



# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

## Ekonomizersiz Bir Tav Fırın Bacasının Sayısal Olarak İncelenmesi

*Numerical Investigation of a Without Economizer Annealing Furnace Chimney*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Aykut GÜZEL<sup>1</sup>, İsmail HİLALİ<sup>2</sup>, M. Azmi AKTACİR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0003-1321-4748

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0001-7585-0016

<sup>3</sup> ORCID ID: 0000-0003-2345-7815

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Güzel A., Hilali İ., Aktacir M.A., “Ekonomizersiz Bir Tav Fırın Bacasının Sayısal Olarak İncelenmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(Özel Sayı): 33-39, (2021).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



## Ekonomizersiz Bir Tav Fırın Bacasının Sayısal Olarak İncelenmesi

Aykut GÜZEL<sup>1</sup>, İsmail HİLALİ<sup>2</sup>, M. Azmi AKTACİR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, TBMYO, Makine ve Metal Bölümü, 02100, Merkez/Adıyaman

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 63190, Haliliye/Şanlıurfa

<sup>3</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 63190, Haliliye/Şanlıurfa

### Öz

Sanayi kuruluşları enerji tüketiminin en yoğun olduğu yerlerdir. Sanayide enerji verimliliği enerji kayıplarının belirlenmesi ve buna bağlı olarak enerji kayıplarını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılarak gerçekleştirilir. Bu çalışmada; ısı geri kazanımı uygulamalarına katkıda bulunmak amacıyla egzoz gazı atık ısı potansiyeli yüksek olan bir ekonomizersiz sıcak haddehane tav fırınının baca gazı iç akışı sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal hesaplamalar bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizi programı olan Autodesk CFD kullanılarak yapılmıştır. Baca modeli 85m yükseklikte ve 3,62m giriş çapındadır. Modelde 2.48 m/s hız ve 650 °C sıcaklıkta egzoz gazı girişi sağlanmaktadır. Sayısal analizinin zamandan bağımsız olarak elde edildiği baca modelinin iç akışının her bölgesindeki sıcaklık ve hız dağılımları k-epsilon türbülans modeli ile incelenmiştir. Baca modelinin sıcaklık ve hız dağılımları dört farklı yükseklikteki yatay kesitten ve bir dikey kesitten elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde egzoz gazının tav fırın bacası içerisindeki sıcaklık profili, bacanın çıkışına doğru merkezinde sabit kalmakla birlikte bacanın merkezi ile duvarları arasındaki sıcaklık farkı azalma eğilimi göstermiştir. Tav fırın bacasının lokal hız profili incelendiğinde ise bacanın çıkışına doğru yaklaşık ilk 15m'de hızlı bir artış meydana geldiği ve sonrasında yaklaşık olarak sabit bir eğilimde olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda tav fırın bacalarının ısı geri kazanımı uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 12/01/2021

Yayın: 01/11/2021

### Anahtar Kelimeler

Tav Fırın Bacası  
Hesaplamalı Akışkanlar  
Dinamiği  
Sayısal Analiz  
Autodesk CFD

### Keywords

Annealing Furnaces  
Chimney  
Computational Fluid  
Dynamics  
Numerical Analysis  
Autodesk CFD

## Numerical Investigation of a Without Economizer Annealing Furnace Chimney

### Abstract

Industrial establishments are the places where energy consumption is most intense. In the industry, energy efficiency is achieved by determining energy losses and, accordingly, efforts to reduce energy losses. In this study; In order to contribute to heat recovery applications, the flue gas internal flow of without economizer hot rolling mill annealing furnace with a high exhaust gas waste heat potential was examined numerically. Numerical calculations were made using Autodesk CFD, a Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis program. The chimney model is 85m in height and 3.62m inlet diameter. Exhaust gas inlet of 2.48 m/s speed and 650 °C temperature is provided in the model. Temperature and velocity distributions in each region of the internal flow of the chimney model, where numerical analysis is obtained independently of time, were examined with the k-epsilon turbulence model. The temperature and velocity distributions of the chimney model were obtained from four horizontal sections and one vertical section. When the results are examined, the temperature profile of the exhaust gas in the annealing furnace remains constant at the center towards the outlet of the chimney, but the temperature difference between the center of the chimney and its walls tended to decrease. When the local velocity profile of the annealing furnace chimney is examined, it is observed that there is a rapid increase in the first 15m towards the exit of the chimney and then it has a nearly stable trend. In line with these studies, it has been tried to contribute to the development of heat recovery applications of annealing furnace chimneys.

\*İletişim yazarı, e-mail: aguzel@adiyaman.edu.tr

Bu çalışma, 05-06 Kasım 2020 tarihlerinde gerçekleştirilen GAPYENEV Uluslararası Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada ve Türkiye’de enerjinin verimli bir şekilde kullanımını sağlamak günümüzde en gözde konulardan birisidir. Sera etkisi, küresel ısınma ve bunları takiben gerçekleşen iklim değişiklikleri, hava kirliliği ve tüm bunların canlılar üzerindeki birçok olumsuz etkilerin kaynağı enerji üretimi ve kullanımına dayanmaktadır [1]. Endüstriyel işletmelerde, enerjinin verimli kullanımını amaçlayan çalışmalar, enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması yönünden bu problemlerin çözümü için önemli katkılarda bulunmaktadır [2,3]. Demir-Çelik, sanayi kuruluşları içerisinde enerjinin en yoğun kullanıldığı sektördür. Demir-Çelik sektörünün enerji tüketim miktarı dünyanın toplam enerji tüketim miktarının %5’ini oluşturmaktadır [4].

Çeliklerin haddeleme işlemleri ile çeliği 1050-1300 °C sıcaklık aralığında ısıtma işlemleri tav fırınlarında yapılmaktadır [5]. Isıl verimleri %35-45 arasında olan tav fırınlarında ısı kaybının en yoğun olduğu yer baca gazıdır. Tav fırınlarında yüksek ısıtma yapılması sonucunda bacadan 650 °C sıcaklıkta atık ısı enerjisi oluşmaktadır [6]. Atık ısının geri kazanımı ile ilgili yapılabilecek çalışmalardan biri de ekonomizer uygulamalarıdır.

Akışkanlar mekaniği problemlerinin sayısal yöntemler ve algoritmalar kullanılarak analiz edilmeleri ve çözümlenmeleri için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılmaktadır. HAD analiz ve çözümlenmelerinde kullanılan birçok yazılım programı bulunmaktadır. Autodesk CFD, Ansys Fluent, Solidworks Flow Simulation, Ansys CFX gibi yazılım programları HAD programı olarak kullanılmaktadır.

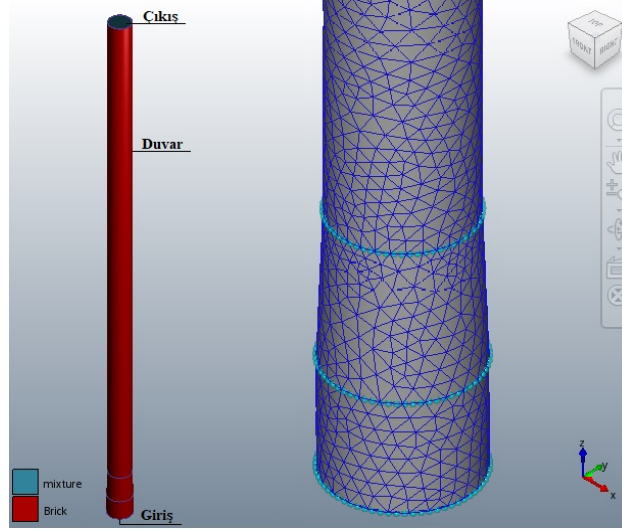
Bu çalışmada ısı geri kazanımı uygulamalarına katkıda bulunmak amacıyla egzoz gazı atık ısı potansiyeli yüksek olan ekonomizersiz bir sıcak haddehane tav fırınının baca gazı iç akışı ve sıcaklık alanları incelenmiştir. Sayısal hesaplamalar bir HAD Analizi programı olan Autodesk CFD kullanılarak yapılmıştır.

## 2. SAYISAL MODELLEME

Türkiye’de Tav fırın bacası 85m yükseklikte ve bacanın giriş çapı 3,62m’dir. Tav fırın bacasının iç akışını oluşturan egzoz gazı kok gazının yanma ürünleridir. Sayısal çözümde egzoz gazı bir gaz karışımı olarak tanımlanmıştır. Egzoz gazının yoğunluğu( $\rho$ ) 0,3421637 kg/m<sup>3</sup> ve viskozitesi( $\mu$ ) ise 1,72e-05 kg/ms alınmıştır. Sayısal analiz üç boyutlu ve zamandan bağımsız çözülmüştür. Bacanın duvarları tuğla ve özgül ısısı 1050 j/Kg-K olarak tanımlanmıştır.

Model ağı, hesaplama hacmini küçük kontrol hacimlerine bölerek bu kontrol hacimlerinin her biri için matematiksel çözüm yaparak daha sonra bu çözümlerin birleştirilmesine dayanır. Şekil 1’de ağ yapısı gösterilen sayısal modelde; baca duvarının olduğu katı bölgede 241.450 hücreden oluşan tetrahedron ağ yapısı, baca içi akış hacminde ise 1.222.720 elemandan oluşan tetrahedron ağ yapısı kullanılmıştır. Model boyunca akış ve ısı transferinin çözümlenmesi, zamandan bağımsız olarak kütle (süreklilik denklemi), momentumun ve enerjinin korunumu kanunlarından elde edilen kısmi türevli denklemlerin çözümlenmesi esasına dayanır [7].

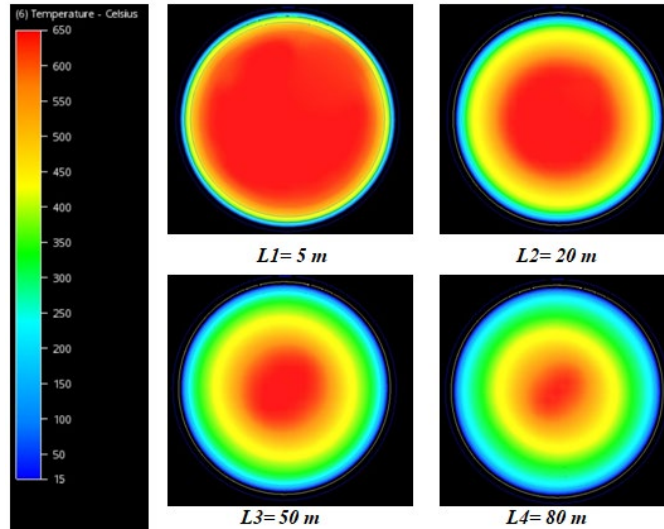
Egzoz gazının bacaya girişinde “velocity” ve “temperature” sınır şartı, çıkışında “pressure” sınır şartı katı (baca duvarları) yüzeylerde ise “temperature” sınır şartı kullanılmıştır. Duvar sıcaklığı 15 °C olarak atanmıştır. Giriş sınırında yerçekimi etkileri dikkate alınmıştır. Giriş sınırında egzoz gazının bacaya giriş sıcaklığı 650 °C ve hızı 2.48 m/s olarak tanımlanmış ve çözümün zamandan bağımsız olması için “Steady State” seçilmiştir. Sayısal çözümde türbülans modeli olarak ekonomikliği ve pek çok akış olayında kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından diğer türbülans modellerine göre yaygın olarak kullanılan k-epsilon türbülans modeli kullanılmıştır. Ayrıca bu model duvar cidarlarındaki akış davranışlarını tahmin etmede ideal bir model olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Geometrik model ve ağ yapısı

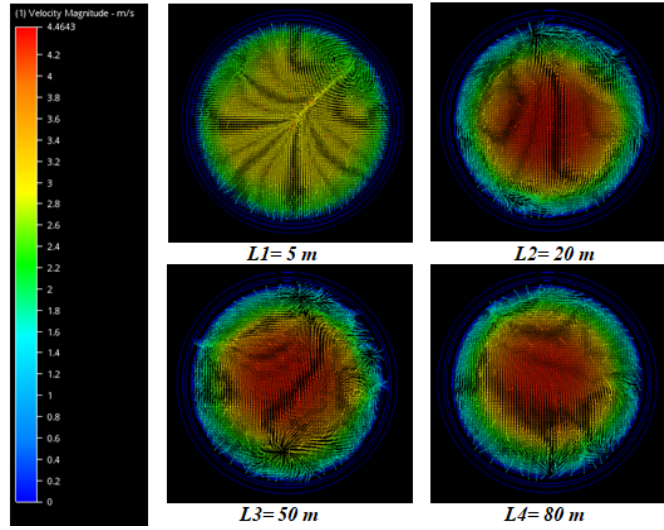
### 3. SAYISAL SONUÇLAR

HAD analizinde ele alınan tav fırın bacasındaki meydana gelen türbülanslı akış, bacanın çeşitli kesitlerinden elde edilen sıcaklık dağılımları ve akım çizgileri cinsinden sunulmuştur. Çözüm sonuçları, Autodesk CFD programı ile alınmıştır. Çözüm alanında L1, L2, L3 ve L4 yatay kesitte düzlemler oluşturulmuştur. Düzlemler baca tabanından sırasıyla 5m, 20m, 50m ve 80m yüksekliktedir.



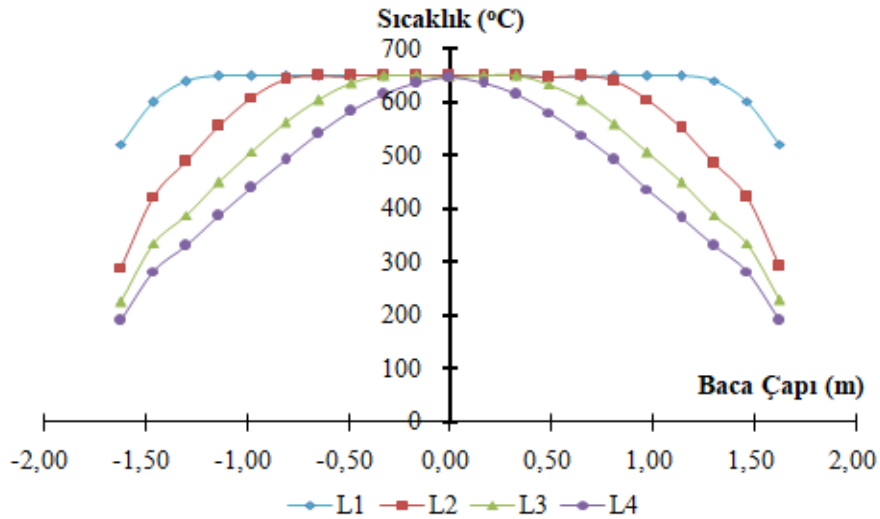
Şekil 2. L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinden elde edilen sıcaklık dağılımları

Şekil 2’de L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinin k-epsilon türbülans model simülasyonlarından elde edilen sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Sıcaklık kontur değerleri Şekil 2’nin sol tarafında belirtilmiştir. Tüm düzlemlerde baca merkezindeki sıcaklık en yüksek seviyede olup, bu seviye merkezden duvarlara doğru yaklaştıkça azalma göstererek korunmakta, duvar yakınlarında ise aniden düşmektedir. Düzlemlerin ortalama sıcaklık değerleri L1 619 °C, L2 565 °C, L3 508 °C ve L4 470 °C olduğu görülmüştür.



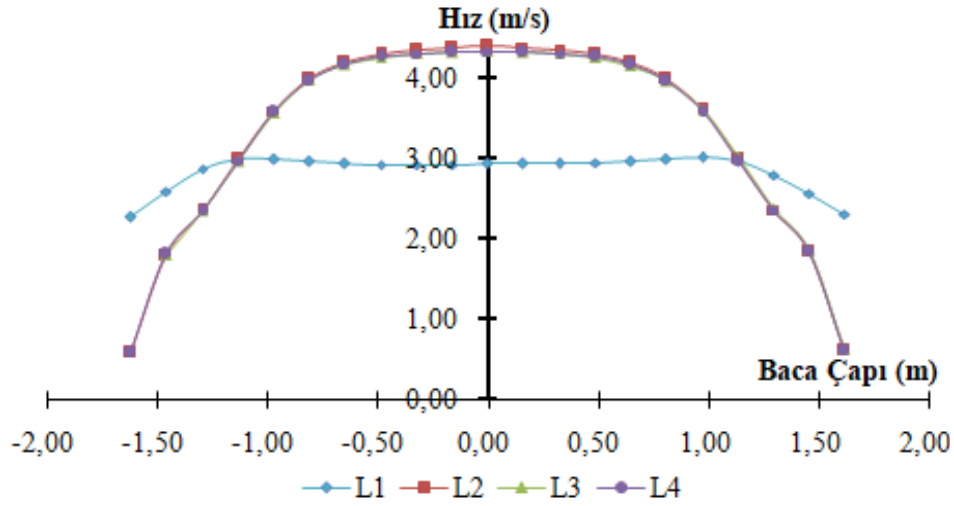
**Şekil 3.** L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinden elde edilen k-epsilon türbülans model simülasyonundan elde edilen hız vektörü dağılımları

Şekil 3’de L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinin k-epsilon türbülans model simülasyonundan elde edilen hız vektörü dağılımları verilmiştir. Bu düzlemlerden elde edilen ortalama hız değerleri L1 düzlemi için 2,85 m/s, L2 düzlemi için 3,32 m/s, L3 düzlemi için 3,30 m/s ve L4 düzlemi için 3,27 m/s dir. L1 düzleminde hız vektörleri baca duvarlarından merkeze doğru yönelmiş; L2 ve L3 düzlemlerinde ise baca duvarlarına yakın bölgelerde yer yer girdap oluşumu gözlemlenmiştir. Hız mertebeleri incelendiğinde L1 düzleminde hız diğer düzlemlere doğru bir artış göstermiş ve L2 düzleminde sonra baca çıkışına kadar yaklaşık olarak sabit kalmıştır.



**Şekil 4.** L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinin merkezlerinden geçen x-simetri ekseni çizgisi boyunca sıcaklık dağılımı

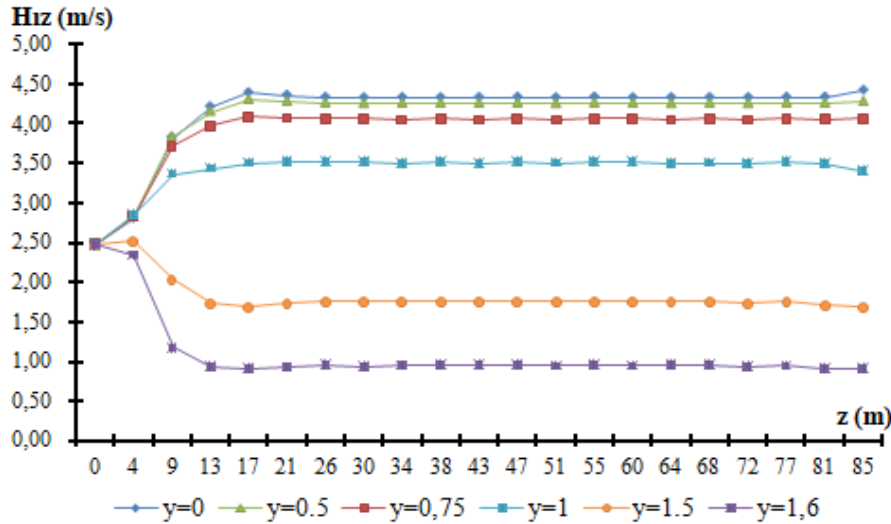
Şekil 4’de L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinin merkezlerinden geçen x-simetri ekseni çizgisi boyunca k-epsilon türbülans modeli çözümünden elde edilen sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. 0 noktası bacanın merkez noktasına karşılık gelmektedir. Tüm düzlemlerde bacanın merkez çizgisi boyunca sıcaklık sabit kalmış ve baca merkezinin sağ ve sol tarafındaki sıcaklık dağılımlarının simetrik olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık dağılımları baca duvarına yaklaştıkça azalma eğiliminde ve azalma eğiliminin baca girişinden çıkışına doğru yükseklik arttıkça arttığı gözlemlenmektedir.



**Şekil 5.** L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinin merkezlerinden geçen x-simetri eksenini çizgisi boyunca hız dağılımı

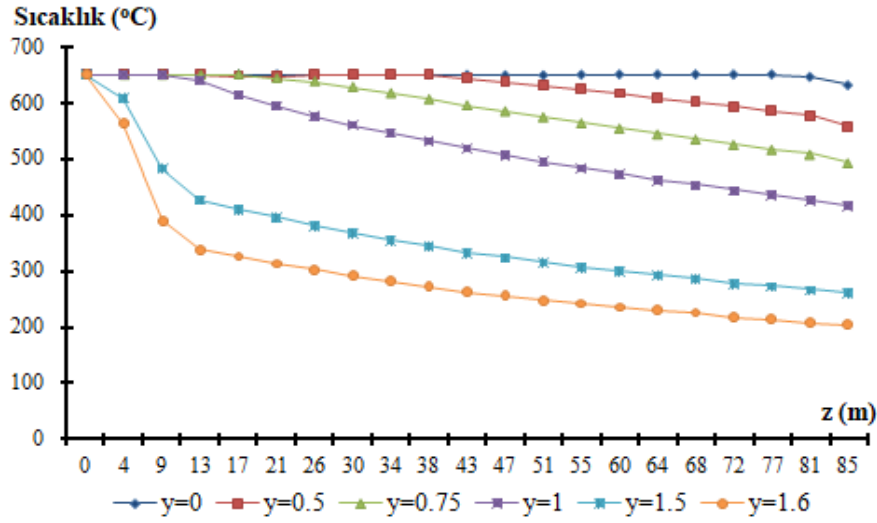
Şekil 5’de L1, L2, L3 ve L4 düzlemlerinin merkezlerinden geçen x-simetri eksenini çizgisi boyunca k-epsilon türbülans modeli çözümünden elde edilen hız dağılımı gösterilmektedir. L1 düzleminin hız profilinin diğer düzlemlerin hız profillerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. L2, L3 ve L4 düzlemlerinin hız profilleri incelendiğinde, x-simetri eksenini boyunca yaklaşık olarak aynı eğilimde oldukları ve bacanın duvarlarına doğru L1 düzleminde daha hızlı azaldığı görülmektedir.

Şekil 6’da baca merkezinin y eksenini doğrultusunda bacanın girişinden çıkışına kadar z-eksenini doğrultusunda çizilen çizgiler üzerindeki hız dağılımlarını göstermektedir.



**Şekil 6.** Bacanın girişinden çıkışına kadar z-eksenini doğrultusunda çizilen çizgiler üzerindeki hız dağılımları

Bacanın y-eksenini boyunca belirlenen noktalardan z-eksenini doğrultusunda çizilen çizgiler üzerindeki hız profilleri incelendiğinde; bacanın merkezine yakın çizgilerde 0-15m arasında hızın arttığı ancak baca duvarlarına yakın çizgilerde ise 0-15m arasında azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Hız profillerinin 15m’den sonra belirlenen tüm çizgilerde yaklaşık olarak sabit bir eğilimde olduğu görülmüştür.



**Şekil 7.** Bacanın girişinden çıkışına kadar z-ekseni doğrultusunda çizilen çizgiler üzerindeki sıcaklık dağılımları

Şekil 7'de baca merkezinin y eksenini doğrultusunda boyunca bacadan girişinden çıkışına kadar z-ekseni doğrultusunda çizilen çizgiler üzerindeki sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Bacanın merkezindeki  $y=0$  noktasında z-ekseni boyunca sıcaklığın sabit kaldığı ancak baca duvarlarına yaklaştıkça sıcaklığın daha hızlı azaldığı gözlemlenmiştir. Baca duvarlarına yakın çizgilerde sıcaklıkta ani düşüşlerin meydana geldiği görülmektedir.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada baca girişinden çıkışına kadar çeşitli kesitlerde meydana gelen sıcaklık ve hız alanları belirlenmiş ve k-epsilon türbülans modelinde bu alanların etkileşimleri araştırılmıştır. Elde edilen ilk belirlemelere göre, baca çıkışına doğru yaklaşıldıkça, hız profilinde artış gözlemlenmiştir. Bu duruma bacadan ilk 3-7m aralığında çap küçülmesinin neden olduğu söylenebilir. Bacanın duvarlarına yakın bölgelerde egzoz gazı hızının sıfıra yakınsadığı gözlemlenmiştir. Baca girişinden çıkışına doğru ilerledikçe, gaz karışımının sıcaklığı azalmaktadır. Baca içinde daha yüksek seviyelere çıkıldıkça, bacadan merkezi ile duvarları arasında oluşan sıcaklık farkında da bir azalma meydana gelmektedir. Bacanın çıkışında ortalama sıcaklık değeri  $460\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmüş ve ekonomizersiz endüstriyel tav fırınlarında ısı kaybının büyük oranda baca gazlarından olduğu sayısal analiz sonucunda da görülmüştür. Bir zemin çalışması niteliğinde olan bu çalışmada; HAD analizi Autodesk CFD programı ile yapılan sıcak haddehane tav fırını bacasının sıcaklık ve hız alanları değerlendirildiğinde doğru sonuçlar verdiği söylenebilir. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler çerçevesinde ısı geri kazanımı uygulamalarında yapılacak olan çalışmalar için Autodesk CFD programının ve k-epsilon türbülans modelinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. McAllister, J. Chen, and A. C. Fernandez-Pello, Thermodynamics of Combustion, Fundamentals of Combustion Processes. 1st Edition, Springer, USA, 18-20, 2011.
- [2] U.K. Terzi, R. Baykal, Efficient and effective use of energy: A case study of Tofas, Environmental Research, Engineering and Management, 1:55, 29-33, 2011.

- [3] B. Şimşek, E.H. Şimşek, T. Altunok, Empirical and statistical modeling of heat loss from surface of a cement rotary kiln system, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 28(1):59-66, 2013.
- [4] C. Xu, D. Cang, A brief overview of low CO<sub>2</sub> emission technologies for iron and steel making, Journal of Iran and Steel Research, 17: 3, 1-7, 2010.
- [5] M. A. Topbaş, Endüstri Fırınları, Cilt 1, 1991.
- [6] G. Ertem, B. Çelik, S. Yeşilyurt, Endüstriyel Tav Fırınlarında Isı Denklığı Hesaplamaları ve Enerji Verimliliğinin Belirlenmesi, IV. Ege Enerji Sempozyumu, İzmir, 1-8, 21-23, 2008.
- [7] Y.Q. Wang, Q.W. Dong, M.S. Liu, D. Wang, Numerical Study On Plate Fin Heat Exchangers With Plain Fins And Serrated Fins At Low Reynolds Number, Chemical Engineering And Technology, 2009.