

SEGMAN YERLEŞTİRİLMİŞ BİR BORUDA ISI TRANSFERİ*

Orhan BÜYÜKALACA ve Abdullah ÇINGİ
Ç.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada boru içerisine, boru cidarından belirli bir mesafede segman yerleştirilerek, segmanların ısı transferi ve basınç kaybına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. İlk aşamada boş boru deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları literatürde yaygın olarak kullanılan eşitliklerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra, 2 adet farklı dizilişe sahip segman grubu kullanılarak, basınç kaybı ve ısı transferi artışı her bir segman grubu için ayrı ayrı belirlenmiştir. Isı transferindeki net artışı belirleyebilmek için sonuçlar hem sabit Reynolds sayısı hem de sabit pompalama gücü için ayrı ayrı incelenmiştir. En yüksek ısı transferi artışı, hem sabit Reynolds sayısı hem de sabit pompalama gücü için 1 nolu segman grubu ile (segmanlar arası mesafe 56 mm ve segmanların boru iç cidarından uzaklığı 2 mm) elde edilmiştir.

HEAT TRANSFER INSIDE A PIPE WITH RING INSERTS

ABSTRACT : In this study, heat transfer in a pipe with the ring inserts separated from the pipe wall was investigated experimentally. Firstly, empty pipe experiments were carried out. The results of the empty pipe experiments were found to be in good agreement with the widely-used equations available in the literature for the convective heat transfer and pressure drop in pipes. Then, 2 different ring insert groups were used separately to investigate the heat transfer enhancement. To determine the net heat transfer enhancement, the results were evaluated separately for both equal Reynolds number and equal pumping power. The maximum heat transfer increase was obtained from the ring group 1 (the distance between the ring inserts was 56 mm and the distance of the ring inserts from the wall was 2 mm) for both equal Reynolds number and equal pumping power.

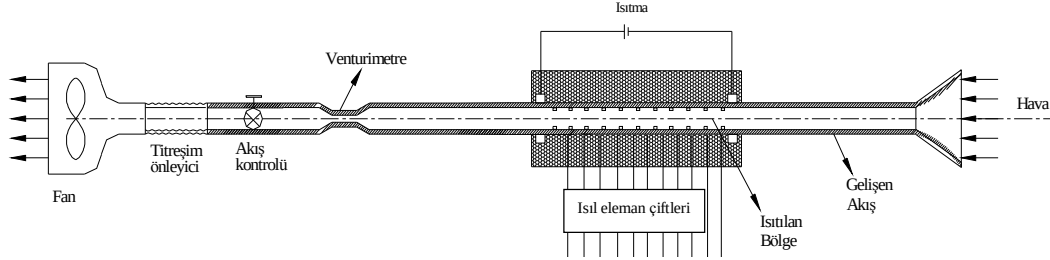
* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: MMF2002BAP45

1. GİRİŞ

Günümüzde, enerji kaynaklarındaki azalma ve enerji maliyetlerinin hızla artması neticesinde mevcut enerjinin etkin bir şekilde kullanımı ve enerji kayıplarının en aza indirgenmesi büyük önem kazanmıştır. Bu çerçevede, endüstride yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricilerinde ısı transferinin iyileştirilmesi için değişik teknikler gündeme gelmiştir. Isı transferini iyileştirmenin amacı yüksek ısı transferi katsayısı elde etmek, ısı değiştiricilerinde boyutları düşürerek maliyeti azaltmak ve böylece optimum verimi elde etmektir. Isı transferi arttırımında uygulanan teknikler, dış kuvvet gerektiren aktif teknikler ve dış kuvvet gerektirmeyen pasif teknikler olarak sınıflandırılmaktadır (1). Aktif tekniklerde, dışardan verilmesi gereken elektrik veya yüzey titreşimi gibi bir güce ihtiyaç vardır. Pasif tekniklerde ise ısı transferi iyileştirmesi yüzey geometrisi veya akışkan hareketleri ile gerçekleşir. Pasif tekniklerden birisi boru içerisine belirli aralıklarla, periyodik olarak segman yerleştirilmesidir. Literatürde, boru cidarına yapışık segman yerleştirilerek yapılan çalışmalar mevcut olmakla birlikte, boru cidarından belirli bir mesafede yerleştirilmiş segmanlar ile yapılan herhangi bir çalışma mevcut değildir. Segmanların cidara yapışık olması durumunda, segmanlar kanatçık etkisi de oluşturdıklarından ısı transferi artışının daha büyük olması beklenirken, ciddi kirlenme problemleri ve zamanla akış direncinin artması söz konusudur. Segmanların cidardan belirli bir mesafede yerleştirilmesi durumunda ise bu kirlilik problemi ortaya çıkmayacaktır. Bu çalışmada, boru cidarından belirli bir mesafede yerleştirilen segmanlar ile cidar bölgesinde akışkan hızının artırılması ve böylece türbülanslı akışta ısı transferine en büyük direnci oluşturan laminar alt tabakanın parçalanması hedeflenmiştir.

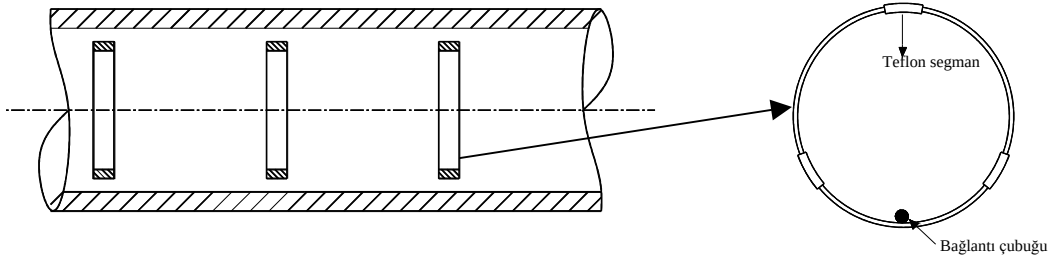
2. DENEY DÜZENİĞİ

Deneyler belirli bir bölgesi uniform bir şekilde doğrudan elektrik akımı uygulanarak ısıtılan, dış çapı 60 mm, cidar kalınlığı 2 mm ve toplam uzunluğu 12 m olan paslanmaz çelik boru içerisinde yapılmıştır (Şekil 1). Akışkan olarak hava kullanılmıştır. Boru girişine, uniform akışı elde etmek için bir bell-mouth ve boru içersinde kirlenmeyi önlemek için de bir filtre yerleştirilmiştir. Borudaki hava akışı test borusunun çıkışına yerleştirilen bir santrifuj fanla sağlanmıştır. Deneylerde hava akış debisi, fan ve test borusu arasına yerleştirilen kontrol vanalarıyla düzenlenmiştir. Hidrodinamik olarak tam gelişmiş akışı sağlayan 6.5 m uzunluğundaki ısıtılmayan hidrodinamik gelişme bölgesini, 3 m uzunluğundaki ısı transferi bölgesi ve 2.5 m'lik çıkış bölgesi takip etmektedir. Test borusunun 3 m uzunluğundaki bölgesi doğrudan AC akımı uygulanarak ısıtılmış, düşük voltaj ve yüksek akımı sağlamak için bir transformatör kullanılmıştır. Bir varyak yardımıyla boruya uygulanan elektrik voltajı ve böylelikle de ısı akısının değiştirilebilmesi sağlanmıştır. Test bölgesi 22 cm kalınlığa ve 0,034 W/mK ısıl iletkenliğe sahip cam yünüyle yalıtılmıştır (2-3).



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik resmi

Deneylerde segmanlar, iç çapı $d=56$ mm olan ısıtılan boru içerisine, cidardan mesafesi 2 mm olacak şekilde, d (S1 grup deneyler) ve $2d$ (S2 grup deneyler) aralıklı mesafelerde yerleştirilmiştir (Şekil 2). Segmanlar demir malzemeden, dairesel kesitli yapılmış olup, çapı 2.8 mm'dir. Segmanlar 2.8 mm kalınlığa sahip demir bir bağlantı çubuğu üzerine kaynaklanarak, birbirlerine tutturulmuştur. Boru cidarından demir segmanları ayırmak için, küçük teflon yüzükler demir segmanlar üzerine geçirilmiştir.



Şekil 2. Boru içerisine yerleştirilen demir segmanlar

Test borusu dış yüzey sıcaklıkları, belirli aralıklarla aynı aksel çizgi boyunca boru dış yüzeyine kaynaklanan 13 adet K tipi ısı eleman çifti ile ölçülmüştür. Boru girişindeki ve çıkışındaki havanın sıcaklıkları da boru içine yerleştirilen ısı eleman çiftleri yardımıyla ölçülmüştür. Isıl eleman çifti çıktıları bilgisayar kontrollü bir veri toplama sistemi ile ölçülmüştür. Ayrıca boruya verilen voltaj ve akım yine bu veri toplama sistemi ile ölçülmüştür.

Basınç kaybı, aralarında belirli bir mesafe (L_p) bulunan iki adet basınç prizi kullanılarak bulunmuştur. İki priz arasındaki basınç farkı ölçümü için bir eğik manometreden faydalanılmıştır.

Türbülanslı akışta laminar alt tabaka ısı, kütle ve momentum transferinde önemli bir rol oynamaktadır. Isı transferine en büyük direnç bu bölgede oluşur. Dolayısıyla, ısı transferini iyileştirmek için laminar alt tabakanın herhangi bir yöntemle inceltilmesi veya parçalanması ve bu yolla ısı transferinin artırılması mümkündür. Bu çalışmada boru içerisine segman yerleştirilerek laminar alt tabakanın parçalanması ve böylece ısı transferinin iyileştirilmesi hedeflendiğinden boru iç cidarı ile segmanlar arasındaki mesafe

(2 mm) laminer alt tabaka kalınlığı değişik Reynolds sayılarında hesaplanarak belirlenmiştir.

3. HESAP YÖNTEMİ

Bu çalışmada sabit ısı akısı sınır şartlarında deneyler yapılmıştır. Ölçülen fiziksel değerlerden yerel ısı transferi katsayısını hesaplayan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Kullanılan bilgisayar programında, havanın fiziksel özelliklerinin sıcaklıkla değişimi dikkate alınmıştır.

Havanın boruya giriş sıcaklığı, yerel boru dış yüzey sıcaklığı, ortam sıcaklığı, akış debisi, voltaj ve akım ölçümleri yardımıyla, yerel ısı transferi katsayısı, $h(x)$, aşağıdaki eşitlikten bulunmuştur :

$$h(x) = \frac{\dot{q}}{T_{id}(x) - T_b(x)} \quad (1)$$

Bu eşitlikte, $T_{id}(x)$ ve $T_b(x)$ sırasıyla belirli bir x eksenel mesafesindeki iç cidar ve ortalama akışkan sıcaklıkları olup, $\dot{q}$ borudan akışkana geçen ısı akısıdır. Isı akısı

$$\dot{q} = \frac{\Delta VI - \dot{Q}_k}{pdL_h} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu eşitlikteki $\dot{Q}_k$ test borusundan çevreye ısı kaybını göstermektedir. DV ve I ise sırasıyla ısıtılan boru boyunca meydana gelen voltaj düşümünü ve uygulanan elektrik akımını temsil etmektedir. d boru iç çapı ve L_h 'de ısıtılan boru uzunluğudur.

Boru iç cidar sıcaklığı $T_{id}(x)$, ölçülen dış duvar sıcaklığından $T_{dd}(x)$, boru cidar malzemesi içerisinde radyal yöndeki ısı iletim deklemleri yardımıyla belirlenebilir. Ortalama akışkan sıcaklığı $T_b(x)$, Dx uzunluğundaki bir akışkan kütesine toplam enerji dengesi eşitliği uygulanarak bulunur:

$$T_b(x) = T_b(x - \Delta x) + \frac{(\Delta VI - \dot{Q}_k)_{\Delta x}}{M C_p L_h} \quad (3)$$

Bu eşitlikte M kütle debisini göstermektedir.

x eksenel mesafesindeki yerel Nusselt sayısı, $Nu(x)$, aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir :

$$Nu(x) = \frac{h(x)d}{k} \quad (4)$$

Burada k havanın ısı iletkenliğini göstermektedir.

Basınç kayıp katsayısı f , izotermal koşullarda ölçülen basınç farkı (DP) yardımıyla aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunmuştur :

$$f = \frac{\Delta P}{(L_p / d_i)(ru_m^2 / 2)} \quad (5)$$

Bu eşitlikte r havanın yoğunluğunu, u_m havanın ortalama hızını, d_i hidrolik çapı, L_p basınç prizleri arasındaki mesafeyi göstermektedir. Havanın fiziksel özellikleri giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması alınarak bulunmuştur.

4. PERFORMANS KRİTERİ

Boru içerisine segman yerleştirilmesi durumunda sürtünme kaybından dolayı ek bir pompalama gücü gereksinimi oluşacaktır. Bu sebeple ısı transferi artışı incelenirken, segmanlı borudaki ısı transferi segmansız borudaki ısı transferi ile aynı pompalama gücünde karşılaştırılarak, net ısı transferi artışı belirlenmelidir. Sabit pompalama gücü aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir (4):

$$\dot{V}_s \Delta P_s = \dot{V} \Delta P \quad (6)$$

burada, $\dot{V}_s$ ve $\dot{V}$ sırasıyla segmanlı ve segmansız borudaki hacimsel debileri, ΔP_s ve ΔP segmanlı ve segmansız borudaki basınç düşümlerini göstermektedir. Darcy eşitliği kullanılarak aşağıdaki eşitlik yazılabilir :

$$f_s Re_s^3 = f Re^3 \quad (7)$$

Boş boruya göre, segman yerleştirilmiş borunun net ısıl performansı aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir :

$$\frac{Nu_s}{Nu} = \frac{f_s Re_s^3}{f Re^3} \quad (8)$$

Bu eşitlikte, Nu_s ve Nu sırasıyla segmanlı ve segmansız borudaki Nusselt sayılarını göstermektedir.

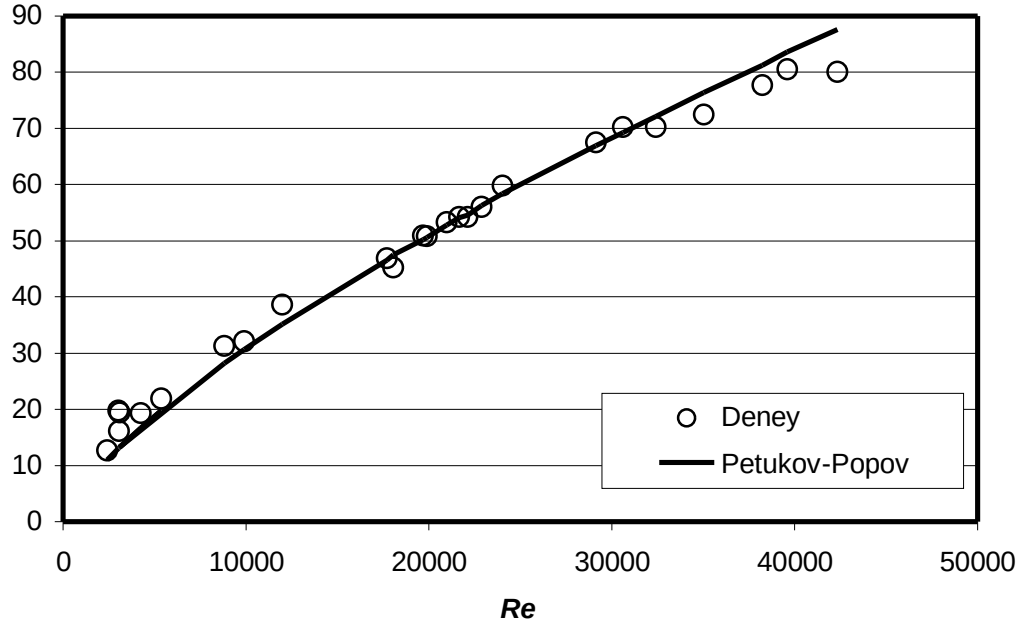
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŐMA

Bu çalışmada, akış yönünde ısıtılmış borunun en sonunda yer alan üç ısıl eleman çiftinden elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır. Sunulan sonuçlar bu üç ısıl eleman çiftinden elde edilen değerlerin ortalamasıdır.

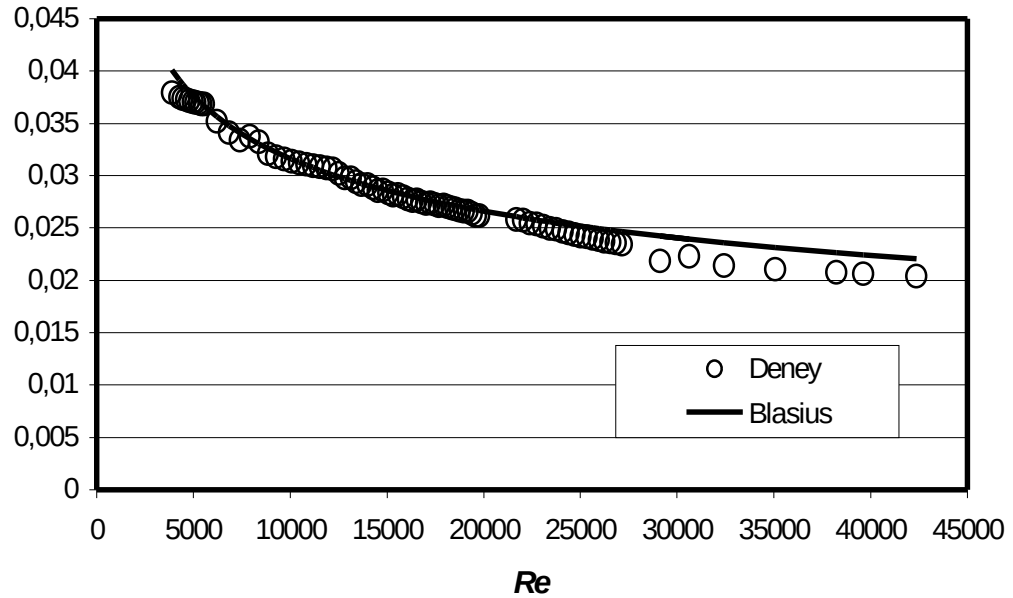
Şekil 3’de boş boru deneylerinden elde edilen Nu sayısının Re sayısı ile değişimi verilmiştir. Beklendiğı gibi Re ’un artmasıyla Nu artmaktadır. Aynı şekil üzerinde, türbölanslı akışta, borularda konveksiyonla ısı transferi için yaygın olarak kullanılan eşitliklerden birisi olan Petukov-Popov eşitliğı de (5) gösterilmiştir. őekilden de görülebileceğı gibi eşitlik ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum mevcuttur.

Şekil 4 ise boş boru deneylerinden elde edilen basınç kayıp katsayısı f ’nin Re sayısı ile değişimini göstermektedir. Deneylerden elde edilen f değerleri, türbölanslı akışta, borularda basınç kayıp katsayısının hesabı için yaygın olarak kullanılan Blassius eşitliğı (5) ile karşılaştırılmıştır. Yapılan boş boru deneyleri için, pürüzlülük Reynolds sayısı 5’ten küçük

olduğundan Blassius eşitliğinin kullanımı mümkündür (5). Şekil 4’den de görüldüğü gibi deneysel sonuçlar Blassius eşitliği ile iyi bir uyum göstermektedir.

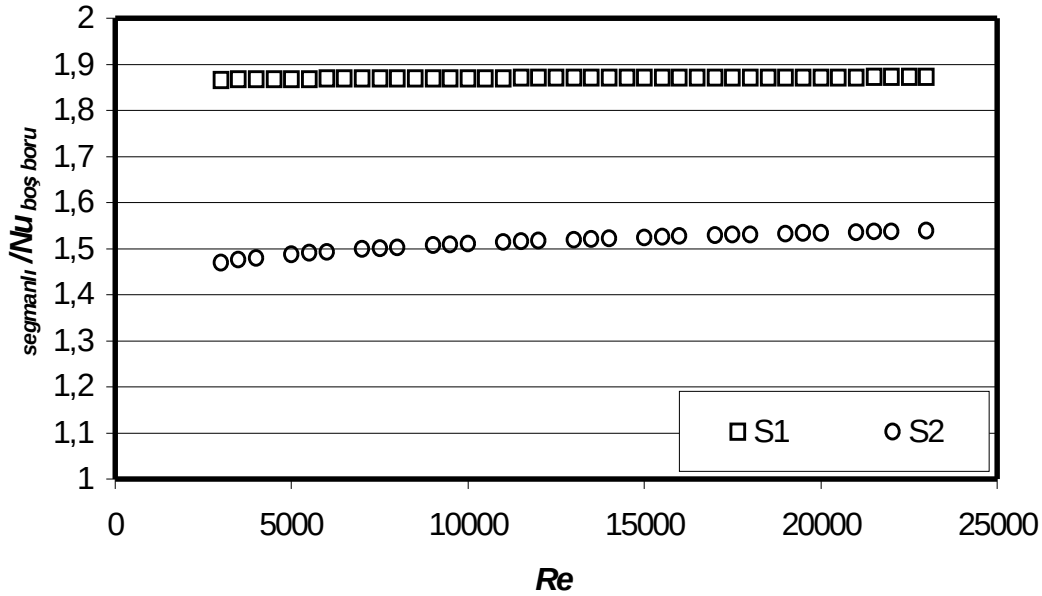


Şekil 3. Boş boru deneylerinden elde edilen Nu sayısının Petukhov-Popov eşitliği ile karşılaştırılması



Şekil 4. Boş boru deneylerinden elde edilen f 'nin Blassius eşitliği ile karşılaştırılması

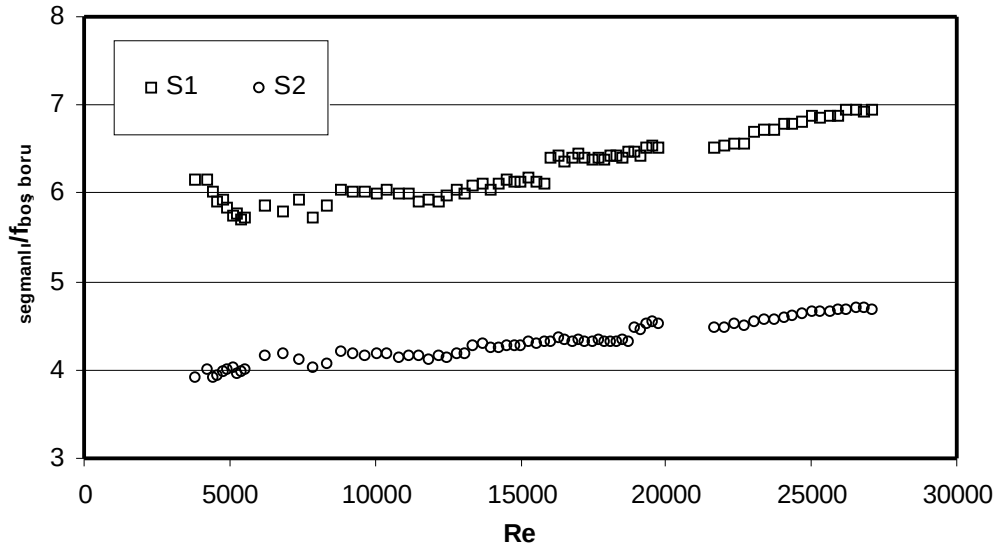
Boş boru ve segmanlı boru (S1 ve S2 grupları) deneylerinden elde edilen Nu sayılarının oranı Re sayısının fonksiyonu olarak Şekil 5’de gösterilmiştir. Őekilden de açıkça g r ld ğu gibi segman yerleştirilmesi durumunda ısı transferi boş boruya göre oldukça artmaktadır. S1 grubu deneylerde ısı transferi artışı S2 grubuna göre daha yüksek olmuştur. $Re \approx 23000$ ’de Nu sayısındaki boş boruya göre artış S1 için %89, S2 için ise %54’tür. $Re \approx 4500$ ’de ise artış oranları sırasıyla %87 ve %48’dir.



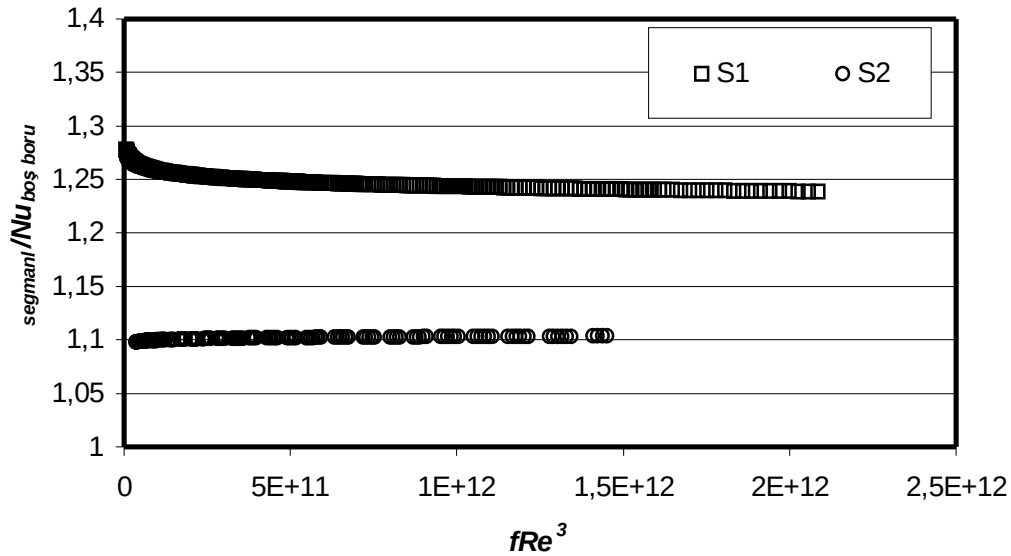
Şekil 5. Sabit Re sayısında ısı transferi artışı

Segman yerleştirilmesi durumunda ısı transferinde artış olurken aynı zamanda basınç kaybında da bir artış oluşacaktır. Şekil 6’da segman yerleştirilmesi durumunda boş boruya göre basınç kayıp katsayısında oluŐan artış gösterilmiştir. ısı transferi artıŐına paralel olarak, S2 grubuna göre iki kat daha fazla sayıda segman içeren S1 grubundaki artış daha fazladır.

ısı transferindeki net artışı değerlendirebilmek için sabit Re sayısında ısı transferinde meydana gelen artış (Şekil 5) yerine sabit pompalama gücünde meydana gelen artıŐa bakılmalıdır. Şekil 7’de Nu oranının sabit pompalama gücünü ifade eden fRe^3 parametresi ile değişimi gösterilmiştir. Sabit Re sayısında olduğu gibi, sabit pompalama gücü için de S1 segman grubunun sağladığı ısı transferi artışı S2 segman grubundan daha yüksektir. Bu durumda, boş boruya göre ısı transferindeki artış S1 için %25 mertebesinde olurken, S2 için bu oran %10 civarındadır.



Şekil 6. Boş boru ve segmanlı boru deneylerinden elde edilen f 'lerin karşılaştırılması



Şekil 7. Sabit pompalama gücünde ısı transferi artışı

6. SONUÇ

Bu çalışmada, segman yerleştirilerek uniform olarak ısıtılmış borudaki ısı transferi incelenmiştir. Boş boru deneylerinden elde edilen ısı transferi ve basınç düşümü sonuçları literatürde mevcut ve yaygın olarak kullanılan eşitliklerle karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir. Boru içerisine segman yerleştirilmesi

durumunda hem ısı transferinde hem de basınç kaybında artış gözlemlenmiştir. Sabit Reynolds sayısı ve sabit pompalama gücünü ifade eden fRe^3 parametresi için S1 segman grubundaki artış S2'den daha yüksek olmuştur. S1 segman grubunda segmanlar arasındaki mesafe boru iç çapı (d) kadarken, S2 için bu mesafe 2d'dir. Buradan segmanlar arasındaki mesafeyi azaltmanın net ısı transferi artışını olumlu yönde etkileyeceğı sonucu çıkarılabilir. Ancak eğilimi tam olarak ortaya koyabilmek için, segmanlar arası mesafenin sistematik olarak değıştirilerek daha fazla deneyin yapılması gereklidir.

7. KAYNAKLAR

1. Bergles, A.E., "The Imperative to Enhance Heat Transfer", *Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers, NATO ASI Series, Vol. 355, pp. 13-29, 1999.*
2. Çıngı, A., "Heat transfer inside a pipe with ring inserts", *Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2003.*
3. Özceyhan, V., "İçerisine segman yerleştirilmiş bir boruda akış ve ısı transferinin deneysel olarak incelenmesi", *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2003.*
4. Ichimiya, K., Morimoto, S., Miyazawa, T., "Evaluating the performance of forced convection heat transfer enhancement", *Heat Transfer—Japanese Research, Vol. 27 (2), 1998.*
5. Kakaç, S., Shah, R.K. and Aung, W., "Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer", *John Willey & Sons, Vol. 1, 1987.*