

## Bir Ekonomizer Tasarımı

An Economizer Design

Nihal Çakar<sup>1</sup> , Uğur Akyol<sup>2\*</sup> , Erhan Akyol<sup>3</sup> , Rafayel Shaliyev<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Çerkezköy, Tekirdağ, Türkiye

<sup>2</sup> Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

<sup>3</sup> Arş. Gör. Dr., Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Edirne, Türkiye

<sup>4</sup> Doç. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

\* Corresponding author: uakyol@nku.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 16.06.2023  
Kabul Tarihi / Accepted: 21.07.2023

Araştırma Makalesi/Research Article  
DOI: 10.5281/zenodo.8238098

### ÖZET

Dünya nüfusundaki hızlı artış, teknolojinin gelişimi ile birlikte olan yenilikler ve sanayileşmeye paralel olarak birçok ülkenin kalkınmasının artması dünya üzerinde enerjiye olan talebi de arttırmıştır. Azalan enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada, fırından çıkan atık baca gazı ısısından yararlanılarak bir ekonomizer tasarımı, teorik hesaplamaları ve nümerik analizi yapılmıştır. Tasarımda, bir kablo firmasında kullanılan yanma testi fırınına ait veriler kullanılmıştır. Ekonomizer tasarımı hesaplamalarında logaritmik ortalama sıcaklık farkı ve  $\epsilon$ -NTU metotlarından yararlanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, 288,24 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip ve kendinden kanatçıklı 120 adet serpantinden oluşan, 6 geçişli ve 5 sıralı bir ekonomizer tasarlanmıştır. Ekonomizer içerisinde kullanılan ısı eşanjörünün etkenliği 0,71 olarak hesaplanmıştır. 500 litre boiler tankında 20°C sıcaklığındaki su, tasarlanan ekonomizer sayesinde 435 saniyede 60°C sıcaklığa çıkarılmıştır. Ekonomizer sisteme dâhil edildiğinde baca gazı sıcaklığının 71,2°C'den 50°C'ye düştüğü görülmektedir. Böylece, baca gazının soğutularak daha düşük bir sıcaklıkta atmosfere atılması mümkün olmaktadır. Tasarlanan ve teorik hesabı yapılan ekonomizer, ANSYS CFD programında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Teorik hesaplama sonuçlarına ait değerlerin nümerik analiz sonuçları ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atık ısı, ısı geri kazanımı, ısı değiştiricisi, ekonomizer, nümerik analiz

### ABSTRACT

The rapid increase in the world population, the development of technology, innovations and the increase in the development of many countries in parallel with industrialization have also increased the energy demand. Effective and efficient use of decreasing energy resources is of great importance. In this study, economizer design, theoretical calculations and numerical analysis were made by using the heat of the waste flue gas from the furnace. In the design, the data of the combustion test furnace used in a cable company were used. The mean logarithmic temperature difference and  $\epsilon$ -NTU methods were used in the economizer design calculations. As a result of the calculations, a 6-pass and 5-row economizer with a surface area of 288.24 m<sup>2</sup> and consisting of 120 self-finned serpentines was designed. The efficiency of the heat exchanger used in the economizer was calculated as 0.71. The water in the 500-liter boiler tank at 20°C was increased to 60°C in 435 seconds with the designed economizer. When the economizer is included in the system, it is seen that the flue gas temperature decreases from 71.2°C to 50°C. Thus, the flue gas will be cooled and thrown into the atmosphere at a lower temperature. The designed and theoretically calculated economizer was analyzed in the

ANSYS CFD program with the finite element method. It has been seen that the results of the theoretical calculations and the numerical analysis are in harmony.

**Keywords:** Waste heat, heat recovery, heat exchanger, economizer, numerical analysis

## 1. GİRİŞ

Enerji, sosyal ve ekonomik kalkınmanın en temel girdilerinden birisidir. Sürdürülebilir bir kalkınma için enerji kaynaklarının planlı bir şekilde kullanımının sağlanmasını ve yenilebilir enerji kayanlarından daha fazla yararlanılması gerekmektedir (Koç ve Şenel 2013). Genel olarak dünya enerji tüketiminde yenilenemeyen enerji kaynakları hâkimdir. Fosil yakıtlar dünya enerji tüketiminde yaklaşık %80'lik bir paya sahiptir. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre tüm enerji tüketiminin sadece %20'si yenilebilir enerji kaynaklarından temin edilebilmektedir. Bu nedenle enerjinin arz güvenliği açısından kaynaklarının çeşitlendirilmesi zorunluluk teşkil etmektedir. Petrolün 2050 yılında, doğalgazın 2160 yılından, kömürün 2017 yılından itibaren yavaş yavaş kullanımdan kalkacağından hareketle alternatif enerji kaynaklara yönelerek bu konuda yatırımlar yapılması gerekmektedir (Hamilton, 2013). Nüfusu sürekli artmakta olduğu ülkemizde sanayi alanlarında yapılan çalışmalar da artış göstermektedir. Bu durum ile birlikte enerji ihtiyacı da paralel olarak artmaktadır. Enerjinin önemli bir miktarı alt yapıdaki eksiklikler dolayısıyla israf edilmektedir. Kaybedilen enerjinin önemli bir miktarı, doğru enerji geri kazanımı sistemi uygulanması durumunda tekrar kullanılabilir hale gelebilmektedir (Kuvell, 2005; Uysal, 2019).

Enerji, akışkan akışı, termodinamik ve ısı transferini içeren makine tasarımını ısı tasarım olarak nitelendirebiliriz. Isıl tasarım mühendislik tasarımının bir koludur. Gelişen teknoloji ile birlikte ısı tasarım birçok alanda gerekli hale gelmektedir. Tasarımdaki en önemli parametreler; ısı geçişi, basınç düşümü, boyutu, verimliliği ve maliyetidir. Isı değiştiricilerinin verimliliğini arttırmanın ve maliyeti düşürmenin en etkili yolu ısı taşınım katsayısını arttırmaktır. Isı taşınım katsayısının arttırılması basınç düşümündeki artışa sebep olabileceği gibi farklı istemeyen durumlar meydana getirebilir. Tasarımdaki boyutlar seçilirken bu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Abeykoon (2020), teorik olarak hesaplanan bir ısı eşanjörünü daha sonra hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak optimize etmiştir. Karşıt akışlı bir ısı eşanjörünün uzunluğunu teorik olarak LMTD yöntemi ile hesaplarken, basınç düşümü ve enerji tüketiminde ise Kern yöntemini kullanmıştır. Çalışma, CFD modellemesinin, ısı eşanjörlerinin tasarımı ve optimizasyonu için umut verici olabileceğini göstermiştir. Fiziksel prototipler üretmeden de çok sayıda tasarım seçeneğinin test edilebilir olması çalışmada önemli noktalardan birisi olarak görülmektedir. Aravindkumar (2014), kazan tarafından üretilen baca gazını tahliye etmek için kullanılan gaz kanalı ile ilgili çalışmıştır. Çalışmada SOLIDWORKS programı ile birlikte gaz kanalı tasarımı yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı, yeni ekonomizer kanalının CFD analizinin yapılmasıdır. ANSYS yazılımı kullanılarak dört farklı tasarım incelenmiştir. Etkin ısı transferi, mevcut ekonomizerdeki boru sayısı azaltılarak sağlanmıştır. Tasarımın istenilen özellikleri arasında doğru akış dağılımına sahip olması, daha az basınç düşüşü ve daha az enerji kaybının olduğu görülmektedir. Analiz sonucu ile mevcut olan tasarım karşılaştırılmıştır. İstenilen özellikleri sağlayan son tasarıma karar verilmiştir. Gözcü (2019), doğrudan hava ekonomizeri (ASE), dolaylı hava ekonomizer (IASE), dolaylı evaporatif soğutmalı (IEC) ve dolaylı su ekonomizerini (WSE) içeren dört ayrı soğutma sisteminin üzerinde çalışmıştır. Judt ve Bartoszewicz (2018), nominal gücü 250-300 kW olan katı yakıtlı ısıtma kazanlarından açığa çıkan atık ısının kullanılması amacı ile bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Isıtma kazanının çıkışındaki egzoz gazlarının sıcaklığının 270-300°C'ye arasında olabileceğini ve bu atık ısının bir kısmının harici bir ısı eşanjörü ile birlikte geri kazanılabileceği üzerinde durmuşlardır. Parmaksızoğlu ve Çeteci (1999), yapmış oldukları çalışmada, gövde-boru tipli ısı değiştiricilerini kullanarak hava-su soğutucu

ve ısıtıcı serpantin tip ısı değiştiricileri için matematiksel model geliştirmişlerdir. Model çözümlerine ulaşmak amacı ile bilgisayar programı hazırlamışlardır.

Bu çalışmada, yanma testi fırınından çıkan 71,2°C sıcaklığındaki atık ısı ile birlikte, 500 litre hacme sahip boiler tankında bulunan 20°C sıcaklığındaki suyun 60°C sıcaklığa yükseltilmesi amaçlanmıştır. Atık ısının sisteme tekrar geri kazandırılabilceği bir ekonomizer tasarımı, teorik hesaplamaları ve nümerik analizi yapılmıştır. Tasarlanan ekonomizerin sisteme dâhil edilmesi ile birlikte baca gazı sıcaklığının soğutulurak atmosfere atılacağı ön görülmektedir. Tasarım, atık ısının tesiste işletme suyu olarak kullanılabilcek olması sebebi ile kullanım suyu ekonomizeri olarak nitelendirilebilmektedir. Tasarlanan ekonomizerde ısıl iletkenlik katsayısının fazla olduğu materyallerin seçilmesi konusunda dikkat edilmesi gerekmektedir. Tasarım özgün olup, imal edilmesi istenildiği takdirde kullanılan materyaller değiştirilerek revize edilebilmektedir. Aynı zamanda istenilen suyun sıcaklığı değiştiği takdirde, tasarımda kullanılan serpantinlerin de geometrisi değiştirilebilmektedir. Mevcut olan hava çıkış sıcaklığının düşük olması sebebi ile kompakt bir ekonomizer tasarımı yapılmıştır. Yanma testinin yapılması gereken kablo grupları art arda test edilmektedir. Yanma testi fırını bir kablo grubu için maksimum 25 dakika çalışmaktadır. Tasarım yapılırken boru adedinin, kanatçık sayısının ve yüzey alanının hesaplanabilmesi açısından bu önemli bir husustur. Bunun için tasarlanan sistemde, suyun ısınma süresinin 25 dakika üzerine çıkmaması gerekmektedir. Ekonomizer tasarımı hesaplamalarında logaritmik sıcaklık farklı ve  $\epsilon$ -NTU metotları kullanılmıştır. Ekonomizer tasarımına ait teorik hesaplama sonuçlarının değerlendirilebilmesi için ANSYS CFD ortamında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

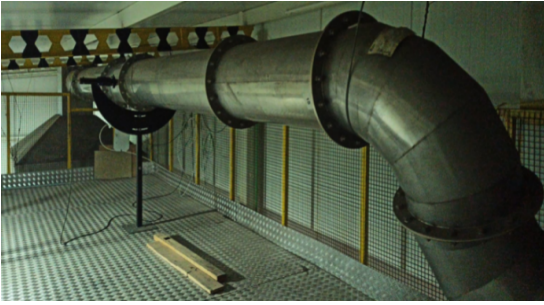
## **2. MATERYAL ve METOT**

### **Yangın Test Fırınında Ekonomizer Uygulaması**

Test esnasında kullanılan kabloların sayısı kablo çapına göre belirlenmektedir. Merdivene bağlanan kablolar demetlenmemiş ve aralarında boşluk kalacak şekilde gergince bağlanmalıdır. 20,5/30 kW alev gücü alev bekinden uygulanmaktadır. Fırının içerisine 8000 ± 400 L/dak. akış hızında hava üflenmektedir. Her bir kablo demeti için yangın test süresi 25 dakikadır. Test sonrasında oluşun görüntü Şekil 1’de gösterilmektedir. Yangın test fırınının baca gazı sistemine ait görüntüsü Şekil 2’de, fırının kablo yakma testi sonucunda oluşan atık ısısının dışarı atılmasını sağlayan çıkış bağlantısı ise Şekil 3’de verilmiştir. Tasarımda atmosfer basıncı kullanılmıştır. Sisteme giren suyun debisi 4,164 m<sup>3</sup>/h iken havanın debisi 31,536 m<sup>3</sup>/h’dir. Mevcutta var olan hava debisi sistemde kullanılacak olan suyun ısıtılmasında yeterli gelmediği için kullanılan fan değiştirilmiştir. Suyun giriş hızı ise standartlarda kullanılan değer olan 0,5 m/s seçilmiştir.

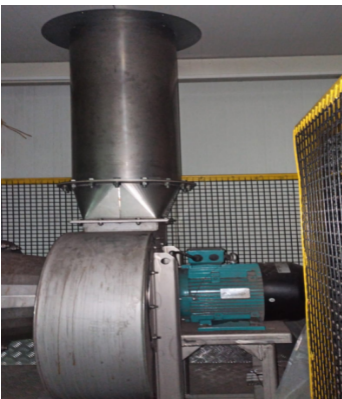


**Şekil 1.** Test sonrasında kablo demetine ait görüntü



**Şekil 2.** Yangın test fırını egzoz kanalı

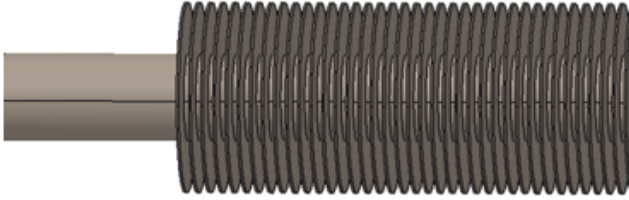
CFD esas olarak akışkan davranışlarına ait önemli olarak nitelendirilen sorunların, sayısal veri ve algoritmalar ile bilgisayar ortamında analiz edildiği akışkanlar mekaniğinin önemli bir dalıdır. CFD analizi kullanılarak elde edilen sayısal simülasyonlar sayesinde, sanal deney ortamına ve sonuçlara her zaman ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada, tasarımı ve teorik hesaplamaları yapılan ekonomizerin CFD analizinin yapılması gerekmektedir. Analiz sonucunda elde edilen değerler ile teorik hesaplama sonuçları uyum içerisinde değil ise, tasarımda kullanılan boyutların tekrar revize edilmesi gerekmektedir. Ekonomizerin yanma test fırınına entegre edilmesi istenildiği takdirde, CFD analizi ile birlikte sonuçların ön görülmesi sağlanabilmektedir. Tasarımda seçilmiş olan malzemelerin bakır olmasının en önemli sebepleri arasında ısı iletkenlik katsayısının yüksek olmasıdır.



**Şekil 3.** Atık ısının dışarı atılmasındaki baca gazı çıkış bağlantısı

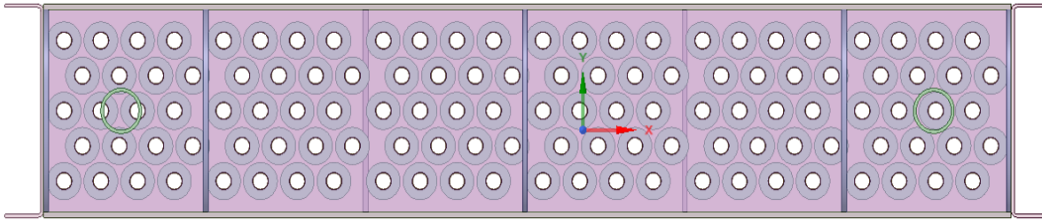
## Ekonomizer Tasarım Aşamaları

Dış çapı 35 mm, iç çapı 16 mm ve kalınlığı 0,4 mm olan bakır kanatçık tasarlanmıştır. Bakır kanatçıklar, dış çapı 16 mm, iç çapı 12 mm ve uzunluğu 3000 mm olan bakır boru üzerinde konumlandırılmışlardır. Tasarımda toplam 120 boru ve her bir boruya ait 1400 adet kanatçık kullanılmıştır. Tasarımdaki bir adet serpantinde bulunan kanatçıklara ait serpantin yakın görünüşü Şekil 4’de verilmiştir.



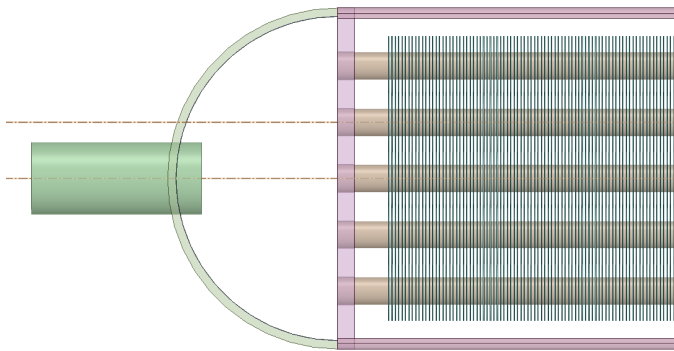
Şekil 4. Serpantine ait görünüş

Ekonomizer tasarımı 6 sıra ve 5 geçiştten oluşmaktadır. Çapraz akışlı olacak şekilde tasarlanan ekonomizere ait, tüm geçişlerin ve sıraların olduğu tasarımın tamamı Şekil 5’de verilmiştir.



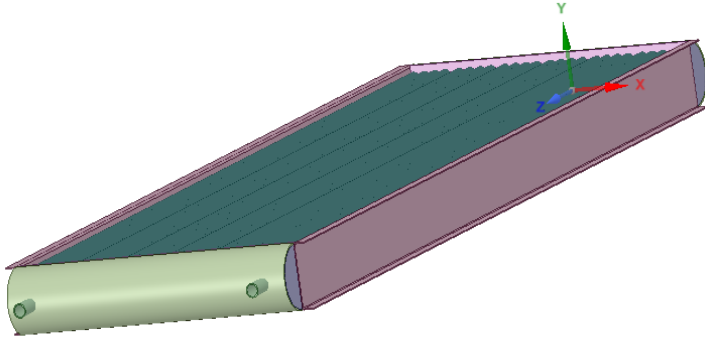
Şekil 5. Tasarımdaki geçiş ve sıra sayısına ait görüntü

Tasarımda, su giriş ve çıkışlarına ait 2 adet flanşlı boru çizilmiştir. Aynı şekilde sıcak havanın soğutulurak dışarı atıldığı flanşlı boru da tasarımda mevcuttur. 20°C sıcaklığında bulunan suyun ekonomizere giriş kısmı Şekil 6’da verilmektedir.



Şekil 6. 20°C sıcaklığında bulunan suyun serpantinlere giriş kısmı

Ekonomizer tasarımının ANSYS spaceclaim ortamındaki izometrik görünümü Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Tasarımın ANSYS spaceclaim ortamında izometrik görünümü

### Ekonomizer Teorik Hesaplamaları

Toplam ısı geçişi aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\dot{Q}_{su} = \dot{Q}_s = \dot{m}_s \cdot C_{p_s} \cdot (T_{s2} - T_{s1}) \quad (1)$$

Hava için toplam ısı geçişi:

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{Q}_{su} = \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (T_{h1} - T_{h2}) \quad (2)$$

Logaritmik ortalama sıcaklık farkı:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)} \quad (3)$$

Çok geçişli ve çapraz akımlı ısı değiştiricilerinde geçen ısı miktarı Eşitlik 4’de verilmektedir. Bu denklemden hareketle ısı transfer yüzey alanı hesaplanmıştır.  $U = 35 \text{ W/m}^2\text{K}$  varsayımı yapılarak işlemlere devam edilmiştir.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{su} = \dot{Q}_{hava} = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_m \quad (4)$$

$\epsilon$  - NTU hesabı Eşitlik 6’da verilen denklem ile birlikte hesaplanmıştır.

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (5)$$

$$NTU = N = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \quad (6)$$

Hava ve suyun ısı taşınım katsayılarının hesabı ile birlikte  $35 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak tahmin edilen toplam ısı transfer katsayısı, Eşitlik 7’deki verilen denklemden faydalanılarak gerçek değeri elde edilmiştir.

$$\frac{1}{U \cdot A_s} = \frac{1}{U_s \cdot A_i} = \frac{1}{U_h \cdot A_o} = \frac{1}{(\eta_0 \cdot h \cdot A)_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2 \cdot \pi \cdot k_w \cdot L} + \frac{1}{h_o \cdot (2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot L)\eta_0} \quad (7)$$

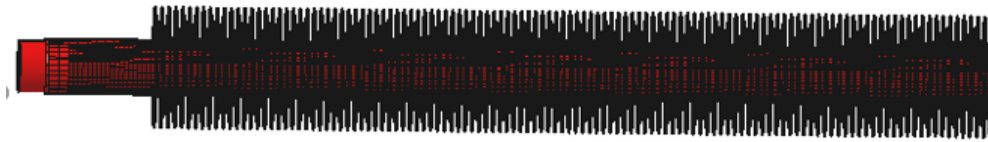
Hava tarafı için kompaktlık hesabı ile ilgili denklem Eşitlik 8’de verilmektedir.

$$V = B \cdot H \cdot W$$

$$\beta = \frac{A}{V} \quad (8)$$

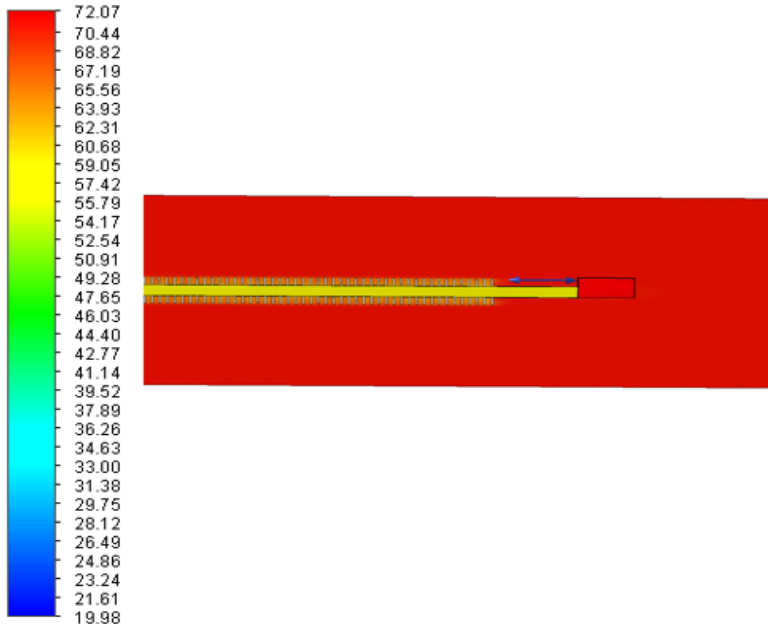
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İlk olarak tasarımı yapılan ekonomizerin geometrisi, ANSYS spaceclaim ortamında CFD analizi için uygun hale getirilmiştir. Tasarım geometrisi sonlu elemanlara bölünerek, fluid ortamında uygun setup dosyası oluşturulmuştur. Tasarımda oldukça fazla sayıda boru ve kanatçık olması sebebi ile mesh ve analiz zamanı problemleri ortaya çıkmaktadır. Sistem tek boru için analiz edilmiştir. Analitik çözüm oluşturulurken, kendinden kanatçıklı serpentine sonlu elemanlar metodu ile birlikte mesh atılmıştır. Sıvı hücrelere ait mesh sayısı 10.432.450 adettir. Katı parçaya atılan mesh sayısı 3.519.790 adettir. Analizdeki toplam mesh sayısı 13.952.240 adettir. Serpantindeki mesh görünümü aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Serpentine ait mesh görünümü Şekil 10'da gösterilmektedir.



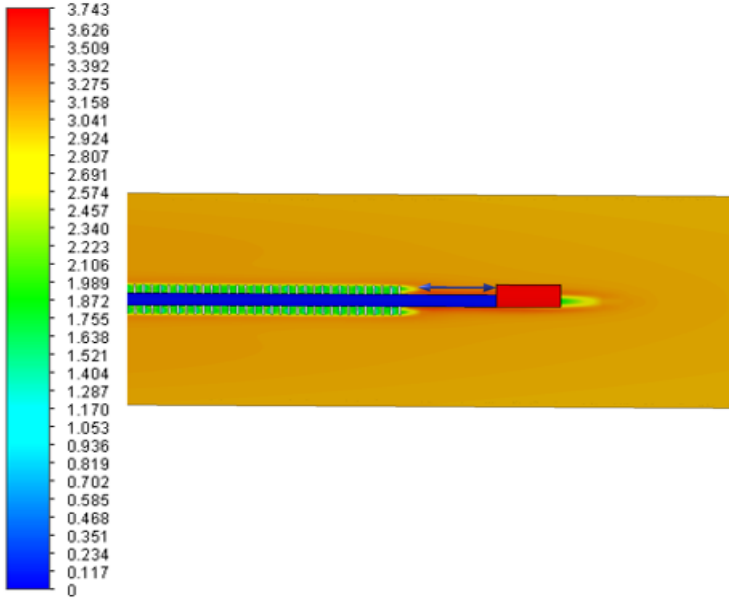
Şekil 10. Serpentine ait mesh görünümü

Su giriş sıcaklığına ait analiz görüntüsünün bir kısmı Şekil 11'de verilmektedir.



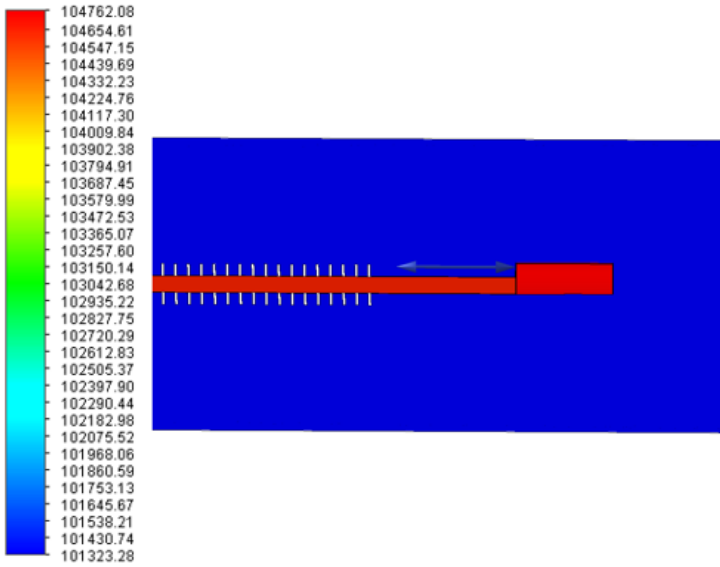
Şekil 11. Su çıkış sıcaklık değerine ait sıcaklık kontörü

Su sisteme yaklaşık 0,5 m/s hız ile girmiştir. Analiz aşamasında, suyun giriş hızına ait ölçüm sonucu Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Su çıkış sıcaklığına ait hız kontörü

Analiz tek bir serpantinli boru için yapıldığından basınç kayıpları minimum seviyede gözlemlenmiştir. Su atmosfer basıncından girmiş olduğu sistemden yüksek bir kayba uğramadan çıkmıştır. Çıkış basıncına ait analiz sonucu Şekil 13’de gösterilmektedir.



Şekil 13. Çıkış basıncı kontörü

#### 4. SONUÇLAR

Bir tesiste atık ısıdan faydalanılması isteniyorsa öncelikle atık ısının kullanım yerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Kullanım yeri belirlenen atık ısının ne kadar verimli olacağı hakkında detaylı bir analiz yapılmalıdır. Bu çalışmada, atık ısının sisteme geri kazandırılabilceği bir ekonomizer tasarımı yapılmıştır. Çalışmada bir kablo işletmesinde kullanılan yanma testi fırınına ait veriler ele alınmıştır. Materyal ve yöntem bölümünde yapılan ekonomizer tasarımı hesaplamaları sonucunda, 288,24 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip ve kendinden kanatçıklı 120 adet serpantinden oluşan, 6 geçişli ve 5 sıralı bir ekonomizer tasarlanmıştır. Ekonomizer tasarımı hesaplamalarında, ortalama logaritmik sıcaklık farkı



ve  $\varepsilon$  - NTU metotlarından yararlanılmıştır. Duman gazından suya olan ısı transferinde, duman gazı tarafındaki ısı iletim katsayısı su tarafına göre çok düşük olması sebebi ile ekonomizer tasarımında, kendinden kanatçıklı serpantinler kullanılarak ısı geçiş miktarı artırılmıştır. Ekonomizer tasarımında boru ve kanatçıklarda kullanılan materyal, ısı iletkenlik katsayısının yüksek olması sebebi ile bakır olarak seçilmiştir. Bakır borular, basıncın yüksek olmadığı fakat ısı transferinin verimli olması istenen su ve gaz gibi korozif olmayan akışkanların kullanıldığı sistemlerde kullanılmaktadırlar.

20°C’de sıcaklığında ve 500 litre boiler tankında bulunan su, tasarlanan ekonomizer ile birlikte 60°C sıcaklığa 435 saniyede artırılmıştır. Yanma testi fırını, her bir kablo grubu için 25 dakika çalışmaktadır. Tasarımı özgün kılan noktalardan birisi, ekonomizer yardımı ile yaklaşık 8 dakikada ısının sisteme geri kazandırılmasıdır. Ekonomizer sisteme dâhil edildiğinde baca gazı sıcaklığının 71,2°C’den 50°C’ye düştüğü görülmektedir. Böylece, baca gazı soğutularak daha düşük bir sıcaklıkta atmosfere atılacaktır. Mevcut olan hava çıkış sıcaklığının düşük olması sebebi ile kompakt bir ekonomizer tasarımı yapılmaya çalışılmıştır. Kompaktlık değeri  $627 \text{ m}^2/\text{m}^3$  olan bir tasarım ortaya konmuştur. Ekonomizer içerisinde kullanılan ısı değiştiricisinin etkenliği 0,71 olarak hesaplanmıştır. Etkenlik hesabı ile birlikte sistemin ne kadar verimli çalışabileceği görülmüştür.

Tasarımı ve teorik hesabı yapılan ekonomizer, ANSYS CFD programında sonlu elemanlar yöntemi ile birlikte analiz edilmiştir. Teorik hesaplama sonuçlarına ait değerler nümerik analiz ile birlikte uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Tasarım özgün olup, imal edilmesi istenildiği takdirde kullanılan materyaller değiştirilerek revize edilebilmektedir. Aynı zamanda istenilen suyun sıcaklığı değiştiği takdirde, tasarımda kullanılan serpantinlerin de geometrisi değiştirilebilmektedir. Bu çalışma, düşük bir sıcaklık ile birlikte atık ısının sisteme geri nasıl kazandırılacağı hakkında gelecek çalışmalara yol gösterici olacaktır. Farklı bir işletmede, atık ısı ne kadar düşük olur ise olsun, yapılan tasarımın sisteme uygun hale getirilebilir olduğunu ortaya konmuştur.

## KAYNAKLAR

Abeykoon C. (2020). Compact heat exchangers – Design and optimization with CFD. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 146 (2020), 118766. [www.elsevier.com/locate/ijhmt](http://www.elsevier.com/locate/ijhmt)

Aravindkumar A. (2014). CFD Analysis Of Gas Flow Behavior In Varios Economizer Duct. *International Journal Of MC Square Scientific Research* Vol.6, No.1 Nov 2014, Mechanical Engineering, Mookambigai College of Engineering.

Gözcü O. (2019). Türkiye İklim Koşullarındaki Veri Merkezlerinin Soğutulmasında Ekonomizer Kullanımının Enerji Tasarrufu Ve Ekonomik Potansiyel Değerlendirmesi (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Judt W. ve Bartoszewicz (2018). Numerical Analysis of A Heat Transfer in Economizer Dedicated for 250 kW Power Solid Fuel Heating Boiler. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 25, No. 2 2018.

Koç E. ve Şenel M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu–Genel Değerlendirme Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/314280679>

Kuvel A. (2005). Baca Gazlarından Atık Isı Geri Kazanımının Deneysel Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Parmaksızoğlu C. ve Çeteci Ö. (1999). Isı Değiştiricisi Tasarımı, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.