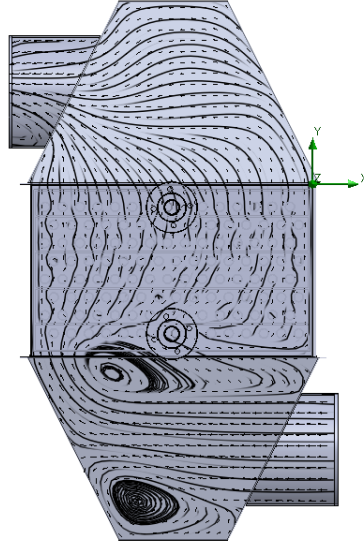
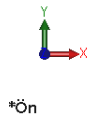
Şekil 4.5. N1 Ekonomizer gaz tarafı basınç akış analizi



Şekil 4.6. N1 Ekonomizer gaz tarafı hız akış analizi

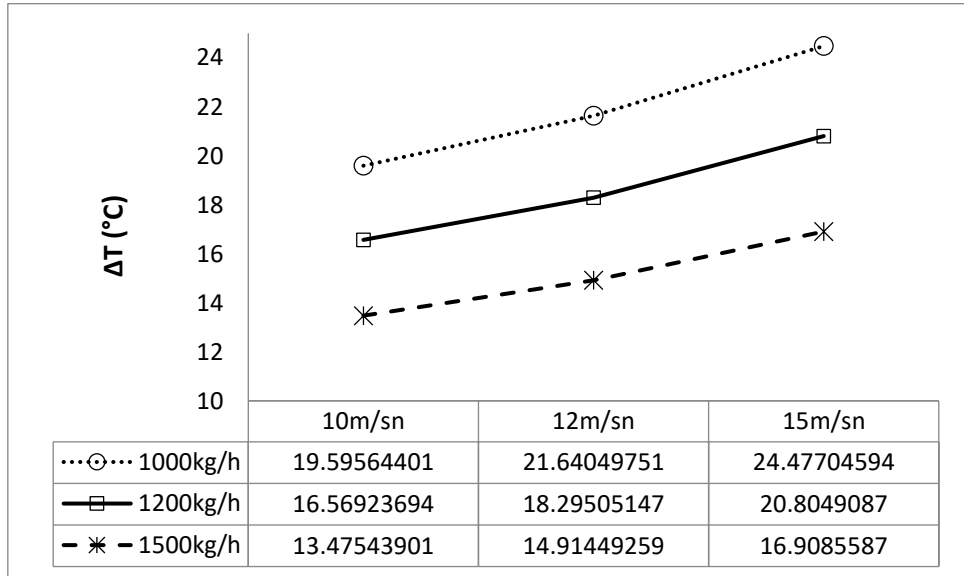


Şekil 4.7. N1 Ekonomizer su tarafı sıcaklık akış analizi

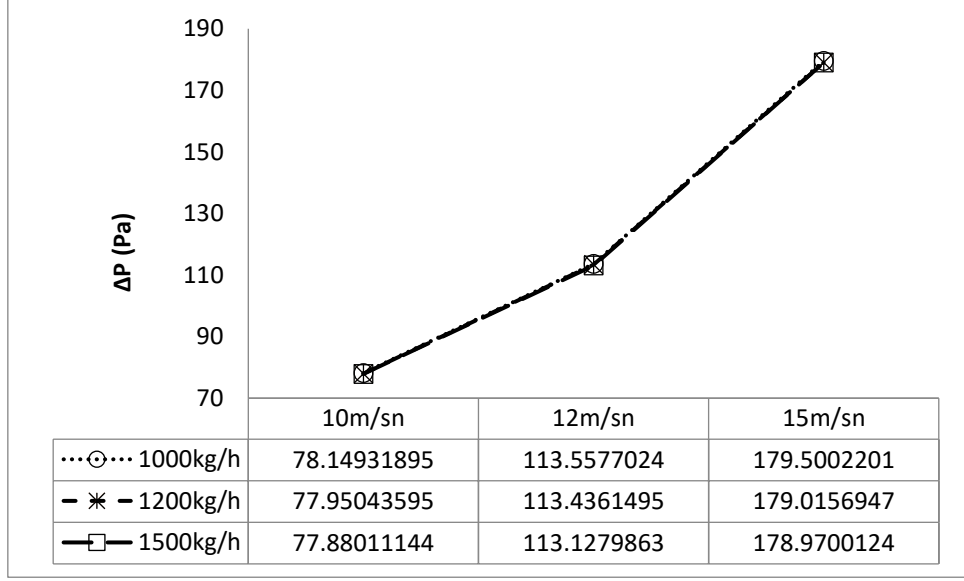


Şekil 4.8. N1 Ekonomizer gaz tarafı akım çizgileri

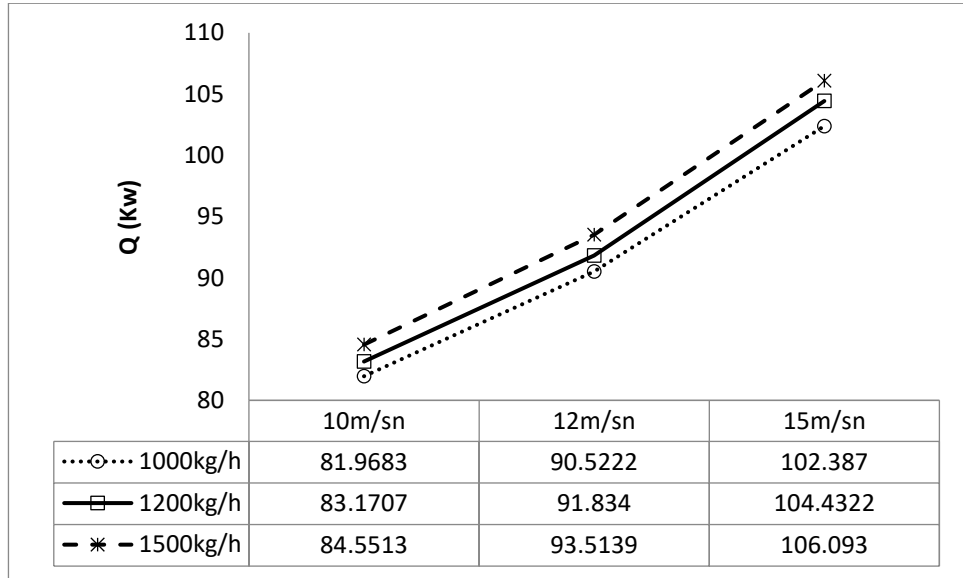
N1 Ekonomizerin gaz hızı – sıcaklık farkı değişim grafiği Şekil 4.9’da, gaz hızı – basınç farkı değişim grafiği Şekil 4.10’da, gaz hızı - ısı geçişi farkı değişim grafiği Şekil 4.11’de, su debisi- ısı geçişi farkı değişim grafiği Şekil 4.12’de, verilmiştir. Su tarafı 1000 kg/h, 1200 kg/h, 1500 kg/h debi değerleri, gaz tarafı 10 m/sn, 12m/sn ve 15 m/sn hız değerleri için incelenmiştir.



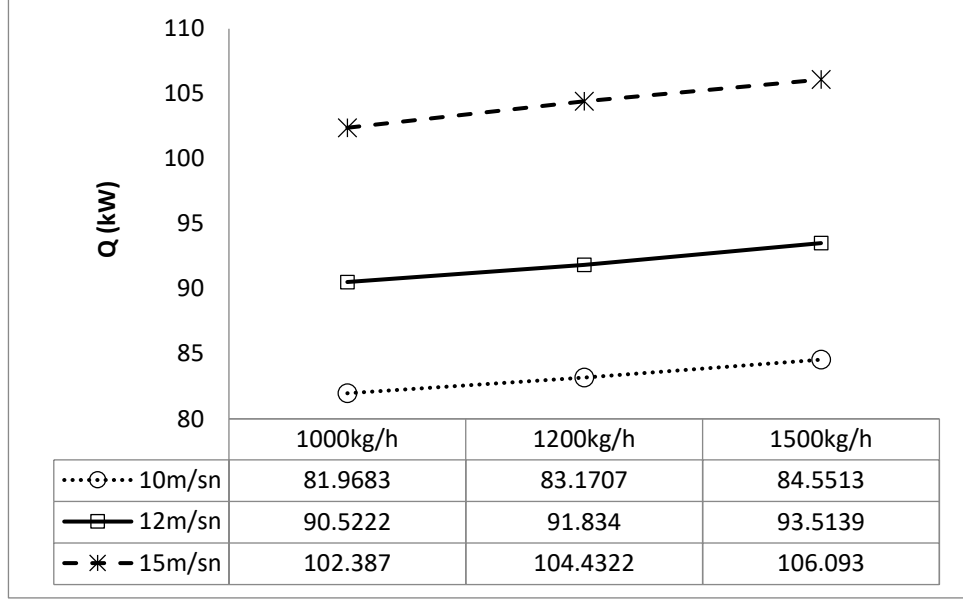
Şekil 4.9. N1 Ekonomizerin gaz hızı - sıcaklık farkı değişim grafiği



Şekil 4.10.N1 Ekonomizerin gaz hızı - basınç farkı değişim grafiği



Şekil 4.11. N1 Ekonomizerin gaz hızı – ısı geçişi farkı değişim grafiği



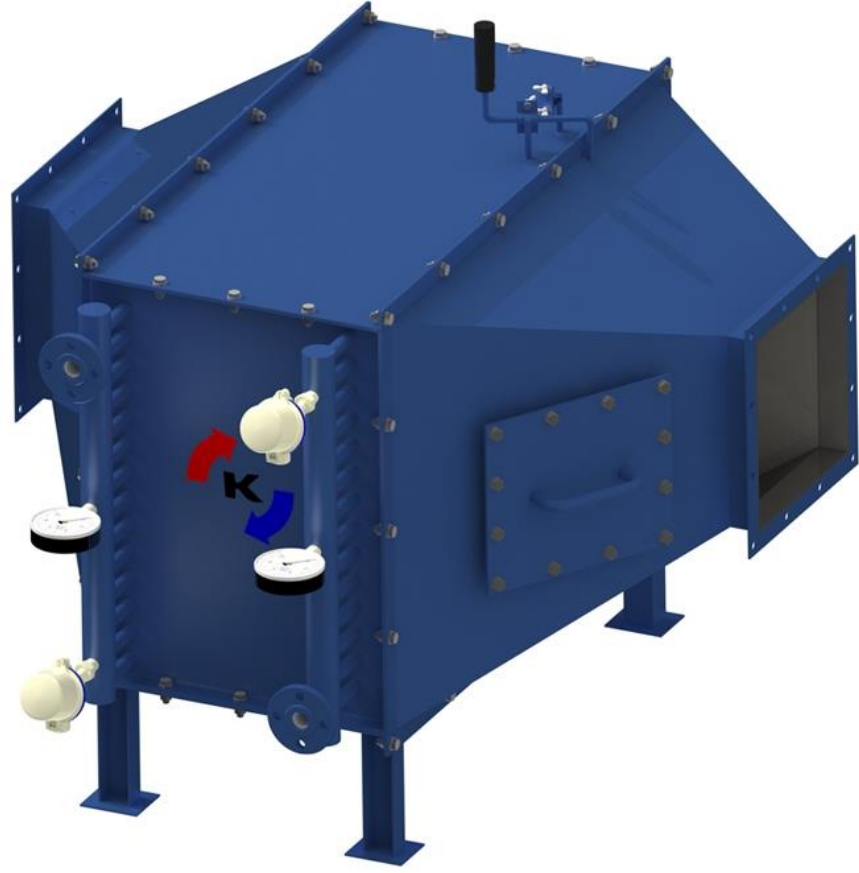
**Şekil 4.12.** N1 Ekonomizerin su debisi – ısı geçişi değişim grafiği

Yapılan analizler sonucunda N1 Ekonomizerin su tarafı debisine ve gaz hızına göre; ekonomizerin sıcaklık değişimleri, basınç değişimleri ve ısı geçişleri incelenmiştir. N1 Ekonomizerin gaz tarafı hızı arttıkça sıcaklık değişiminin arttığı, basınç düşümünün arttığı ve ısı geçişlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Su tarafı debisi arttıkça sıcaklık değişiminin arttığı görülmektedir.

Su tarafının sıcaklık değişimi belli bir bölümde daha yoğun olmuştur. Bunda gaz tarafının, davlumbaz konumundan dolayı akışı etkili olduğu görülmüştür. Akıştan dolayı gaz tarafı sıcaklık değişimi de akışın yoğun olduğu bölümde daha fazladır. Davlumbaz konumu sebebiyle gaz, radyatörün bir kısmının kullanılmadığı, bunun da kapasiteye etkideği tespit edilmiştir. N1 Ekonomizer gaz tarafı akım çizgileriyle de görüldüğü gibi gazın ekonomizere giriş bölümünde davlumbazın yapısından dolayı akım çizgileri vorteks oluşturmuş, bu basınca ve akışın hızına etkideği görülmüştür.

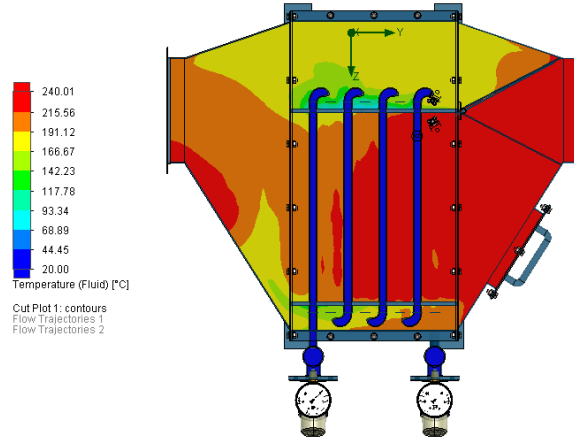
#### 4.2. N2 Ekonomizerin İncelenmesi

N2 Ekonomizerin şematik görünüşü Şekil 4.13.'de verilmiştir. N1 Ekonomizerde kullanılan aynı ısıtıcı boru adetinde radyatör kullanılmıştır. Boruları arası geçiş, dirsek borular ile olmaktadır. Böylelikle genişleme sırasında radyatör boruları çatlama, kasılma vb. durumlar ile karşılaşmayacaktır. Klape sistemi eklenmiştir. Klape sistemiyle gaz tarafı basınç düşümüne maruz kaldığında by-pass hattından gönderilecektir.

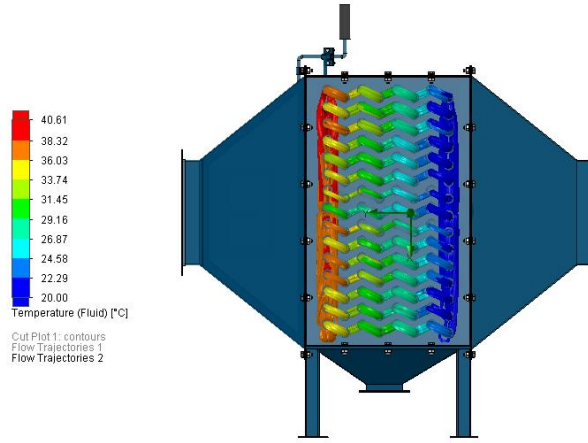


Şekil 4.13.N2 Ekonomizer görünümü

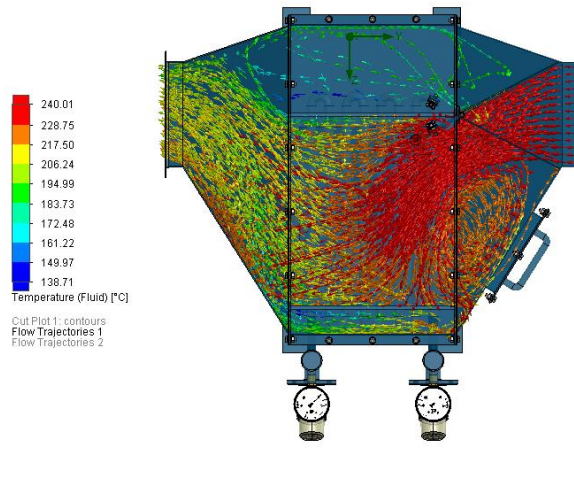
N2 Ekonomizerin gaz tarafı ve su tarafı sıcaklık dağılımları Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'de verilmiştir. Şekillerde verilen analiz görüntüleri gaz hızı 15m/sn, su debisi 1500kg/h için verilmiştir. Yapılan analizlerde gaz sıcaklığı 240°C, su sıcaklığı 20°C olarak alınmıştır.



Şekil 4.14.N2 Ekonomizer gaz tarafı sıcaklık dağılımı

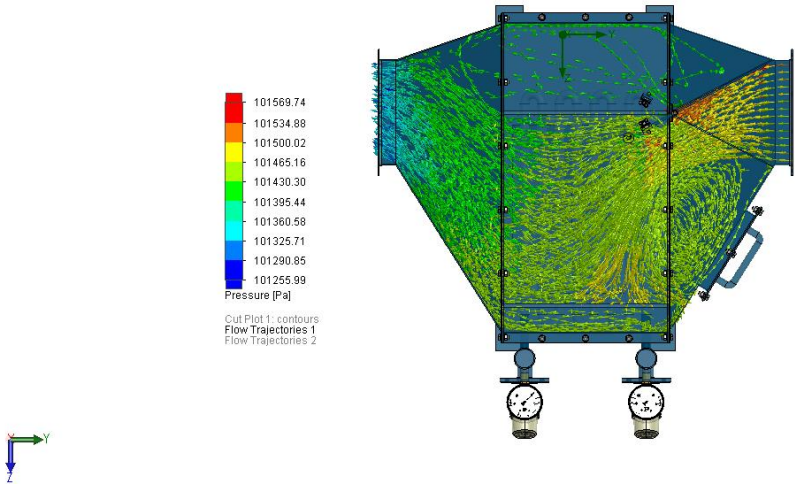


Şekil 4.15.N2 Ekonomizer su tarafı sıcaklık dağılımı

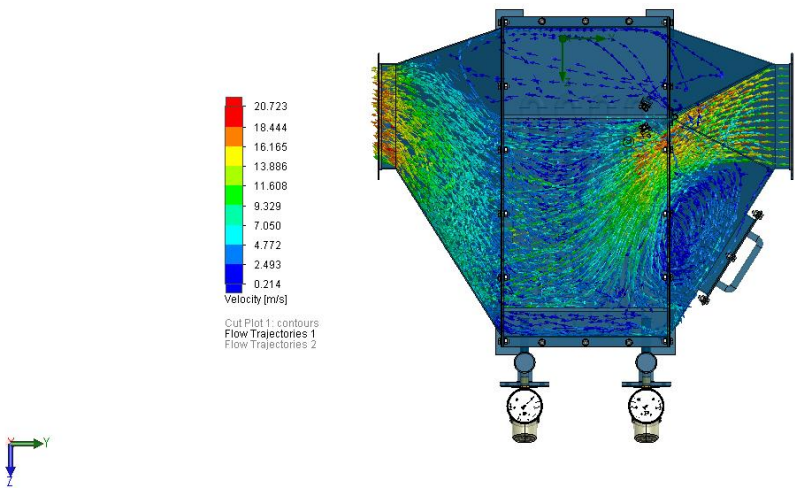


Şekil 4.16. N2 Ekonomizer gaz tarafı sıcaklık akış analizi

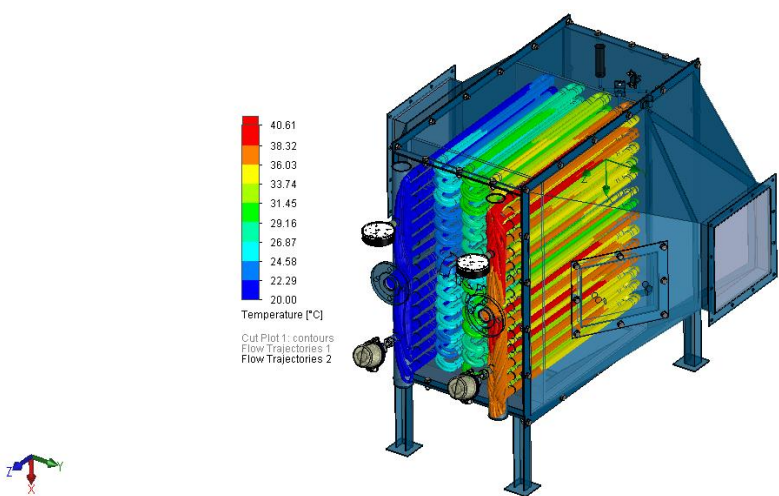




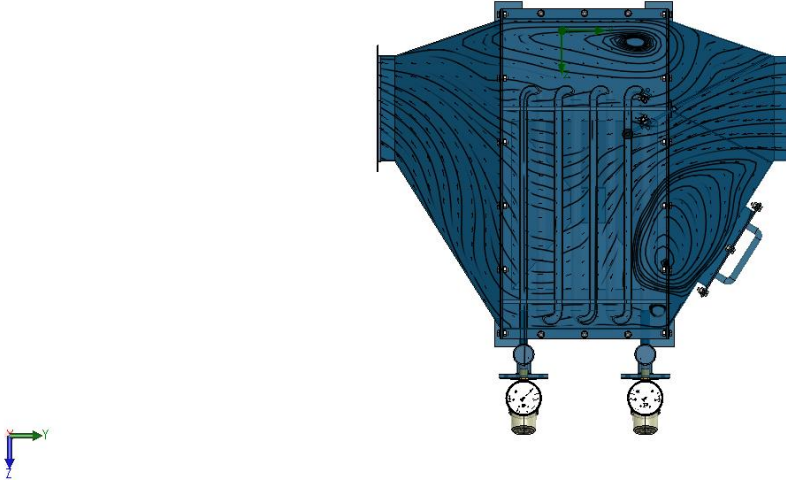
**Şekil 4.17.** N2 Ekonomizer gaz tarafı basınç akış analizi



**Şekil 4.18.** N2 Ekonomizer gaz tarafı hız akış analizi

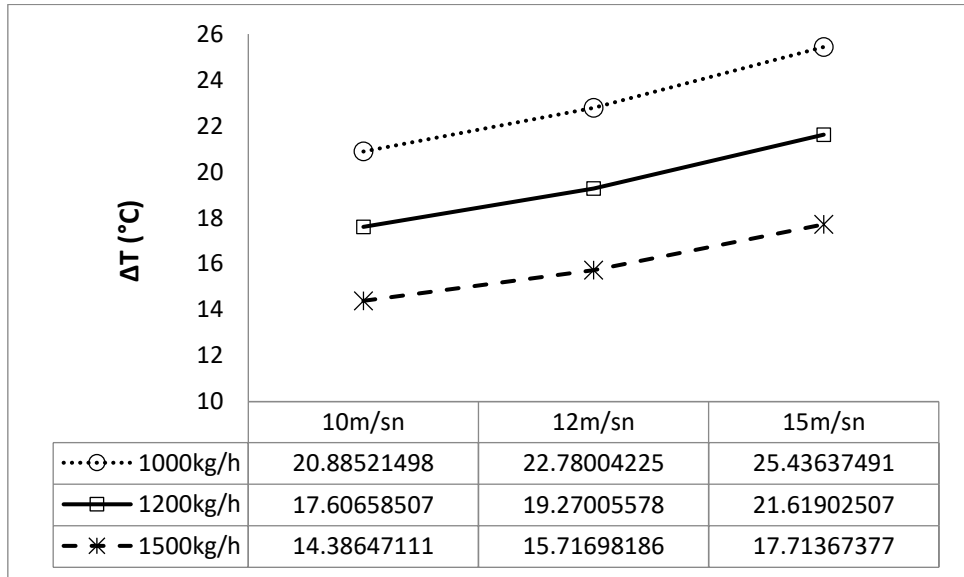


**Şekil 4.19.** N2 Ekonomizer su tarafı sıcaklık akış analizi

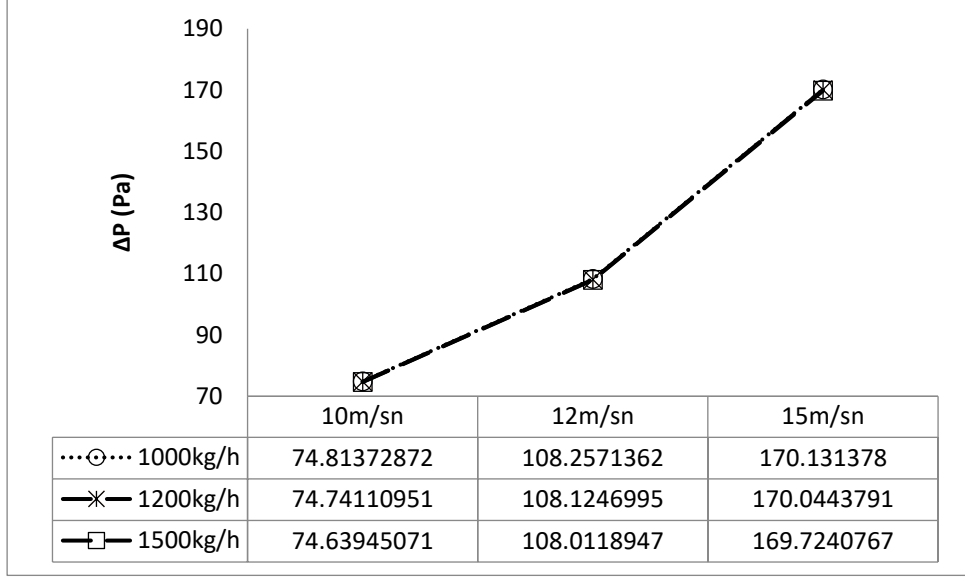


Şekil 4.20. N2 Ekonomizer gaz tarafı akım çizgileri

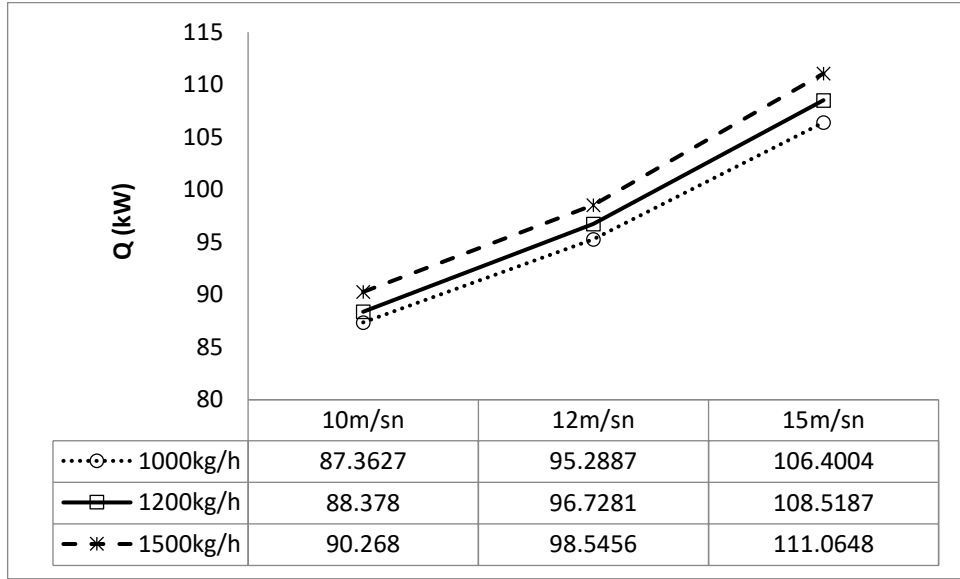
N2 Ekonomizeringaz hızı – sıcaklık farkı değişim grafiği Şekil 4.21’de, gaz hızı – basınç farkı değişim grafiği Şekil 4.22’de, gaz hızı - ısı geçişi farkı değişim grafiği Şekil 4.23’de, su debisi - ısı geçişi farkı değişim grafiği Şekil 4.24’de, verilmiştir. Su tarafı 1000 kg/h, 1200 kg/h, 1500 kg/h debi değerleri, gaz tarafı 10 m/sn, 12m/sn ve 15 m/sn hız değerleri için incelenmiştir.



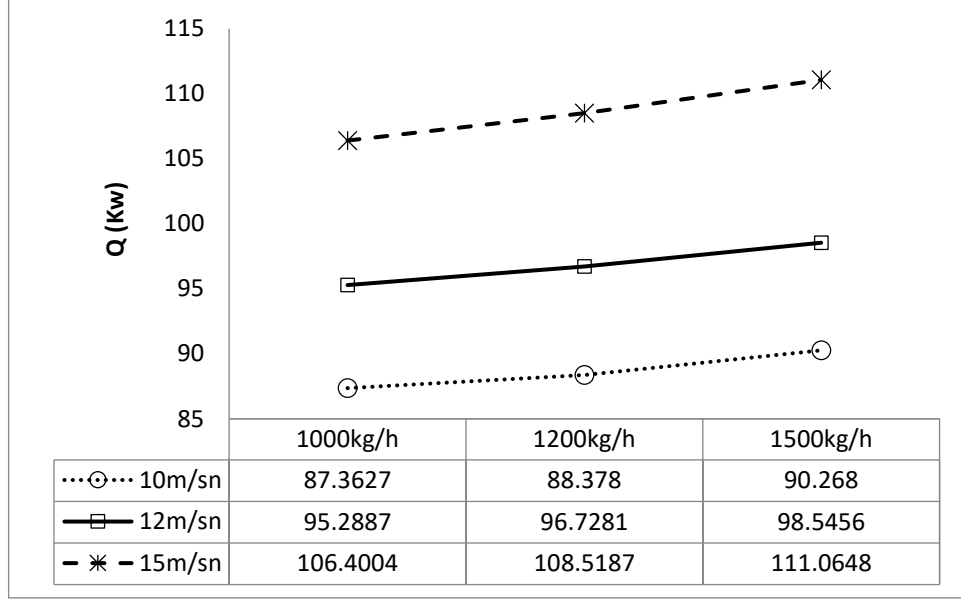
Şekil 4.21. N2 Ekonomizerin gaz hızı - sıcaklık farkı değişim grafiği



Şekil 4.22. N2 Ekonomizerin gaz hızı - basınç farkı değişim grafiği



Şekil 4.23. N2 Ekonomizerin gaz hızı-ısı geçişideğişim grafiği



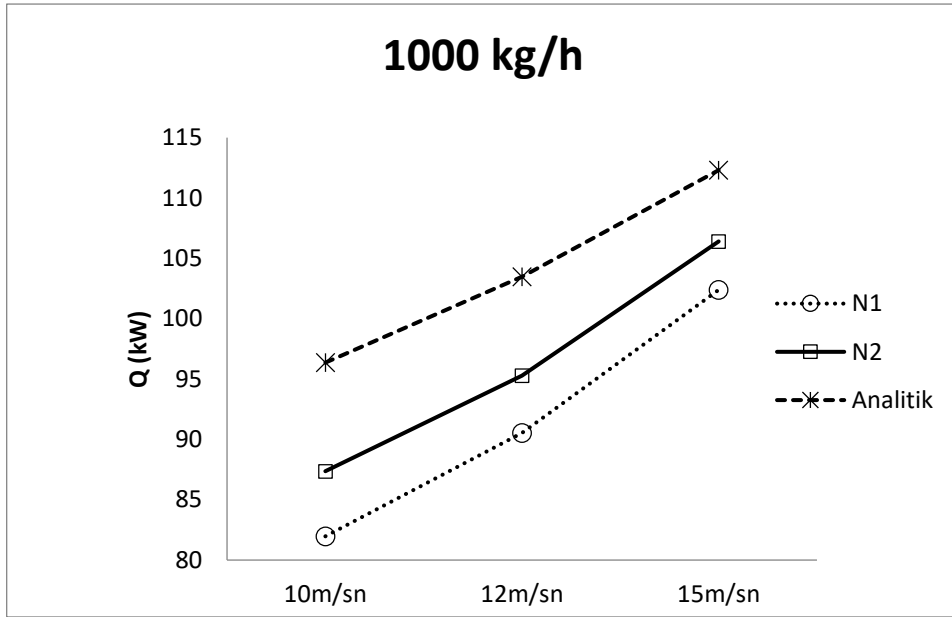
**Şekil 4.24.**N2 Ekonomizerin su debisi – ısı geçişi değişim grafiği

Yapılan analizler sonucunda N2 Ekonomizerin su tarafı debisine ve gaz hızına göre; ekonomizerin sıcaklık değişimleri, basınç değişimleri ve ısı geçişleri incelenmiştir. N2 Ekonomizerin gaz tarafı hızı arttıkça sıcaklık değişiminin arttığı, basınç düşümünün arttığı ve ısı geçişlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Su tarafı debisi arttıkça sıcaklık değişiminin arttığı görülmektedir.

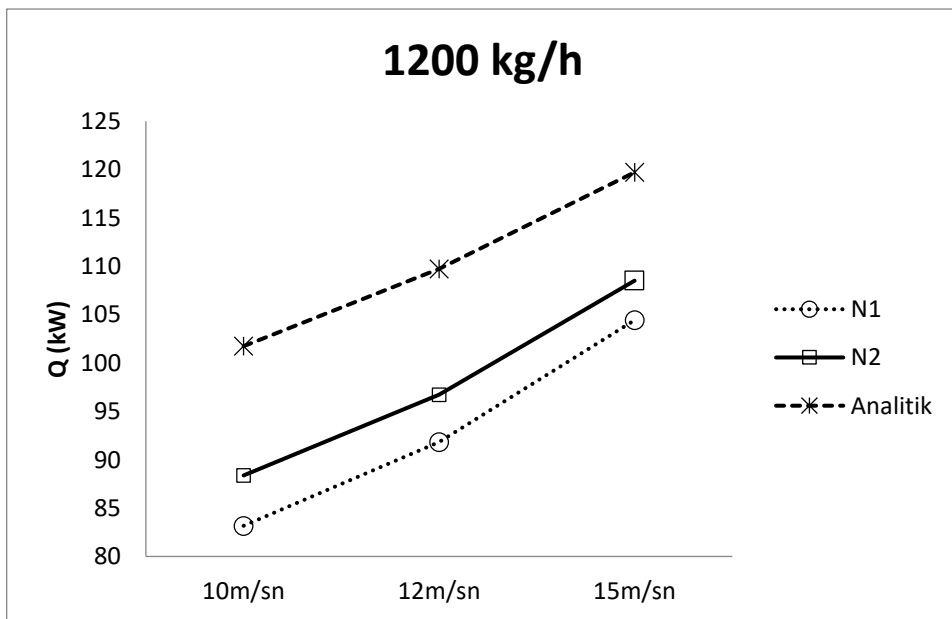
Değişen tasarım ile, gaz akışının etkisi incelenmiştir. N2 Ekonomizer gaz tarafı akım çizgilerinin radyatöre eşit dağıldığı görülmüştür. Bu akım ile, su tarafı ve gaz tarafı sıcaklık dağılımının kademeli düzgün olduğu görülmüştür. Giriş davlumbazında oluşan vorteksin, basınç veya hız olarak etkilemediği için akışı olumsuz etkiler bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

## 5. SONUÇ

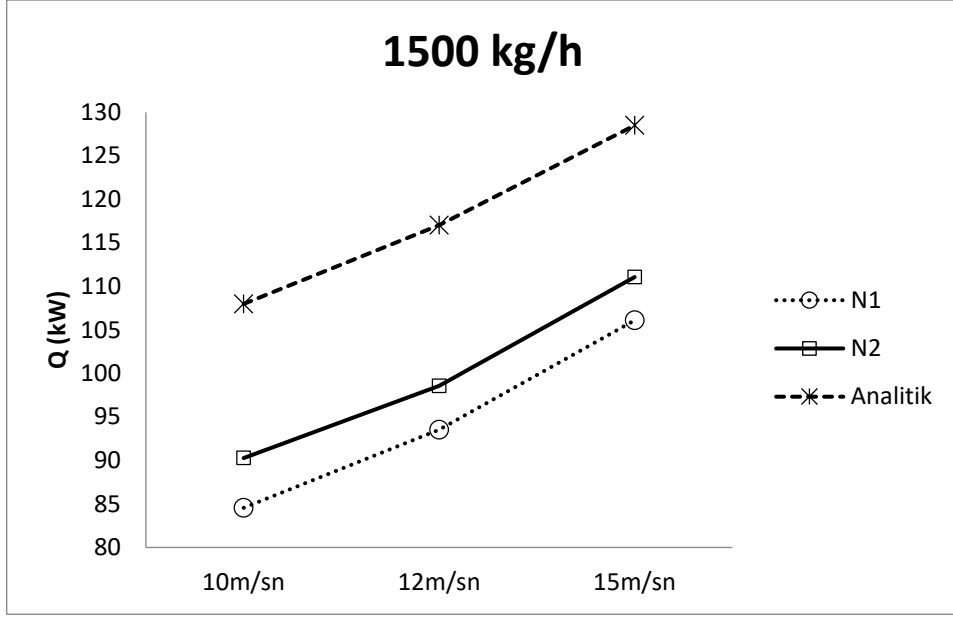
Analizi yapılan ekonomizerlerin, su debisi 1000 kg için hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği Şekil 5.1.'de, su debisi 1200 kg için hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği Şekil5.2.'de, su debisi 1500 kg için hız – ısı geçişi değişim grafiği Şekil 5.3'de verilmiştir. Hava hızı değerleri 10 m/sn, 12 m/sn, 15 m/sn değerleri için karşılaştırma yapılmıştır.



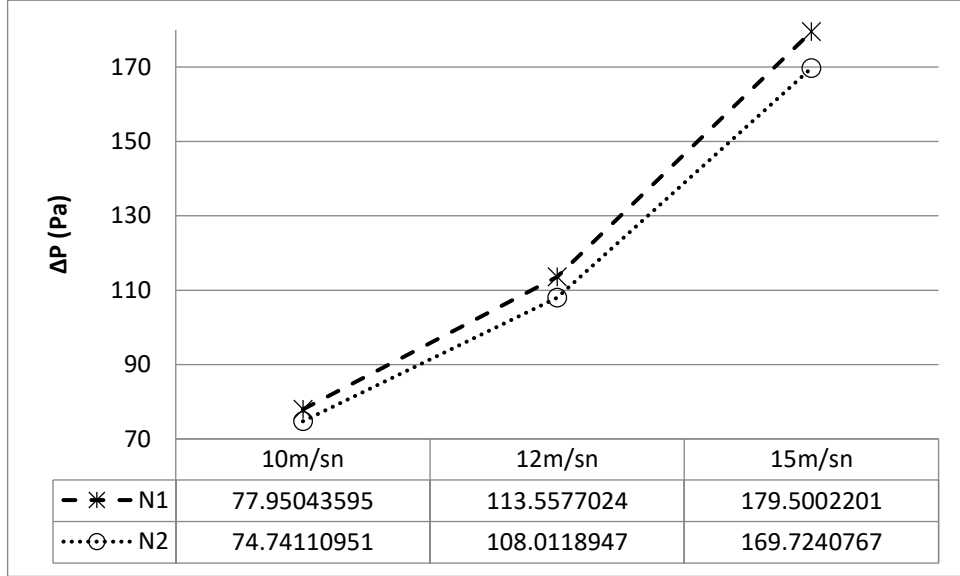
Şekil 5.1 Hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği, su debisi 1000 kg/h



Şekil 5.2 Hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği, su debisi 1200 kg/h



**Şekil 5.3** Hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği, su debisi 1500 kg/h



**Şekil 5.4** Hız – ısı geçişi farkı değişim grafiği

Atık gaz ve işletme suyunun debisi, elde edilecek su sıcaklığı üzerinde büyük rol oynamaktadır. Bu çalışmada atık hava hızı sabit tutulup, suyun debisi; daha sonra suyun debisi sabit tutulup havanın hızı incelenmiştir. Hava hızı sabit, su sıcaklığı artmasıyla geri kazanılan enerji miktarı artar. Ancak optimum bir debi değeri ifade edilememekte olup,

işletmelerin ihtiyacı olan su miktarı ve sıcaklığına bağlı olarak optimizasyonu yapılması gerekli olmaktadır.

Su debisi sabit olup, hava hızı artırılmasıyla da geri kazanılan enerji miktarı artar. Fakat, gaz hızı artmasıyla basınç düşümü arttığı görülmektedir. Basınç düşümü ekstra pompalama maliyeti getireceği ve ısı değiştiricisinin tasarımlarında basınç düşümü sebebi ile tıknmalara sebep olabileceğinden, basınç düşümünün çok fazla artması (1000 Pa değerinin sonra) tercih edilmemektedir

**Çizelge 5.1** N1 Ekonomizer, N2 Ekonomizer ve Analitik Hesaplamaların Kapasite

Karşılaştırılması(Sapma 1 = $Q_{analitik}$  ve  $Q_{N1}$ ; Sapma 2 = $Q_{analitik}$  ve  $Q_{N2}$ ; Sapma Farkı = $Q_{N1}$  ve  $Q_{N2}$ )

Su Debisi (kg/h)	Gaz Hızı (m/sn)	Q Analitik (W)	Q N1 Ekonomizer	Q N2 Ekonomizer	Sapma 1 (%)	Sapma 2 (%)	Sapma Farkı (%)
1000	10	96,35834	81,9683	87,3627	17,15	10,29	6,86
1200	10	101,7452	83,1707	88,378	22,33	15,12	7,21
1500	10	107,9785	84,5513	90,268	27,70	19,62	8,08
1000	12	103,4774	90,5222	95,2887	14,32	8,6	5,72
1200	12	109,7288	91,834	96,7281	19,48	13,44	6,04
1500	12	117,029	93,5139	98,5456	25,14	18,75	6,4
1000	15	112,3037	101,387	106,4004	10,76	5,54	5,22
1200	15	119,722	103,4322	108,5187	15,75	10,32	5,43
1500	15	128,4873	105,593	111,0648	21,68	15,68	6,00

N2 ekonomizer tasarımıyla, bir önceki ekonomizer olan N1 ekonomizere göre en az %5 ısı geri kazanım etkenliği artırılmıştır. Analitik hesaplar ile olan fark en fazla %20 olarak belirlenmiştir.

Yeni tasarım ile ısı geri kazanımı etkenliği artırılmıştır. Radyatörlerindeki kollektör yapısının değiştirilmesiyle beraber ısı genleşmeye izin verilmektedir. Klape sistemi ile gaz tarafında basınç düşümü görüldüğünde klape açılır ve akış by-pass hattından geçirilir.

Baca atık gazından ısı geri kazanılması amacıyla tasarımı yapılan ekonomizer, 16.10.2017 tarihinde Petniz Isı'da çalıştırılmıştır. 294 kw değerinde bir kapasite sağlayan ekonomizere, 102°C su girişi, 240°C baca gazı girişi vardır. Alınan rapora göre gaz çıkış 130°C, su çıkış 135°C olarak belirlenmiştir. (Şekil 5.4)



**Şekil 5.4** Ekonomizer Montajı



## 6. KAYNAKLAR

Cimşit, Y. M., “Doğal Sirkülasyonlu Isı Geri Kazanım Çevrimi”. Yüksek Lisans Tezi.

Çengel Y. A., “Isı Ve Kütle Transferi”

Erbay, L. B., Uğurlubilek, N., Altun, Ö., Doğan, B. 2013. “Kompakt Isı Değiştiriciler,” Mühendis Ve Makina, Cilt 54, Sayı 646, S. 37-48.

Incropera F. P., Dewitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S., “Fundamentals Of Heat And Mass Transfer”

İpek M, (2015), Isı Değiştiricilerinde Malzeme Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Üniversitesi, Pamukkale, Denizli.

Kaçar N, Erbay B , (2013), “Isı Değiştiricilerin Tasarımına Bir Bakış,” Mühendis Ve Makina, Cilt 54, Sayı 644, S.14-43

Karaaslan, M. A., “Ramöz Atık Havaından Isı Geri Kazanımı”. Yüksek Lisans Tezi. Bornova, İzmir.

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Megep (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi)

Yılmaz T, (1999), “Teorik Ve Uygulamalı Isı Transferi”

## **ÖZGEÇMİŞ**

Kadir Can DEMİR 1993 yılında Samsun’da doğdu. İlk ve ortaokulu Bafra Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2011 yılında Bafra Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2012'de Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde başladığı lisans eğitimini Haziran 2016'da bitirdi. İş hayatına Haziran 2016'da Konuk Isı Mak. San. Tic. Ltd. Şti.'de başladı. Ar-Ge ve Proje Mühendisi olarak görevine devam etmektedir. Eylül 2016'da Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda başladığı tezli yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.