

TİTREŞİM YAPAN BORULARDA ISI TRANSFERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Hasan GÜL ve Duygu EVİN

Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ
Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ
hgul@firat.edu.tr, devin@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 18.07.2006; Kabul/Accepted: 05.12.2006)

ÖZET

Bu çalışmada, belirli genlik ve frekans değerlerinde salınım yapan silindirik borularda ısı transferi ve basınç kaybı karakteristikleri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda bir titreşim mekanizması dizayn edilmiştir. Salınım frekans değeri $f=0.008$ Hz ile 1.988 Hz arasında, boyutsuz genlik $X=3, 6, 9$ arasında ve salınım Reynolds sayısı ise 5000–25000 arasında seçilmiştir. Genliğin ve frekansın ısı transferi ve basınç kaybı katsayısı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Salınımlı akış, titreşim, ısı transferi, türbülanslı akış.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN OSCILLATING PIPES

ABSTRACT

In this study, characteristics of heat transfer and pressure loss of oscillating pipes at certain amplitudes and frequencies were investigated. For this aim, an oscillating mechanism was designed. Experiments were conducted for the oscillating frequency f , in the range of 0.008- 1.988 Hz and dimensionless amplitude $X=3, 6, 9$. Reynolds number was changed from 5000 to 25000. It was determined that oscillating amplitude and frequency was reasonably effective on heat transfer and friction factor.

Keywords: Pulsating flow, oscillation, heat transfer, turbulent flow.

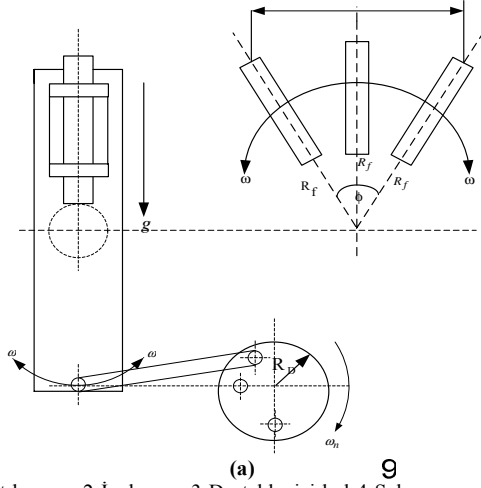
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Akışın periyodik olarak dalgalanması ısı transferi ve akış karakteristiklerinde farklılık yaratır. Genellikle akışın dalgalanması veya titreşimi iki kategoriye ayrılır: dalgalı akış ve salınım yapan akış. Titreşimli akışta ısı transferi birçok endüstriyel üretim alanlarında, askeri ve sivil amaçlı olarak, motorların soğutulması ve nükleer reaktörlerin soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Buna ilaveten insan kanının sirkülasyonu titreşimli akış ve ısı transferine tipik bir örnek olarak verilebilir.

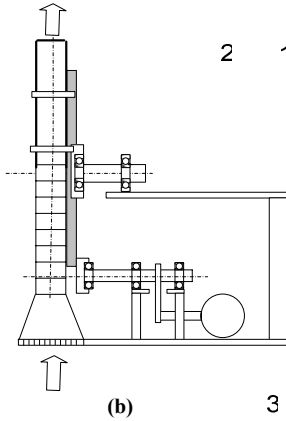
Titreşimli laminer akışta ısı transferi birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Ancak titreşimli türbülanslı akışta ısı transferi pratik uygulamalardan dolayı çok daha ilginç ve önemlidir. Ancak bu konuda yapılan çalışmalar hala eksiktir. Titreşimli türbülanslı

akış üzerine az da olsa çalışmalar yapılmıştır. [1–6]. Bu çalışmalarda; frekansın Nusselt sayısını direkt olarak etkilemediği [7], ısı transferinde herhangi bir iyileşmenin olmadığı [8], Nusselt sayısının belli bir frekansın altındaki değerlerde olumsuz olarak etkilendiği [9], ısı transferindeki iyileşmenin belli bir frekans değerinde ve büyük genlik değerlerinde oluştuğuna ilişkin sonuçlar bulunmuştur. [10]. Gbadebo ve arkadaşları [11] deneysel olarak sabit ısı akışı altında türbülanslı ve titreşimli akış ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu araştırmacılar, belli aralık değerlerinde Nusselt sayısının önce artış gösterdiğini ancak daha sonra frekans artışı ile düştüğünü, yani çok yüksek ve çok düşük değerlerdeki frekansın ısı transferini olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Bu çalışmaların çoğunluğunda [9, 11, 12, 13] bazı önemli değişkenler, örneğin salınım genliği gibi, yer almamaktadır. Bu çalışmada genlik ve frekansın ısı

transferi üzerine etkilerini belirlemek için bir salınım mekanizması yapılmış ve bu iki önemli parametrenin etkisi deneysel olarak incelenmiştir.



1-Test borusu, 2-İzolasyon 3-Destekleyici kol 4-Salınım yapan kol 5-Dönen disk 6-Genlik ayarlayıcı pimler 7.Genlik ayarlama disk. 9. Hava çıkışı



1-Test borusu, 2-Esnak boru, 3- Yatak, 4-Kayış-kasnak, 5-Salınım yapan kol, 6- Destek 7-Genlik ayarlama disk, 8-Hava girişi, 9- Hava çıkışı.10. Tutucular, 11. Elektrik motoru.

Şekil 1. Salınım mekanizması (Oscillating mechanism)

2. SALINIM MEKANİZMASI (OSCILLATING SET-UP)

Şekil. 1-a'da görüldüğü gibi elektrik motorunun (11) ω_n açısız hızı ile dönmesi sonucu (6) pimine bağlı kol (5) nolu deney borusunun (1) bağlı bulunduğu (3) no'lu parçaya salınım hareketi yaptırmaktadır. (6) nolu pimler (7) nolu disk üzerinde farklı yarıçap değerlerine, RD, monte edilmiştir. Deney elemanın genliği; (5) kolun (7) nolu parça üzerinde bağlandığı noktaların (6) yerinin değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Genlik değerini belirleyen RD değeri 15 mm, 30 mm ve 45 mm olarak belirlenmiştir. Genlik değeri (5) nolu kolun bağlandığı RD yarıçapına bağlı olup bu çalışmada $X=30, 60, 90$ mm olarak seçilmiştir. Boyutsuz genlik değeri ise

$$X = \frac{R_D}{D} \text{ olarak tanımlanmakta ve boyutsuz genlik } 3, 6,$$

9 değerlerini almaktadır. Elektrik motorunun devri 250 dev/dak ile 1000 dev/dak arasında değişmektedir. Açısız hız da bu değerler bağlı olarak değişmektedir.

Elektrik motoruna bağlı olarak sabit açısız, ω_n , hız ile hareket eden kol (4), deney elemanın bağlı bulunduğu (3) nolu kolunun açısız hızını, ω , değiştirmekte ve bu değişimin değeri, ϕ açısına bağlı olmaktadır. ϕ değeri $0 - \pi/4$ arasında değişmektedir. Test borusunun (1) açısız hızı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\omega = \frac{R_D}{R_f} \omega_n \sin \phi \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de görüldüğü gibi açısız hız, ϕ açısına bağlı olarak değişmekte ve ϕ 'nin farklı değerleri için farklı büyüklükte olmaktadır.

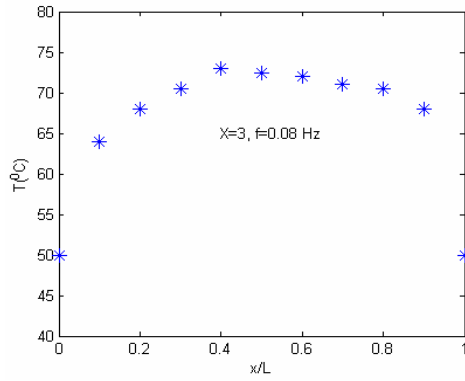
3. DENEYSEL ÖLÇME VE YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD AND MEASUREMENT SYSTEM)

Şematik resmi Şekil 1'de görülen deney düzeneği, titreşen kol, deney borusu, ısıtma sistemi ve ölçme elemanlarından oluşmaktadır. Deney elemanı olarak uzunluğu 200 mm, iç çapı 9 mm ve dış çapı ise 10 mm olan paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deney borusunun ısıtılması elektrikli direnç telleri ile yapılmıştır. Deney borusunun üzerine eş aralıklarla sarılan direnç telleri ile deney borusunun üzerinde uniform bir ısı akışı sağlanmıştır. Direnç telleri ve deney borusu arasındaki temas, ısıya dayanıklı yalıtkan bant ile engellenmiştir. Deney elemanın cidarda sabit ısı akışı verilmiştir. Deney elemanın duvar sıcaklıklarını ölçmek için; eşit aralıklarda ve boru boyunca helisel olarak açılan ince kanallara 10 adet termo-ölelelele çifti yerleştirilmiştir. Isı kaybını önlemek için test borusu ısı iletimi düşük olan bir yalıtkan malzeme ile izole edilmiştir.

Kayıp ısı miktarını belirlemek için test borusunun içi yalıtkan bir malzeme ile doldurularak farklı ısı güçlerinde, farklı frekans ve genlik değerlerinde ısı kayıp deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışma koşullarında belirlenen frekans ve genlik değerlerinde duvar sıcaklıklarının zamanla değişimi incelenmiş ve ısıl denge kurulduktan sonra duvar sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı kaydedilmiştir. Ölçülen deney borusunun cidar sıcaklıklarının boru boyunca değişimi Şekil 2'de verilmiştir.

9

6



Şekil 2. Duvar sıcaklığının boru boyunca dağılımına tipik bir örnek (A typical wall temperature distribution along test pipe)

Deney borusunun ortalama yüzey sıcaklığı;

$$F = \frac{h}{2} [T_1 + 2T_2 + 2T_3 + \dots + 2T_9 + T_{10}] \quad (2)$$

$$\bar{T}_w = \frac{F}{L} \quad (3)$$

eşitliği ile bulunur. Burada h , ölçüm yapılan iki nokta arasındaki uzaklık, T_1, T_2, T_n ise boru boyunca cidarda ölçülen sıcaklıklar, T_w ortalama duvar sıcaklığı, L deney elemanın uzunluğudur. Farklı ısı güçlerinde ısı kayıp katsayısını belirlemek için (4) eşitliği kullanılmaktadır.

$$\dot{Q}_{kayıp} = \bar{n}(\bar{T}_w - T_o) \quad (4)$$

Burada \bar{n} katsayısı salınım mekanizmasının frekans ve genliğine bağlı olup, $0.0480 \leq \bar{n} \leq 0.078$ arasında değişmektedir. Ortalama ısı transfer katsayısı ise; ortalama cidar sıcaklığı ve ortalama akışkan sıcaklığı dikkate alınarak;

$$\bar{h} = \frac{Q_{\text{verilen}} - Q_{\text{kayıp}}}{A(\bar{T}_w - \bar{T}_b)} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanabilir ve ortalama Nusselt sayısı ise;

$$Nu = \frac{\bar{h}D_h}{k} \quad (6)$$

eşitliği ile bulunur. Burada k akışkanın ısı iletim katsayısı, D_h hidrolik çap ve \bar{h} ortalama ısı taşınım katsayısıdır. Gelişmiş türbülanslı akış için silindirik borularda Nusselt sayısı, Petukhov ve Popov tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır [14,15].

$$Nu_{\text{corl}} = \frac{(f/2)RePr}{(1+13.6f)+(11.7+1.8Pr^{-1/3})(f/2)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (7)$$

buradaki f eşitlik(8)'de tanımlanmıştır.

$$f = (3.64 \log Re - 3.28)^{-2} \quad (8)$$

Isı transferi deneylerinde salınım hareketi yapan ısıtılmış test borusunun içinden geçen akışkana cidardan sabit ısı akısı verilmiştir. Genlik, frekans,

duvar sıcaklığı, akışkanın giriş-çıkış sıcaklıkları ve akışkanın debisi ölçülmüştür. Reynolds sayısı salınım yapan silindirik borular için;

$$Re_{osc} = \frac{2\pi f x_o D}{v}, \quad x = x_o \sin[2\pi f t];$$

$$\dot{x} = x_o 2\pi f \cos[2\pi f t]; \quad \dot{x}_{peax} = 2\pi f x_o = V_{scale} \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır.

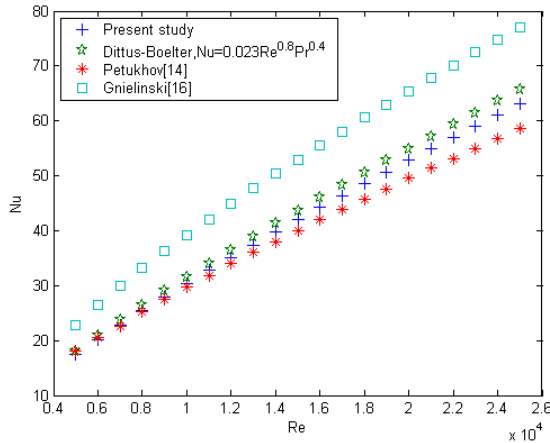
$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right)\rho \frac{v^2}{2}}; \quad v = \frac{\dot{m}}{\rho \frac{\pi D^2}{4}} \quad (10)$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

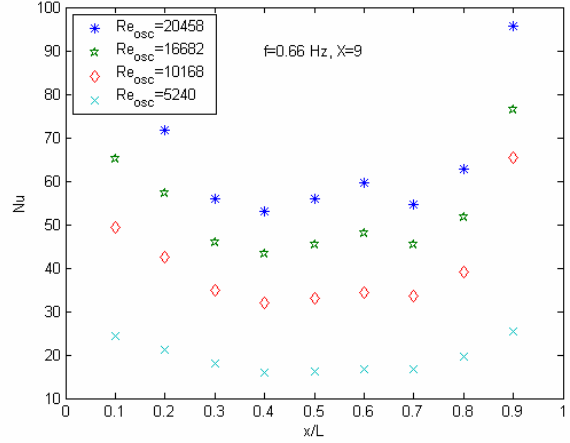
Deneylerde hata oranını azaltmak için $f=0$ ve $X=0$ durumunda (salınım yapmayan boru) doğrulama deneyleri yapılmış ve sonuçlar $[(Nu=0.023Re^{0.8}Pr^{0.4})]$, Petukhov [7] ve Gnielinski [16] tarafında verilen bağıntıları ile karşılaştırılmıştır (Şekil.3). Deneylerde genlik ve frekansın ısı transferine etkilerini belirlemek için elde edilen bulgular Şekil 4-7 arasında verilmiştir. Akışkanın merkezkaç doğrultusunda hareketi esnasında yerel Nusselt sayısının boru boyunca değişimi Şekil 4-5'te verilmiştir. Re sayısını artışı ile yerel Nusselt sayılarının arttığı ancak bu artışların boru girişi ve çıkışı yakın noktalarda daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5'te ise frekans artışının ısı transferi üzerinde olumlu etki yaptığı görülmektedir. Deneysel sonuçlarına göre; salınım durumunda ısı transferi, salınım frekansına bağlı olarak statik duruma göre artmaktadır. Genlik değeri sabit tutulduğunda frekans artışı ile Yerel Nusselt sayılarında da artış görülmektedir. Ancak bu artışın borunun uç noktalarında daha yüksek olduğu ve Nu değişiminin boru boyunca içbükey bir görüntü aldığı görülmektedir. Şekil 6'da boyutsuz genlik değerleri $X=3, 6, 9$ için $f=1.320$ Hz sabit alınarak Nu-Re değişimi verilmiştir. Genlik artırıldığında ısı transferinde azalma görülmektedir.

Şekil 7'de genlik değeri sabit tutularak frekans değerinin değişiminin ısı transferi üzerine etkisi incelenmiştir. Aynı genlik değerlerinde frekans değerinin artması ile boş boruya göre Nusselt sayısında bir artış olduğu ve yüksek frekans değerlerinde ısı transferinde boş boruya göre yaklaşık %20 değerlerinde bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

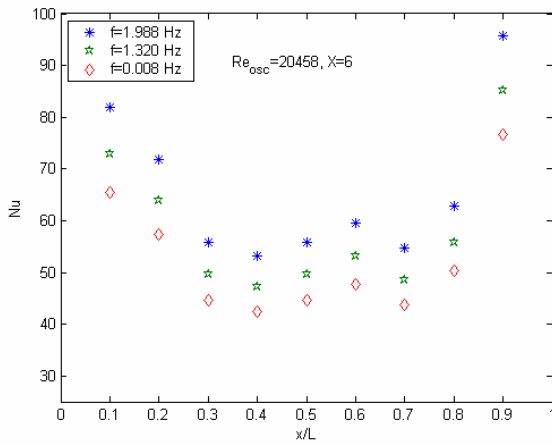
Şekil 8'de genlik ve frekansın sürtünme katsayısı üzerine etkisi görülmektedir. Petukhov tarafından, statik boru için tanımlanan (8) bağıntı ile karşılaştırıldığında; boş boru deneylerinin iyi bir uyum sağladığı ayrıca sürtünme katsayısında frekans değerine bağlı olarak %120-%300 arasında bir artışın olduğu tespit edilmiştir.



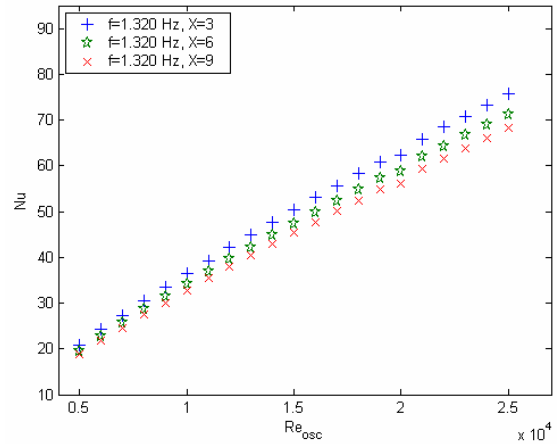
Şekil 3. Boş boru doğrulama deneyleri
(Empty pipe correction experiments)



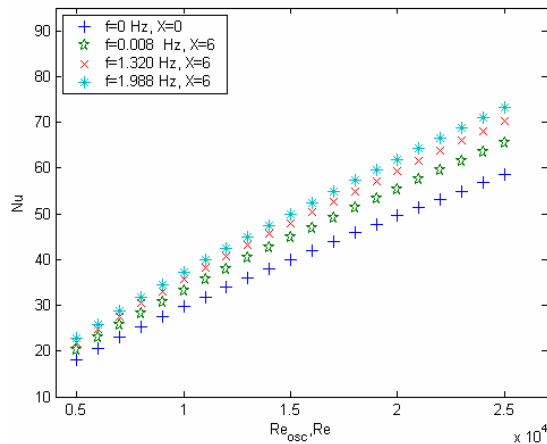
Şekil 4. Yerel Nusselt sayısının x/L ile değişimi
(Local Nusselt Number versus x/L)



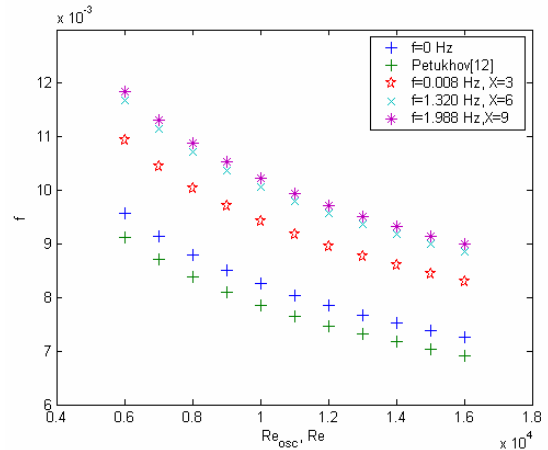
Şekil 5. Yerel Nusselt sayısının x/L ile değişimi
(Local Nusselt number versus x/L)



Şekil 6. Genliğin Nusselt sayısı üzerine etkisi
(Effect of dimensionless amplitude on Nusselt Number)



Şekil 7. Frekansın Nusselt sayısı üzerine etkisi
(Effect of frequency on Nusselt number)



Şekil 8. Genlik ve frekans değişiminin sürtünme katsayısı üzerine etkisi
(The effects of amplitude and frequency variations on friction coefficient)

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Akışkan borusunun salınım yapması durumunda meydana gelen dış kuvvetler boru içindeki akışı etkilemektedir. Boru ekseninde boru cidarına göre, sıcaklığı daha düşük olan akışkan akmaktadır.

Merkezkaç kuvvet daima radyal doğrultuda akışkana etki etmektedir. Yoğunluğu cidardaki akışkana göre büyük olan akışkan partikülleri merkezkaç kuvvet nedeniyle daha hızlı hareket etmektedir. Aynı zamanda periyodik salınım hareketinin akışa ilave bir türbülans verdiği ve dolayısı ile genlik ve frekans değerlerine

bağlı olarak ısı transferinde değişen oranlarda iyileşmenin olduğu görülmektedir.

SEMBOLLER (LIST OF SYMBOLS)

A	: Isı transfer alanı, (m ²)
C _p	: Özgül ısınma ısısı, (kJ/kgK)
D	: Test borusunun iç çapı, (m)
h	: Isı taşınım katsayısı, (W/m ² K)
k	: Isı iletim katsayısı, (W/mK)
L	: Test borusunun uzunluğu, (m)
m	: Kütleli debi, (kg/s)
Nu _f	: Salınım Nusselt sayısı
Nu	: Statik boru için Nusselt sayısı
Pr	: Prandtl sayısı, ($\mu C_p/k$)
Q	: Toplam ısı miktarı, (W)
Re	: Reynolds sayısı, ($u_{av}D/\nu$)
Re _{osc}	: Salınım Reynolds number, ($Re_{osc}=2\pi X_0D/\nu$)
T	: Sıcaklık, (K)
ΔT	: Boru duvarı ile akışkan arasındaki sıcaklık farkı T_w-T_b , (K)
V _{scale}	: Akışın efektif ortalama hızı, (m/s)
f	: Frekans, (s ⁻¹)
X ₀	: Genlik, (m)

Yunan Harfleri (Greek symbols)

ρ	: Yoğunluk, (kg/m ³)
μ	: Dinamik viskozite, (Ns/m ²)
ν	: Kinematik viskozite, (m ² /s)
ϕ	: Açık, (rad)

Alt indisler (Subscripts)

b	: Yığın
i	: Giriş
loss	: Kayıp
s	: Statik boru
w	: Duvar

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Gerrard, J.H., "An experimental investigation of pulsating turbulent water flow in a tube", **J. Fluid Mech.**, Cilt 46, No 1, 43-64, 1971.
- Mizushina, T., Maruyama, T. ve Shiozaki, Y., "Pulsating turbulent flow in a tube", **J. Chem. Eng. Jpn.**, Cilt 6, No 6, 487-494, 1973.
- Mizushina, T., Maruyama, T. ve Hirasawa, H., "Structure of the turbulence in pulsating pipe flows", **J. Chem. Eng. Jpn.**, Cilt 8, No 3, 210-216, 1975.
- Kirmse, R.E., "Investigation of pulsating turbulent pipe flow", **J. Fluids Eng.**, Cilt 101, No 4, 436-442, 1979.
- Tu, S.W., Ramaprin, B.R., "Fully developed periodic turbulent pipe flow, Part 1. Main experimental results and comparison with predictions", **J. Fluid Mech.**, Cilt 137, 1983.
- Shemer, L., Wygnanski, I. ve Kit, E., "Pulsating flow in a pipe", **J. Fluid Mech.** 153 (1985) 313-337.
- Mao, Z.X., Hanratty, T.J., "Studies of the wall shear stress in a turbulent pulsating pipe flow", **J. Fluid Mech.**, Cilt 170, 545-564, 1986.
- Genin, L.G., Koval, A.P., Manchka, S.P. ve Sviridov, V.G., "Heat transfer and friction for pulsating water flow in a pipe", **Heat Transfer Res.**, Cilt 25, No 2, 192-195, 1993.
- Havemann, H.A. ve Rao, N.N.N., "Heat transfer in pulsating flow", **Nature**, Cilt 174, No 41, 1954.
- Karamercan, O.E. ve Gainer, J.L., "The effect of pulsations on heat transfer", **Ind. Eng. Chem. Fundam.**, Cilt 18, No 1, 11-15, 1979.
- Gbadebo, S.A., Said, S.A.M. ve Habib, M.A., "Average Nusselt number correlation in the thermal entrance region of steady and pulsating turbulent pipe flows", **Heat Mass Transfer**, Cilt 35, No 5, 1999.
- Lemlich, R., "Vibration and pulsation boost heat transfer", **Chem. Eng.**, Cilt 68, No 10, 171-176, 1961.
- Al-Hadad, A.A. ve Al-Binally, "Prediction of heat transfer coefficient in pulsating flow", **Int. J. Heat Fluid Flow**, Cilt 10, No 2, 131-133, 1989.
- Petukhov, B.S., "Heat transfer and friction in turbulent pipe flow with variable physical properties", **Advances in Heat Transfer**, Cilt 6, Academic Press, New York, A.B.D, 504-564, 1970.
- Petukhov, B.S. ve Popov, V.N.N., "Theoretical calculation of heat Exchange and frictional resistance in turbulent flow in tubes of incompressible fluid with variable physical properties", **High Temp.**, Cilt 1, 69-83, 1963.
- Incropera, P.F. ve De Witt, D., **Introduction to Heat Transfer**, John Wiley & Sons Press, New York, A.B.D, 456, 1987.