

**İÇİNDE YANMA OLAN KARGAŞALI AKIMLARIN
MATEMATİKSEL MODELLEMESİ**

J. Akyurtlu, C. Ilıcalı, N. İşler



Doç.Dr. Jale Akyurtlu



Y.Müh. Nermin İşler

SUMMARY

A model previously developed to predict the temperature, velocity and concentration distribution for adiabatic confined jet systems was modified for nonadiabatic systems where the wall temperatures are given as boundary conditions, and radiative heat transfer which had been neglected in the original model was taken into account, thus rendering the model more generally applicable to confined jet systems. An empirical expression was used to evaluate the effective viscosity, and the four-flux model was used to account for radiative heat transfer. The predicted results have been compared with experimental data and the validity of the present model has been discussed.

ÖZET

Adiyabatik sınırlı jet sistemlerinde sıcaklık, hız ve konsantrasyon dağılımlarını saptamak için geliştirilen bir model, duvar sıcaklığı sınır koşulu olarak alınan adiyabatik olmayan sistemlere uyarlanmış, özgün modelde gözardı edilen ışıma yoluyla ısı transferi de bu modele katılarak sınırlı jet sistemlerine uygulanması açısından genellik kazandırılmıştır. Etkin akmaazlığı saptamak için ampirik bir denklem, ışımayı hesaplamak için dört akı modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılarak modelin geçerliliği tartışılmıştır.

GİRİŞ

Gerçek yanma sistemlerinin hem teorik, hem de deneysel incelemesi çok karmaşıktır. Bu nedenle yanma aerodinamiği dalındaki çalışmalar, yanma sistemlerini en iyi temsil eden fiziksel model olan sınırlı jet sistemleri üzerine yapılmıştır. Gosman ve diğerleri (1) tarafından adiyabatik sınırlı jet sistemleri için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelde momentum, kütle, enerji ve kimyasal tür sakınım denklemleri, sistemin termodinamiği ve kinetiğini veren yan denklemler yardımıyla çözülmektedir. Bu yan ilişkilerden biri, etkin akmaazlık modelidir. Gosman ve diğerleri (1), Pun ve Spalding (2) tarafından önerilen bir ifade kullanılmaktadır. Bu denklemin kullanılmasının en büyük yararı, etkin akmaazlığın yalnızca giriş şartlarına bağlı olduğu basit bir cebirsel denklem olması nedeniyle hesaplama zamanını büyük ölçüde azaltmasıdır. Etkin akmaazlığın saptanması için çok daha karmaşık modeller bulunmasına karşın, bu modeller, sakınım denklemlerinin yanısıra ek olarak diferansiyel denklemlerin çözümünü içermeleri nedeniyle hesaplama zamanını arttırmaktadırlar. Daha önce çeşitli türbülans modelleri kullanılarak araştırmalar yapılmış, (1,2,3,4, 5,6) ancak yanma sistemlerine genel olarak uyan bir model saptanamamıştır.

Bu çalışmada, adiyabatik sistemler için geliştirilen model (1), duvar sıcaklığı sınır şartı olarak verilen adiyabatik olmayan sistemlere uyarlanmış, ayrıca özgün modelde gözardı edilen ışıma yoluyla ısı transferi, modelin kapsamına alınmıştır.

İşıma yoluyla ısı transferinin modellenmesi de önemli bir sorun yaratmaktadır. Bu konuda çeşitli modeller geliştirilmiştir (7,8,9,10,11). Gosman ve Lockwood (12), dört akı modelini genel hesaplama programlarına (1) uyarlamışlardır. Sonuçlarının duvar boyunca tatmin edici olduklarını, ancak akış alanı içerisindeki sonuçların uyumlu olmaktan uzak olduklarını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ışıma yoluyla ısı transferini hesaba katmak için dört akı modeli kullanılmış, ancak bu modelin sınır şartları ve kaynak terimi, adiyabatik olmayan sistemlere ve değişken kafes aralıklarıyla değişken akı absorpsiyon katsayılarına uygulanacak şekilde geliştirilmiştir.

Geliştirilen bu modelden elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Modelin geçerliliği tartışılmış ve modelin genellik kazanabilmesi için öneriler ileri sürülmüştür.

MODEL

Modelde fırının boyutları, duvar sıcaklığı, yakıt ve havanın kimyasal ve fiziksel özellikleriyle giriş hızları girdi olarak verilmekte, çıktı olarak fırın içerisindeki sıcaklık, hız ve konsantrasyon dağılımları alınmaktadır.

Modelin başlangıç noktasını sakınım denklemleri oluşturmaktadır. Bunlar, sınır şartları ve sistemin termodinamik özelliklerini veren yan ilişkiler yardımıyla sonlu farklar tekniğiyle çözülmektedir.

Faz denklemi, ideal gaz kanunu ile sağlanmaktadır. Yanma tepkimesi, difüzyon kontrollü tek aşamalı bir tepkime olarak, aşağıda belirtilen şekilde alınmıştır:

1 kg yakıt + i kg oksitleyici → (1+i)kg ürün

Ayrıca sistemin hiçbir noktasında yakıt ve oksitleyicinin aynı anda bir arada bulunamayacağı da varsayılmıştır.

Etkin akma hızı hesaplamak için aşağıdaki ampirik denklem kullanılmıştır:

$$u_{eff} = K D^{2/3} W^{-1/3} \rho^{2/3} (\dot{m}_F u_F^2 + \dot{m}_O u_O^2)^{1/3} \quad (1)$$

Burada K bir sabit, D ve W sırasıyla fırının çapı ve genişliği, karışım yoğunluğu ve $\dot{m}$ ile u, sırasıyla kütle akış hızı ve hızdır. F ve o indisleri, giriş şartlarında yakıt ve oksitleyiciyi göstermektedir.

Işıma yoluyla ısı transferi, dört akı modelinin (12) kullanılmasıyla göz önüne alınmıştır. Işıma akılarını veren temel denklemler, (12) de verildiği gibi alınmıştır. Buna göre pozitif ve negatif yönde ısıma akı denklemleri

$$z \text{ yönünde: } \frac{dI_z}{dz} = -aI_z + aE \quad (2)$$

$$\text{ve } \frac{dJ_z}{dz} = aJ_z - aE \quad (3)$$

$$r \text{ yönünde: } \frac{d}{dr}(rI_r) = r(-aI_r + \frac{J_r}{r} + aE) \quad (4)$$

$$\text{ve } \frac{d}{dr}(rJ_r) = r(aJ_r + \frac{J_r}{r} - aE) \quad (5)$$

şeklindedir. Burada belirtilmesi gereken nokta, radyal yöndeki ısıma denklemlerinde yer alan J_r/r terimleri, yalnızca denklem (4) ve (5) arasında geometrik tutarlılık sağlamak ve böylelikle bu iki denklemi birleştirebilmek amacıyla Gosman ve diğerleri (12) tarafından bu denklemlere ilave edilmiştir.

Bu çalışmada sınır şartları, sınırlarda ısımalı enerji denkliği kurularak

yeniden belirlenmiştir. Buna göre, bu modelde kullanılan sınır şartı denklemleri aşağıdaki şekli almıştır:

1. Simetri ekseninde, eksen üzerinden net ısımalı ısı transferi olmayacağına göre, F_r 'in eksene dik gradyanı sıfırdır.
2. Diğer sınırlarda, genel sınır şartı denklemi aşağıdaki şekildedir:

$$F_w + \nabla \left(\frac{2-\epsilon_w}{\epsilon_w} \right) \frac{dF}{dn} \Big|_w = E \quad (6)$$

Burada n, z veya r yönüdür. Artı eksi işareti, iterasyonda gidilen yön nedeniyle yer almaktadır. Yukarıdaki denklemde ∇ ,

$$n = z \text{ iken } \frac{1}{a}$$

$$n = r \text{ iken } \frac{r}{1+ar}$$

terimlerini temsil etmektedir. (12) de verilen kaynak terimi, kafes noktalarının eşit olmayan aralıklarla düzenlenmesini göz önüne almak ve r ve z yönünde değişen akı absorpsiyon katsayılarını hesaba katmak üzere değiştirilmiş ve aşağıdaki şekli almıştır.

$$S_R = 2[a_z F_z + a_r F_r - (a_z + a_r)E] \quad (7)$$

Bu denklemin sağ tarafının, enerji denklemiyle birim açısından uyumlu olabilmesi için bir boyut faktörüyle çarpılması gerekmektedir. Bu boyut faktörü, herhangi bir noktada r ve z yönündeki kafes aralıklarının ortalaması olarak alınmıştır. Böylece enerji denklemine kaynak terimi olarak girecek terim,

$$S'_R = S_R (\Delta r + \Delta z)/2 \quad (8)$$

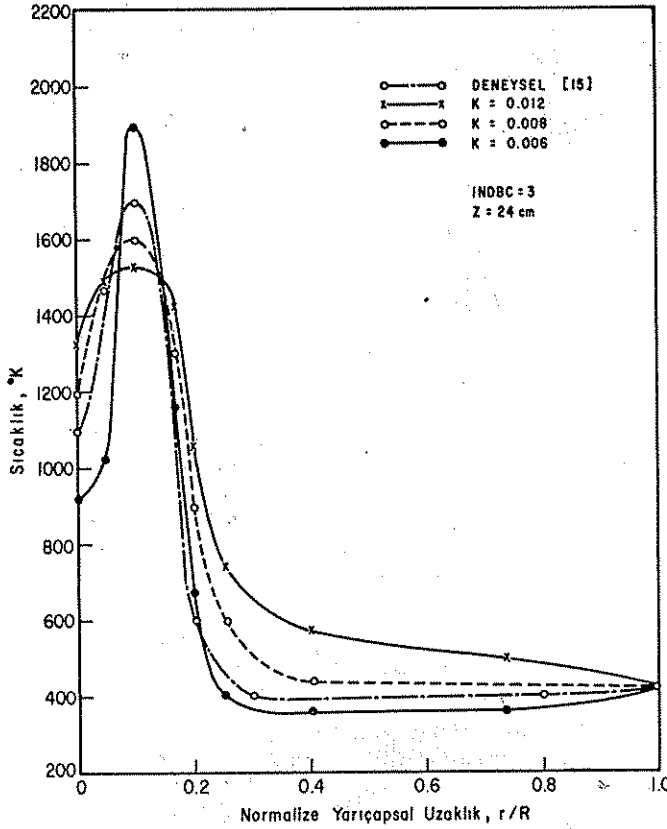
halini almaktadır.

TARTIŞMA

Modelde önemli bir sorun, etkin akma hızı denkleminde yer alan K sabitine uygun bir değer verilmesidir. Daha önce akış sistemlerinin aerodinamiği üzerine yapılan çalışmalar (2,13,14), tatmin edici sonuçlar veren K değerinin, sistemden sisteme değiştiğini göstermiştir. Daha önce eşsıcaklıklı eşmerkezli çift jet sistemleri için yapılan bir çalışma (14), $K=0.008$ değerinin uyumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. Benzer şekilde bu çalışmada da aynı değer, yamalı tek jet sistemi için diğerlerine göre daha uyumlu sonuçlar vermiştir.

Şekil 1'de, değişik K değerleriyle elde edilen yarıcapsal sıcaklık profilleri, Stewart ve diğerlerinin (15) deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu

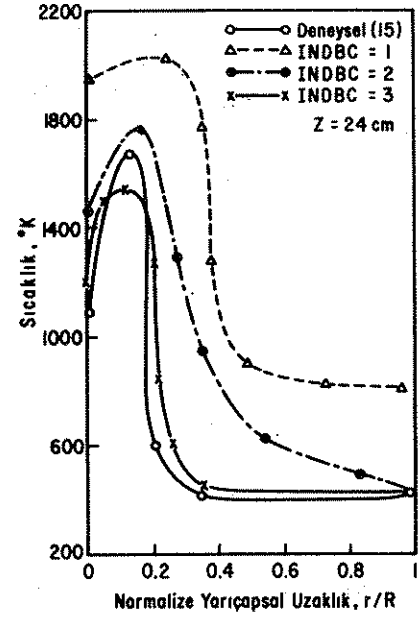
profiller, ısımalı ısı transferini göz önüne alan geliştirilmiş modellerle elde edilmiştir. Çeşitli K değerleri arasında 0.008 değerinin en iyi uyumu sağladığı görülmektedir.



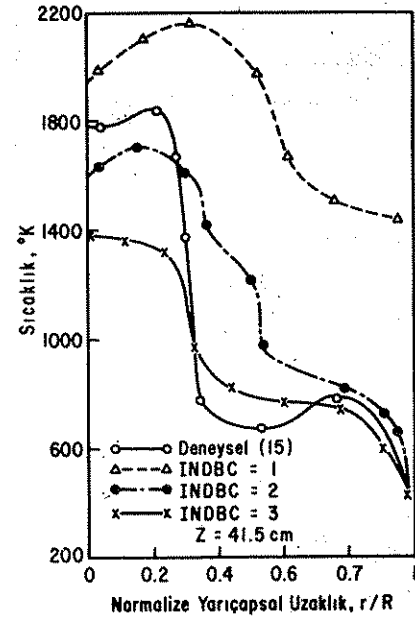
Şekil 1. Yarıçapsal Sıcaklık Dağılımının K değerine göre değişimi.

Kullanılacak K değeri böylelikle saptandıktan sonra ısımalı ısı transferinin modele dahil edilmesinin modelin geçerliliği üzerindeki etkisinin saptanması için model, adiabatik (INDBC=1), ısımasız adiabatik olmayan (INDBC=2) ve ısımalı adiabatik olmayan (INDBC=3) sistemler için uygulanmış, sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Yakıcıdan çeşitli uzaklıklardaki noktalarda elde edilen yarıçapsal sıcaklık profilleri, Şekil 2,3 ve 4'te gösterilmiştir. Şekil 2, yakıcıdan 24 cm uzaklıkta yukarıda belirtilen 3 ayrı durum için elde edilen yarıçapsal sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Stewart ve diğerlerinin (15) deneysel verileriyle en iyi uyumu, INDBC=3 durumunun gösterdiği açıktır. Yakıcıdan uzaklaştıkça (Şekil 3) simetri ekseninde ve alev hattında INDBC=3 ile elde edilen sonuçlarla deneysel veriler arasındaki uyumun tatmin edici olmaktan uzak olduğu, hatta ısımanın göz ardı edilmesi halinde (INDBC=2) daha



Şekil 2. Yarıçapsal Sıcaklık Dağılımı.



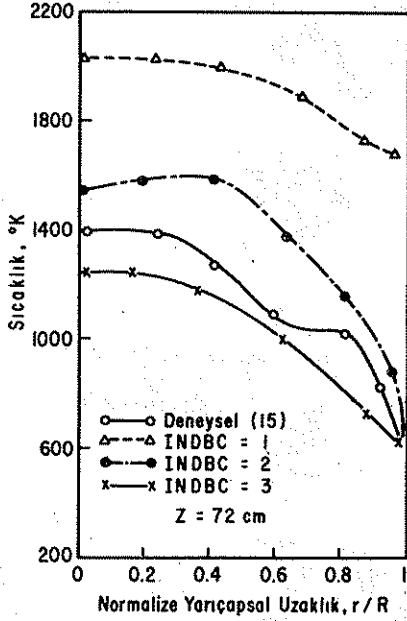
Şekil 3. Yarıçapsal Sıcaklık Dağılımı.

uyumlu sonuçlar alındığı görülmektedir. Ancak, alev hattının ötesinde, duvara doğru gidildiğinde yine ısımanın hesaba katıldığı durum, deneysel verilere daha yakın sonuçlar vermektedir.

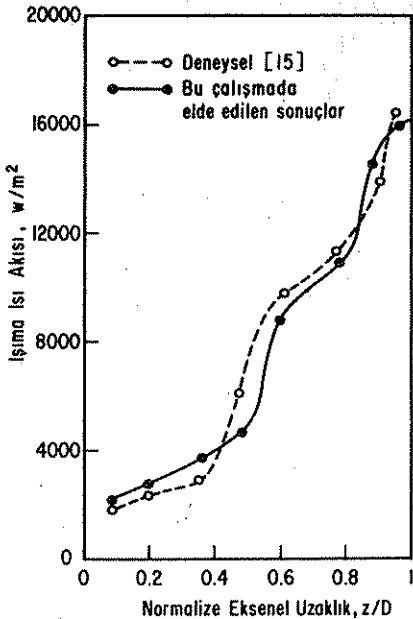
Fırının çıkışına doğru, Şekil 4'te görüldüğü gibi INDBC=3 ile elde edilen

sonuçlar deneysel verilerin altında iken $INDBC=2$, deneysel verilerin üzerinde sonuç vermektedir. Her iki durumda da deneysel verilerden gösterdiği sapmanın hemen hemen eşit olduğu görülmektedir.

Şekil 5, duvardaki ısı akı dağılımını göstermektedir. Deneysel verilerle elde edilen sonuçların iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Yarıçapsal Sıcaklık Dağılımı.



Şekil 5. Duvardaki Işıma Isı Akısı Dağılımı

Şekil 2,3,4 ve 5 göz önüne alındığında, ışımalı ısı transferini içeren modelin, yakıcıya yakın kısımlarda ve duvarda iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ancak, simetri eksen ve çıkışa yakın kısımlarda sonuçlar tatmin edici değildir. Gosman ve diğerleri (12) de bu çalışmada etkin akma hızı hesaplamak için kullanılan basit cebirsel denklem yerine $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanarak benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu tartışmaların sonucu olarak, aslında basit ve kaba bir denklem gibi görülen etkin akma hızı ifadesinin, $k-\epsilon$ modeli gibi karmaşık bir modele yakın sonuçlar verdiği, bu nedenle hesaplama zamanını çok büyük bir ölçüde azaltan bu ifadenin seçilmesinin ve bu ifadenin geliştirilmesinin yerinde olacağı söylenebilir. Ana modeli daha etkin bir hale getirmek için ısıma modeli üzerine eğilmek gerekecektir. Işıma modelinin geliştirilmesi, ana modele bir genellik kazandıracaktır.

SONUÇ

Sakınım denklemleri, sistemin termodinamik özelliklerini veren yan ilişkiler yardımıyla çözümlenerek sınırlı jet sistemlerinde sıcaklık, hız ve konsantrasyon dağılımları saptanmıştır. Pun ve Spalding'in (2) ampirik akma hızı denkleminde K sabitinin nümerik değerinin 0.008 olarak alınmasının en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

Yakıcıya ve duvara yakın kısımlarda elde edilen sonuçların deneysel verilerle tatmin edici bir uyum sağladığı gözlenmiştir. Akış alanı içerisindeki sapmaların daha çok kullanılan ısıma modelinden kaynaklandığı saptanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan ana modelin, değişik ısıma modelleriyle denemesi, ana modele bir genellik kazandıracak ve bu modelin sınırlı jet sistemlerinin hız, sıcaklık ve konsantrasyon dağılımlarının saptanmasında rahatlıkla uygulanabilecek hale getirilmesine yardımcı olacaktır.

SİMGELER

- a Akı absorpsiyon katsayısı
- D Fırın çapı
- E Karacisim yayılım gücü
- F Akı toplamı
- K Etkin akma hızı denklemindeki sabit
- $\dot{m}$ Kütle akış hızı
- n ele alınan yön
- R yarıçapsal uzaklık
- S_R Akı denklemlerinden elde edilen kaynak terimi
- S_R' Enerji sakınım denkleminde kaynak terimi

W Fırın boyu
z Eksenel uzaklık
e Yayınım katsayısı
p yoğunluk
μ akma hızı
Ar r yönünde iki kafes noktası
arasındaki uzaklık
Az z yönünde iki kafes noktası
arasındaki uzaklık

İNDİSLER

eff etkin
F giriş şartlarında yakıt
o giriş şartlarında oksitleyici
r yarıçap
z eksenel
w duvar

KAYNAKLAR

1. Gosman, A.D., Pun, W.M., Runchal, A.K., Spalding, D.B., ve Wolfstein, M.W., Heat and Mass Transfer in Recirculating Flows, Academic Press, New York, (1969).
2. Pun, W.M., ve Spalding, D.B., "A procedure for Predicting the Velocity and Temperature Distributions in a Confined, Steady, Turbulent, Gaseous Diffusion Flame", Imperial College, Mech.Eng..Dept. Rep.SF/TN/11.(1967).
3. Gunther, R., ve Lenze, B., "Exchange Coefficients and Mathematical Models of Jet Diffusion Flames", 14th Symp. (Int.) on Comb., pp.675-689, (1973).
4. Launder, B.E., Morse, A., Rodi, W., ve Spalding, D.B., "The Prediction of Free Shear Flow. A Comparison of the Performance of the Six Turbulence Model", Imperial College, Mech.Eng. Dept.Rep. TM/TN/B/19. (1972).
5. Lilley, D.G., ve Chigler, N.A., "Nonisotropic Turbulent Stress Distribution in Swirling Flows from Mean Value Distributions", Combustion and Flame, 16, pp.177-189, (1971).
6. Kolbe, W., and Kollman, W., "Prediction of Turbulent Diffusion Flames with a Four-Equation Turbulence Model", Acta Astronautica, 7, pp.91-104, (1980).
7. Hottel, H.C., ve Sarofim, A.F., Radiative Transfer, McGraw-Hill, NY, (1967).
8. Hottel, H.C., ve Cohen, E.S., "Radiant Heat Exchange in a Gas-Filled Enclosure: Allowance for Non-uniformity of Temperature", A.I.Ch. E.J., v.4, No.3, pp.3-14, (1958).
9. Hottel, H.C., ve Sarafim, A.F., "The Effect of Gas Flow Patterns on Radiative Heat Transfer in Cylindrical Furnace Enclosures", Int.J. Heat Mass Transfer, v.8, No.9, pp.1153-1168, (1965).
10. Howell, J.R., ve Siegel, R., Thermal Radiation Heat Transfer, McGraw-Hill, NY, 1972.
11. Hamaker, H.C., Phillips Research Reports, v.2, pp.55,103,112,420, (1947).
12. Gosman, A.D., ve Lockwood, F.C., "Incorporation of a Flux Model for Radiation into a Finite Difference Procedure for Furnace Calculations", 14th Symp. (Int.) on Comb., pp.661-671, (1973).
13. Gürüz, A.G., "Flow Pattern and Mixing Studies in a Non-Isothermal Cylindrical Enclosure", Kimya Müh. Doktora Tezi, Univ. New Brunswick, (1973).
14. Ilıcılı, C., "An Experimental and Theoretical Investigation of the Aerodynamics of the Isothermal Confined Double Concentric Jet System. Kimya Müh. Doktora Tezi, ODTÜ (1979).
15. Steward, F.R., Osuwan, S., ve Picot, J.J.C., "Heat Transfer Measurements in a Cylindrical Test Furnace", 14th Symp. (Int.) on Comb., pp.651-660, (1973).

İN UCUZ ENERJİ
ÖNLEM ALINARAK
KAZANILANDIR.