



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PİMLİ BORULARDA, ISI TRANSFERİ VE
AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN TÜRBÜLANSLI
AKIŞTA DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ

Kazım BAĞIRSAKCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kazım BAĞIRSAKCI tarafından hazırlanan “Pimli Borularda, Isı Transferi ve Akış Karakteristiğinin Türbülanslı Akışta Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 18/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Yrd. Doç. Dr. Aziz Hakan ALTUN


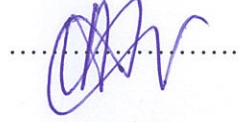
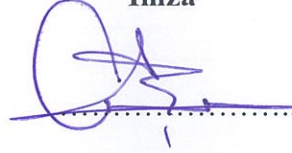
Danışman

Yrd. Doç. Dr. Adnan BERBER

Üye

Yrd. Doç. Dr. Dilek Nur ÖZEN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet COŞKUN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Kazım BAĞIRSAKCI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PİMLİ BORULARDA, ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİĞİNİN TÜRBÜLANSLI AKIŞTA DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Kazım BAĞIRSAKCI

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Adnan BERBER

2017,90 Sayfa

Jüri

**Yrd. Doç. Dr. Adnan BERBER
Yrd. Doç. Dr. Aziz Hakan ALTUN
Yrd. Doç. Dr. Dilek Nur ÖZEN**

Isı transferi hakkında bilinenlerin çoğu deneysel gözlemlere dayanmaktadır. Isı değiştiricilerinde metal borulardan akışkana ısı transferinde gerek türbölans oluşturmak gerekse konveksiyon yüzeyini arttırmak için pimli yüzeylerden faydalanılır.

Bu çalışmada sabit çaplı dairesel kesitli kanallarda değişik pim geometrilerinin ısı transferi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla Alüminyum (Al) ve Cr-Ni alaşımlı elik malzemeden yapılmış silindirik, daraltılmış pimlerin farklı dizilişlerdeki ısı transferine etkisi Reynolds sayının 10000 ile 50000 aralığında deneyler yapılarak araştırılmıştır. Deneyler sonucunda Alüminyum malzemesinden imal edilen daraltılmış pimlerin, silindirik pimlere göre Nusselt sayısının hemen hemen aynı olmasına rağmen sürtünme katsayısının daha düşük olduğu görölmüştür.

Sonuç olarak iki farklı diziliş yöntemine göre yapılan bu deneysel çalışmalarda sonuçların teorik ve literatürdeki deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konveksiyonla ısı transferi, pim dizilişi, silindirik pimler, türbölanslı iç akış.

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER AND FLOW CHARACTERISTIC ON TURBULENT FLOW IN PIN-FINNED PIPE

Kazım BAĞIRSAKCI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Adnan BERBER

2017, 90 Pages

Jury

**Assist. Prof. Dr. Adnan BERBER
Assist. Prof. Dr. Aziz Hakan ALTUN
Assist. Prof. Dr. Dilek Nur ÖZEN**

Most of known about heat transfer are based on experimental observations. In heat exchangers heat transfer from metal tubes to flow is made possible by the use of frugal surfaces both create turbulence and increase the convection surface.

In this study, the effects of different pin geometries on heat transfer were investigated in constant diameter circular channels. For this purpose, the effect of cylindrical, collapsed pins made from aluminum (Al) and Cr-Ni alloy steel materials on the heat transfer in different arrays was investigated with experiments at Reynolds number between 10000 and 50000. As a result of the experiments, it was seen that the collapsed pins made of Aluminum material had a lower coefficient of friction although the Nusselt number was almost the same as the cylindrical pins.

As a result, it has been observed that these experimental studies based on two different alignment methods are consistent with the theoretical and experimental results in the literature.

Keywords: Convection heat transfer, cylindrical pins, pin arrangement, turbulent internal flow.

ÖNSÖZ

Çalışmalarım ve tüm yüksek lisans öğrenimim süresince, desteğini gördüğüm hocam, Yrd. Doç. Dr. Adnan BERBER'e, her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Aziz Hakan ALTUN'a ve Öğr. Gör. Mehmet GÜRDAL'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca boru cidarında sabit ısı akısı oluşturmak için bara hesabı ve kesitlerini belirlememde yardımcı olan Öğr. Gör. Osman Sami GÜVEN hocama da teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini esirgemeyen, beni cesaretlendiren ve bana her zaman güvenen aileme tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Kazım BAĞIRSAKCI
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	ii
TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	7
3.1. Boru İçi Akışlarda Zorlanmış Taşınım	7
3.1.1. Ortalama Sıcaklık ve Hız	8
3.1.2. Giriş Bölgesi ve Isıl Gelişim Bölgesi	9
3.1.4. Isıtıcı Gücü.....	11
3.1.5. Basınç Farkı ve Sürtünme Faktörü	11
3.1.6. Isı Transferini İyileştirme Teknikleri.....	12
3.2. Deneysel Düzenek	12
3.2.1. Pimsiz Deneysel Borusu ve Pimli Deneysel Borusu	19
3.2.2. Deneysel Borusuna Yerleştirilen Pimler	21
3.3. Hesaplamalar	25
3.3.1. Belirsizlik Analizi	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	32
4.1. Pimsiz Boru Deneysel Sonuçları	32
4.2. Çapraz Sıralanmış Alüminyum Pimli Boru Deneysel Sonuçları.....	36
4.3. Tamamı Düzenli Takılı Alüminyum Pimli Boru Deneysel Sonuçları.....	42
4.4. Çapraz Sıralanmış Cr-Ni Pimli Boru Deneysel Sonuçları.....	48
4.5. Tamamı Düzenli Takılı Cr-Ni Pimli Boru Deneysel Sonuçları.....	54
4.6. Çapraz Sıralanmış Traşlı Alüminyum Pimli Boru Deneysel Sonuçları	60
4.7. Tamamı Düzenli Takılı Traşlı Alüminyum Pimli Boru Deneysel Sonuçları	66
4.8. Pimli Boruların Isıl İyileştirme Etkileri	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
5.1 Sonuçlar	77
5.2 Öneriler	78

KAYNAKLAR	79
EKLER	81
ÖZGEÇMİŞ	90



SİMGELER VE KISALTMALAR

A: Alan

C_p : Sabit basınç özgül ısı

D: Çap

f: Sürtünme katsayısı

h: Isı taşınım katsayısı

I: Elektrik akımı

K: Sabit

k: Isı iletkenlik katsayısı

L: Boru uzunluğu

Nu: Nusselt sayısı

P: Isıtıcı gücü

Pr: Prandtl sayısı

Q: Isı transferi

q: Isı akısı

\dot{q} : iç ısı üretimi

R: Elektriksel direnç

Re: Reynolds sayısı

T: Sıcaklık

U: Akış hızı

V: Voltaj

\dot{V} : Hacimsel debi

ρ : Yoğunluk

ν : Kinematik viskozite

Δh : Basınç farkı

μ : Dinamik viskozite

Alt İndisler

a: Açık

b: Yığık

f: Akışkan

fd: Tam gelişmiş

i: Boru iç yüzey

o: Boru dış yüzey

m: Ortalama

t: Toplam

w: Boru cidarında

x: Eksenel konum

∞ : Ortam

1: Giriş

2: Çıkış

Üst İndisler

' : Yalıtım dış yüzey

- : Ortalama

1. GİRİŞ

Küresel ısınmaya neden olan sera etkisi artık yaşantımızda belirgin bir şekilde hissedilmekte, sağlık, tarım, çevre ve hatta siyaset alanlarında köklü değişiklikler oluşturmaktadır. İklim değişikliğini etkileyen karbondioksit salınımının yüzde 80' ine neden olan enerji üretimi ve kullanımı başka zararlı çevresel etkilere de yol açmaktadır. Kömür, petrol, doğalgaz ve uranyum gibi enerji kaynakları önümüzdeki birkaç yüzyıl içinde tükenecektir. Günlük hayatımız, tükenen fosil yakıtların kullanımına dayalıdır ve bu sorun sadece bizim için değil çocuklarımız ve gelecek kuşaklar için de belirleyici olacaktır. Yaşanılan tüm bu olumsuzluklar, yapılacak bir şey olmadığı anlamına gelmez. Aksine yapılması gereken çok fazla şey var. küresel ısınmayı sınırlamak ve kontrol etmek için en ekonomik yöntem enerjiyi verimli kullanmaktır (www.eie.gov.tr).

Enerji verimliliği adına ısı transferi çok önemlidir. Bu yüzden ısı transferi alanında birçok çalışma yapılmaktadır. Çeşitli yöntemlerle ısı transferi arttırılmaya ve kayıplar en aza indirilmeye çalışılmaktadır.

Isı transferinin olması için temel gereklilik bir sıcaklık farkının olmasıdır. Aynı sıcaklıktaki iki ortam arasında net ısı transferi olamaz. Tıpkı elektrik akımı için zorlayıcı etkinin gerilim farkı ve akışkan akımı için zorlayıcı etkinin basınç farkı olduğu gibi ısı transferi için de zorlayıcı etki sıcaklık farkıdır. Belli bir yöndeki ısı transfer hızı, o yöndeki sıcaklık gradyanının (birim uzunluk başına sıcaklık farkı veya sıcaklıktaki değişim hızı) büyüklüğüne bağlıdır. Sıcaklık gradyanı ne kadar büyükse, ısı transfer hızı o kadar yüksek olur.

Isı değiştiricileri, kazanlar, yoğuşturucular, rayatörler, ısıtıcılar, ocaklar, soğutucular ve güneş kollektörleri gibi ısı transfer cihazları, öncelikle ısı transfer çözümlemesi esas alınarak tasarlanır. Uygulamada karşılaşılan ısı transfer problemleri iki grupta incelenebilir. Bunlar ısı transfer hızı hesaplama ve boyutlandırma problemleridir. Isı transfer hızı hesaplama problemleri, belirli bir sıcaklık farkı için, halihazırda var olan bir sistemin ısı transfer hızının belirlenmesiyle ilgilendir. Boyutlandırma problemi ise tanımlı bir sıcaklık farkı durumunda belirli bir hızda ısının transfer edilmesi için bir sistemin boyutunun belirlenmesi ile ilgilendir. Bir mühendislik düzeneği veya işlemi hem deneysel hem de analitik olarak araştırılabilir. Deneysel yaklaşım, gerçek fiziksel sistemin incelenmesi avantajına sahiptir ve istenen nicelik, deneysel hata sınırları içerisinde ölçme yoluyla belirlenir. Bununla birlikte bu yaklaşım pahalı, zaman alıcı ve

çoğunlukla pratik değildir. Mesela bir yapının bütün ısıtma sistemi, genellikle yapı için verilen özellikler esas alınarak, inşa edilmeden önce boyutlandırılmalıdır. Analitik yaklaşım hızlı ve pahalı olmaması nedeni ile avantaja sahiptir. Fakat elde edilen sonuçlar çözümlemede yapılan kabullerin hassasiyetine, yaklaşımlara ve idealleştirmelere bağlıdır. Isı transfer çalışmalarında çoğu zaman, seçeneklerin çözümlenerek birkaç taneye indirgenmesi ve daha sonra bulguların deneysel olarak doğrulanması yoluyla uyum sağlanır. (Çengel, 2014)

Isı transferini arttırmada, yüzey alanını genişletmenin ve türbülansı arttırmak için kanatçık elemanların etkili olduğu yapılan deneysel çalışmalarla ispatlanmıştır. Bu çalışmada borularda, zorlanmış türbülanslı hava akışında, boru iç yüzeyine yerleştirilen farklı kesitlerde ve malzemelerden imal edilen pimlerin ısı transferine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler alüminyum ve Cr-Ni alaşımlı çelik malzemelerden imal edilen pimlerin, silindirik ve daraltılmış kesitlerinde farklı dizilişleri için 10000 ile 50000 arası çeşitli Reynolds sayılarında tekrarlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Isı transferinin en önemli kullanım alanlarından biri boru içi akışlarda zorlanmış taşınımdır. Bu alanda ısı transferini arttırmak için çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte birçok çalışmada sürtünme katsayısının ve pompalama gücünün miktarı araştırmaların içerisinde yer almıştır. Bu deneysel çalışmalar gerçekleştirilirken, ısı transferini arttırmak amaçlı boru içerisine malzemeler yerleştirerek yüzey alanını arttırma metodu eskiden beri denenmektedir ve günümüzde çalışmalar devam etmektedir. Bizde çalışmamızda boru içerisine pimler saplayarak daha önce yapılmamış bir çalışmayı gerçekleştirmekteyiz. Çalışmamızın özgün olması için detaylı literatür çalışması yapılmıştır.

Bunlardan Darıcı (1998) çalışmasında cidarları direnç olarak kullanarak ısıtılan bir boruda, sabit yüzey ısı akısı sınır şartında ve türbülanslı hava akışında, girişe yerleştirilen orifis şeklindeki bir tıkama elemanın ısı transferine etkilerini deneysel olarak incelemiştir.

Sara ve arkadaşları (2001) dikdörtgen bir borunun içerisine dikdörtgen kesitli delikli borular yerleştirerek ısı transferini ve basınç farklarını incelemişlerdir. Bu araştırma yapılırken farklı delik çapları ve plaka sayılarında incelemeler yapmışlardır.

Wang ve Chen (2002) kanal yüzey geometrisinde değişiklikler yaparak ölçümler yapmışlardır. Farklı Reynolds değerlerinde ölçüm yaparak Prandtl, Nusselt ve basınç farklarındaki değerleri gözlemlemişlerdir.

Akyol ve Bilen (2006), bir kanalın içerisine dikdörtgen kanatçıklar yerleştirerek çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada ısı transferi ve sürtünme değerlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışma farklı Reynolds değerlerinde ölçüm yapmışlardır. Çalışma yapılırken kanatçıkların yerleşim şeklini ve mesafelerini değiştirmişlerdir.

Sewall ve arkadaşları (2006), boru içine malzemeler yerleştirerek akış özelliklerini ve ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada diğer çalışmalarda olduğu gibi türbülator etkisi yaratmak için yerleştirilen malzemeler etkili olmuş ve ısı transferinde artış sağlamışlardır.

Tijing ve arkadaşları (2006), bir zıt akış ısı değiştiricisi üzerine yerleştirilen yıldız şeklinde alüminyum parçanın etkisini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada ısı transfer ve basınç düşüm farklarını araştırmışlardır. Çalışmasını düz ve sargılı alüminyumlar

üzerinde yapmış ve karşılaştırmışlardır. Düz alüminyumların sargılılara göre daha iyi ısı transferi sağladığı tespit etmişlerdir.

Yakut ve arkadaşları (2006), bir ısı değiştiricisine yerleştirdiği kanatçıklar sayesinde çalışmalarını yapmışlardır. Bu çalışmasında kanatçıkların dizilim şekline göre ve kanatçıklar arası mesafeye göre ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan ölçümlerde ısı transferi ve basınç farkındaki değişimleri gözlemlemişlerdir.

Didarul ve arkadaşları (2007), dikdörtgen kesitli boruya dikdörtgen kanatçıklar yerleştirmişlerdir.. Yapılan bu çalışmada ısı transferi ve akış karakteristiklerindeki değişimleri tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada kanat yerleştirme biçimi ve kanat dizilim şekli değiştirilerek ölçümler yapmışlardır. Bu çalışmada da diğerlerinde olduğu gibi pimsiz boruya göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Hiravennavar ve arkadaşları (2007), bir kanal içerisine farklı geometrilere kanatlar yerleştirerek ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmayı yaparken kanat kalınlıklarını değiştirerek ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ısı transferinde iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir.

Khaled (2007), dikdörtgen kanatçıklar üzerinde çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kanatçıklı kanalda, ısı transferinin boş kanala göre daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Bu çalışmada, ısı iletkenlik ve ısı taşınım üzerine çalışmıştır.

Aharwal ve arkadaşları (2008), dikdörtgen borunun içine dikdörtgen kesitli parçalar yerleştirerek ısı transferine etkisini ve basınç farklarını incelemişlerdir. Dikdörtgen parçalar yerleştirilirken sayı adedi ve eğimleri dikkate almışlardır. Böylece türbülator etkisini araştırmışlardır.

Şahin ve Demir (2008), dikdörtgen bir kanala yerleştirilmiş kare kesitli kanatçıkların ısı transferi ve basınç farkı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada farklı Reynolds değerlerinde ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kanatçıkların boyu ve dizilim mesafelerini değiştirerek ölçümleri yapmışlardır.

Luviano ve arkadaşları (2008), paralel plakalardan oluşan yatay kanallara ısıtılmış parçalar yerleştirerek ısı transferi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada ısı transferinde artış gözlemlemişlerdir.

Bilen ve arkadaşları (2009), boruların iç yüzey geometrisinde değişiklikler yaparak ölçümler yapmışlardır. Bu ölçümleri farklı Reynolds değerlerinde gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ısı transferi ve sürtünme farklılıkları gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada diğer çalışmalarda olduğu gibi iç yüzey geometrisi

değiştirilmiş boruda ki ısı transferinin pimsiz boruya göre daha iyi olduğu tespit etmişlerdir.

Shaeri ve Yaghoubi (2009), bir plakanın üzerine kanatçık monte etmiş ve ölçümlerini bu şekilde gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada kanatçıkların ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma da farklı Reynolds değerlerinde çalışarak ölçüm yapmışlardır.

Güneş S. (2009), çalışmasında boru içerisine yerleştirilen helisel sarılmış tellerin ısı transferi ve akış karakteristiklerine etkisini Reynolds sayısının 3514-27188 aralığında deneysel olarak araştırmıştır. Pimsiz boru deneylerinden elde edilen sonuçların literatürdeki sonuçlarla uyumlu olduğunu gözlemlemiştir. Boruya helisel tel yerleştirerek deneylerini gerçekleştirmiştir.

Zhang ve arkadaşları (2015), ısı transferi ve akış özelliklerini deneysel olarak araştırmayı amaçlamışlardır. Deneylerinde 14 tip mikro kanat yapısı kullanmışlardır. Yükseklik, genişlik, iki kanat arası mesafe, kanat sayısına dikkat edilerek Nusselt sayısını ve sürtünme faktörünü hesaplamışlardır. Nusselt sayısı 128-5645 aralığında ölçümleri gerçekleştirmişlerdir.

Ziyan ve arkadaşları (2016), bu çalışmada konsantrik halka şeklindeki parçanın ısı iletimi ve basınç düşüşüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyler boş boru ve helezonik aralıklı üç kanatlı boru için yapmışlardır. Reynolds 1428-3008 değerleri arasında çalışmışlardır.

Eren ve Çalışkan (2016), çalışmasında dikdörtgen kanallı boruda silindirik pim ve üçgen biçimli pimler kullanılarak Nusselt sayısını ve sürtünme değerlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Akışkan olarak hava kullanmıştır. Pimleri kanala dikey olarak yerleştirmişlerdir. Sıcaklığın tespit edilmesinde kızılötesi termal kamera kullanmışlardır.

Yang ve arkadaşları (2016), toplam ısı emici hacmi, pim malzemesi hacmi ve basınç düşüşü üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma için en uygun pim sayısını belirlemeye çalışmışlardır.

Badescu (2017), çalışmasındaki amaç aktarılan ısı akışının verilen değeri için pim hacmini en aza indirmekti. Çalışmada dairesel kesitli pimler kullanılmıştır. Zorlanmış konveksiyon ve doğal konveksiyon ile çalışmalar yapmıştır.

Kirsch ve Thole (2017), yaptığı araştırmada dört farklı pim dizilimi kullanmışlardır. Farklı Reynolds değerlerinde basınç kaybı ve ısı transfer ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Yaptığı çalışmalarda yüzey pürüzlüğü değerleri yüksek değerler

olarak tespit etmişlerdir. Pürüzlü yüzeylerin, sürtünme faktörünü ve ısı transferini arttırdığını literatüre uygun olarak tespit etmişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Boru İçi Akışlarda Zorlanmış Taşınım

Boru veya kanallar da sıvı veya gaz akışı, çoğunlukla ısıtma veya soğutma uygulamalarında kullanılır. Bu tür uygulamalarda istenen ısı transferini gerçekleştirmeye yetecek kadar uzun bir akış bölgesinde bir fan veya pompa vasıtasıyla akışkanın akışı sağlanır. Genellikle doğrudan basınç düşüşü ve ısı transferi hızıyla ilgili oldukları için, sürtünme faktörü ve taşınım katsayısının bulunmasına özel bir önem verilir. Bu nicelikler daha sonra gerekli pompa, fan gücü ve boru uzunluğunun belirlenmesinde kullanılır.

Dış akış ve iç akış arasında temel farklar vardır. Dış akışlar da akışkan serbest bir yüzeyle temas halindedir ve böylelikle sınır tabaka yüzey üzerinde sınırsız olarak büyümekte serbesttir.

Boru, kanal ve mecra terimleri, akış kesitleri için çoğu zaman birbirinin yerine kullanılır. Genellikle dairesel akış kesitleri, boru özellikle akışkan sıvı olduğu zaman ve dairesel olmayan akış kesitleri özellikle akışkan gaz olduğu zaman kanal olarak anılır. Küçük çaplı borulara ise genel olarak tüp denir. Bu belirsizliğin doğduğu bazı yanlış anlamaları önlemek üzere gerektiğinde dairesel bir boru veya dikdörtgen bir kanal gibi daha tamamlayıcı ifadeler kullanılmaktadır.

Sabit yüzey alanı için dairesel bir boru en çok basınç düşüşüne karşılık en çok ısı transferini verir. Bu, ısı transfer cihazlarında dairesel borulara olan büyük ilgiyi açıklar.

Teorik sonuçlar sadece dairesel borularda tam gelişmiş laminer akış gibi birkaç basit durum için elde edilmektedir. Bu sebeple çoğu akışkan akışı problemi için kapalı analitik çözümlerden çok, deneysel sonuçlara ve deneysel bağlantılara güvenmek gerekir.

Bir borudaki akışkanın hızı, kaymama şartı sebebiyle yüzeyde sıfırdan, boru ekseninde bir maksimuma kadar değişir. Akışkanların sıkıştırılmaz akışında boru kesit alanı sabit ise değişmeyen bir ortalama hız ile çalışmak uygun olur. Özgül kütle sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için, ısıtma ve soğutma uygulamalarında ortalama hız da değişebilir. Fakat ortalamada akışkan özellikleri ortalama bir sıcaklıkta hesaplanır ve sabitmiş gibi işlem görür.

Bir boru da akışkan parçacıkları arasındaki sürtünme, mekanik enerjinin duyulur ısı enerjisiye dönüşmesinin bir sonucu olarak, akışkan sıcaklığında artışa sebep olur. Fakat bu sürtünme ısınmasından dolayı sıcaklık artışı hesaplamalarda genellikle dikkate

alınmayacak kadar küçüktür ve dolayısı ile ihmal edilir. Mesela herhangi bir ısı transferi yok ise, boru içinde akan akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında dikkate değer bir fark algılanamaz. Akışkan akışında sürtünmenin başlıca sonucu basınç düşüştür ve dolayısıyla akışkan da önemli her sıcaklık değışmesi ısı transferi sebebiyle olur. (Çengel, 2014)

3.1.1. Ortalama Sıcaklık ve Hız

Boruda akışkan hızı, kaynama şartı sebebiyle yüzeyde sıfırdan, boru ekseninde bir maksimuma kadar değışir. Bir akışkan bir boru içerisinde akarken ısıtıldığında veya soğutulduğunda, herhangi bir kesitteki akışkan sıcaklığı, çeper yüzeyinde, boru ekseninde bir maksimuma veya ısınma durumunda minimuma kadar değışir. Akışkan akışında bir kesitte değışmeyen bir ortalama sıcaklık ile çalışmak uygundur. Ortalama hızdan farklı olarak, akışkan ısıtıldığı veya soğutulduğu zaman ortalama sıcaklığı akış yönünde değışir. İç akışta akışkan özellikleri, giriş ve çıkıştaki ortalama sıcaklıkların aritmetik ortalaması olan yığık ortalama akışkan sıcaklığında (3.1) belirlenir.

$$\bar{T}_b = \frac{T_{b_1} + T_{b_2}}{2} \quad (3.1)$$

Bir borudaki akış, şartlarına bağılı olarak laminer veya türbülanslı olabilir. Akışkanların düşük hızlı akışları laminerdir. Fakat hız kritik değerin üzerine çıktığında türbülanslı akışa dönüşür. Laminerden türbülanslı akışa geçiş aniden olmaz. Akışın tam türbülanslı olmadan önce laminer ve türbülanslı akış arasında dalgalandığı bir hız aralığı oluşur. Uygulamada karşılaşılan çoğu boru akışları türbülanslıdır. Laminer akışa, küçük çaplı borularda veya dar aralıklarda yağ benzeri oldukça yüksek viskoziteli akışkanlar aktığı zaman rastlanır. Reynolds sayısından faydalanarak hızı bulmak için eşitlik (3.2)'den faydalanılır.

$$Re = \frac{U_m D_i}{\nu} \quad (3.2)$$

Kuşkusuz laminer, geçiş akışı ve türbülanslı akış için Reynolds sayılarının kesin değerlerinin olması istenir. Fakat uygulamada durum farklıdır. Bunun sebebi laminer türbülanslı akışa geçişin, akış karışıklık derecesine de bağılı olmasıdır. En gerçekçi

şartlarda bir borudaki akışta $Re < 2300$ için laminar, $Re > 10000$ için tübülanslı ve ikisinin arası ise geçiş akışıdır. (Çengel, 2014)

3.1.2. Giriş Bölgesi ve Isıl Gelişim Bölgesi

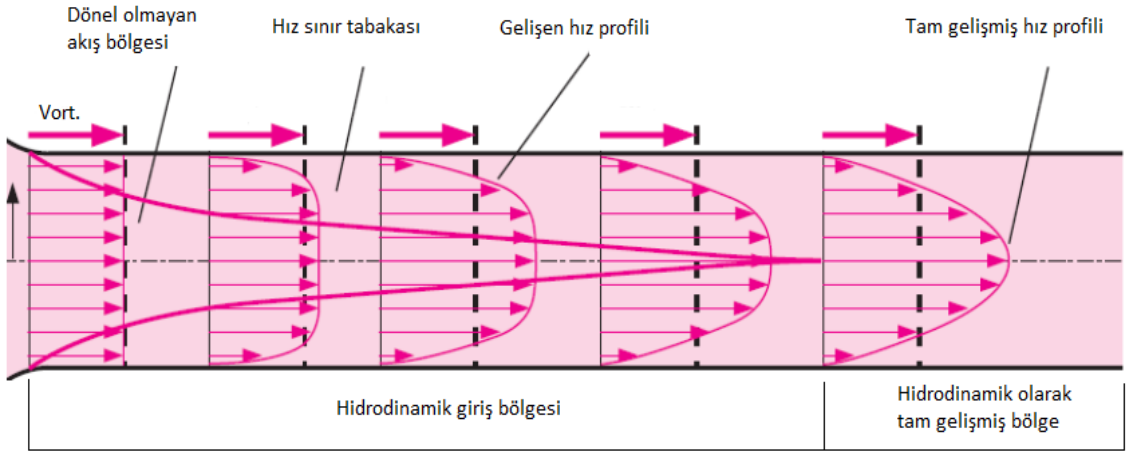
Kaymama şartı sebebiyle boru yüzeyine temas eden tabakadaki akışkan parçacıkları tamamen durur. Yine sürtünme sonucu bu tabaka, bitişik tabakalardaki akışkan parçacıklarının gitgide yavaşlamalarına sebep olur. Bu hız azalmasını karşılamak ve boru içinde kütle debisini sabit tutmak için, borunun orta kısmında akışkan hızı artmak zorundadır.

İçerisinde akışkan viskozitesinin doğurduğu viskoz kayma kuvvetlerinin etkilerinin duyulduğu akış bölgesi, hız sınır tabakası olarak adlandırılır.

Sınır tabakanın kalınlığı, akış doğrultusunda sınır tabaka boru eksenine ulaşıncaya kadar artar ve daha sonra boruyu tamamen doldurur. Borunun girişinden itibaren, sınır tabakanın boru eksen çizgisiyle birleştiği noktaya kadar olan bölgeye hidrodinamik giriş bölgesi ve bu bölgenin uzunluğuna hidrodinamik giriş uzunluğu denir. Hız profilinin geliştiği bölge olduğu için giriş bölgesindeki akış, hidrodinamik gelişen akış denir. Giriş bölgesinin ilerisinde hız profilinin tam olarak geliştiği ve değişmeden kaldığı bölge, hidrodinamik tam gelişmiş bölge olarak adlandırılır. Hız profili, laminar akıştaki tam gelişmiş akış bölgesinde parabolik, tübülanslı akışta ise girdap hareketi ve radyal yönde daha kuvvetli karışma sebebi ile bir miktar daha basık veya doludur.

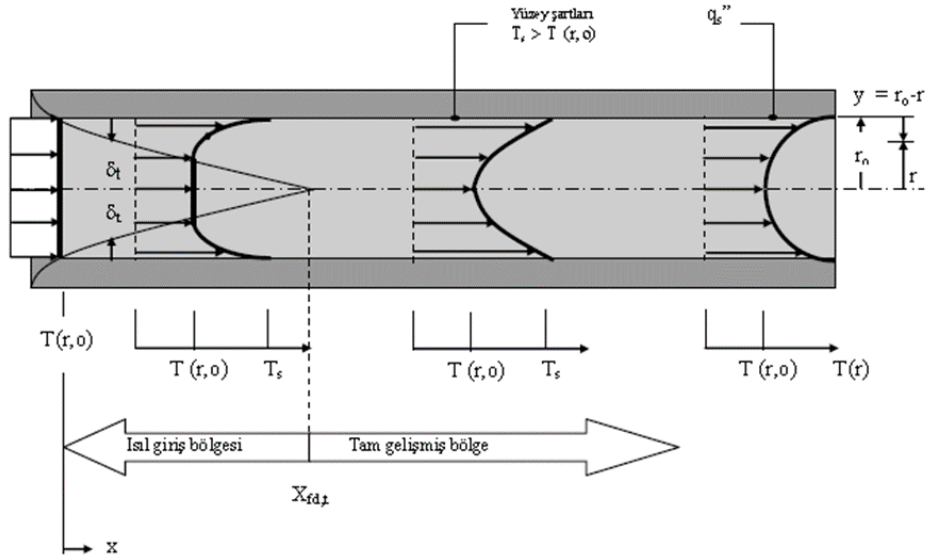
Yüzeyi farklı bir sıcaklıkta tutulan dairesel bir boruya üniform sıcaklıkta giren bir akışkan dikkate alınırsa yüzeyle temas halinde olan tabakadaki akışkan parçacıklarının yüzey sıcaklığında oldukları kabul edilir. Bu, boruda taşınım ısı transferini ve boru boyunca ve ısı sınır tabaka gelişimini başlatır. Sınır tabaka boru eksenine ulaşıncaya kadar, akış doğrultusunda sınır tabaka kalınlığı da büyür.

Üzerinde ısı sınır tabakanın geliştiği ve boru eksenine ulaştığı akış bölgesi ısı giriş bölgesi olarak adlandırılır ve bu bölgenin uzunluğu ısı giriş uzunluğu olarak adlandırılır. Sıcaklık profilinin geliştiği bölge (şekil 3.1) olduğu için ısı giriş bölgesindeki akış, ısı gelişen akış olarak adlandırılır.



Şekil 3.1 Boruda hız sınır tabakasının değişimi

Isıl giriş bölgesinin ilerisinde boyutsuz sıcaklık profilinin değişmeden kaldığı bölgeye ısı tam gelişmiş bölge denir. İçinde akışın hem hidrodinamik hem de ısı olarak gelişmiş olduğu ve dolayısıyla hız ve boyutsuz sıcaklık profillerinin değişmeden kaldığı bölge, tam gelişmiş akış olarak adlandırılır. (Çengel, 2014)



Şekil 3.2 Isıl gelişim profili

Hidrodinamik giriş uzunluğu genellikle boru girişinden itibaren, kayma gerilmesinin ve dolayısıyla sürtünme faktörünün tam gelişmiş değere yüzde 2 kadar yaklaştığı uzaklık olarak alınır.

Literatürde giriş bölgelerindeki sürtünme ve ısı transferi katsayıları için duyarlı bağlantılar bulunmaktadır. Ancak zorlanmış taşınım uygulamalarında kullanılan borular, genellikle her iki giriş bölgesinin uzunluğunun birkaç katıdır ve dolayısıyla borular içindeki akış, çoğunlukla borunun bütün uzunluğu için tam gelişmiş olarak kabul edilir. Bu yaklaşım uzun borulardaki ısı transfer hızı için uygun ve kısa olanlardaki için mantıklı sonuçlar verir. (Çengel, 2014)

Türbülanslı akışta hidrodinamik tam gelişmiş bölgenin uzunluğu eşitlik (3.3) (Güneş, 2009):

$$10 \leq \left(\frac{X_{fd,h}}{D} \right) \leq 60 \quad (3.3)$$

Türbülanslı akışta ısı giriş uzunluğu eşitlik (3.4) (Güneş, 2009):

$$\left(\frac{X_{fd,h}}{D} \right) = 10 \quad (3.4)$$

3.1.4. Isıtıcı Gücü

Isı transferinde temel nokta sıcaklık farkıdır. Sıcaklık farkından dolayı ısı, sıcaklık miktarının fazla olduğu noktadan az olan noktaya doğru hareket eder. Bu alışveriş sistem dengeye girinceye kadar veya bu fark sabit tutularak sürekli olarak devam eder. Bu temel farkın oluşmasını sağlayacak çeşitli güç kaynakları kullanılabilir. Isıtıcı toplam gücü eşitlik (3.5):

$$P = VI \quad (3.5)$$

3.1.5. Basınç Farkı ve Sürtünme Faktörü

Boru veya kanal basınç kayıp belirlemesi, pompa veya fan gücünü bulmayı sağlar ve sürtünme faktörünün bulunması önemlidir. Sürtünme faktörü eşitlik (3.6):

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho (U_m)^2 \frac{L}{D}} \quad (3.6)$$

3.1.6. Isı Transferini İyileştirme Teknikleri

Isı transferi iyileştirme yöntemleri ısı değiştiricilerin performansını iyileştirmek veya ısı değiştiricinin boyutunu ve maliyetini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Isı transferi iyileştirme yöntemleri pasif, aktif ve karma yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Akışkana ilave enerji verilerek ısı transferindeki iyileştirmeyi sağlayan yöntem aktif yöntem, ilave enerji verilmeden ısı transferindeki iyileştirmeyi sağlayan yöntem ise pasif yöntem olarak adlandırılmaktadır. Endüstriyel uygulamalar için genellikle pasif yöntemler tercih edilmektedir. Karma yöntemlerde aktif veya pasif yöntemlerden iki veya daha fazlası birlikte kullanılmaktadır. Pasif Teknikler:

- a. İşlenmiş yüzeyler
- b. Pürüzlü yüzeyler
- c. Genişletilmiş yüzeyler
- d. Yerleşik iyileştirme elemanları
- e. Dönmeli akış elemanları
- f. Yüzey gerilim elemanları
- g. Katkı maddeleri

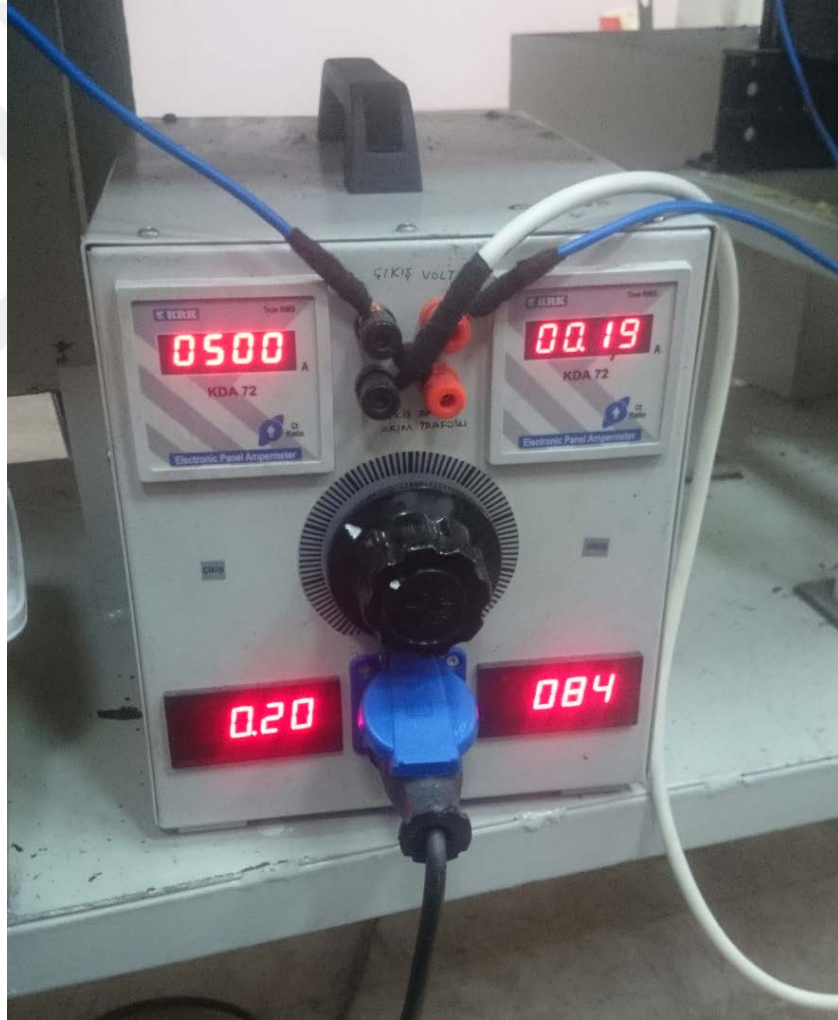
Aktif Teknikler:

- a. Mekanik yardımcılar
- b. Yüzey titreşimi
- c. Akışkan titreşimi
- d. Elektrostatik alanlar
- e. Emme ve enjeksiyon
- f. Jet çarpması

3.2. Deney Düzeneği

Kurulan deney düzeneğinde yapılan çalışmalarda temel amaç ısı transferinin incelenmesidir. Deney düzeneği giriş kısmı, test kısmı ve çıkış kısmı olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Giriş kısmındaki motor ve fan ile hava debisi ve hızı ayarlanmaktadır. Test bölgesindeki sabit ısı akısı varyak ile sağlanmaktadır. Test bölgesinde oluşan basınç farkı giriş ve çıkışa bağlanmış hortumlar yardımı ile basınç fark manometresi ile ölçülmektedir. Havanın hızı çıkış bölgesindeki borunun merkezinden

akış hızölçer cihaz ile ölçülmektedir. Test bölgesinde boru üzerindeki sıcaklık değişimleri ısı çiftler yardımıyla sıcaklık veri kayıt cihazı ile ölçülmektedir. Bununla birlikte boru içine yerleştirilen iç elemanların basınç farkına etkisi gözlemlenerek sürtünme katsayısı incelenmiştir. Bu deneyi gerçekleştirirken boruyu ısıtarak içerisinden hava akımı geçirildi. Böylece havada hız değerleri Reynolds sayılarına göre belirlenip bu hız değerlerinde her seferinde farklı değerler oluşturularak ölçümler gerçekleştirildi. Yapılan deney çalışmasında borunun dışardan ısıtılması yöntemine gidildi. Böylece boru rezistans görevi görerek belli bir sürede boruda eşit ısı dağılımı gerçekleşir. Boruyu ısıtırken kullanılan ayarlanabilen varyak (ayarlı transformatör), akımı arttırıp gerilimi düşürerek istenilen değerlerde çalışmasını sağlamıştır. Deneyde kullanılan varyak (şekil 3.3):



Şekil 3.3 Varyak

Kullanılan bu varyağın boruyu ısıtması bakır lamalar aracılığı ile gerçekleştirildi. Uzak mesafelerde ölçülmüş düz lamalar kullanılarak borunun iki ucuna uzatıldı, boru

çevresinde ise lamalar kelepçe haline getirilerek borunun ısıtılması sağlandı. Kullanılan bakır lamalar ve kelepçeler atölye ortamında hazırlandı. Bu kelepçeden 2 adet üretildi ve borunun 2 ucuna takıldı.

Bu deneyde ölçümler yapılırken akışkan olarak hava kullanılmıştır. Bu hava bir fan yardımıyla taşınarak havanın boru içerisinden sürekli olarak geçirilmesi sağlanmıştır. Havayı taşıyan fan da bir elektrik motoru ile döndürülmüştür. Bu fan ve motorun uyumlu çalışması hesaplanan Reynolds sayısına göre yapılmıştır. Elde edilmek istenen hız fanın debisi ve motorun devri ayarlanarak sağlanmıştır. Deneyde kullanılan fan (şekil 3.4):



Şekil 3.4 Fan - Motor

Yapılan bu ölçümler için boru içerisindeki hava akışının sürekliliği sağlanmıştır. Sistem kapalı bir sistem değildir. Hava sürekli akmakta fakat deney tesisatının sonunda hava atmosfere gönderilmektedir.

Deneyde hava akışının debisi hesaplanan Reynolds sayısına göre belirleniyor. Bu hızın belirlenmesi ise bir hızölçer tarafından yapılmıştır. Deneyde kullanılan hızölçer (şekil 3.5):



Şekil 3.5 Hız ölçer

Hızölçer ile hız ölçüldükten sonra sabit bir hızda bir süre bekleniyor. Böylece sistemin rejime girmesi sağlanıyor ve elde edilen değerler daha sağlıklı sonuçlar veriyor. İç elemanlar yerleştirilip hız Reynolds sayısına göre sabitlendikten sonra ve daha iyi sonuçlar almak için bir süre beklendikten sonra basınç farkı ölçülüyor. Basınç farkını ölçmek için borunun giriş ve çıkış noktalarına delikler açılıyor açılan bu delikler sayesinde iç elemanın giriş ve çıkıştaki basınçları bir dijital manometre sayesinde ölçülüyor. Daha sonra elde edilen bu basınç farkı sayesinde literatüre uygun bir şekilde sürtünme katsayıları elde ediliyor. Deneyde kullanılan dijital fark basınç manometresi (şekil 3.6):

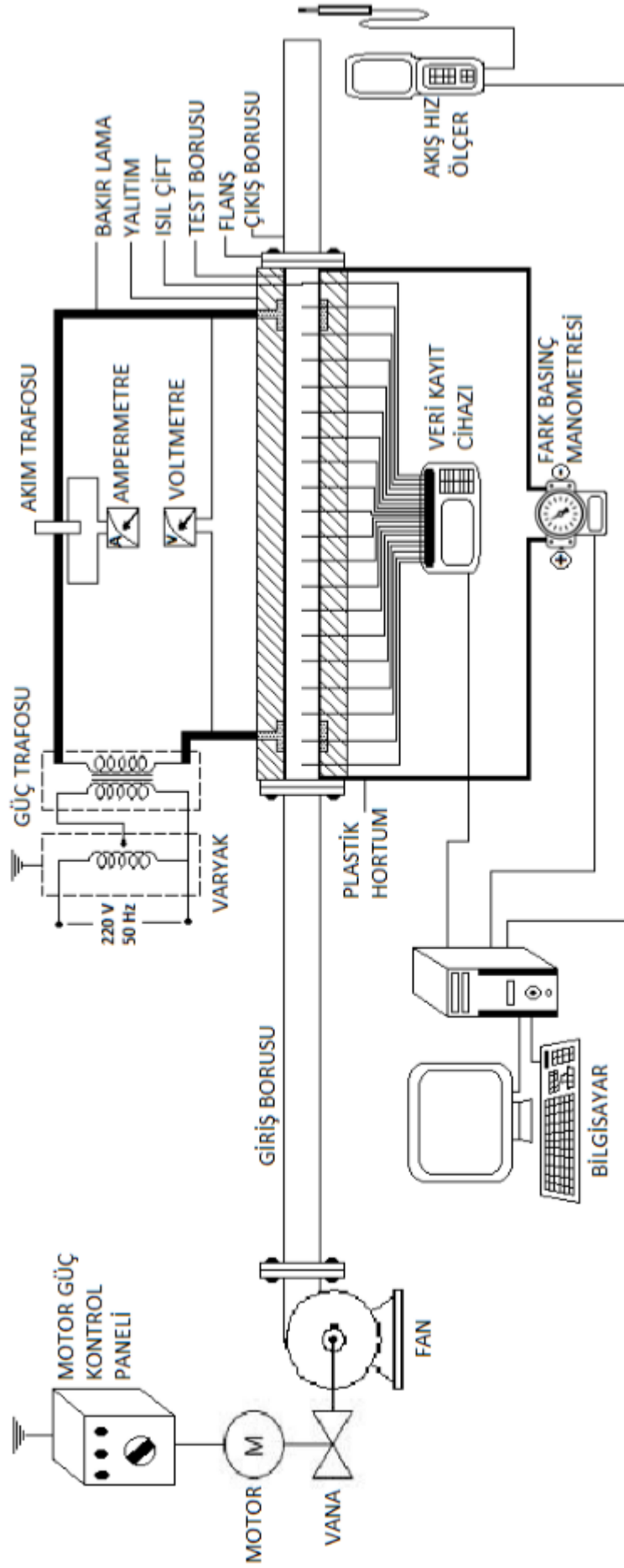


Şekil 3.6 Dijital fark basınç manometresi

Bu deneysel çalışmada boru ısıtılıp içerisinde hava akımı geçirilmiştir ve çeşitli iç elemanlar yerleştirilerek farklı Reynolds değerlerinde hızlar denenerek ısı transferine etki incelenmiştir. Bu etkinin incelenmesi esnasında en önemli değer olan ısı değerleri ölçülerek bu değerlere istinaden ısı transfer katsayısı ve Nusselt değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Bu sıcaklık değerleri okunurken, gerilim ve sıcaklık ölçen bir veri logger kullanılmıştır. Ölçümler, boru üzerine yerleştirilen termokupulların cihaza bağlanması vasıtasıyla yapılmıştır. Her hız değeri için ölçüm yapılmadan önce sistemin rejime girmesi ve daha sağlıklı sonuçlar alabilmek için belli bir süre beklenmektedir. Böylece sıcaklık değerlerinde ki oynama minimum seviyeye indirilmekte ve sonuçlar elde edilmektedir. Deneyde kullanılan veri logger (şekil 3.7):



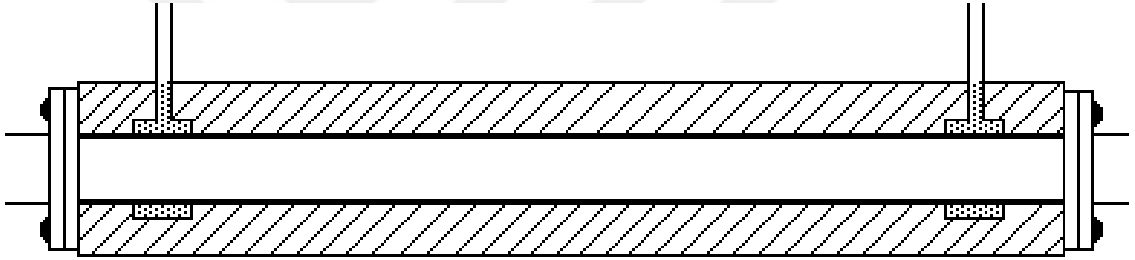
Şekil 3.7 Data logger



Şekil 3.8 Deneysel düzeneğin genel görünümü

3.2.1. Pimsiz Deney Borusu ve Pimli Deney Borusu

Deney düzeneğinde ölçümler için kullanılan test borusu AISI 304 dikişsiz Cr-Ni paslanmaz çelik borudur. Deneyde AISI 304 borusu, elektriksel direncinin yüksek olması sebebi ile sistemde ısı üretici olarak kullanılabilir ve korozyona dayanıklı olması nedeniyle tercih edilmiştir. Boru 76 mm dış, 70 mm iç çapa sahiptir. Ayrıca türbülanslı akış gelişimini sağlayacak yeterli uzunluk olan 700 mm yi yeterli emniyette sağlamak için 1160 mm boyunda seçilmiştir. Ölçüm yapmak amacıyla 2 adet deney borusu hazırlanmıştır. Bunlardan birincisi pimli borularla yapılan deneylerle kıyaslamak amacı ile pimsiz deney borusudur (şekil 3.9). Pimsiz deney borusu 2 ucuna bakır kelepçe ile tutturularak ve borunun uç kısımlarına flanş kaynaklanarak deney tesisatına montaj edilmeye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.9 Pimsiz deney borusu

Yapılan deneyler de pimsiz (Şekil 3.9) ve pimli (Şekil 3.14-17) borular için ısı kaybı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla deney tesisatı üzerindeki boşluklar alüminyum bant ile kaplandıktan sonra, borunun üzerine yalıtım amacıyla cam yününden (Şekil 3.10) bir kılıf geçirilerek ısı yalıtım sağlanmış ve bütün tesisat tekrar alüminyum bant ile kaplanmıştır.



Şekil 3.10 Cam yünü

Basınç farkını ve giriş çıkış sıcaklıklarını ölçmek için test borusunun giriş ve çıkış kısımlarına delikler (Şekil 3.11) açılmıştır. Açılan bu deliklerde alüminyum bant ile kaplanarak buradaki ısı kayıpları da en aza indirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.11 Test borusu

Karşılaştırma amaçlı hazırlanan pimsiz borudan sonra boru üzerine delikler açılarak bu deliklere pimler yerleştirilmiştir. Yerleştirilen pimler alüminyum ve krom-nikel malzemelerden, torna tezgâhında işlenerek hazırlanmıştır. Daha sonra borudaki deliklere ve pimlere diş açılarak pimlerin boruya montajı gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Deney Borusuna Yerleştirilen Pimler

Bu deney düzeneğinde istenilen ölçümlerin yapılması için açılan delik kadar pim hazırlanmıştır. Farklı geometrilere pimler hazırlandı (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13):

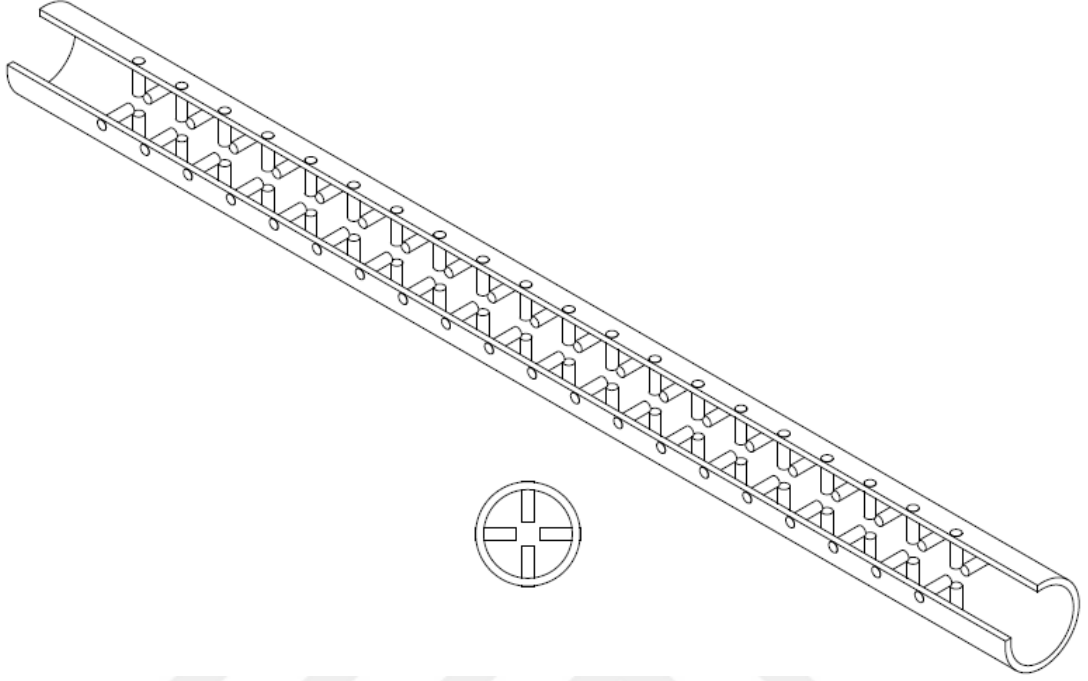


Şekil 3.12 Dairesel pimler

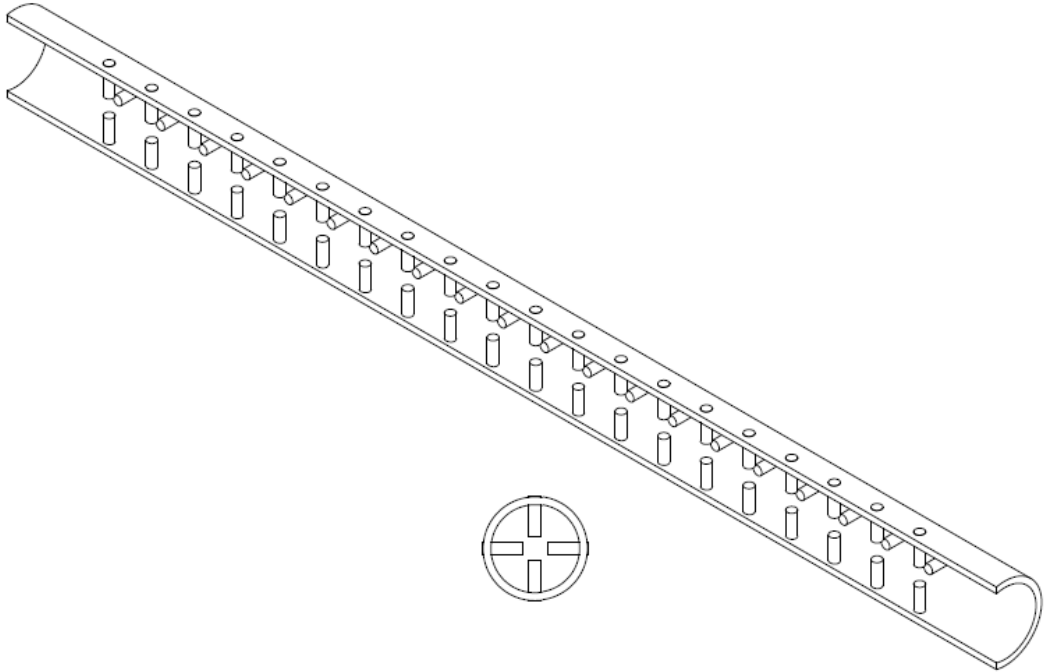


Şekil 3.13 Tıraşlanmış dairesel pimler

Farklı geometride hazırlanan bu pimler ısı transferini arttırıp basınç farkını azaltmak amacıyla farklı şekilde sıralandı. Tamamı düzenli takılı pimli boru (Şekil 3.14):

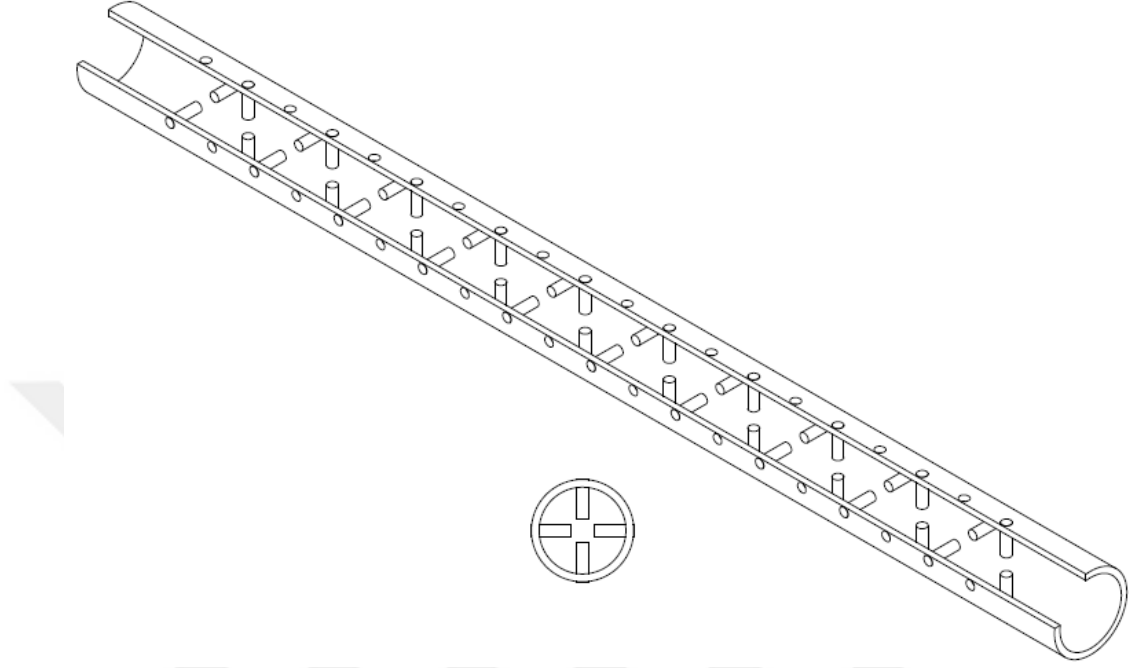


Şekil 3.14 Tamamı düzenli takılı pimli boru (çeyrek kesit)

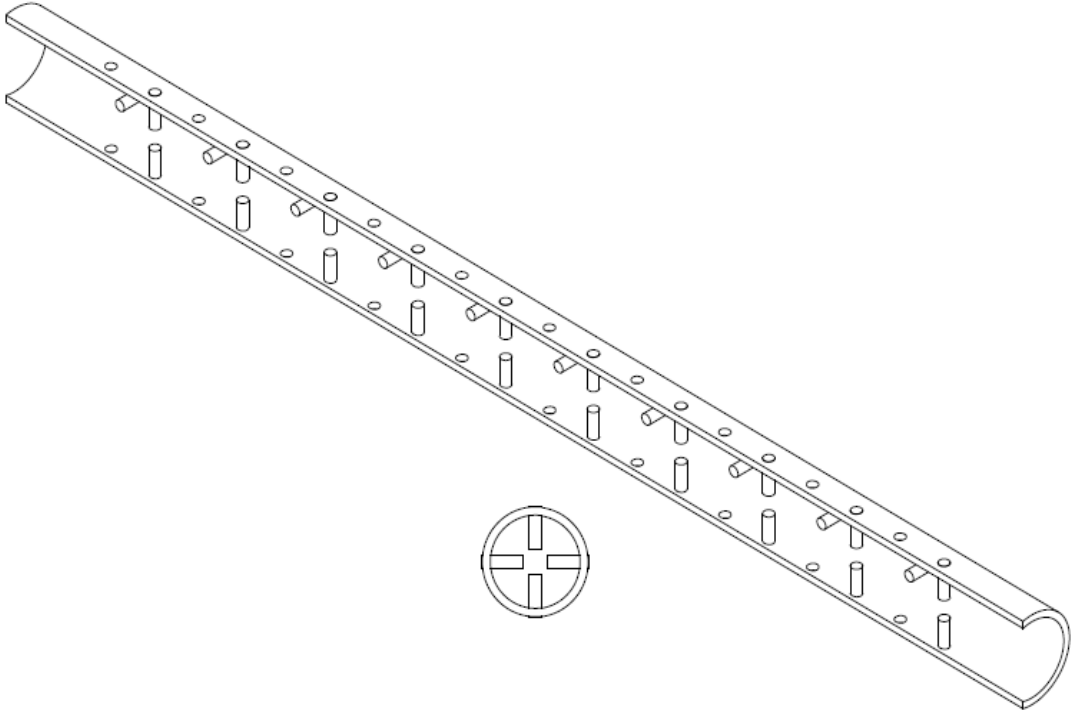


Şekil 3.15 Tamamı düzenli takılı pimli boru (yarım kesit)

Pimler doğrusal ekseninde bir boşluk bırakılarak ve radyal ekseninde bir boşluk bırakılarak çapraz bir şekilde takıldı ve ölçümlerin bir kısmı gerçekleştirildi. Çapraz düzenli takılı pimli borunun farklı kesit görünümü (Şekil 3.17) gösterilmektedir:



Şekil 3.16 Çapraz düzenli takılı pimli boru (çeyrek kesit)



Şekil 3.17 Çapraz düzenli takılı pimli boru (yarım kesit)

Bu deney düzeneğinde dairesel kesitli bir boruya pimler yerleştirilerek ısı transferine etkisi ve basınç farkları tespit edilerek sürtünme katsayısına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde ilk olarak pimsiz boru ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra pimli borular ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Boruya tek sıra da 20 adet delik olmak üzere boru çevresinde 90 derecede açılarla 4 delik açılmıştır. Böylece boru üzerine eşit mesafelerde ve eşit açılarda toplam 80 adet delik açılmıştır.

Bunlara ek olarak pimler farklı malzemelerde yapılarak ölçümler gerçekleştirildi. Alüminyum ve krom-nikel olmak üzere 2 çeşit malzemeden pim imal edilmiştir. Yapılan bu pimlerde krom-nikel malzemeden imal edilen pim tamamı düzenli takılı ve çapraz düzenli takılı olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Alüminyum malzemeden imal edilen pimler ise, tamamı düzenli takılı ve çapraz düzenli takılı olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Alüminyum malzemeden imal edilen traşlı pimler ise, tamamı düzenli takılı ve çapraz düzenli takılı olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Böylece toplamda 7 adet boru için ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bunlardan 1 tanesi boş boru için yapılan ölçümdür. 2 tanesi farklı geometrideki pimler için yapılan ölçümdür. 2 tanesi farklı malzemedeki pimler için yapılan ölçümdür. 2 tanesi ise farklı dizilimdeki pimler için yapılan ölçümdür.

Pimlerin takılacağı deliklerin boru üzerindeki mesafeleri belirlenirken 20 tane termokuplın eşit aralıklarla yerleştirilmesi çizelge 3.1 yer almaktadır.

Çizelge 3.1 Termokuplların boru üzerindeki konumları

X	D	X/D
0,0575	0,07	0,821429
0,1075	0,07	1,535714
0,1575	0,07	2,25
0,2075	0,07	2,964286
0,2575	0,07	3,678571
0,3075	0,07	4,392857
0,3575	0,07	5,107143
0,4075	0,07	5,821429
0,4575	0,07	6,535714
0,5075	0,07	7,25
0,5575	0,07	7,964286
0,6075	0,07	8,678571
0,6575	0,07	9,392857
0,7075	0,07	10,10714
0,7575	0,07	10,82143
0,8075	0,07	11,53571
0,8575	0,07	12,25
0,9075	0,07	12,96429
0,9575	0,07	13,67857
1,0075	0,07	14,39286

3.3. Hesaplamalar

Sistemin sıcaklığı ölçülürken toplam 25 adet termokupl kullanıldı. Bu termokuplların 1 tanesi çıkış sıcaklığı, 2 tanesi ortam sıcaklığı, 2 tanesi yalıtım üstü sıcaklığı, 20 tanesi ise boru dış sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Yapılan bu ölçümler kapalı bir laboratuvar ortamında gerçekleştirildi. Elde edilen sıcaklık değerleri gerekli hesaplamalarda kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu deneyde sıcaklık değerleri kayıt edilmeden önce hangi Reynolds aralığında çalışılacağına karar verildi. Daha sonra ortam sıcaklığına göre kuru havanın viskozitesi tablodan okunarak istenilen Reynolds (eşitlik 3.7) sayısına göre hız hesaplandı.

$$Re = \frac{U_m D_i}{\nu} \quad (3.7)$$

Elde edilen hız değerinde havanın debisi ayarlanıyor ve havanın hızı ölçülüyor. Ancak hız ölçümünde dairesel kesitli boruda hızın maksimum olduğu noktadan ölçüm yapılması gerekiyor. Bu sebeple borunun tam merkezinden geçen eksen noktasından ölçüm yapılması gerekiyor. Hızın, maksimum hıza göre oranı çizelge 3.2 de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Türbülanslı akış için maksimum hız değerleri (Gölcü & Atılgan, 1996)

n	6	7	8	9	10
U/Umax.	0.792	0.8167	0.8366	0.8526	0.8658

Türbülanslı akışlar için hız profili Re sayısına ve sınır tabaka koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Prandtl'in borulardaki tam gelişmiş türbülanslı akışlar için verdiği yedinci dereceden kök kanunu uygulandığında ortalama hızın maksimum hıza oranı (eşitlik 3.8) yaklaşık olarak 0.82 olarak bulunur.(Gölcü & Atılgan, 1996)

$$\frac{U_m}{U_{max}} = 0,82 \quad (3.8)$$

Maksimum hıza göre debi ayarlandıktan sonra sistem çalıştırılarak rejime girmesi beklendi. rejme girme süresi yaklaşık 2 saat olarak tespit edildi. Sitemdeki sıcaklık değerlerindeki sapmalar hiç olmayacak şekilde tespit edildikten sonra ölçümler gerçekleştirildi.

Boru üstü yalıtım sıcaklığı, boru içi havanın sıcaklığı ve ortamın sıcaklığı 2 adet termokupl ile ölçülerek ortalama sıcaklıklar (eşitlik 3.9) (eşitlik 3.10) (eşitlik 3.11) tespit edildi.

$$\bar{T}' = \frac{T'_1 + T'_2}{2} \quad (3.9)$$

$$\bar{T}_\infty = \frac{T_{\infty_1} + T_{\infty_2}}{2} \quad (3.10)$$

$$\bar{T}_b = \frac{T_{b_1} + T_{b_2}}{2} \quad (3.11)$$

Boru içerisindeki havanın ortalama sıcaklığı belirlenerek bu sıcaklığın kuru havanın fiziksel özellikleri gerekli tablodan okunmuştur. Okunan değerler gerekli hesaplamalarda kullanılmıştır. Tabloda bulunmayan ara değerler enterpolasyon yöntemiyle belirlenerek gerekli hesaplamalarda kullanılmıştır.

Sistemin ısıtılması yöntemi elektrik enerjisi kullanarak varyak ile yapılmıştır. Ne kadar bir güç harcadığını hesaplamak için akım ve gerilim değerleri kullanılmıştır. Böylece toplam ısıtıcı gücü (eşitlik 3.12) hesaplanmıştır.

$$P_t = V I \quad (3.12)$$

Net ısıtıcı gücünü hesaplamak için ise sistemden kaybolan ısı miktarının (eşitlik 3.13) belirlenmesi gerekmektedir.

$$Q' = 1,24 \pi D' L (\bar{T}' - T_\infty)^{4/3} \quad (3.13)$$

Net ısıtıcı gücü ise toplam ısıtıcı gücünden kaybolan ısı miktarını (eşitlik 3.14) çıkararak hesaplanır.

$$P = P_t - Q' \quad (3.14)$$

Test borusu yüzeyindeki ısı akısı (eşitlik 3.15):

$$q_w = \frac{P}{2 \pi L R_{w_i}} \quad (3.15)$$

İç ısı üretim miktarı (eşitlik 3.16):

$$\dot{q} = \frac{P}{2 \pi L (r_{w_o}^2 - r_{w_i}^2)} \quad (3.16)$$

Hacimsel debi (eşitlik 3.17):

$$U_m = \frac{\dot{V}}{A_i} \quad (3.17)$$

Sürekli rejimde ısı iletimi (eşitlik 3.18):

$$\frac{\partial^2 T_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_w}{\partial r} + \frac{\dot{q}}{k_w} = 0 \quad (3.18)$$

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dT_w}{dr} \right) + \frac{\dot{q}}{k_w} r = 0 \quad (3.19)$$

$$T_w(r) = c_1 \ln r + c_2 - \frac{\dot{q} r^2}{4k_w} \quad (3.20)$$

Dışı yalıtılmış borunun içerisinde geçen akışkana göre sınır şartları (eşitlik 3.21) (eşitlik 3.22):

$$r = r_i \quad k_w \frac{dT_w}{dr} = h(T_w - T_f) \quad (3.21)$$

$$r = r_o \quad \frac{dT_w}{dr} = 0 \quad (3.22)$$

$$c_1 = \frac{\dot{q} r_{w0}^2}{2k_w} \quad (3.23)$$

$$c_2 = \frac{\dot{q} r_{w0}^2}{2r_{wi} h} - \frac{\dot{q} r_{wi}}{2h} - \frac{\dot{q} r_{w0}^2}{2k_w} - \ln r_{wi} + \frac{\dot{q} r_{wi}^2}{4k_w} + T_f \quad (3.24)$$

İç ve dış yüzey sıcaklık farkı (eşitlik 3.25):

$$T_{w0} - T_{wi} = \frac{\dot{q} r_{w0}^2}{2k_w} \left(\ln \frac{r_{w0}}{r_{wi}} \right) + \frac{\dot{q}}{4k_w} (r_{wi}^2 - r_{w0}^2) \quad (3.25)$$

İç yüzey sıcaklığı (eşitlik 3.26):

$$T_{wi} = T_{w0} - \frac{\dot{q}r_{w0}^2}{2k_w} \left[\ln \left(\frac{r_{w0}}{r_{wi}} \right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r_{wi}^2}{r_{w0}^2} \right) \right] \quad (3.26)$$

K faktörü (eşitlik 3.27):

$$K = \frac{(r_{w0})^2}{2k_w} \left[\ln \frac{r_{w0}}{r_{wi}} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{(r_{wi})^2}{(r_{w0})^2} \right) \right] \quad (3.27)$$

Boru dış yüzey sıcaklığı termokupllar vasıtasıyla ölçülmektedir ve T_{w0x} ile ifade edilmektedir.

İç yüzey sıcaklığı (eşitlik 3.28):

$$T_{wi_x} = T_{w0_x} - K\dot{q} \quad (3.28)$$

Test borusu ekseninde yığık sıcaklıklar doğrusal olarak değişir. Bu nedenle her x noktasındaki yığık sıcaklık eşitlik 3.29'de tespit edilmektedir.

$$T_{bx} = T_{bi} + \frac{P(x/L)}{\rho C_p \dot{V}} \quad (3.29)$$

X noktasındaki taşınım katsayısı (eşitlik 3.30):

$$h_x = \frac{q_w}{T_{wi_x} - T_{bx}} \quad (3.30)$$

X noktasındaki Nusselt sayısı (eşitlik 3.31):

$$Nu_x = \frac{2 h_x r_{wi}}{k} \quad (3.31)$$

3.3.1. Belirsizlik Analizi

Tasarlanmış bir deney düzeneğinde yapılan ölçümlerde hatalar ortaya çıkabilir. Oluşan bu hataları en aza indirebilmek için laboratuvar ortamının uygun bir olması, ölçüm

aletlerinin yapılan deneye ve ölçüm yapılacak aralığa uygun olması, deney cihazı üzerinde çalışılacak aralığın iyi bilinmesi ve ölçüm yapan kişinin dikkatli olması gerekmektedir.

Belirsizlik analizleri sadece sonuç için değildir. Uygun ölçüm yöntemi belirleme noktasında ve ölçüm aracının seçilmesi için uygulanacak bir yöntemdir.

Reynolds sayısının hesaplamasındaki belirsizlik (eşitlik 3.32):

$$\frac{W_{Re}}{Re} = \left[\left(\frac{W_D}{D} \right)^2 + \left(\frac{W_{U_m}}{U_m} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.32)$$

Ortalama yığık sıcaklıktaki belirsizlik (eşitlik 3.33):

$$\frac{W_{T_b}}{T_b} = \left[\left(\frac{W_{T_{b_1}}}{T_{b_1} + T_{b_2}} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_{b_2}}}{T_{b_1} + T_{b_2}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.33)$$

Net ısıtıcı gücündeki belirsizlik (eşitlik 3.34):

$$\frac{W_{P_{net}}}{P_{net}} = \left[\frac{(I W_{\Delta V})^2 + (\Delta V W_i)^2 + (W Q_{kayıp})^2}{(\Delta V I - Q_{kayıp})^2} \right]^{1/2} \quad (3.34)$$

Isı akısındaki belirsizlik (eşitlik 3.35):

$$\frac{W_q}{q} = \left[\left(\frac{W_{P_{net}}}{P_{net}} \right)^2 + \left(\frac{W_{D_0}}{D_0} \right)^2 + \left(\frac{W_L}{L} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.35)$$

Taşınım katsayısındaki belirsizlik (eşitlik 3.36):

$$\frac{W_{h_x}}{h_x} = \left[\left(\frac{W_q}{q} \right)^2 + \left(\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.36)$$

Nusselt sayısındaki belirsizlik (eşitlik 3.37):

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \left[\left(\frac{W_{h_x}}{h_x} \right)^2 + \left(\frac{W_D}{D} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.37)$$

Sürtünme katsayısındaki belirsizlik (eşitlik 3.38):

$$\frac{W_f}{f} = \left[\left(\frac{W_{\Delta P}}{\Delta P} \right)^2 + \left(\frac{W_D}{D} \right)^2 + \left(\frac{W_L}{L} \right)^2 + \left(\frac{2 W_{U_m}}{U_m} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.38)$$

Krom–Nikel tamamı düzenli takılı pimli boru da $Re=10000$ değeri için belirsizlik analizi yukardaki eşitliklere göre Ek-5’de hesaplanmıştır. Ek-5’ de yer alan örnek için Reynolds sayısındaki belirsizlik % 1, net güçteki belirsizlik %1, sürtünme katsayısındaki belirsizlik %5, taşınım katsayısındaki belirsizlik %0.89, Nusselt sayısındaki belirsizlik %9.4 olarak hesaplanmıştır. Bu hatalar deney sırasında yapılan belirsizlik değerlerini ifade etmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, boru üzerine farklı geometrilerde, malzemelerde ve dizilimlerde pimler yerleştirilerek yapılmıştır. Deneyler önce pimsiz boruda tekrarlatılmıştır. Böylece pimli ve pimsiz boruların ve de literatür ile karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca deneyler farklı pim malzemesi (alüminyum, Cr-Ni), farklı diziliş (tamamı düzenli takılı pim, bir boşluklu çapraz takılı pim), farklı pim geometrisi (alüminyum silindir pim, alüminyum yüzey alanı daraltılmış pim) olmak üzere toplamda 6 pim yapısında gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında her pim yapısı için hızlar debi ayarlama yöntemiyle belirlenerek farklı Reynolds sayısı değerlerinde (10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 35000, 40000, 45000, 50000) tekrarlanmıştır.

Yapılan çalışmada ısıtma gücü ortalama 100 W değerinde tutulmaya çalışılmıştır. Deneylerde ölçümler, sistemin sürekli rejime girdiği yaklaşık olarak 2 saat bekledikten sonra yapılmıştır.

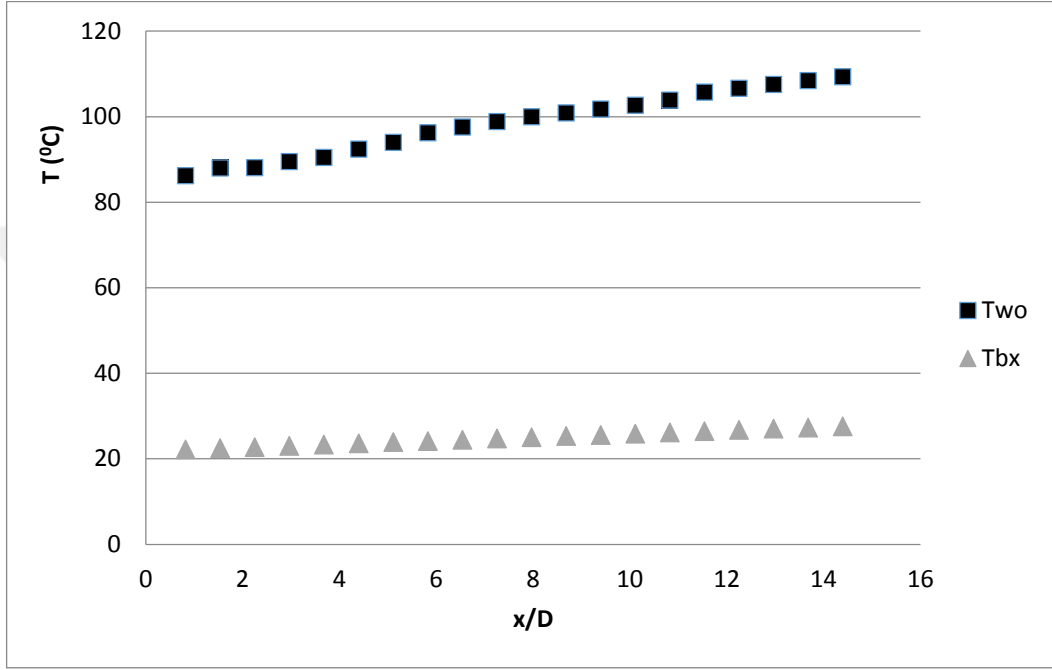
4.1. Pimsiz Boru Deneysel Sonuçları

Boru içi akışta pimlerin ısı transferi, sürtünme katsayısı ve basınç kaybı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla öncelikle boş boru ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde mevcut ve yaygın olarak kullanılan eşitlik ve değerlendirmelerle mukayese edilmiştir. Boş boru deneyleri sabit ısı akısında Re 10000-50000 aralığında uygun hava debisinde gerçekleştirilmiştir.

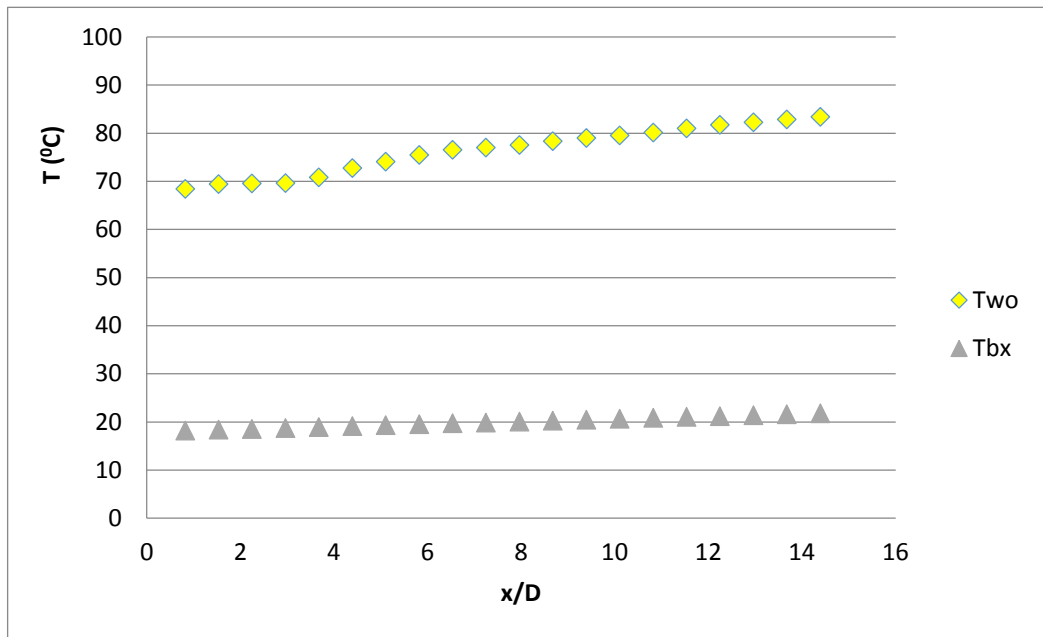
Şekil 4.1 ile 4.5' de, test borusu boyunca dış cidar sıcaklığı (T_{wo}) ve akışkanın ortalama yığık sıcaklık (T_{bx}) değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.1 ile 4.5' de görüldüğü üzere tüm Reynolds sayısı değerlerinde boru boyunca sıcaklıklar artmaktadır. Test borusu dışına yapılan ısı yalıtımı ve bakır-nikel alaşımli baralar aracılığıyla test borusuna uygulanan elektrik gücünün homojen olarak dağılması sonucunda test borusu dış cidar sıcaklığı (T_{wo}) boru boyunca doğrusal olarak arttığı gözlemlenmektedir. Boru boyunca farklı Reynolds sayılarında Nusselt değerlerinin değişimi de şekil 4.6' da gösterilmiştir. Şekil 4.7' de elde edilen Nusselt değerlerinin Reynolds sayısına göre değişiminin literatür ile karşılaştırılması yapılmıştır. Boş boruda yapılan ölçümlerde elde edilen Nusselt grafiğine göre, borunun giriş kısmında Nusselt değerinde ani düşüş görülmektedir. Giriş kısmındaki bu düşüş $X/D=4$ ile $X/D=10$ aralığında devam etmektedir. $X/D=10$

noktasından sonra okunan değerler birbirine daha yakın ve azalarak devam etmektedir. Isıl olarak gelişmekte olan bölgede çalışıldığı için Nusselt değerindeki bu azalma devam etmektedir.

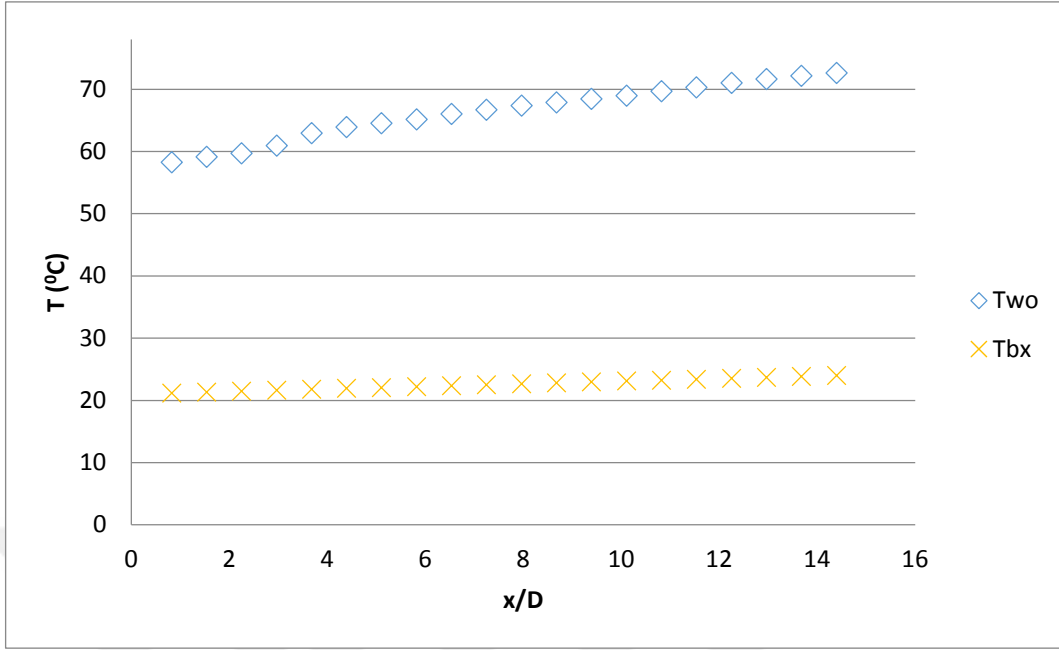
Şekil 4.8’de de Reynolds sayısına göre sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Reynolds sayısının artması ile sürtünme katsayısında düşüş gözlemlenmiştir. Şekil 4.8 de görüldüğü gibi sonuçlar literatürle uyum göstermektedir.



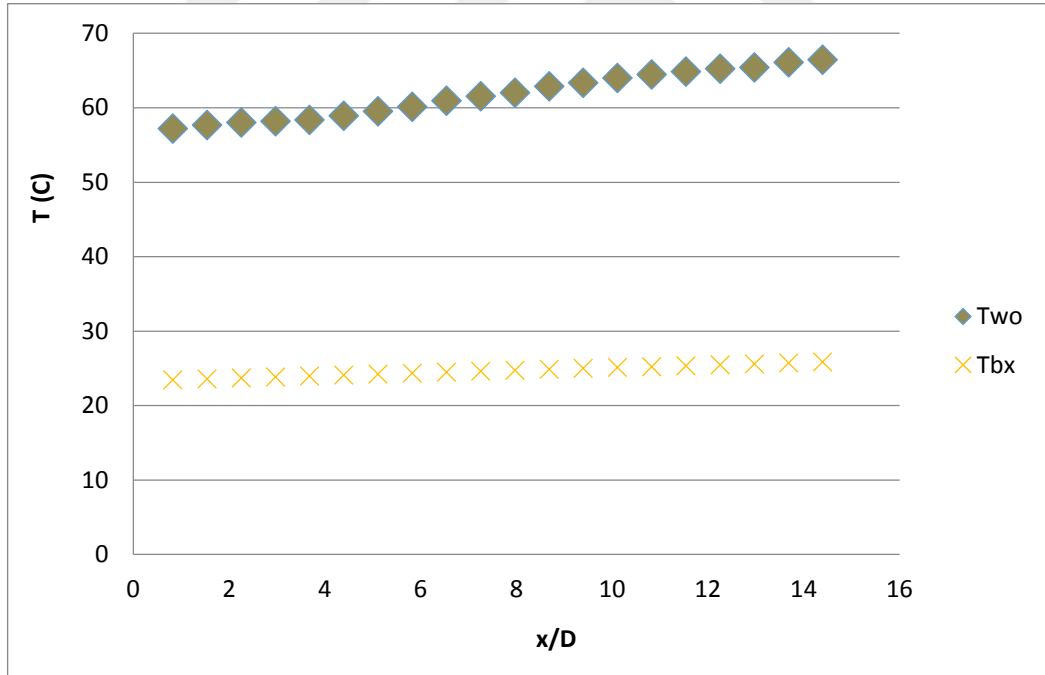
Şekil 4.1 Pimsiz boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=17313)



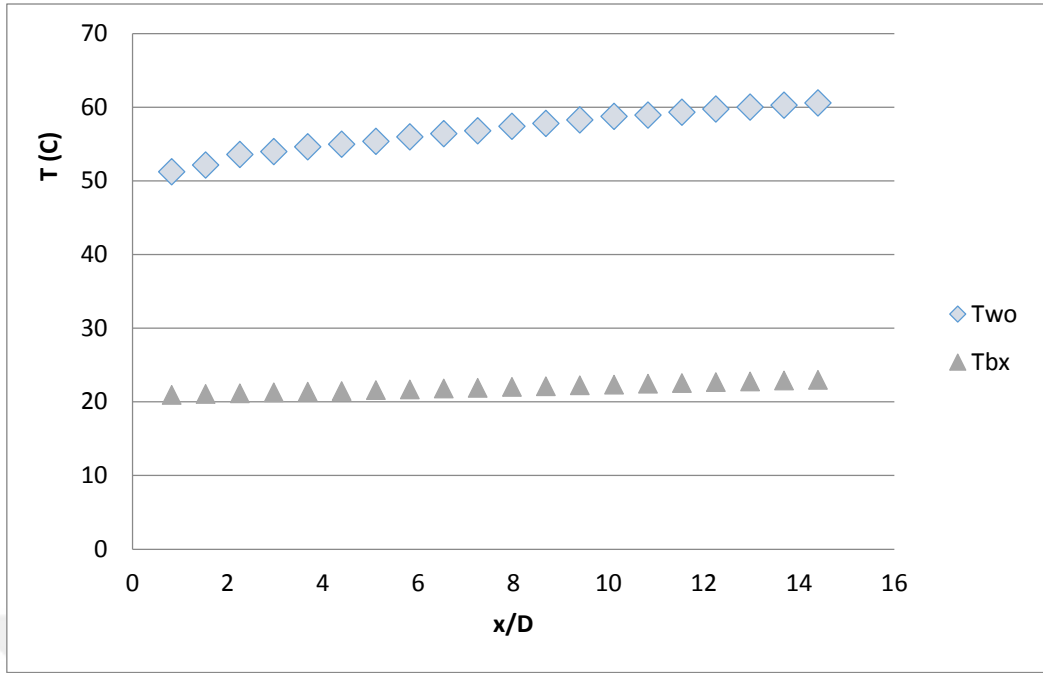
Şekil 4.2 Pimsiz boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=25765)



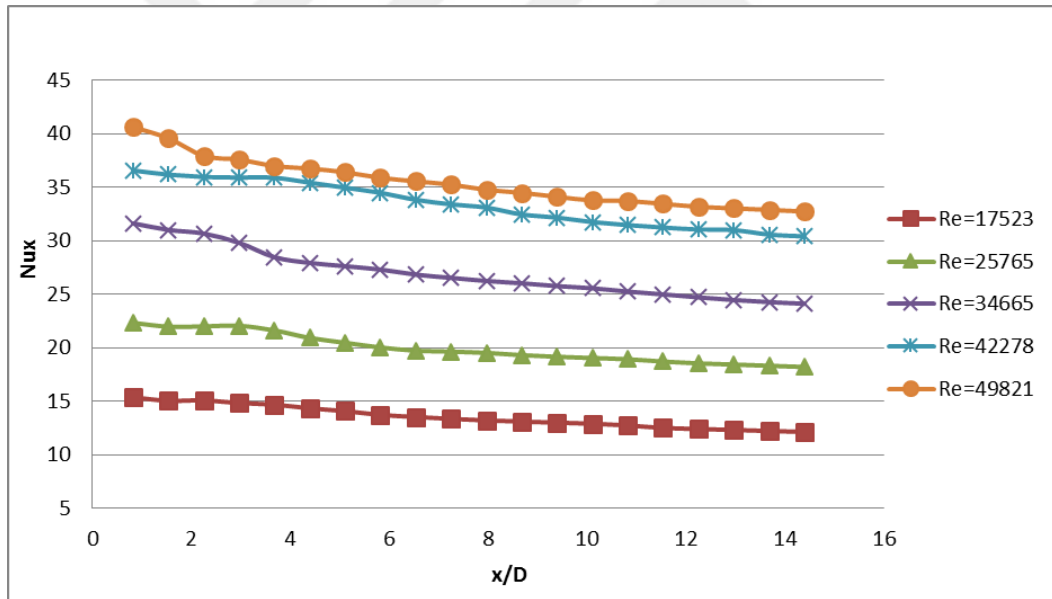
Şekil 4.3 Pimsiz boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=34665)



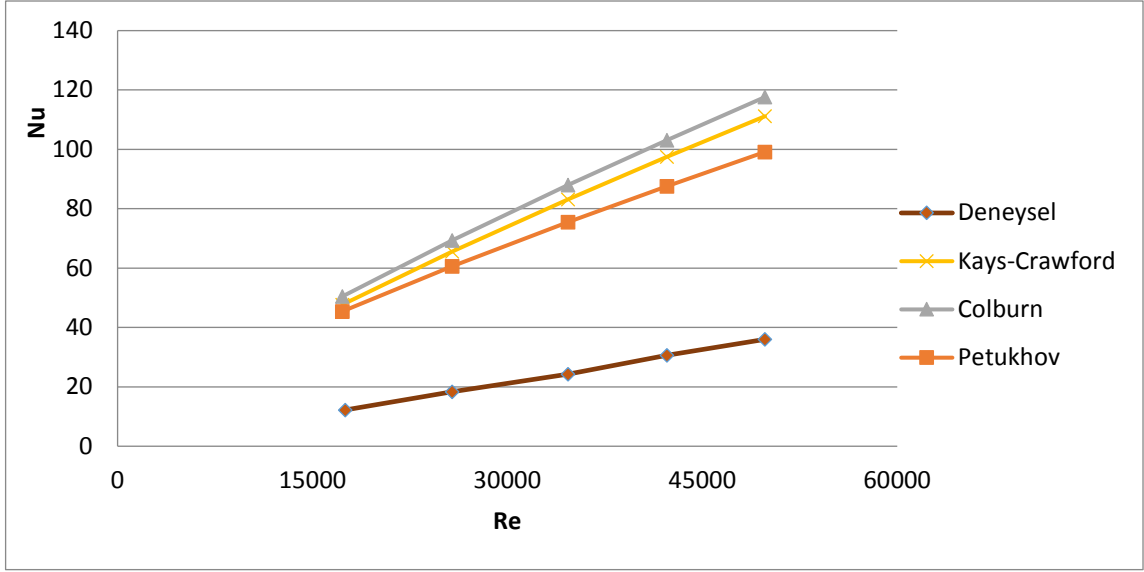
Şekil 4.4 Pimsiz boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=42278)



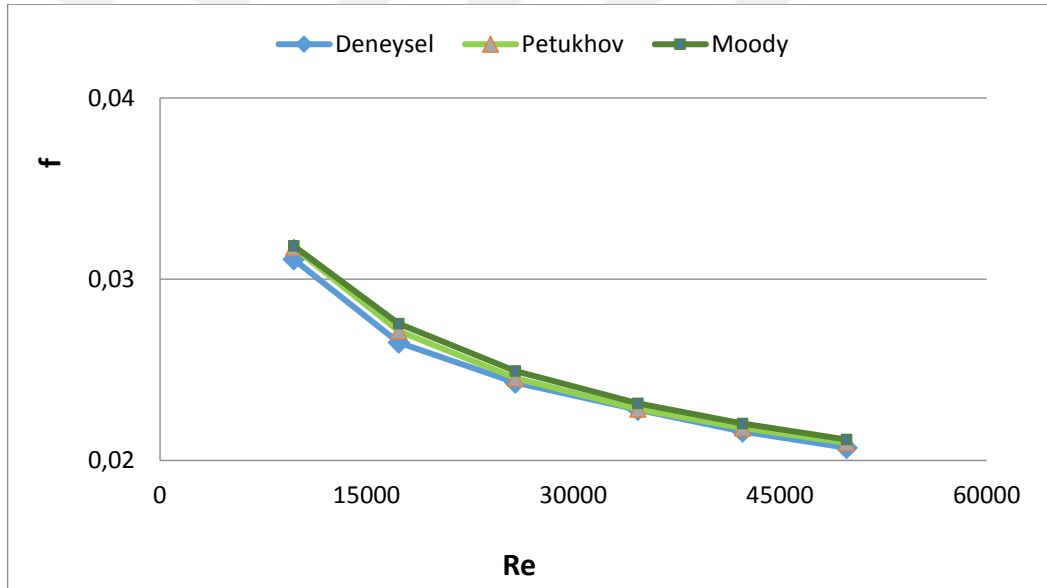
Şekil 4.5 Pimsiz boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=49821)



Şekil 4.6 Pimsiz boru boyunca Nusselt değerlerinin değişimi



Şekil 4.7 Pimsiz boru için Reynolds sayısına göre Nusselt sayısının değişimi



Şekil 4.8 Pimsiz boru için Reynolds sayısına göre sürtünme faktörünün değişimi

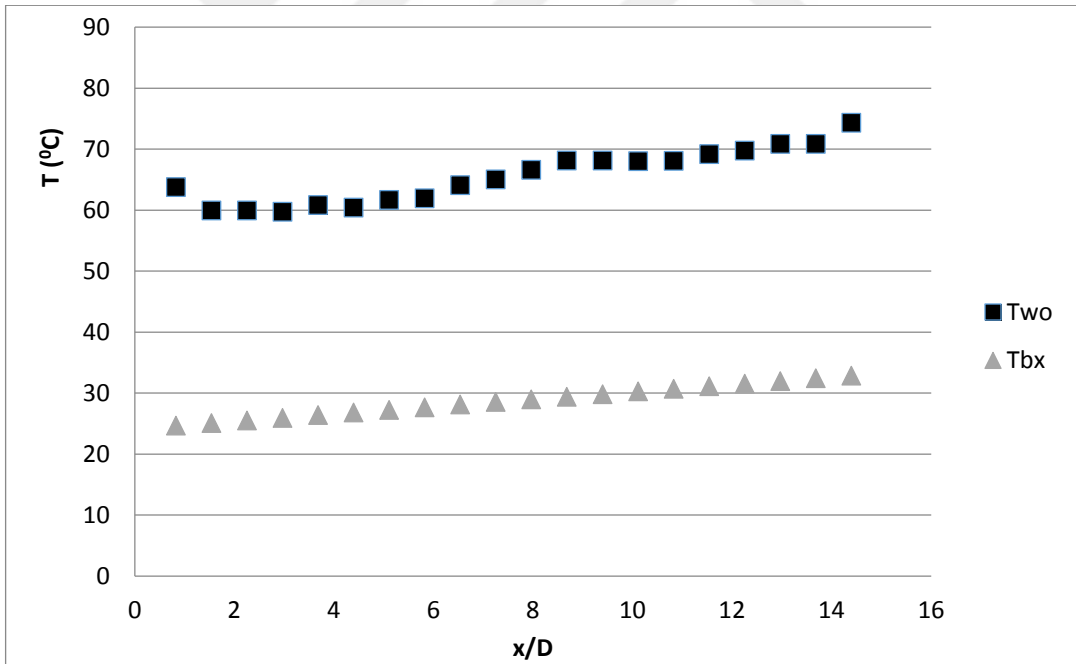
4.2 Çapraz Sıralanmış Alüminyum Pimli Boru Deneysel Sonuçları

Bu çalışmada boruya yerleştirilen pimlerin ısı transferi ve basınç kaybına etkileri incelenmiştir. İlk olarak çapraz sıralı alüminyum pimlerin ısı transferine ve akış karakteristiğine etkisi araştırılmıştır. Buna göre çapraz sıralanmış alüminyum pimli borular için boru boyunca sıcaklık değişimleri şekil 4.9 ile 4.17' de verilmiştir. Şekillerden çıkarılabilecek ilk değerlendirme boru cidar sıcaklığının girişte pimlerin oluşturduğu ilave türbülans nedeni ile bir miktar düştüğü sonrasında ise boru boyunca

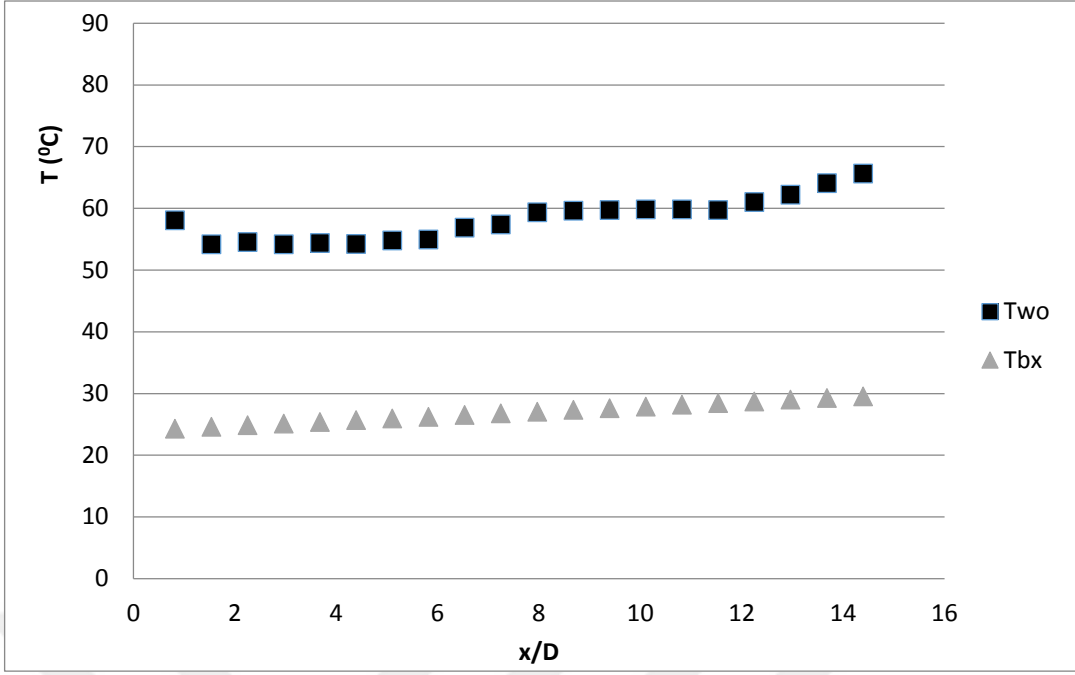
artarak yükselmesidir. Akışkan sıcaklığı ise şekillerden görüldü gibi test borusu girişinden çıkışına kadar hemen hemen doğrusal olarak artmaktadır.

Boru boyunca farklı Reynolds sayılarında Nusselt değerlerinin değişimi şekil 4.18 de gösterilmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde genel olarak bütün Reynolds değerleri için borunun giriş kısmında Nusselt değerleri düşükken $X/D=2$ mesafesinde ani bir yükselme ile maksimum değere ulaşmış sonrasında azalarak test borusunun çıkışına kadar düşüşüne devam etmiştir. Bu durumun havanın boru girişindeki pimlere çarpması ile akış ayrılması meydana gelerek ilave türbülans, çalkantı ve girdapların oluşması ile taşınım katsayısının ani olarak artmasına neden olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca şekil 4.18'den görüldüğü gibi Reynolds sayısının artması ile Nusselt değerleri de artmaktadır.

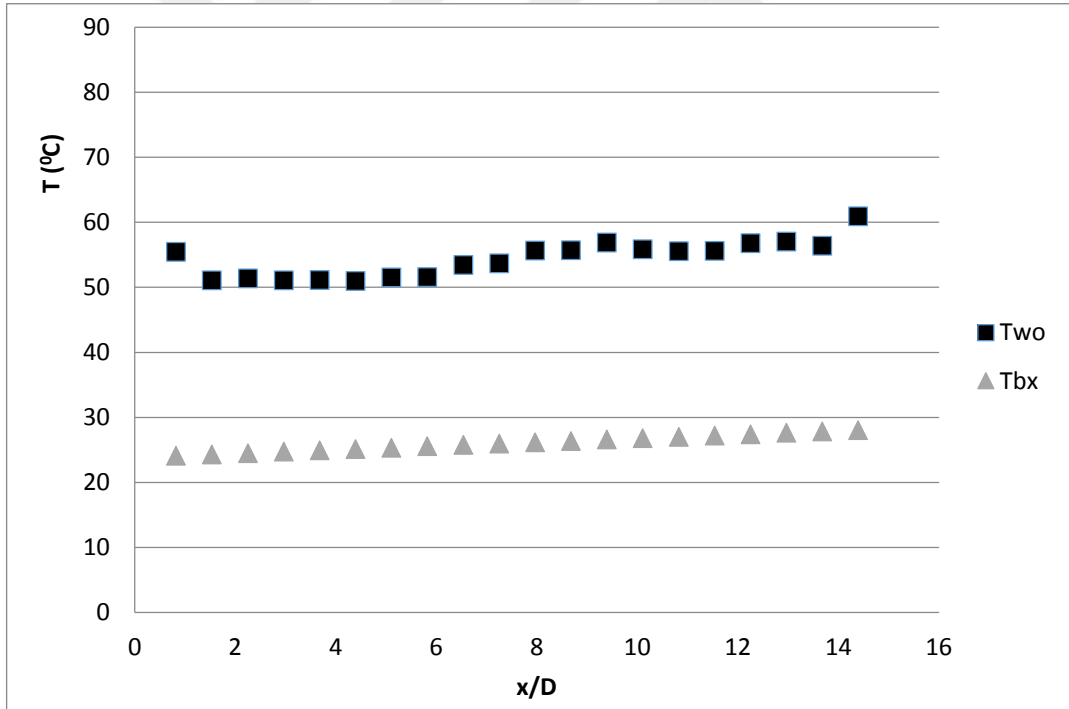
Şekil 4.19' da Reynolds sayısına göre sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Bu şekile göre Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısının bir miktar azaldığı ancak genel olarak birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı değerine $Re=33178$ değerinde ulaştığı görülmektedir.



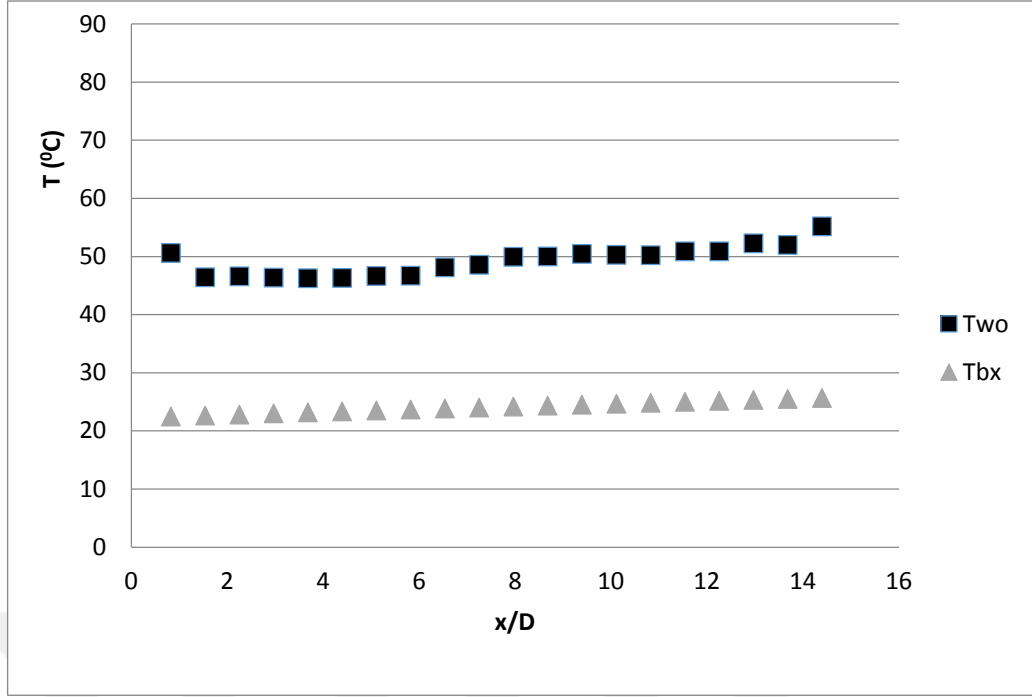
Şekil 4.9 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=9287)



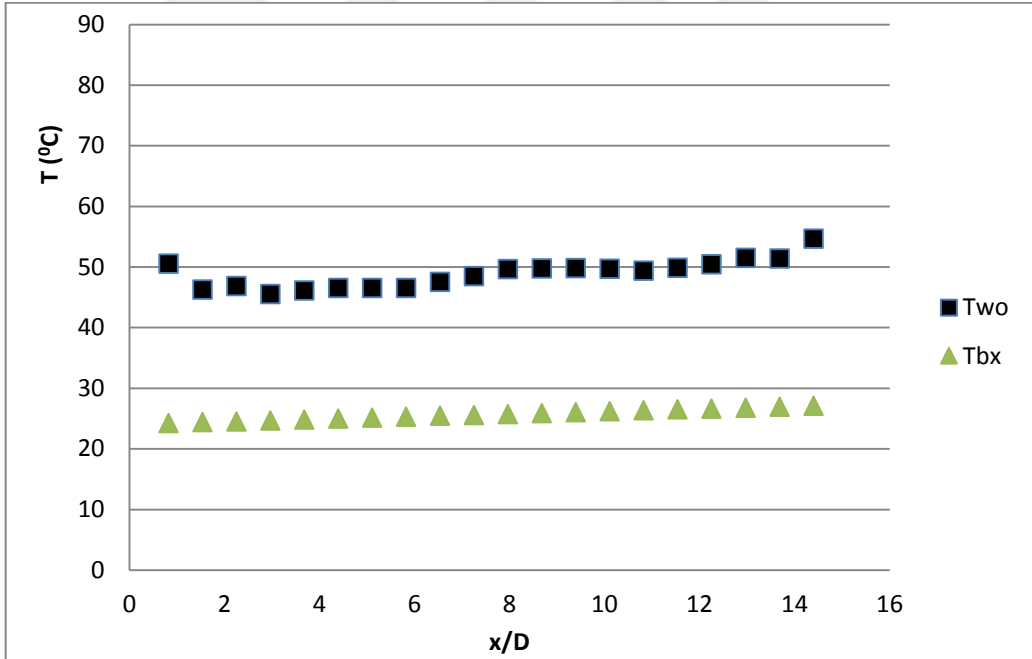
Şekil 4.10 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=14080)



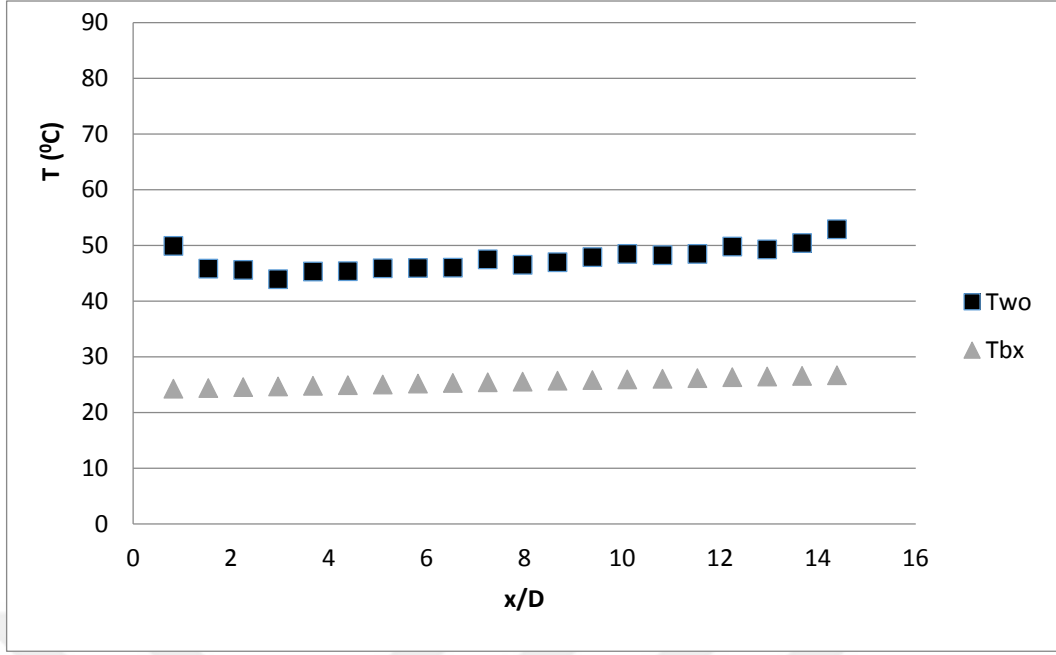
Şekil 4.11 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=18870)



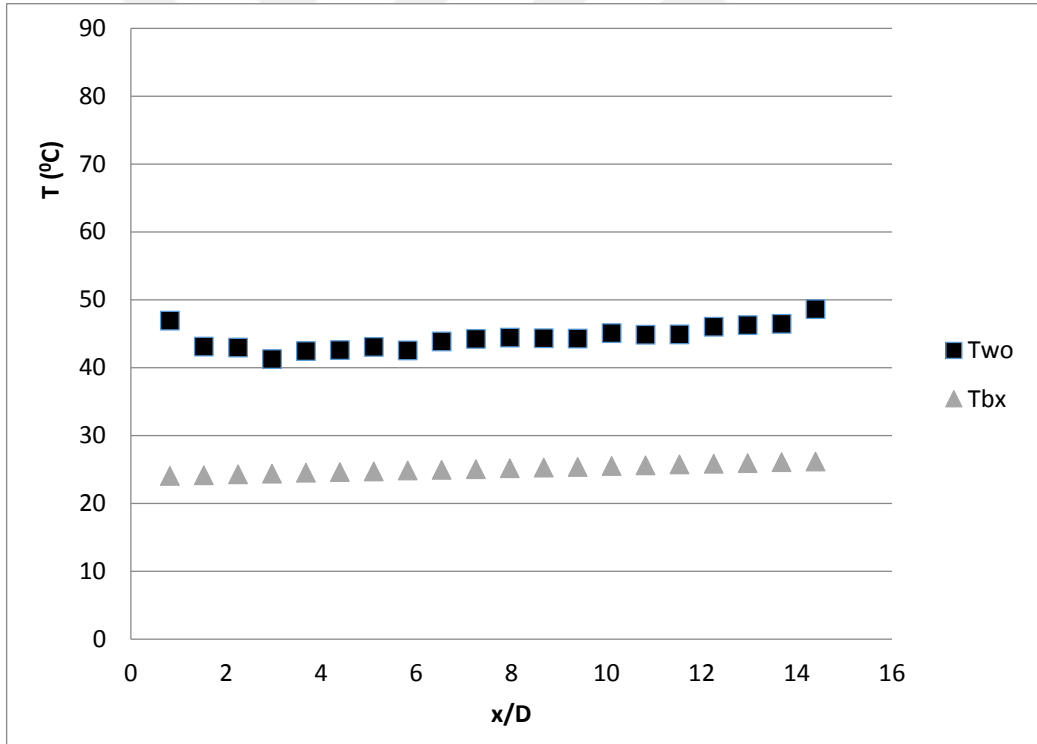
Şekil 4.12 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=23884)



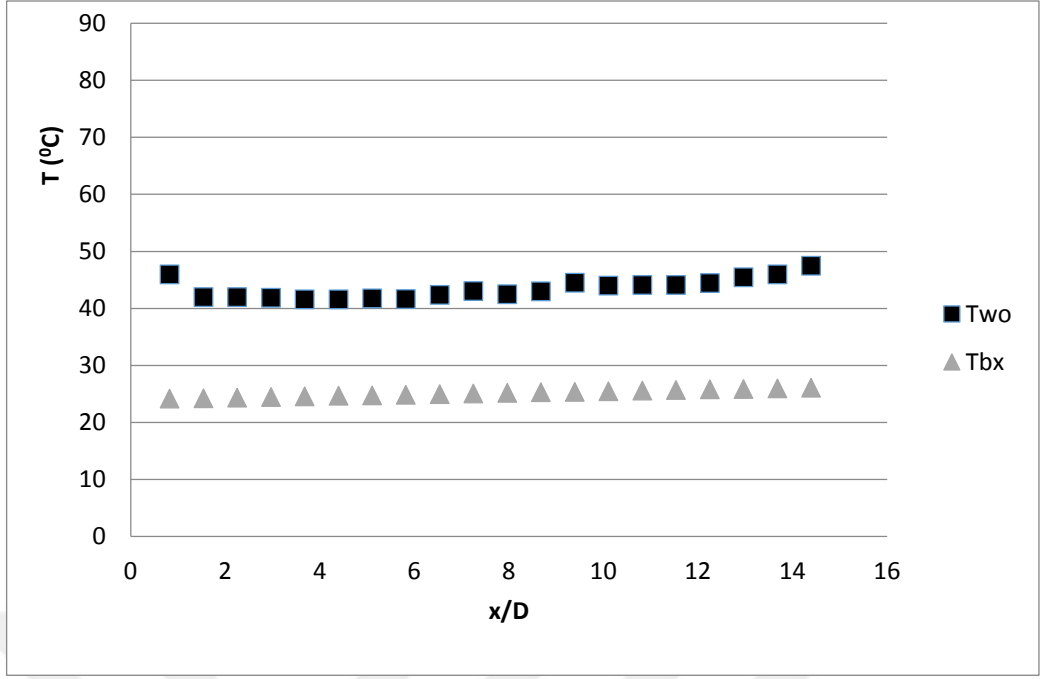
Şekil 4.13 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=28470)



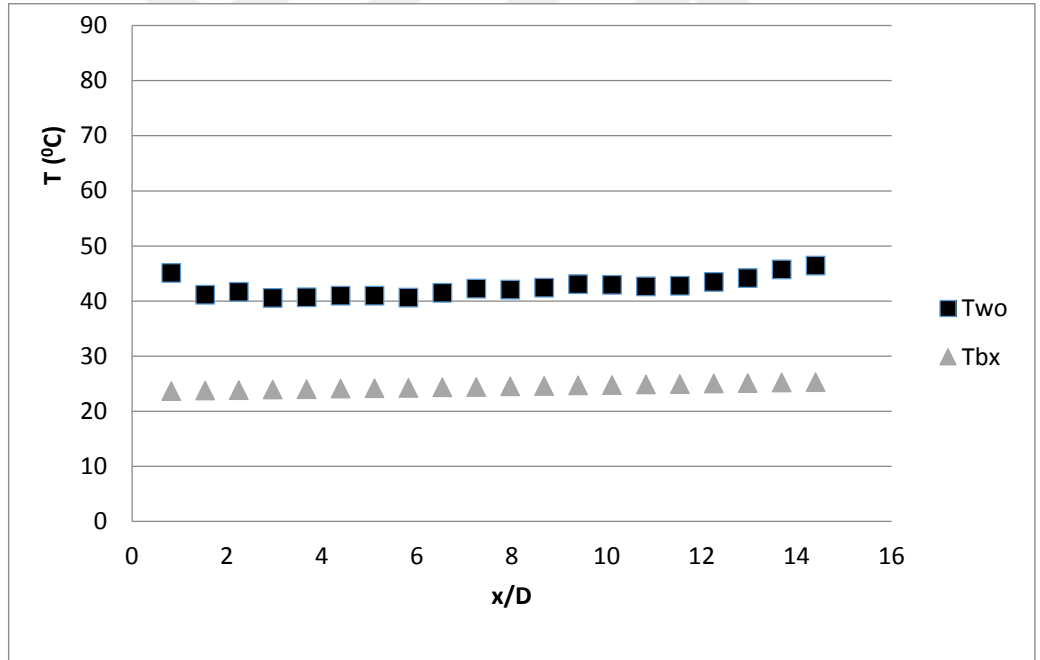
Şekil 4.14 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=33178)



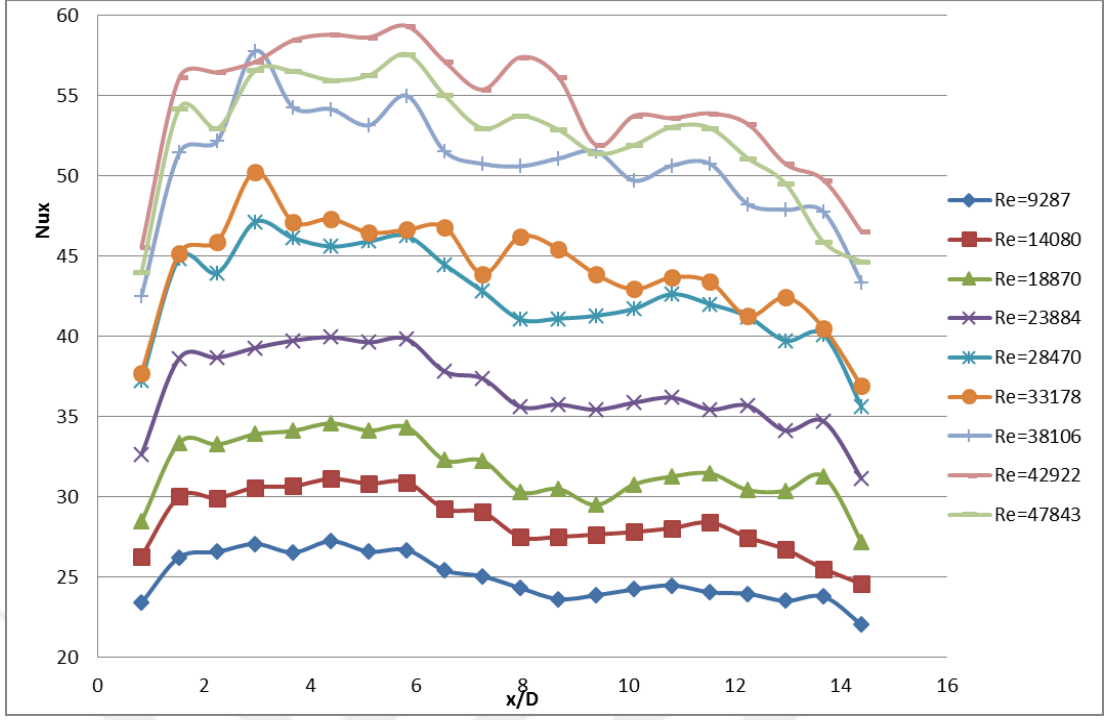
Şekil 4.15 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=38106)



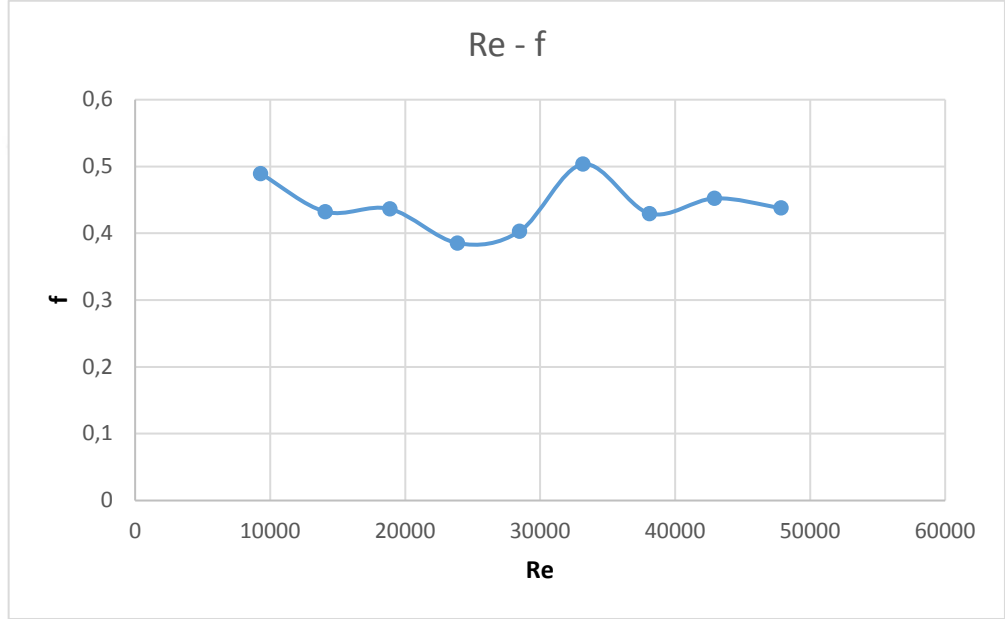
Şekil 4.16 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=42922)



Şekil 4.17 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re= 47843)



Şekil 4.18 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru boyunca Nusselt değerlerinin değişimi



Şekil 4.19 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru için Reynolds sayısına göre sürtünme faktörünün değişimi

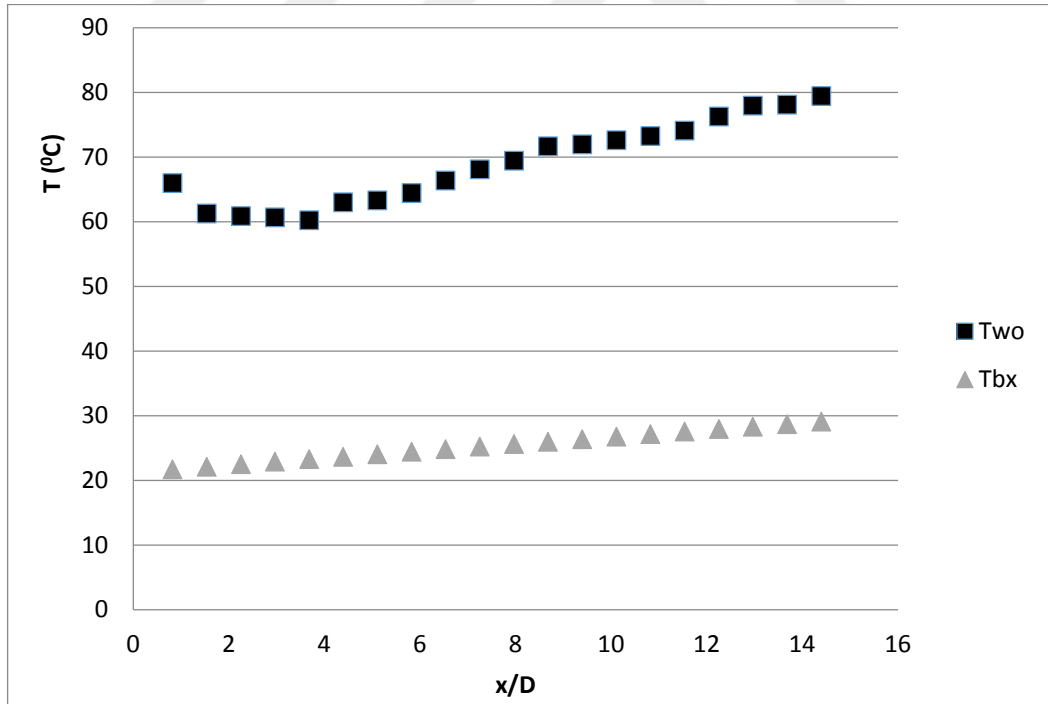
4.3. Tamamı Düzenli Takılı Alüminyum Pimli Boru Deneysel Sonuçları

Çalışmada tamamı düzenli takılı alüminyum pimlerin de ısı transferine ve akış karakteristiğine etkisi araştırılmıştır. Buna göre tamamı düzenli takılı alüminyum pimli borular için boru boyunca sıcaklık değişimleri şekil 4.20 ile 4.28' de verilmiştir.

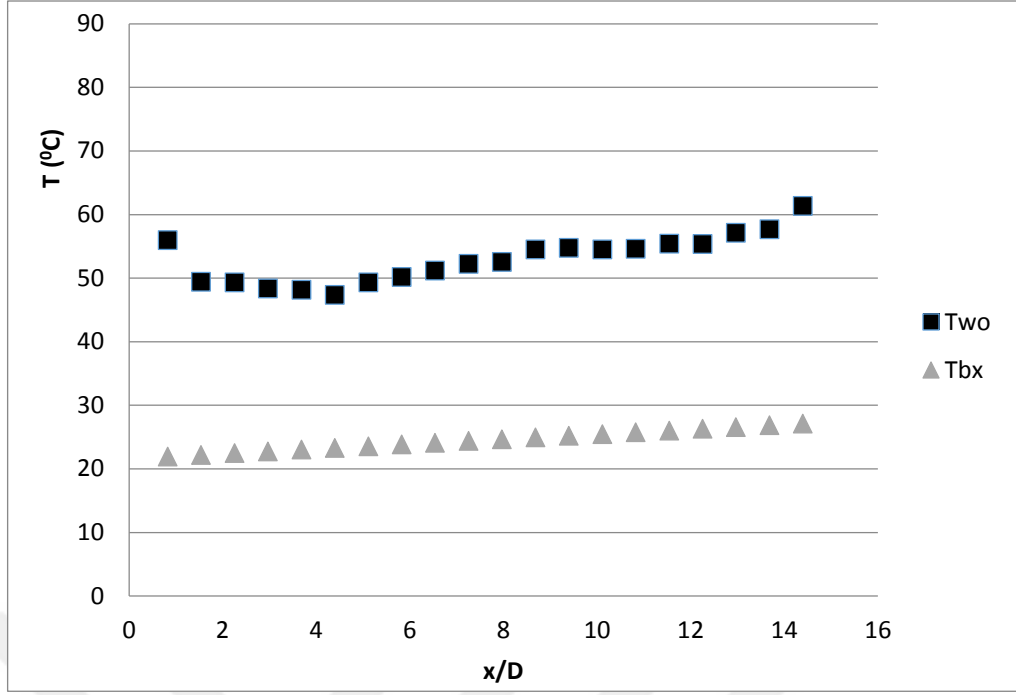
Şekillerden çıkarılabilecek ilk değerlendirme boru cidar sıcaklığının girişte pimlerin oluşturduğu ilave türbülans nedeni ile bir miktar düştüğü sonrasında ise boru boyunca artarak yükselmesidir. Akışkan sıcaklığı ise şekillerden görüldü gibi test borusu girişinden çıkışına kadar hemen hemen doğrusal olarak artmaktadır.

Boru boyunca farklı Reynolds sayılarında Nusselt değerlerinin değişimi şekil 4.29 de gösterilmiştir. Şekil 4.29 incelendiğinde genel olarak bütün Reynolds değerleri için borunun giriş kısmında Nusselt değerleri düşükken $X/D=6$ mesafesinde ani bir yükselme ile maksimum değere ulaşmış sonrasında azalarak test borusunun çıkışına kadar düşüşüne devam etmiştir. Bu durumun havanın boru girişindeki pimlere çarpması ile akış ayrılması meydana gelerek ilave türbülans, çalkantı ve girdapların oluşması ile taşanım katsayısının ani olarak artmasına neden olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

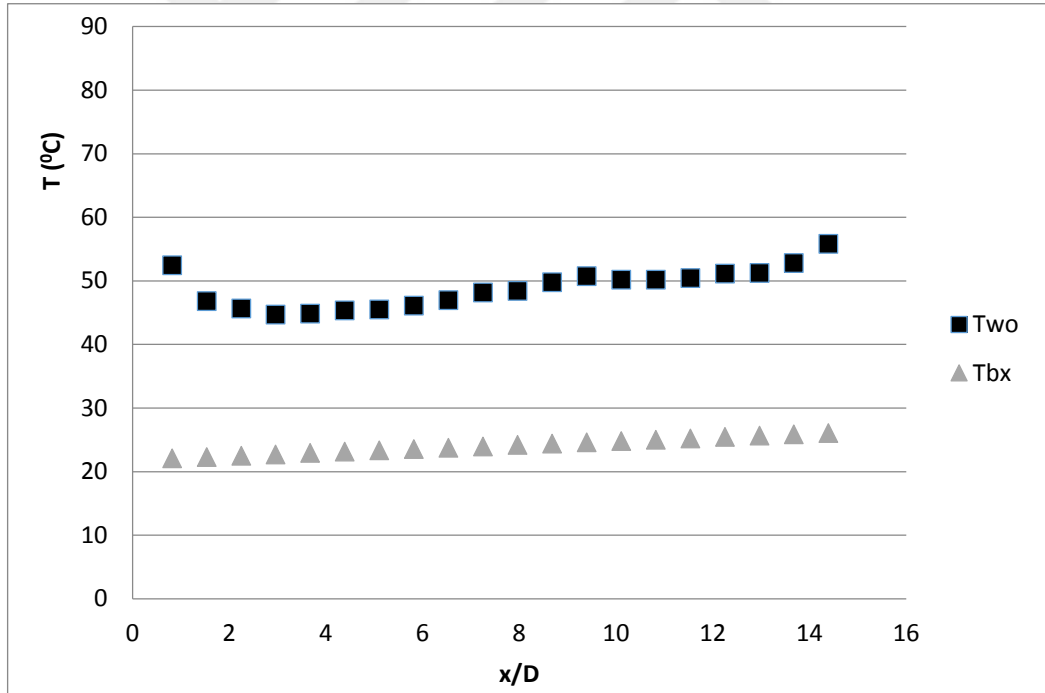
Şekil 4.30' da Reynolds sayısına göre sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Bu şekile göre Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısı bir miktar azaldığı ancak genel olarak birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı değerine $Re=33510$ değerinde ulaştığı görülmektedir.



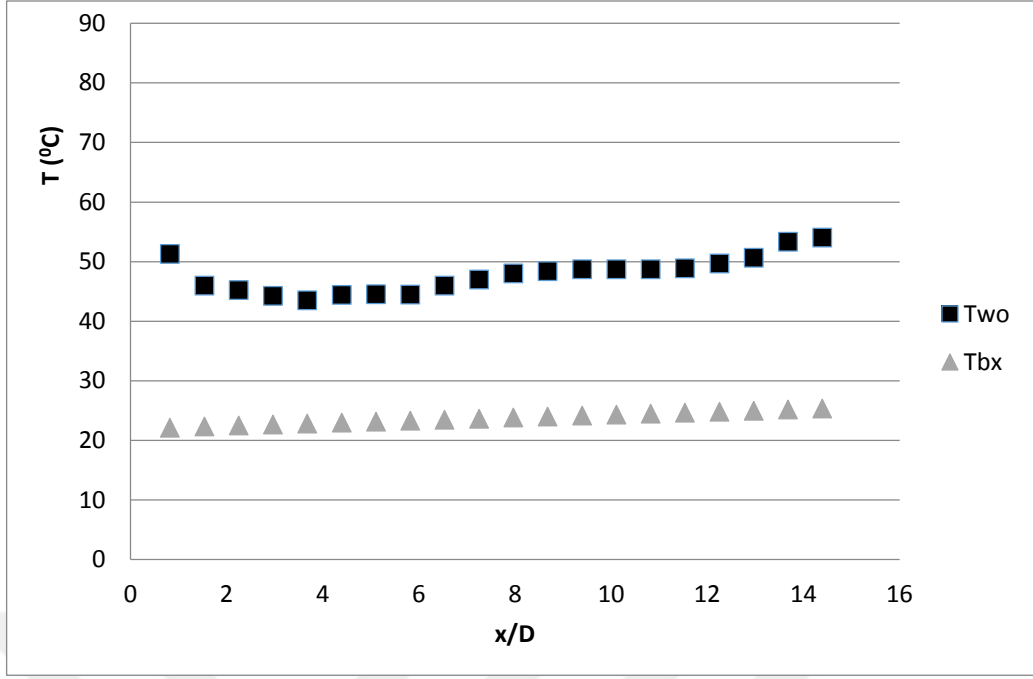
Şekil 4.20 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=9148)



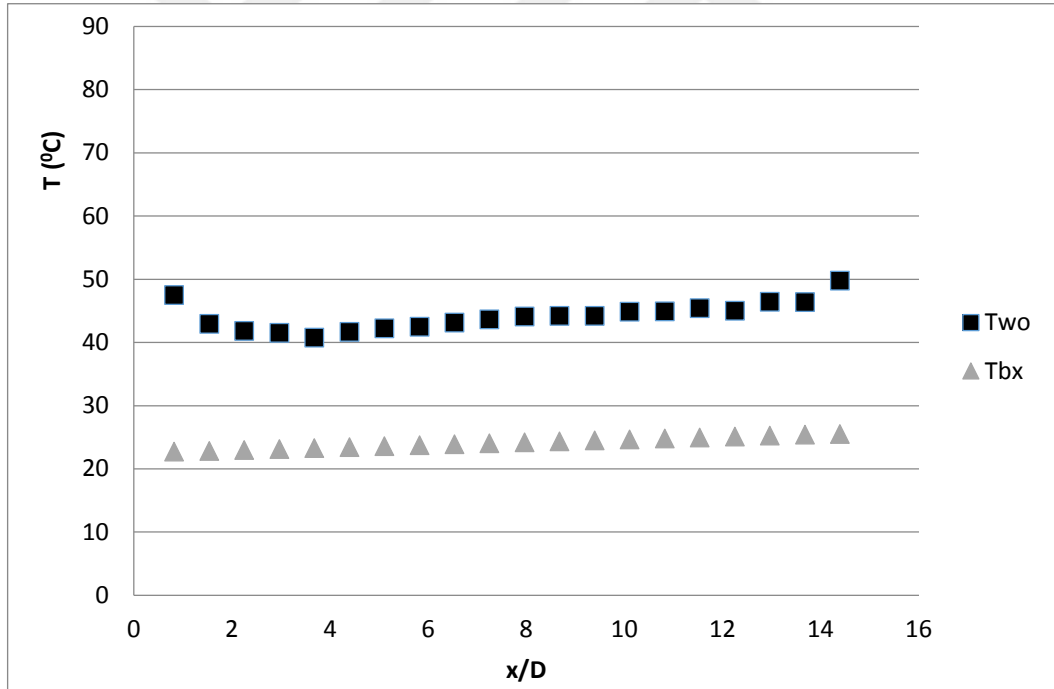
Şekil 4.21 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=14167)



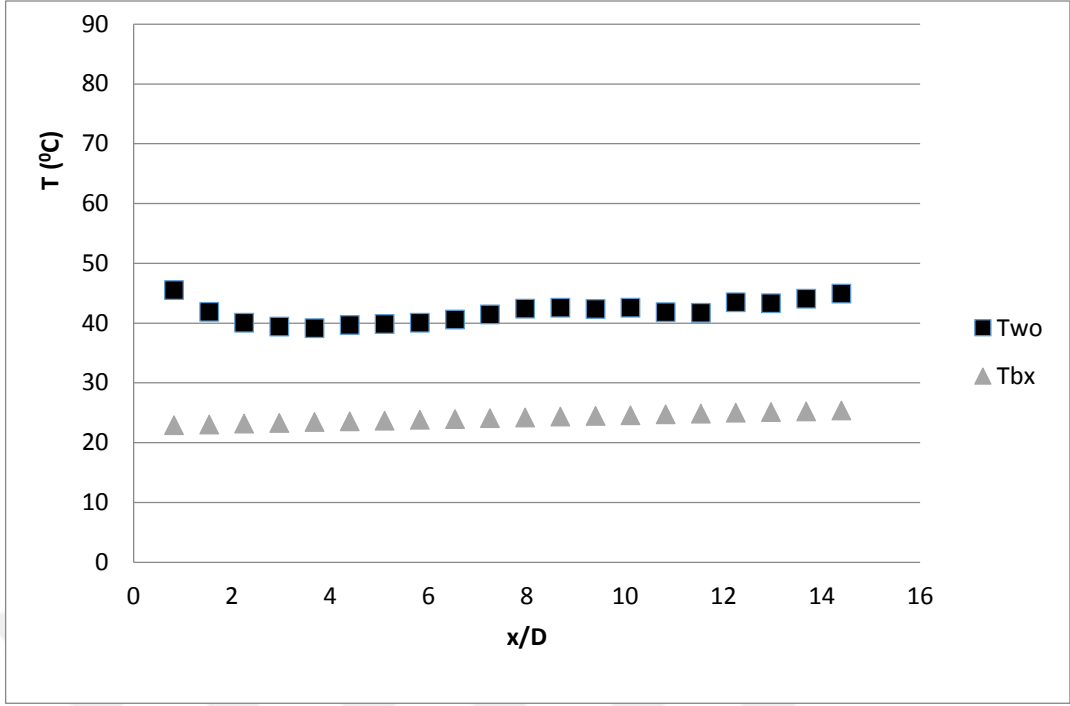
Şekil 4.22 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=19023)



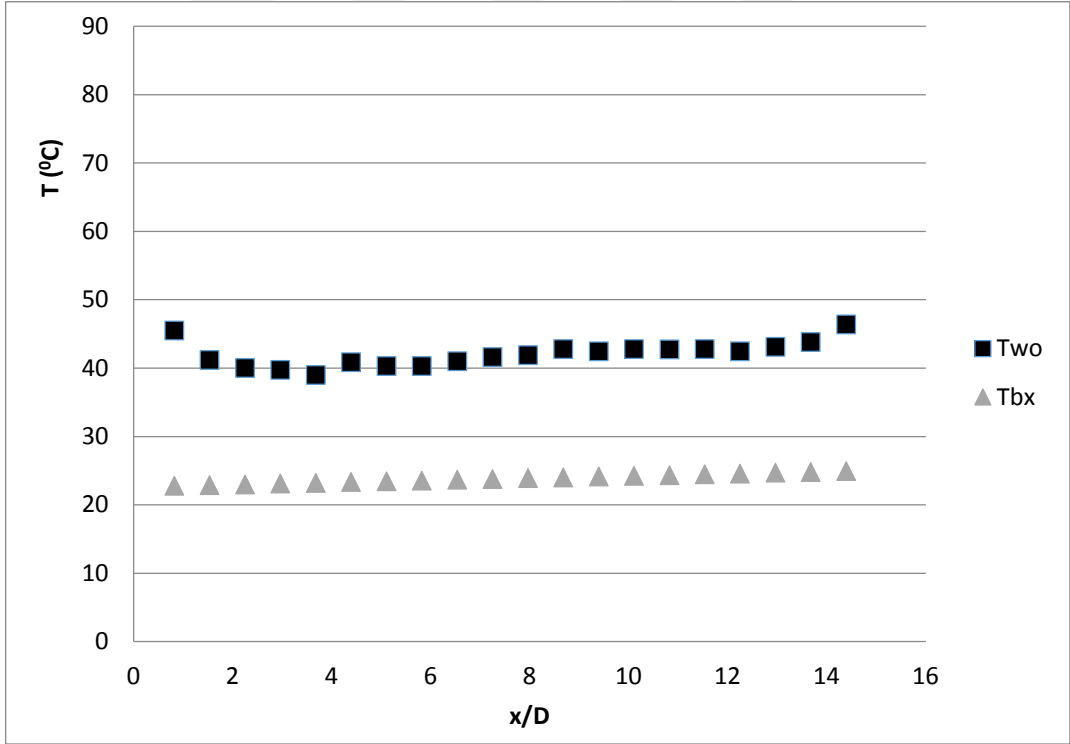
Şekil 4.23 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=23816)



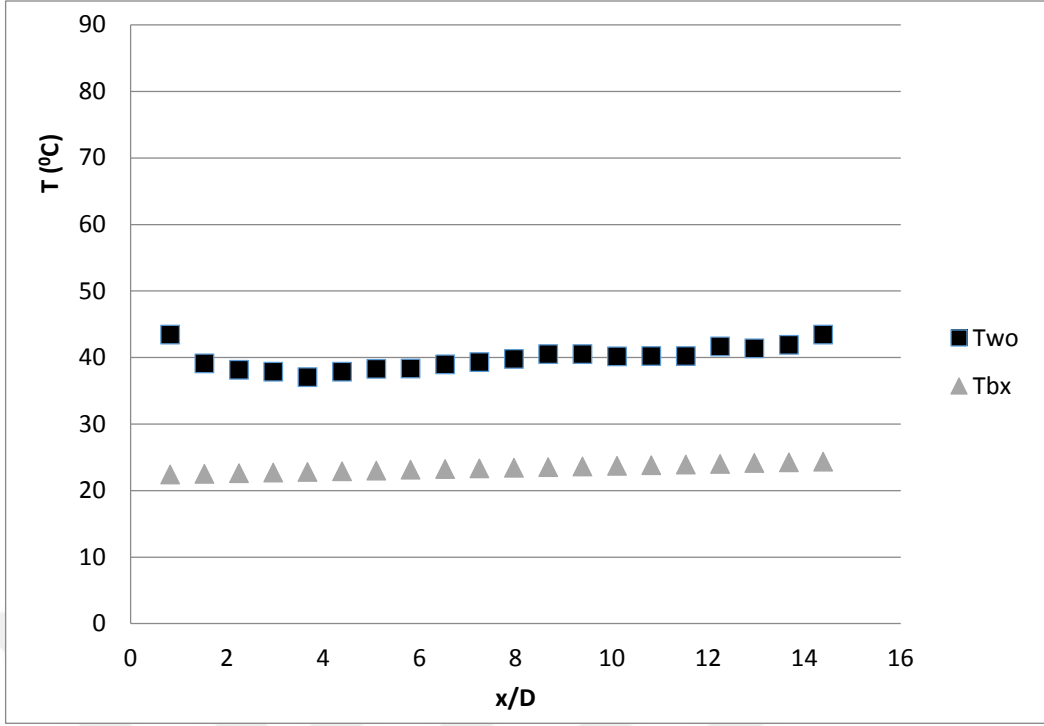
Şekil 4.24 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=28620)



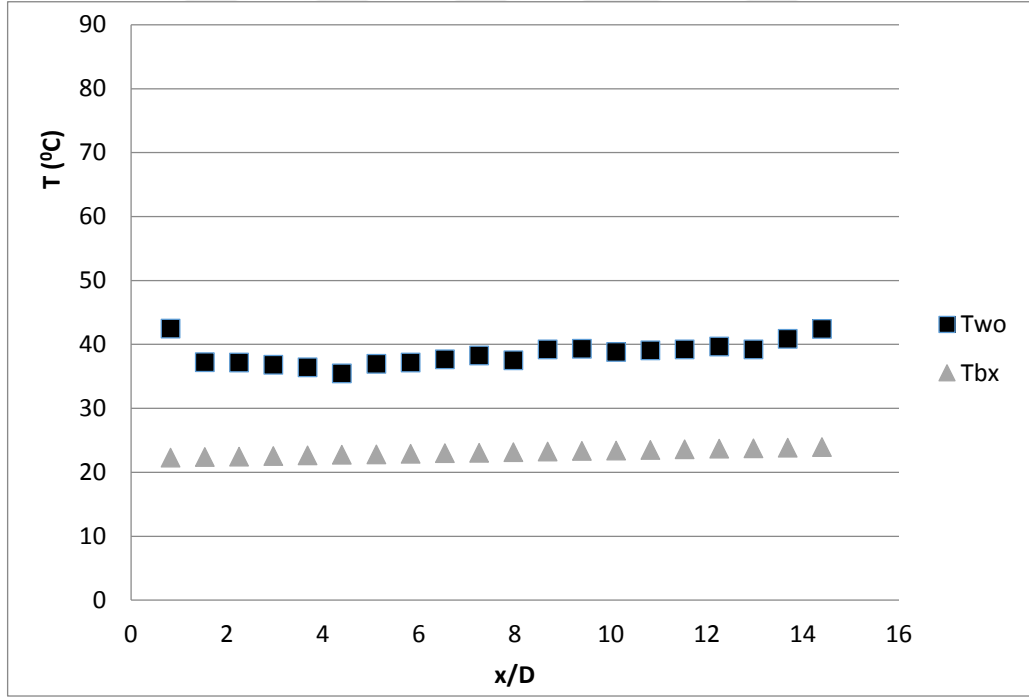
Şekil 4.25 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=33510)



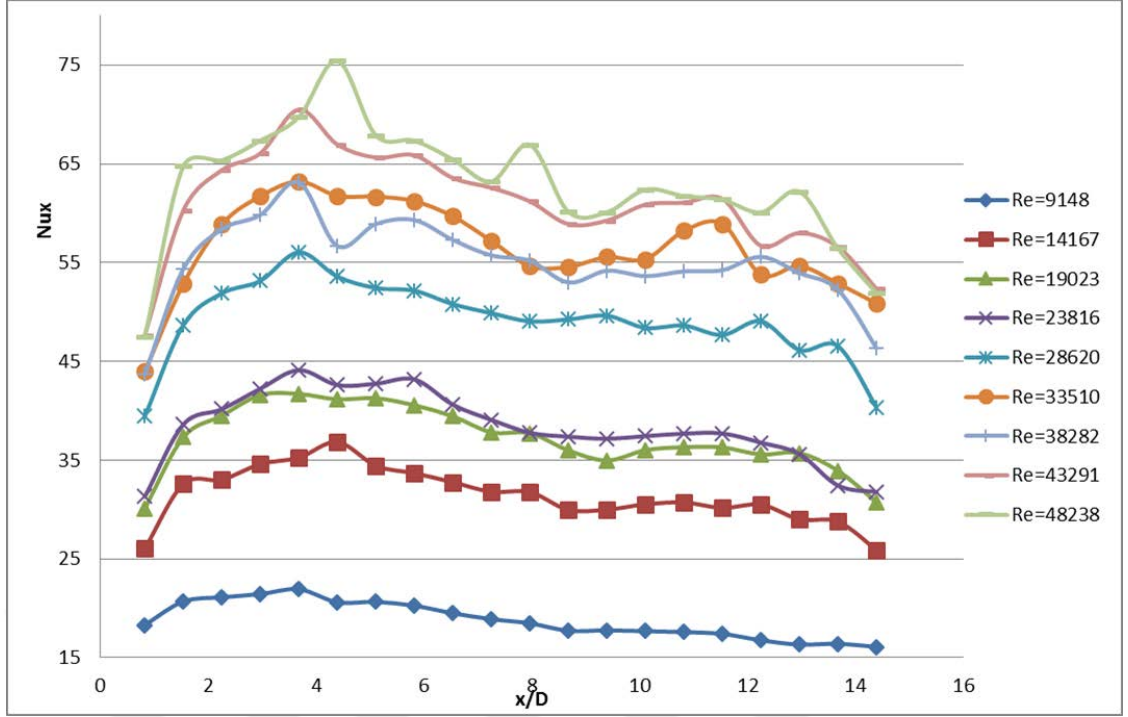
Şekil 4.26 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=38282)



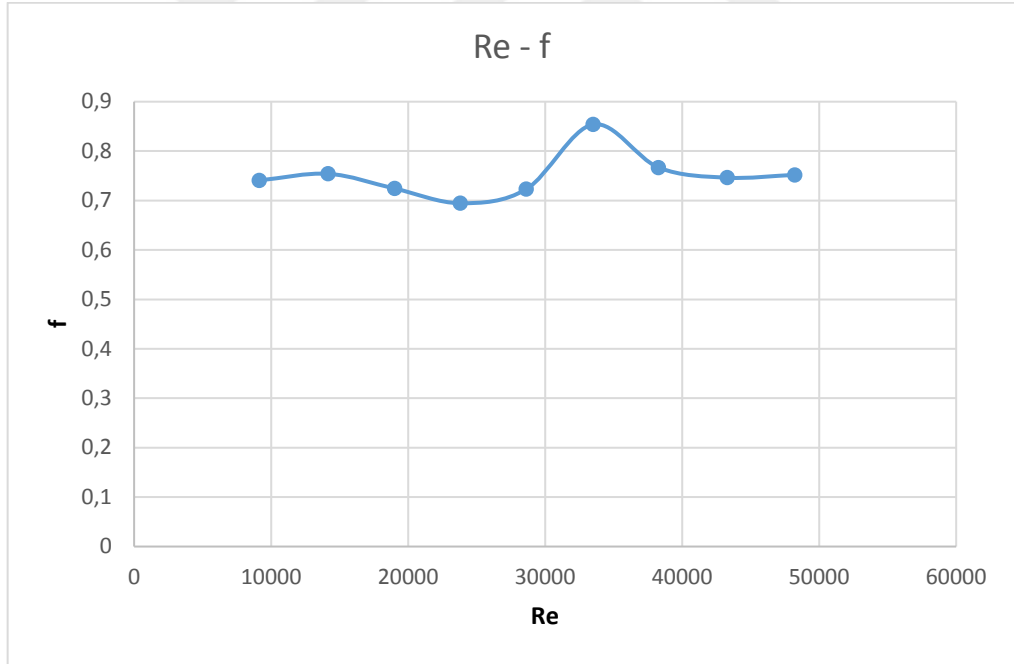
Şekil 4.27 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re= 43291)



Şekil 4.28 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=48238)



Şekil 4.29 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru boyunca Nusselt sayılarının değişimi



Şekil 4.30 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru için Reynolds sayısına göre sürtünme faktörünün değişimi

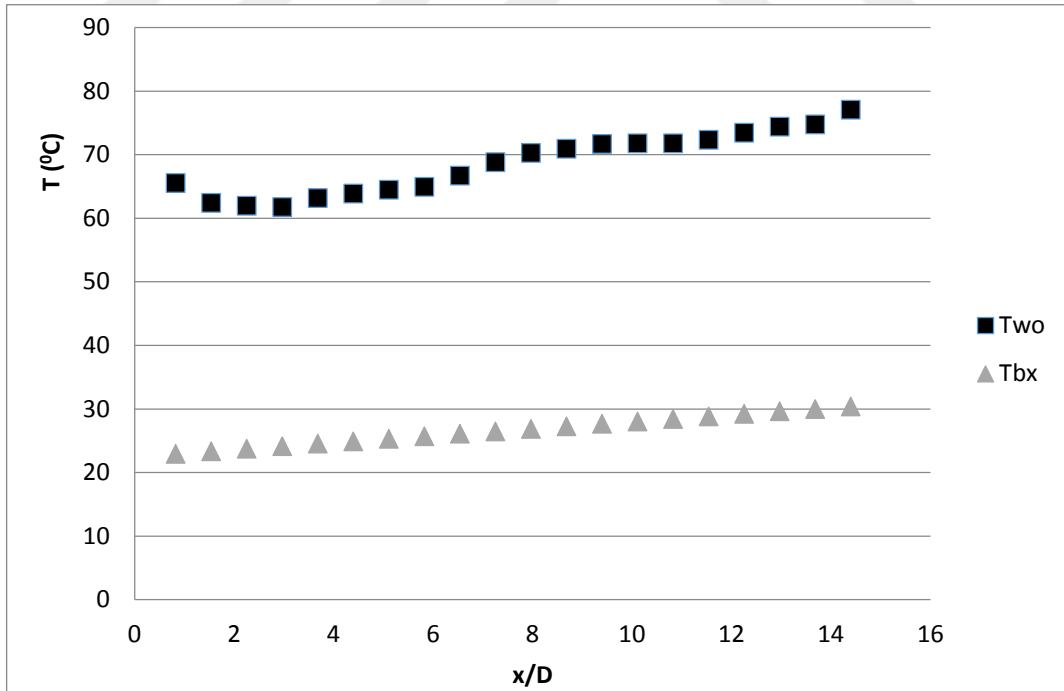
4.4. Çapraz Sıralanmış Cr-Ni Pimli Boru Deneysel Sonuçları

Çapraz sıralanmış Cr-Ni pimli borular için boru boyunca sıcaklık değişimleri şekil 4.31 ile 4.39' da verilmiştir. Şekillerden çıkarılabilecek ilk değerlendirme boru cidar

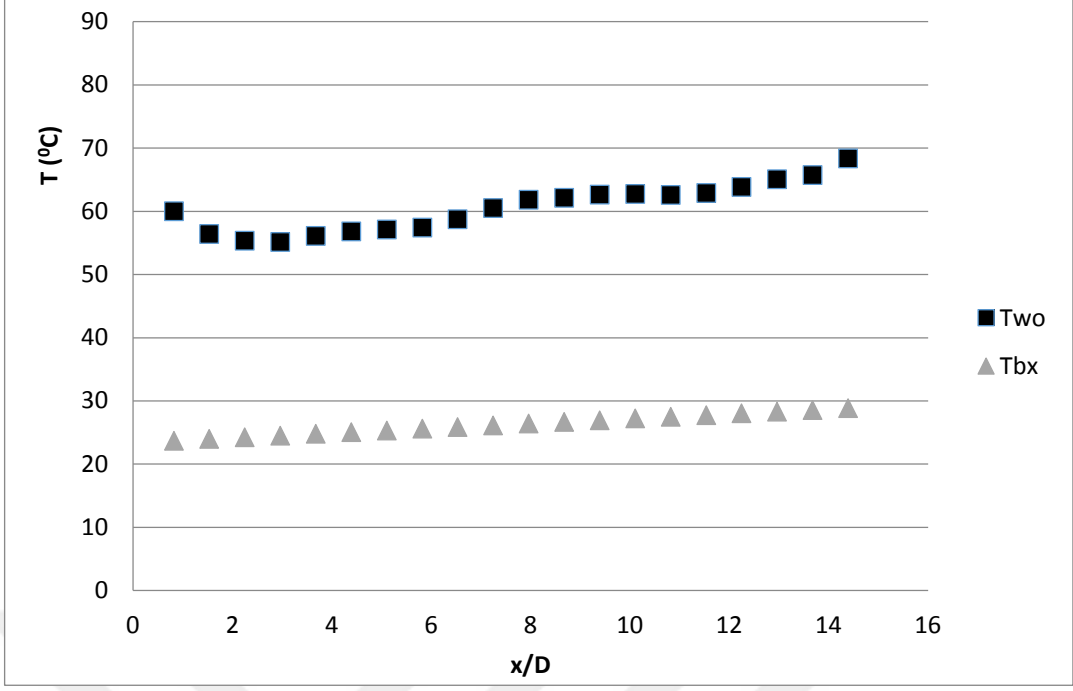
sıcaklığının girişte pimlerin oluşturduğu ilave türbülans nedeni ile bir miktar düştüğü sonrasında ise boru boyunca artarak yükselmesidir. Akışkan sıcaklığı ise şekillerden görüldü gibi test borusu girişinden çıkışına kadar hemen hemen doğrusal olarak artmaktadır.

Boru boyunca farklı Reynolds sayılarında Nusselt değerlerinin değişimi şekil 4.40 de gösterilmiştir. Şekil 4.40 incelendiğinde genel olarak bütün Reynolds değerleri için borunun giriş kısmında Nusselt değerleri düşükken $X/D=2$ noktası ile $X/D=5$ noktası aralığında ani bir yükselme ile maksimum değere ulaşmış sonrasında azalarak test borusunun çıkışına kadar düşüşüne devam etmiştir. Bu durumun havanın boru girişindeki pimplere çarpması ile akış ayrılması meydana gelerek ilave türbülans, çalkantı ve girdapların oluşması ile taşınım katsayısının ani olarak artmasına neden olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

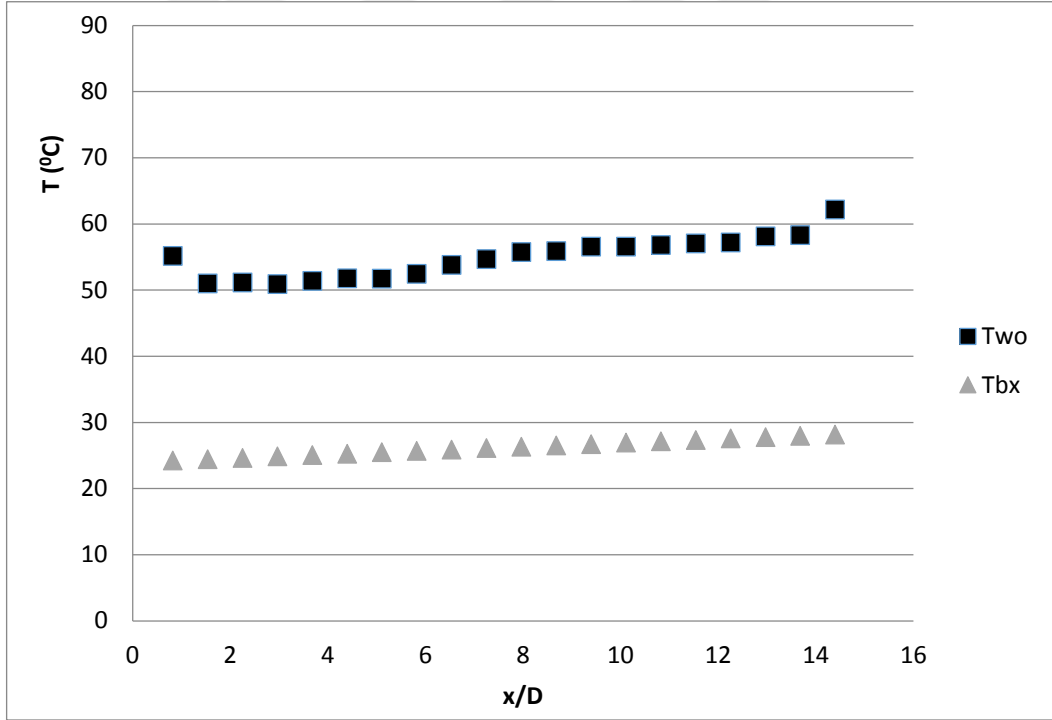
Şekil 4.41’ da Reynolds sayısına göre sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Bu şekile göre Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısı bir miktar azalmıştır ancak genel olarak birbirine yakın değerler tespit edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı değerine $Re=38361$ değerinde ulaştığı görülmektedir.



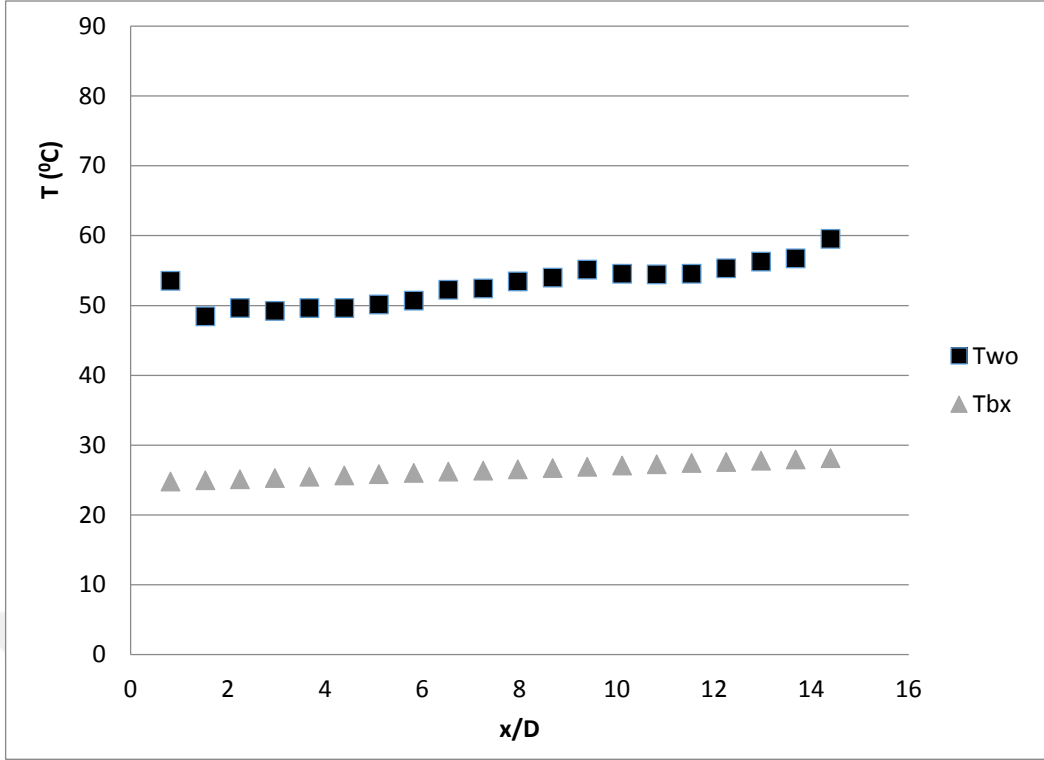
Şekil 4.31 Çapraz sıralanmış krom-nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi ($Re=9327$)



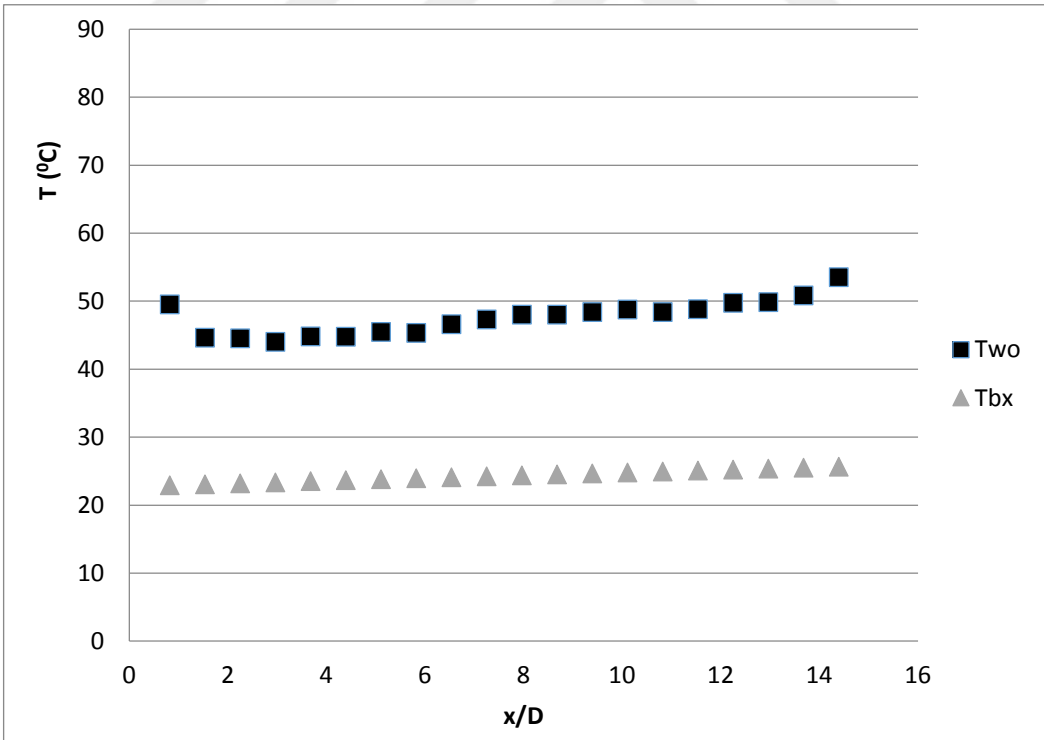
Şekil 4.32 Çapraz sıralanmış krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=14088)



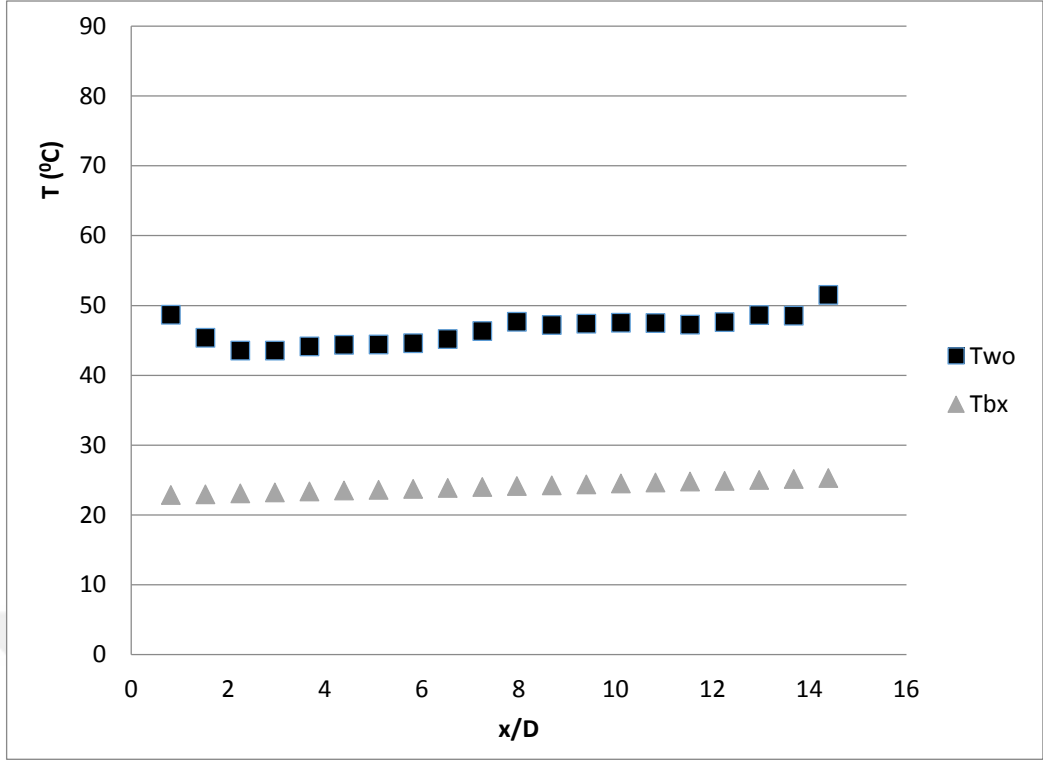
Şekil 4.33 Çapraz sıralanmış krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=18864)



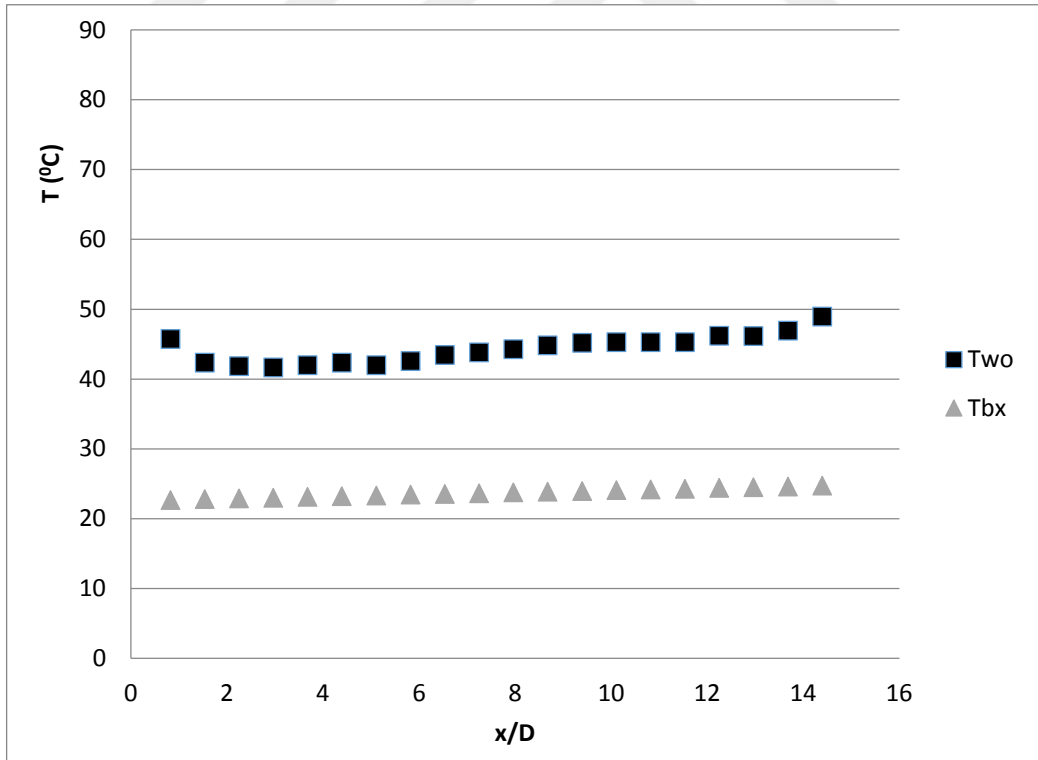
Şekil 4.34 Çapraz sıralanmış krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=23570)



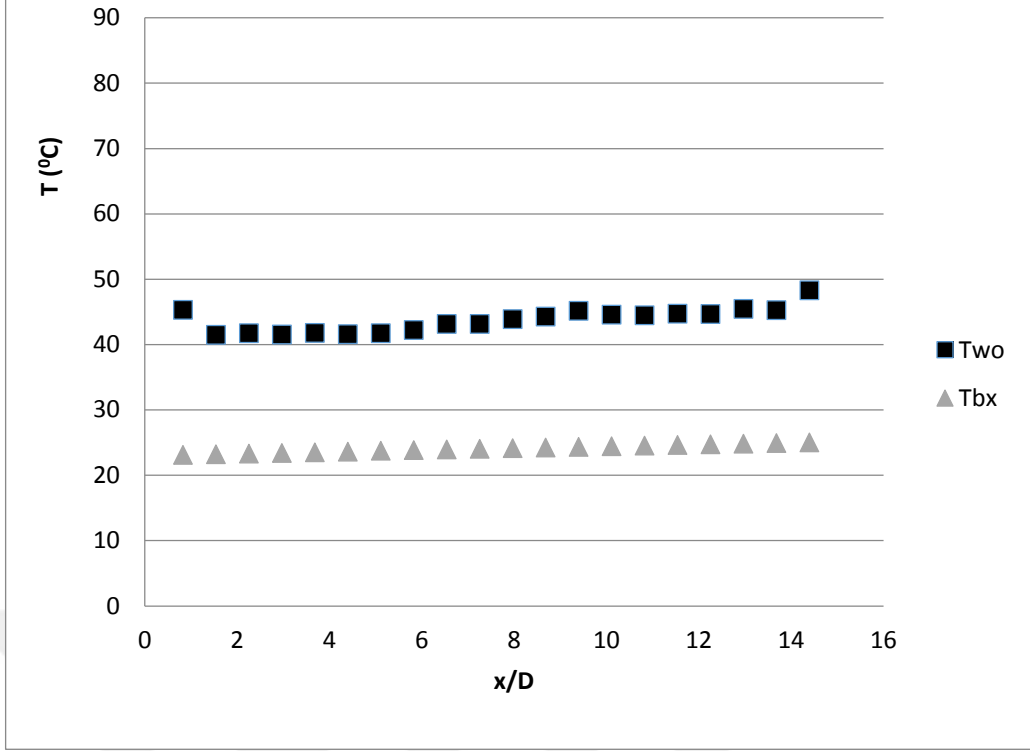
Şekil 4.35 Çapraz sıralanmış krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=28736)



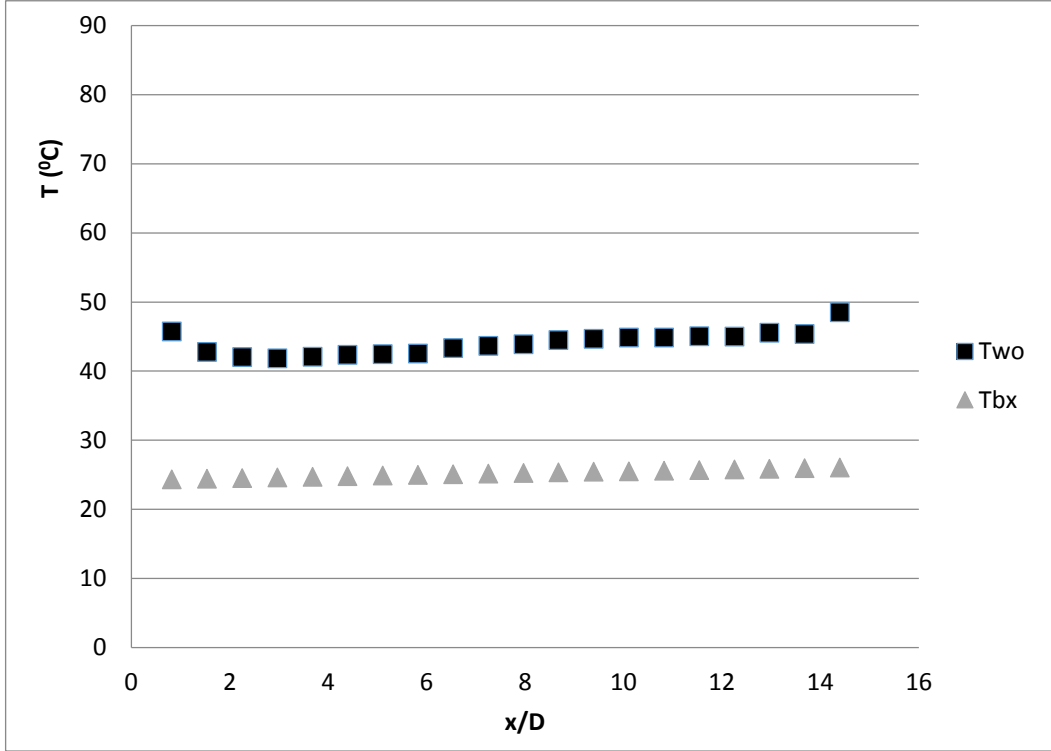
Şekil 4.36 Çapraz sıralanmış krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=33469)



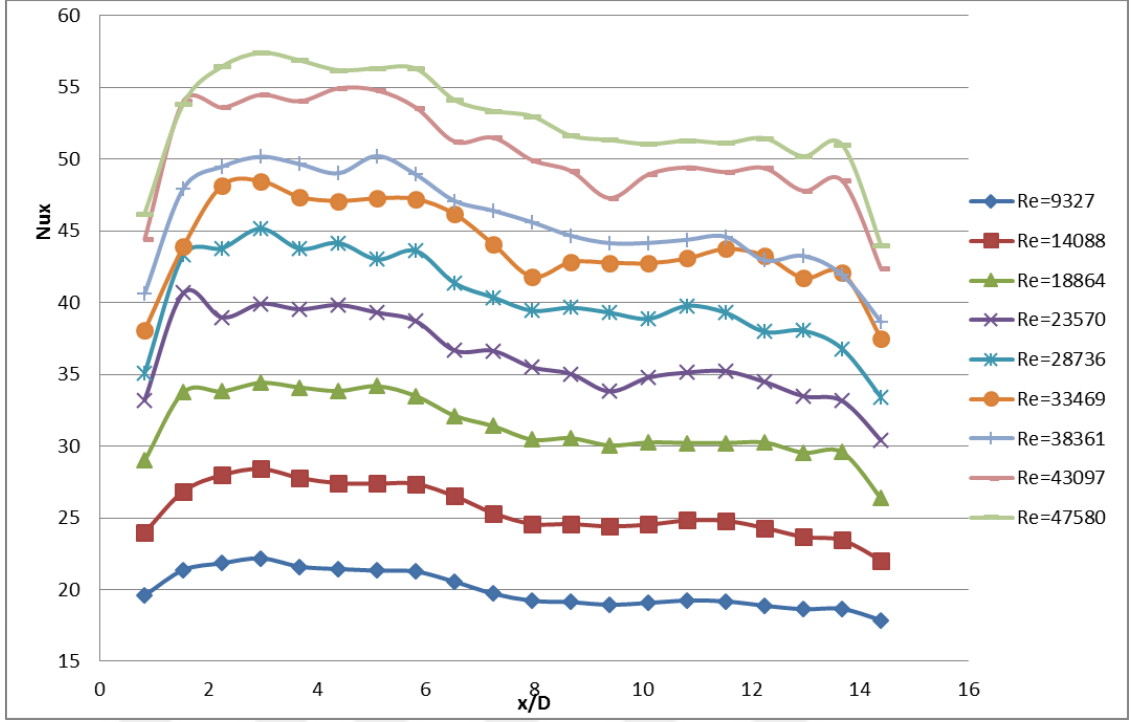
Şekil 4.37 Çapraz sıralanmış krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=38361)



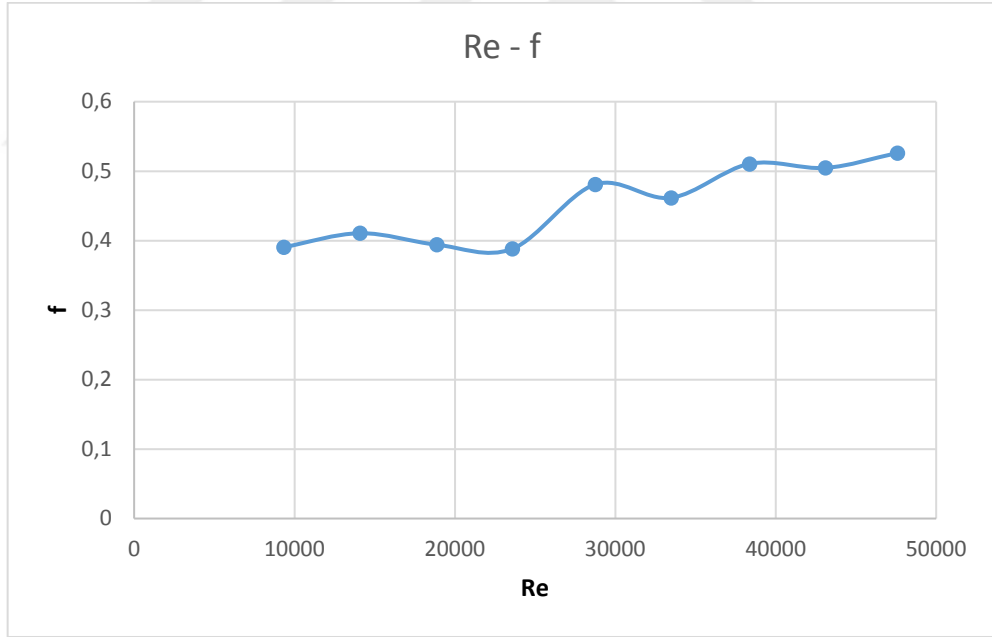
Şekil 4.38 Çapraz sıralanmış krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=43097)



Şekil 4.39 Çapraz sıralanmış krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=47580)



Şekil 4.40 Çapraz sıralanmış krom-nikel pimli boru boyunca Nusselt sayılarının değişimi



Şekil 4.41 Çapraz sıralanmış krom-nikel pimli boru için Reynolds sayısına göre sürtünme faktörünün değişimi

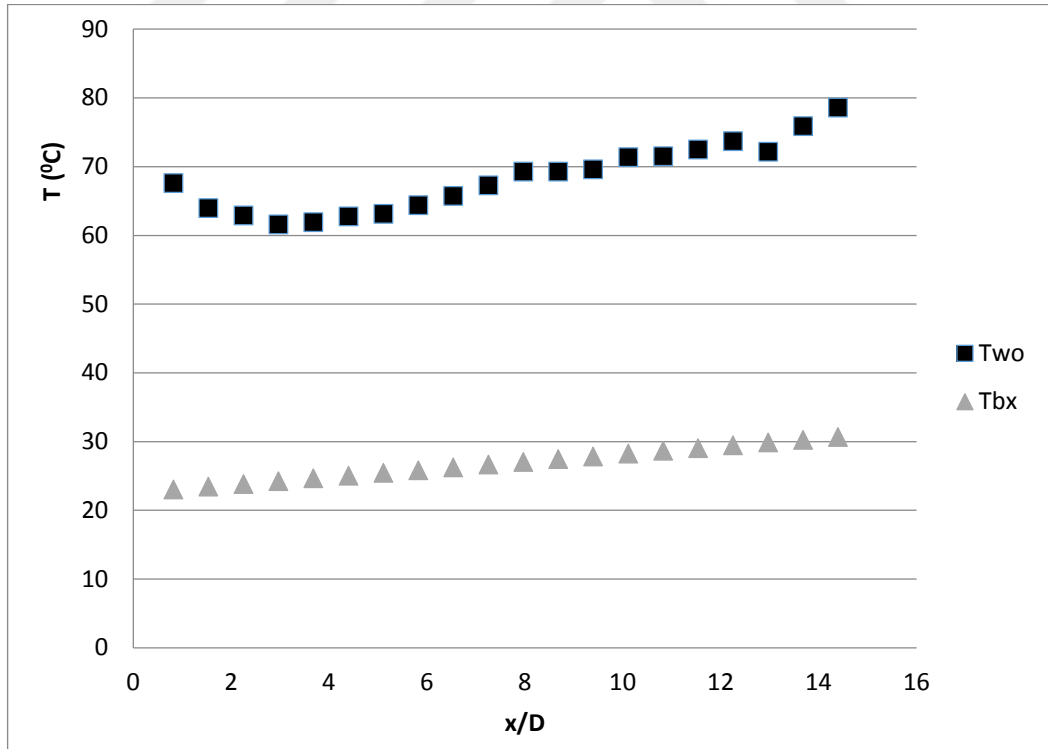
4.5. Tamamı Düzenli Takılı Cr-Ni Pimli Boru Deneysel Sonuçları

Tamamı düzenli takılı Cr-Ni pimli borular için boru boyunca sıcaklık değişimleri şekil 4.42 ile 4.50' da verilmiştir. Şekillerden çıkarılabilecek ilk değerlendirme boru cidar

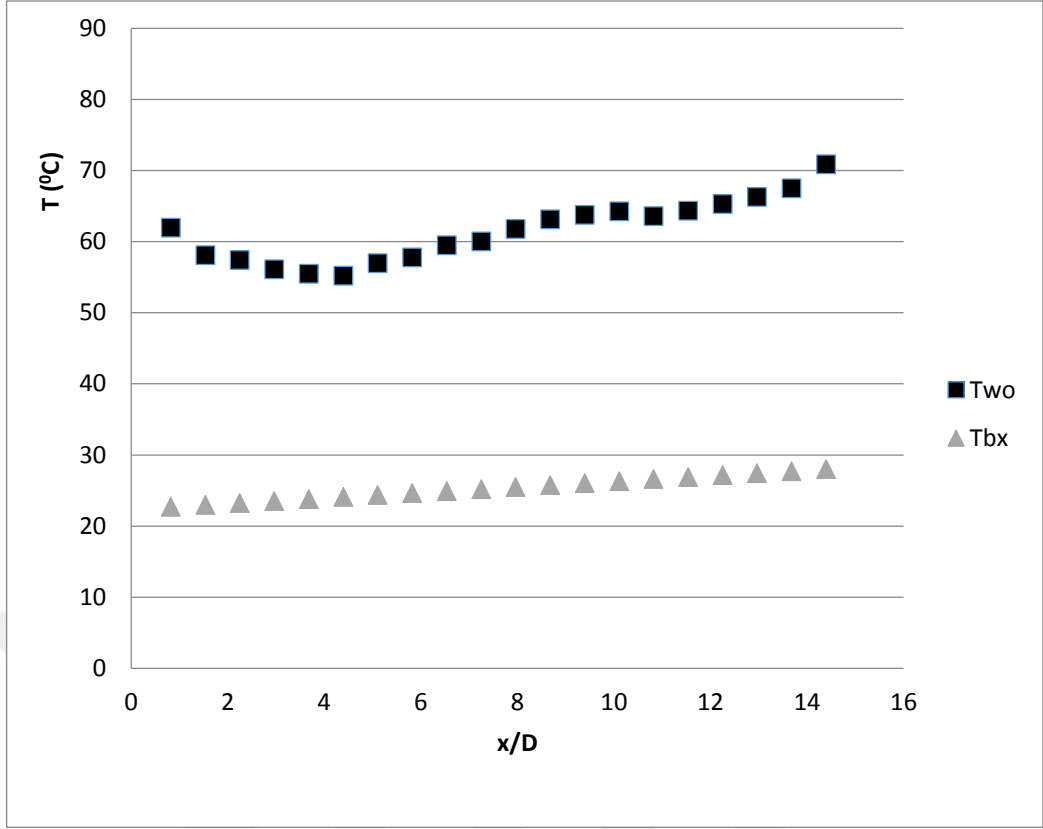
sıcaklığının girişte pimlerin oluşturduğu ilave türbülans nedeni ile bir miktar düştüğü sonrasında ise boru boyunca artarak yükselmesidir. Akışkan sıcaklığı ise şekillerden görüldü gibi test borusu girişinden çıkışına kadar hemen hemen doğrusal olarak artmaktadır.

Boru boyunca farklı Reynolds sayılarında Nusselt değerlerinin değişimi şekil 4.51 de gösterilmiştir. Şekil 4.51 incelendiğinde genel olarak bütün Reynolds değerleri için borunun giriş kısmında Nusselt değerleri düşükken $X/D=6$ noktasında ani bir yükselme ile maksimum değere ulaşmış sonrasında azalarak test borusunun çıkışına kadar düşüşüne devam etmiştir. Bu durumun havanın boru girişindeki pimplere çarpması ile akış ayrılması meydana gelerek ilave türbülans, çalkantı ve girdapların oluşması ile taşanım katsayısının ani olarak artmasına neden olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

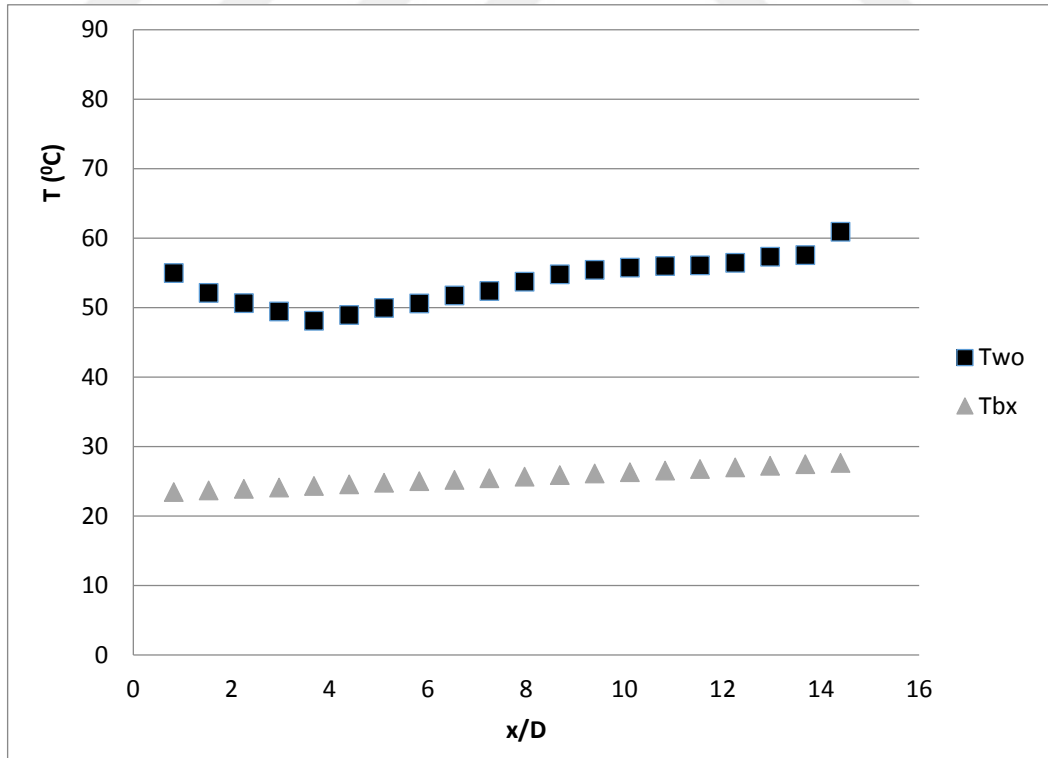
Şekil 4.52' de Reynolds sayısına göre sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Bu şekile göre Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısı bir miktar azalmıştır ancak genel olarak birbirine yakın değerler tespit edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı değerine $Re=34035$ değerinde ulaştığı görülmektedir.



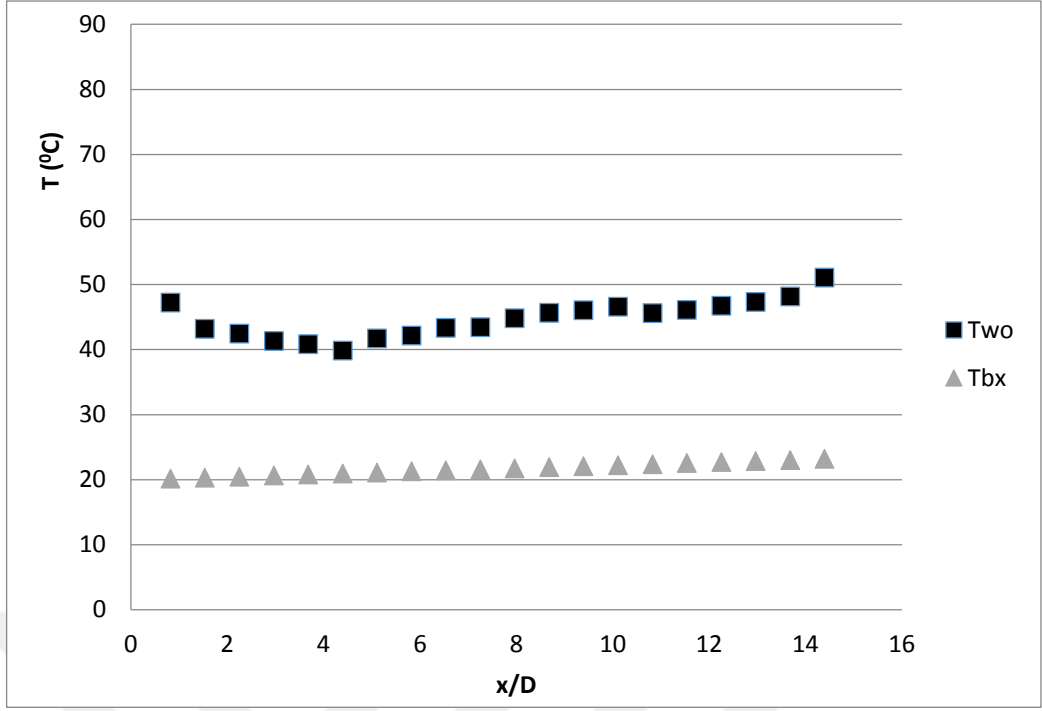
Şekil 4.42 Tamamı düzenli takılı krom-nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=9166)



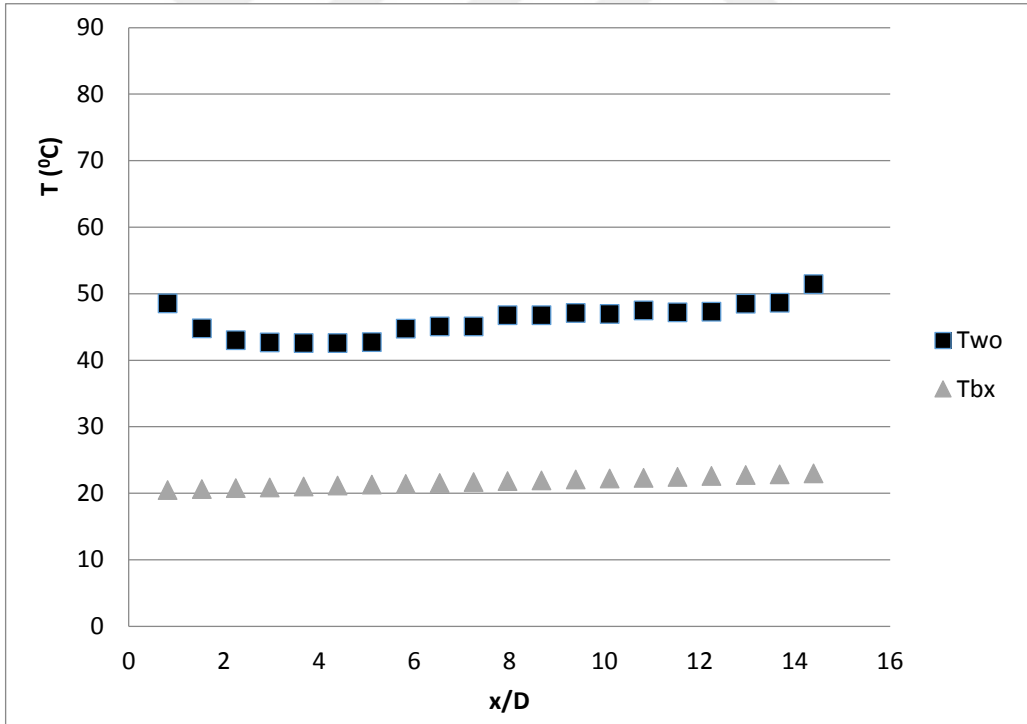
Şekil 4.43 Tamamı düzenli takılı krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=13935)



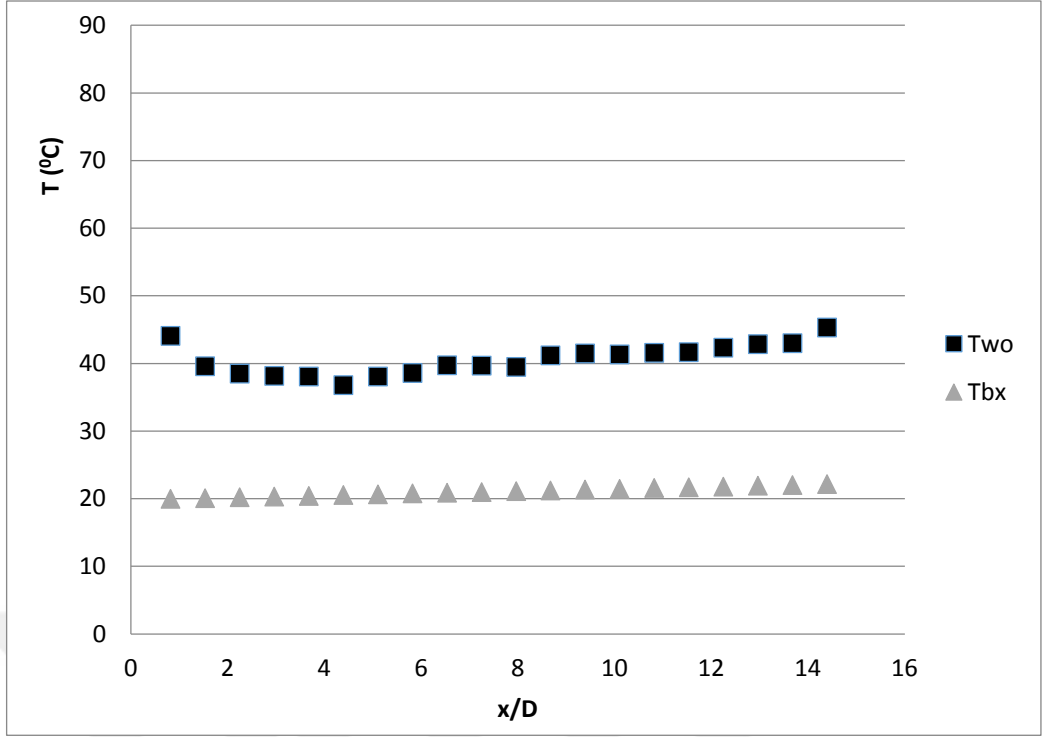
Şekil 4.44 Tamamı düzenli takılı krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=18818)



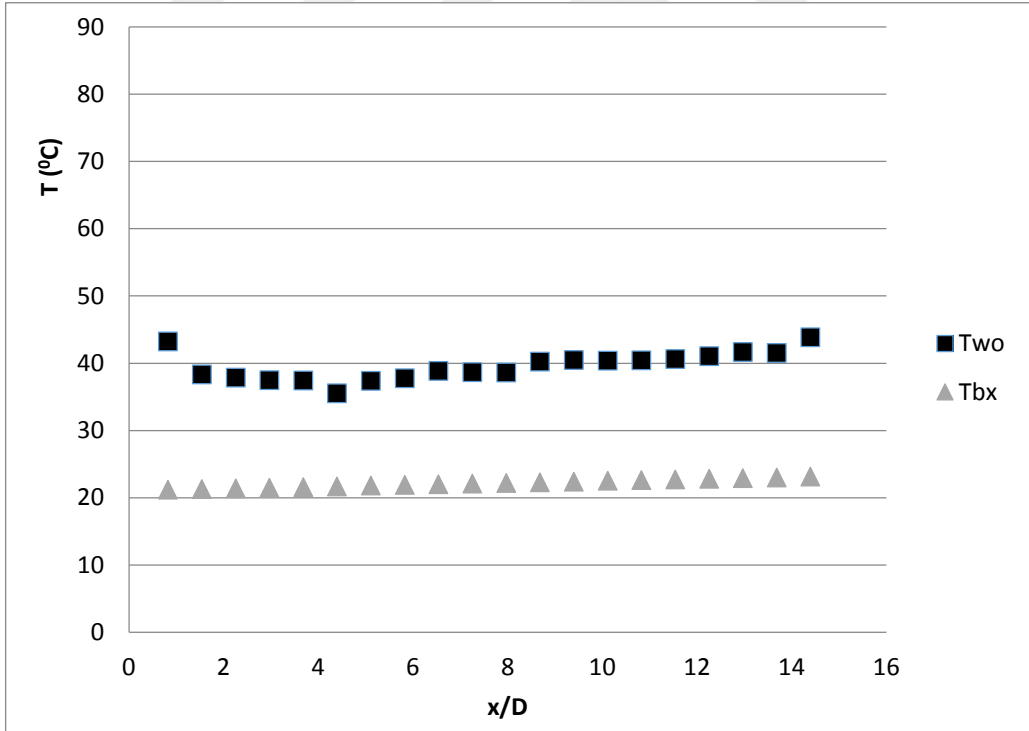
Şekil 4.45 Tamamı düzenli takılı krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=24224)



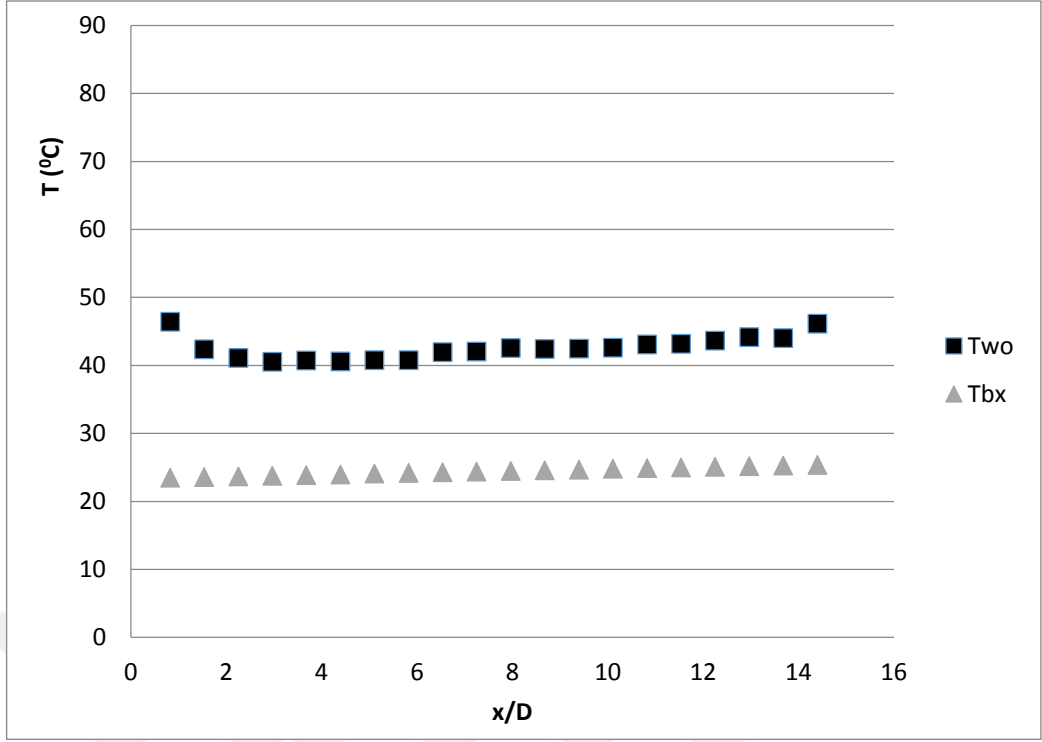
Şekil 4.46 Tamamı düzenli takılı krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=28844)



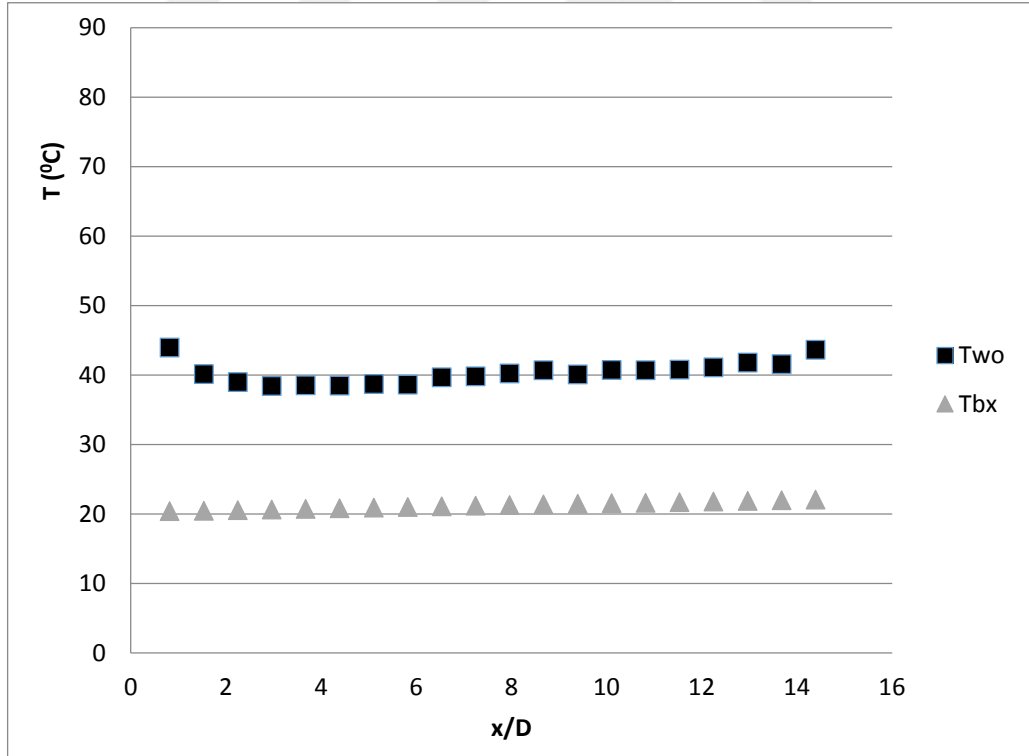
Şekil 4.47 Tamamı düzenli takılı krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=34035)



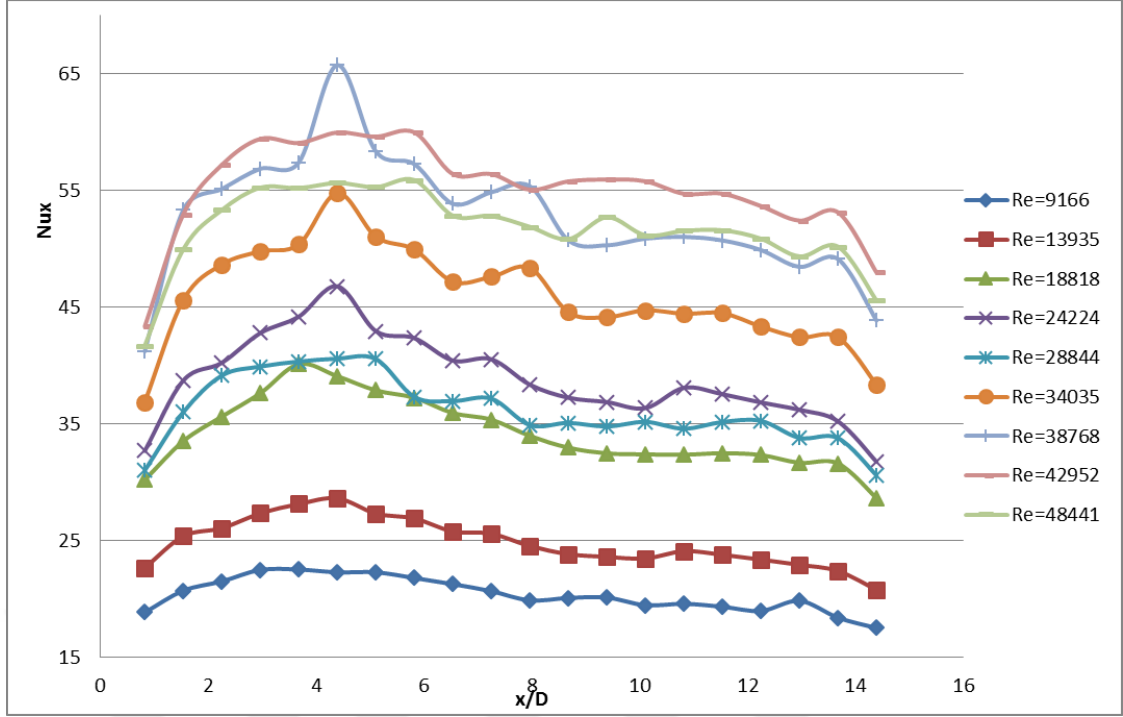
Şekil 4.48 Tamamı düzenli takılı krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=38768)



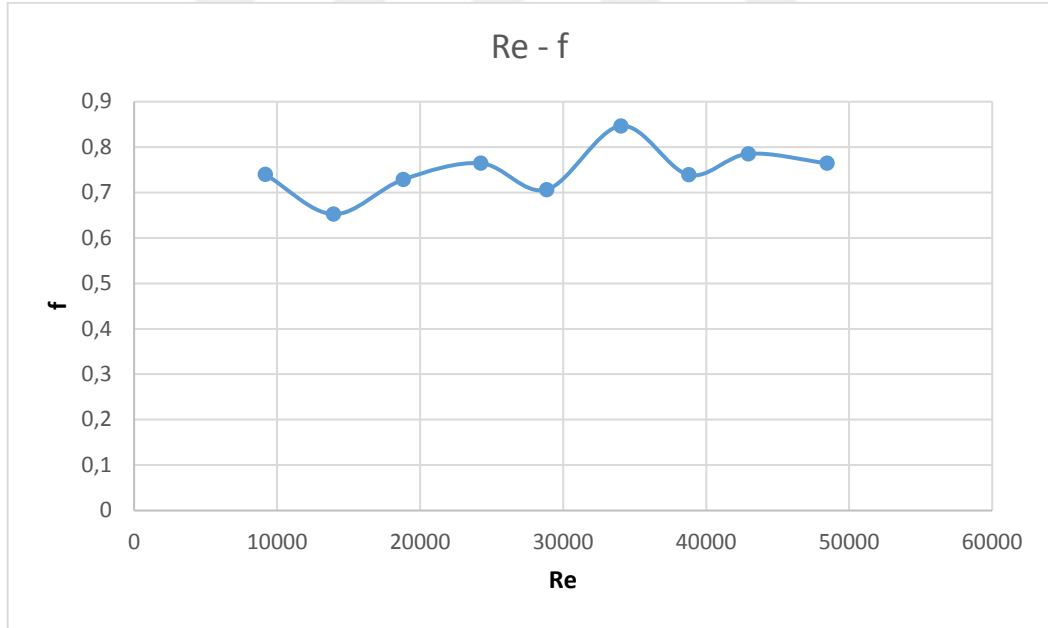
Şekil 4.49 Tamamı düzenli takılı krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=42951)



Şekil 4.50 Tamamı düzenli takılı krom–nikel pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=48441)



Şekil 4.51 Tamamı düzenli takılı krom – nikel pimli boru boyunca Nusselt sayılarının değişimi



Şekil 4.52 Tamamı düzenli takılı krom – nikel pimli boru için Reynolds sayısına göre sürtünme faktörünün değişimi

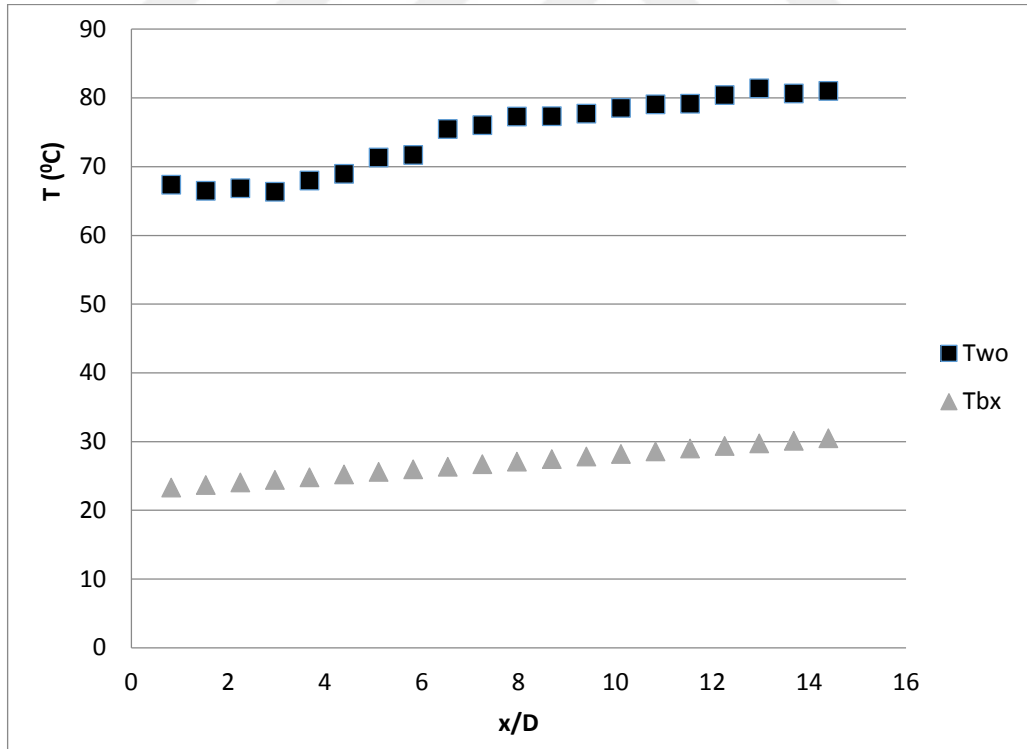
4.6. Çapraz Sıralanmış Traşlı Alüminyum Pimli Boru Deneysel Sonuçları

Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli borular için boru boyunca sıcaklık değişimleri şekil 4.53 ile 4.61’ da verilmiştir. Şekillerden çıkarılabilecek ilk

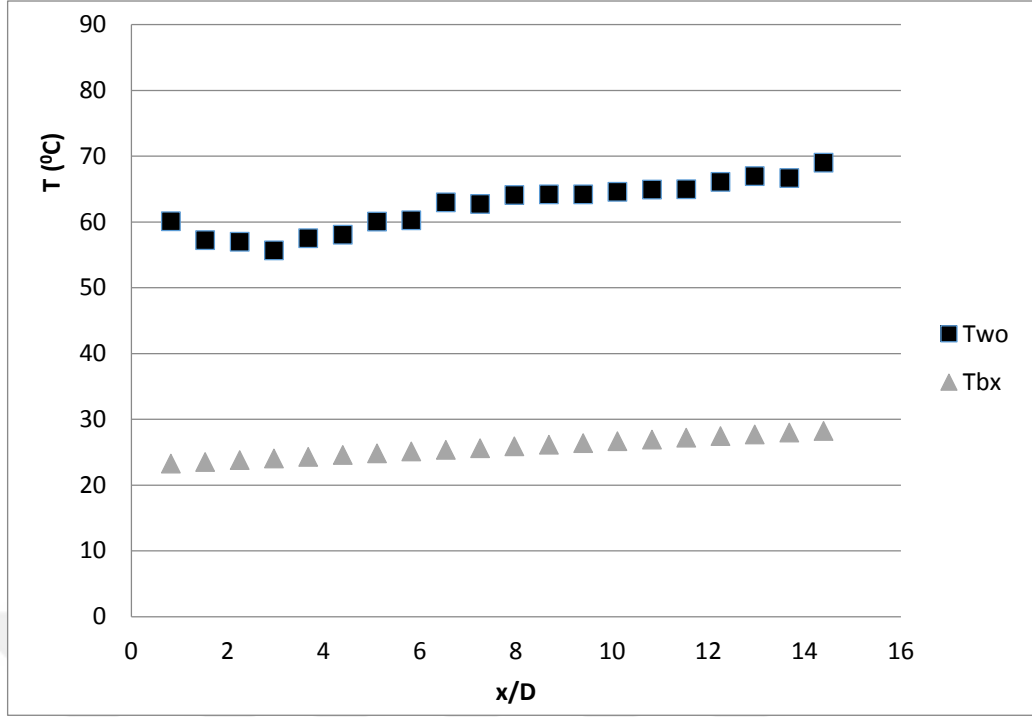
değerlendirme boru cidar sıcaklığının girişte pimlerin oluşturduğu ilave türbülans nedeni ile bir miktar düştüğü sonrasında ise boru boyunca artarak yükselmesidir. Akışkan sıcaklığı ise şekillerden görüldü gibi test borusu girişinden çıkışına kadar hemen hemen doğrusal olarak artmaktadır.

Boru boyunca farklı Reynolds sayılarında Nusselt değerlerinin değişimi şekil 4.62 de gösterilmiştir. Şekil 4.62 incelendiğinde genel olarak bütün Reynolds değerleri için borunun giriş kısmında Nusselt değerleri düşükken $X/D=4$ noktasında ani bir yükselme ile maksimum değere ulaşmış sonrasında azalarak test borusunun çıkışına kadar düşüşüne devam etmiştir. Bu durumun havanın boru girişindeki pimplere çarpması ile akış ayrılması meydana gelerek ilave türbülans, çalkantı ve girdapların oluşması ile taşanım katsayısının ani olarak artmasına neden olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

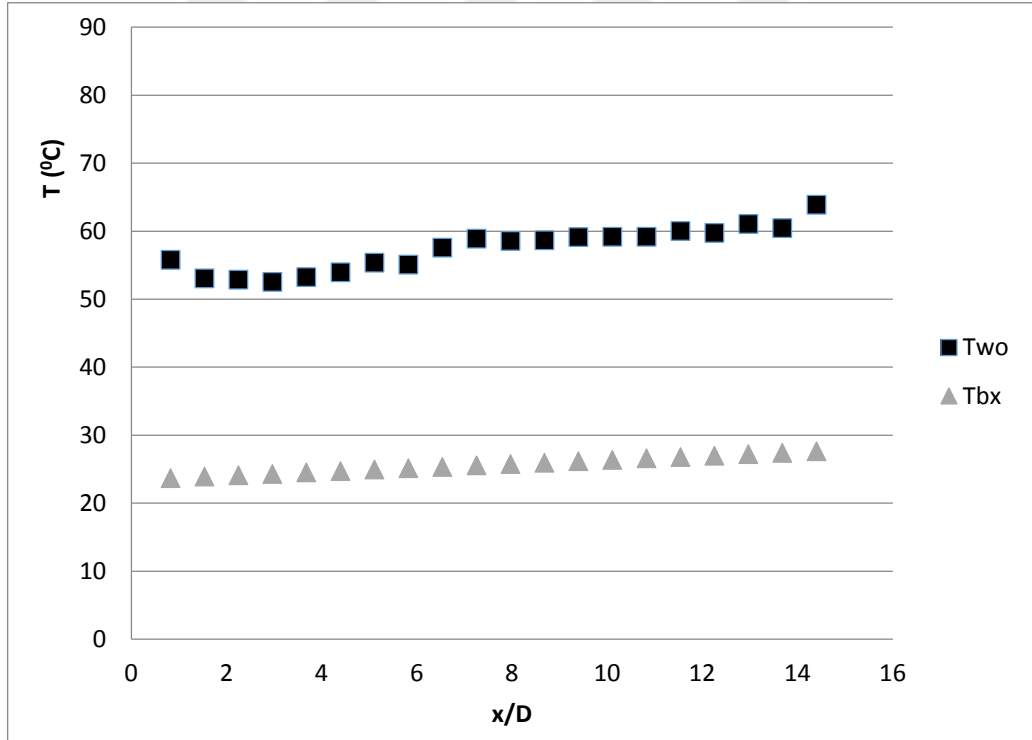
Şekil 4.63' da Reynolds sayısına göre sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Bu şekile göre Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısı bir miktar azalmıştır ancak genel olarak birbirine yakın değerler tespit edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı değerine $Re=33323$ değerinde ulaştığı görülmektedir.



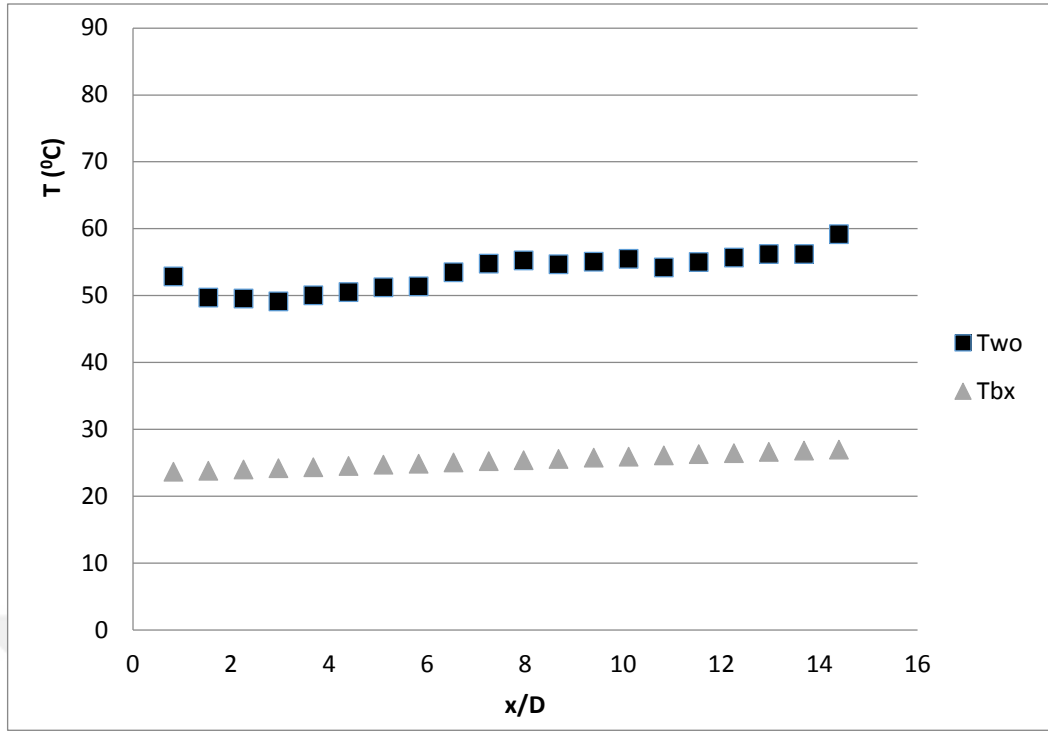
Şekil 4.53 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=9286)



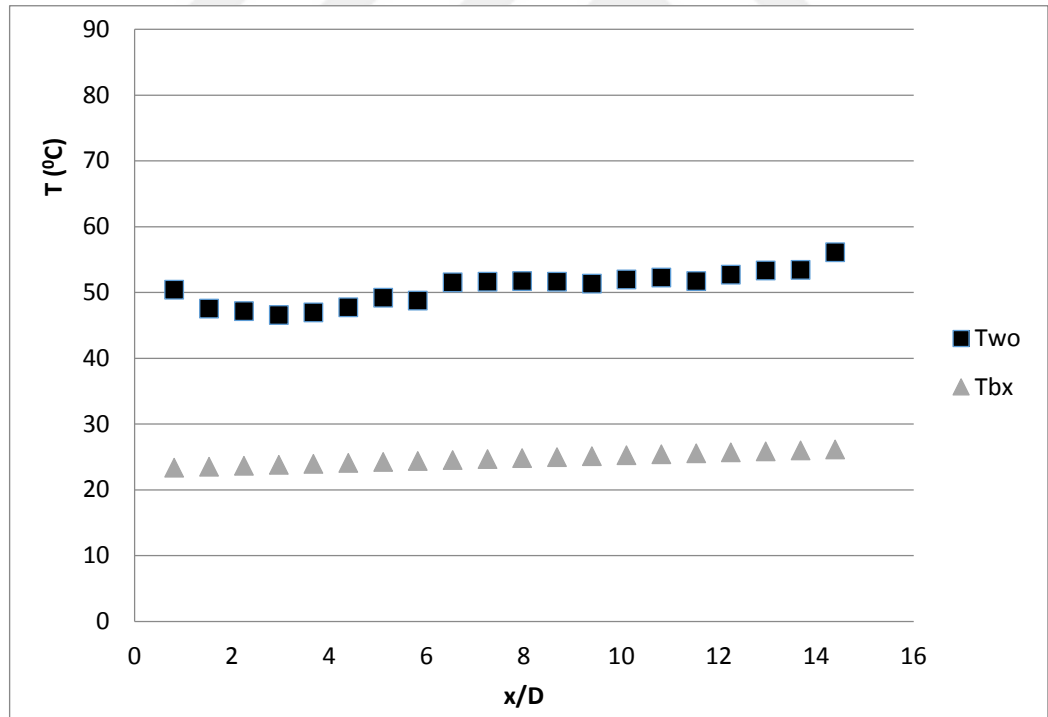
Şekil 4.54 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=14151)



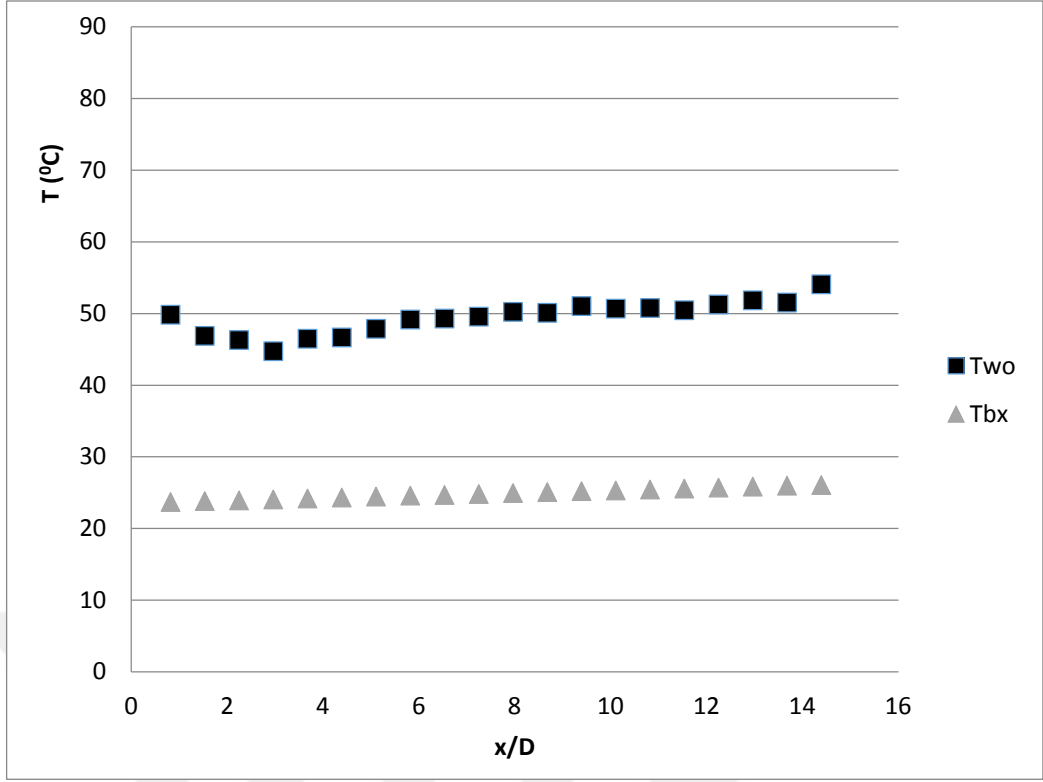
Şekil 4.55 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=18581)



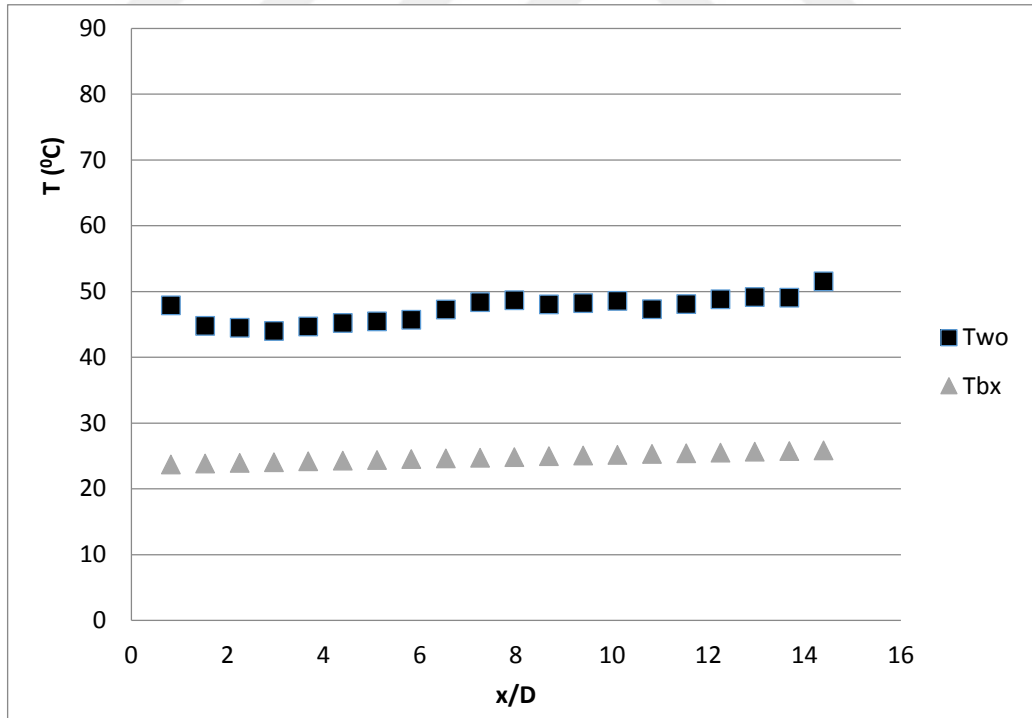
Şekil 4.56 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=23794)



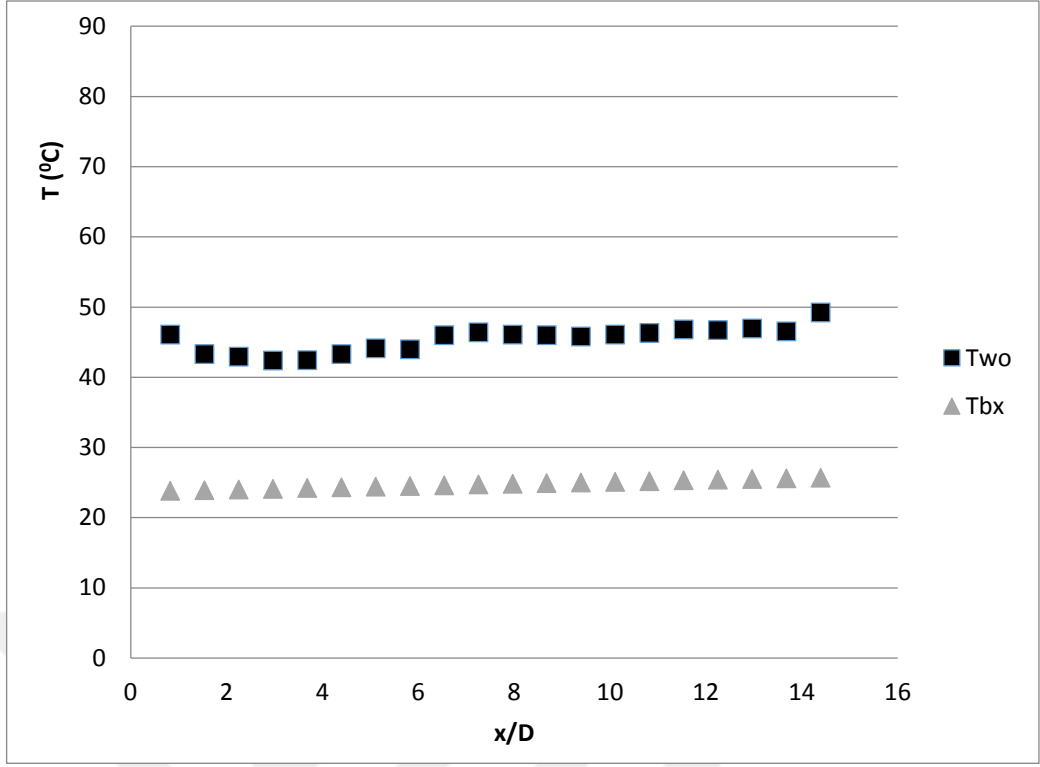
Şekil 4.57 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=28630)



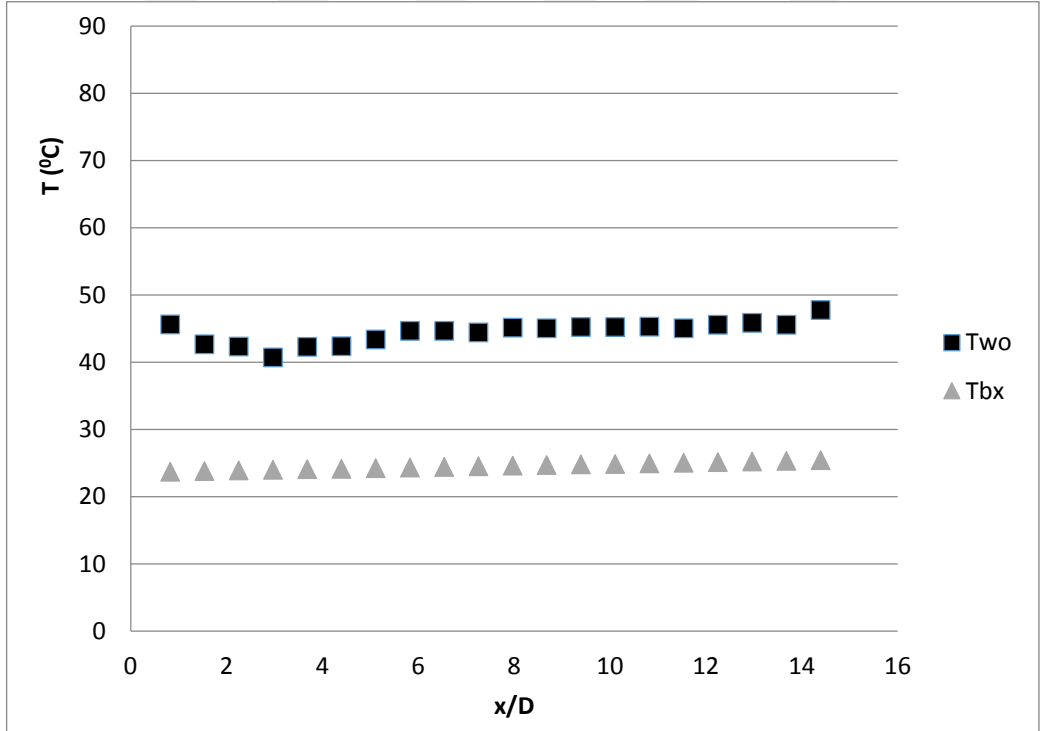
Şekil 4.58 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=33323)



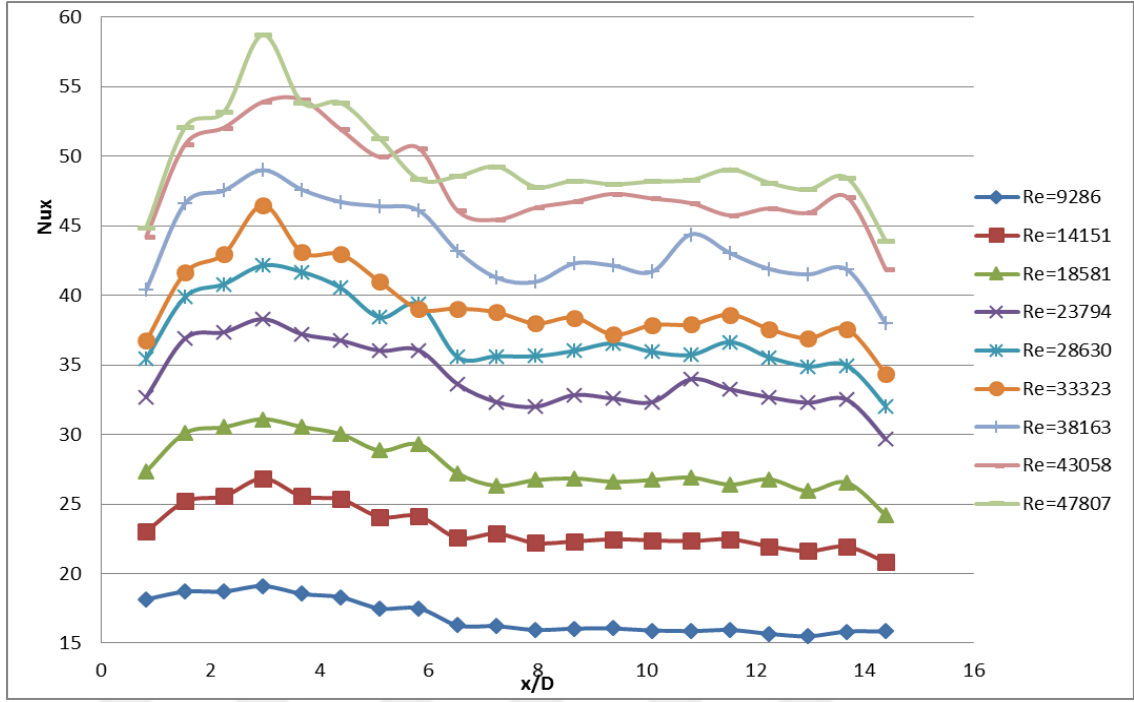
Şekil 4.59 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=38163)



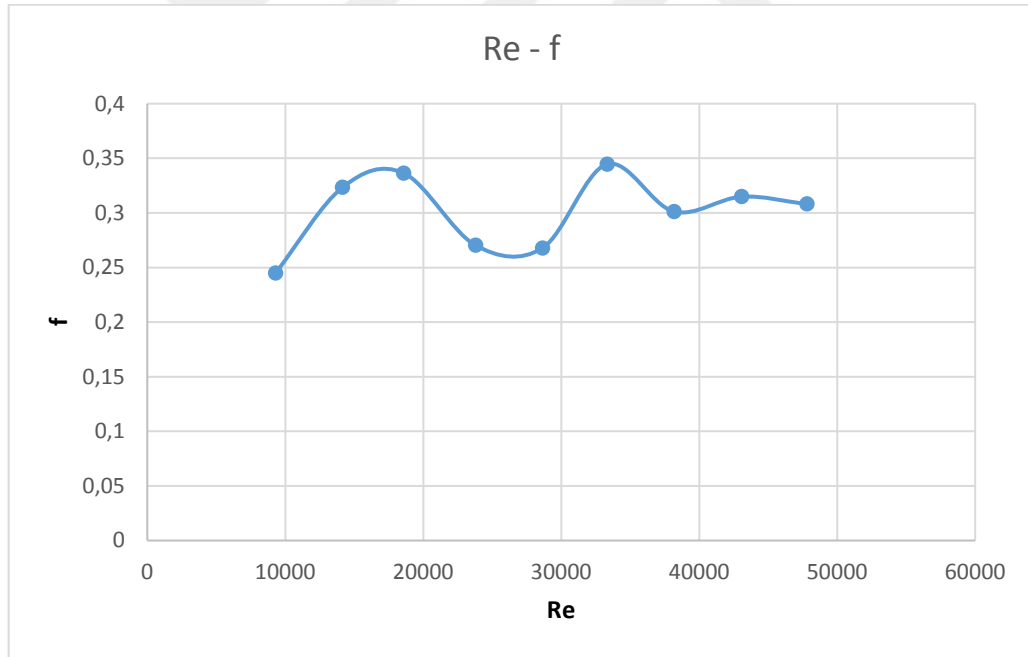
Şekil 4.60 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=43058)



Şekil 4.61 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=47807)



Şekil 4.62 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru boyunca Nusselt sayılarının değişimi



Şekil 4.63 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru için Reynolds sayısına göre sürtünme faktörünün değişimi

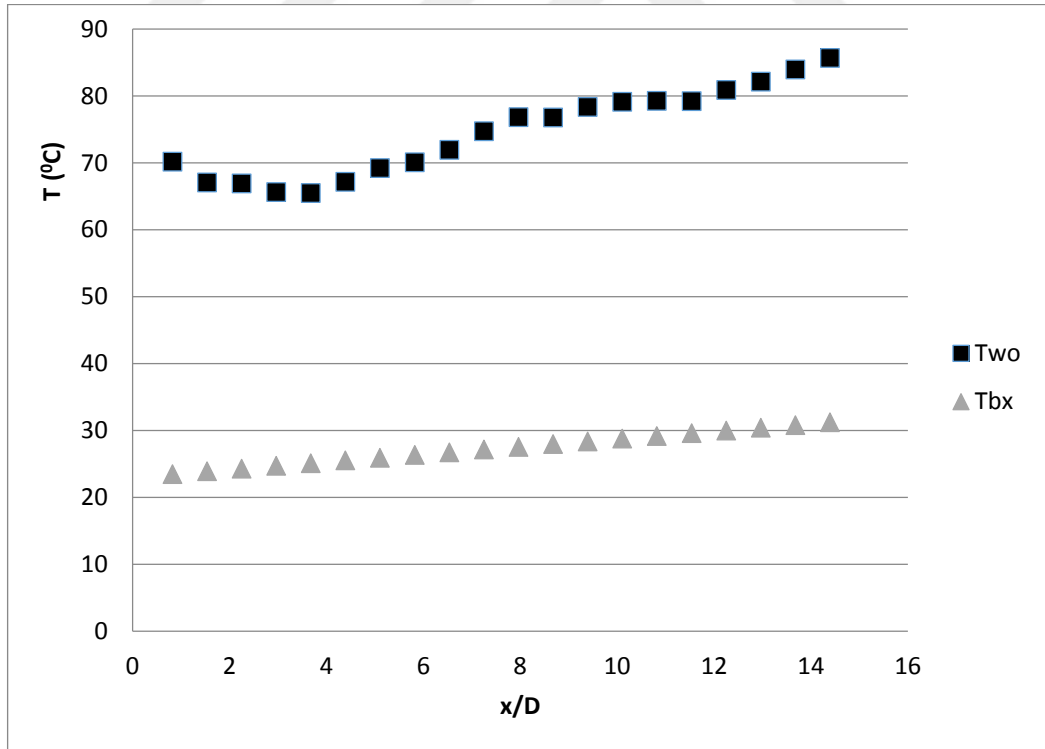
4.7. Tamamı Düzenli Takılı Traşlı Alüminyum Pimli Boru Deneysel Sonuçları

Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli borular için boru boyunca sıcaklık değişimleri şekil 4.64 ile 4.72' da verilmiştir. Şekillerden çıkarılabilecek ilk

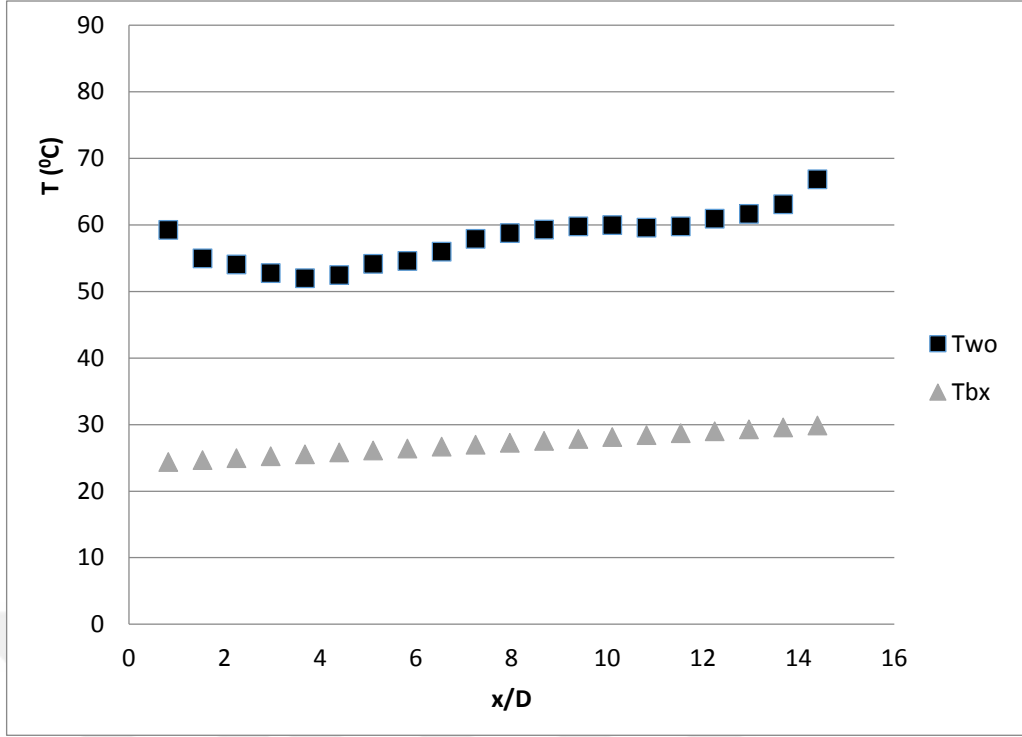
değerlendirme boru cidar sıcaklığının girişte pimlerin oluşturduğu ilave türbülans nedeni ile bir miktar düştüğü sonrasında ise boru boyunca artarak yükselmesidir. Akışkan sıcaklığı ise şekillerden görüldü gibi test borusu girişinden çıkışına kadar hemen hemen doğrusal olarak artmaktadır.

Boru boyunca farklı Reynolds sayılarında Nusselt değerlerinin değişimi şekil 4.73 de gösterilmiştir. Şekil 4.73 incelendiğinde genel olarak bütün Reynolds değerleri için borunun giriş kısmında Nusselt değerleri düşükken $X/D=4$ noktasında ani bir yükselme ile maksimum değere ulaşmış sonrasında azalarak test borusunun çıkışına kadar düşüşüne devam etmiştir. Bu durumun havanın boru girişindeki pimplere çarpması ile akış ayrılması meydana gelerek ilave türbülans, çalkantı ve girdapların oluşması ile taşanım katsayısının ani olarak artmasına neden olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

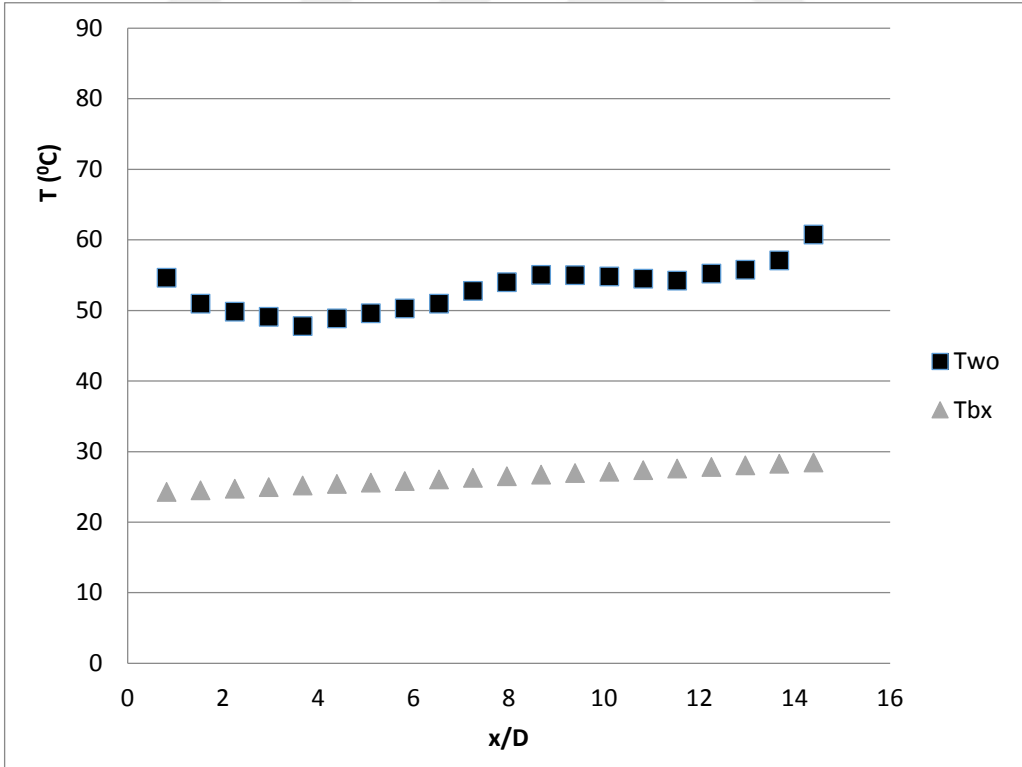
Şekil 4.74' da Reynolds sayısına göre sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Bu şekile göre Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısı bir miktar azalmıştır ancak genel olarak birbirine yakın değerler tespit edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı değerine $Re=33179$ değerinde ulaştığı görülmektedir.



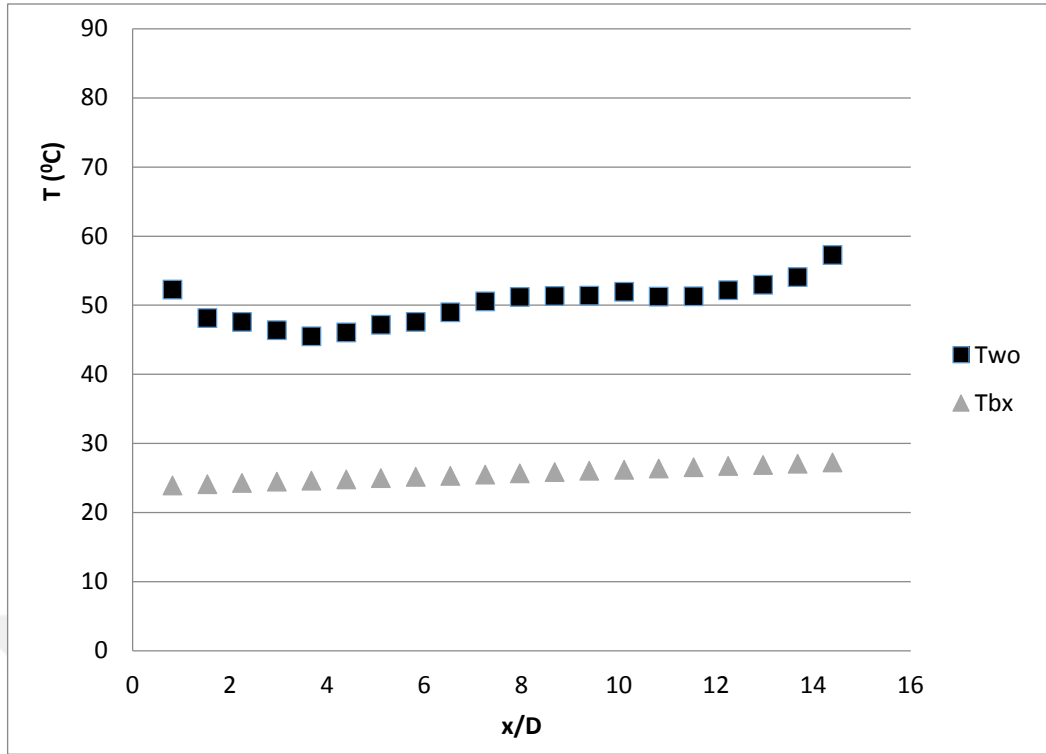
Şekil 4.64 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re= 9064)



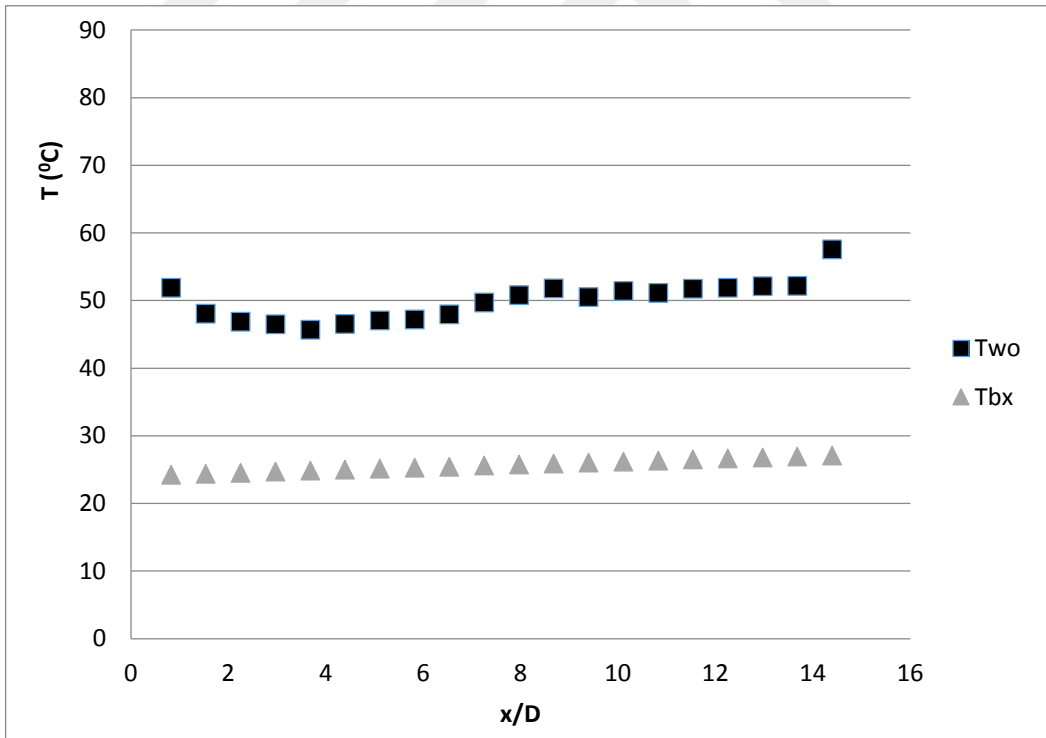
Şekil 4.65 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=13984)



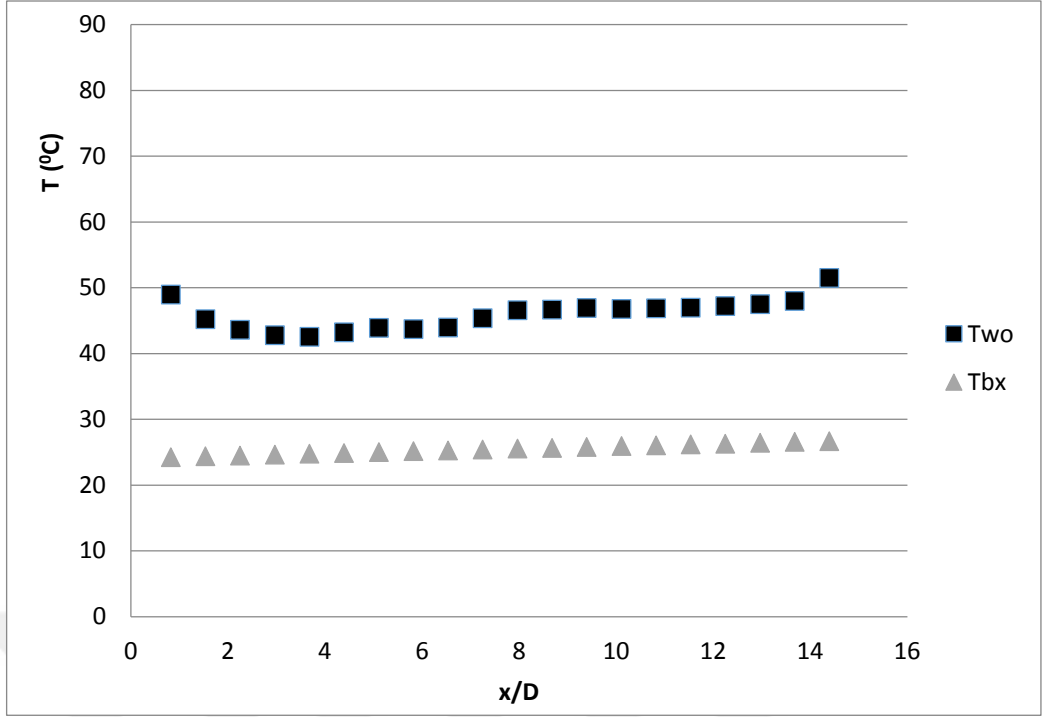
Şekil 4.66 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=18807)



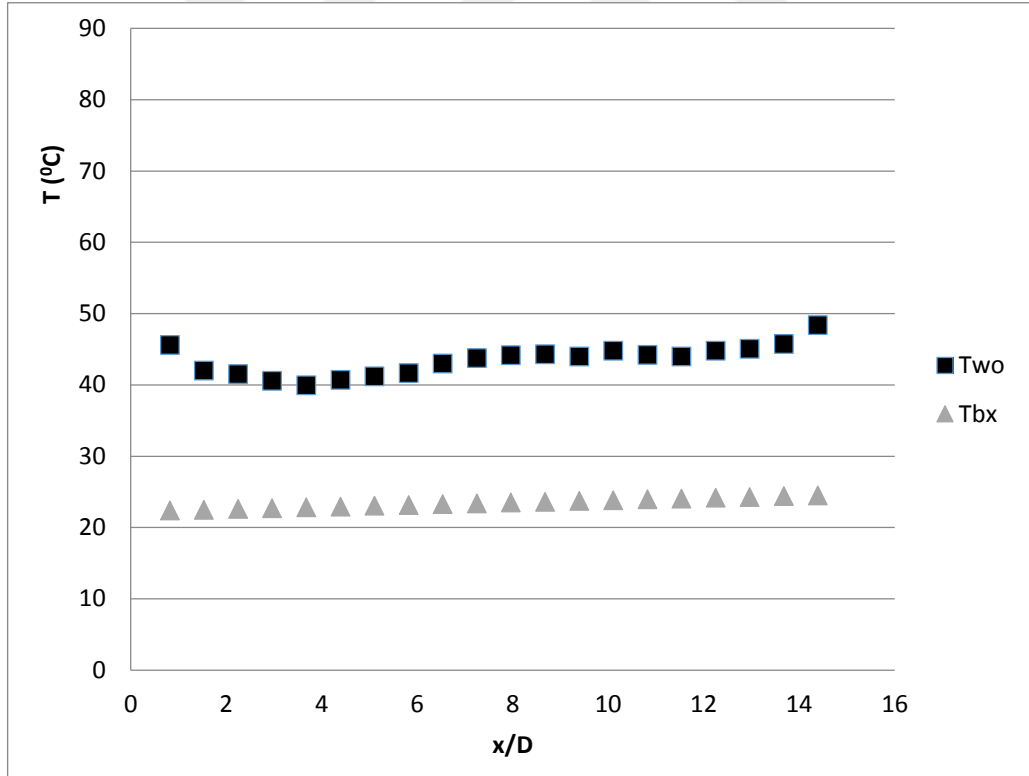
Şekil 4.67 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=23649)



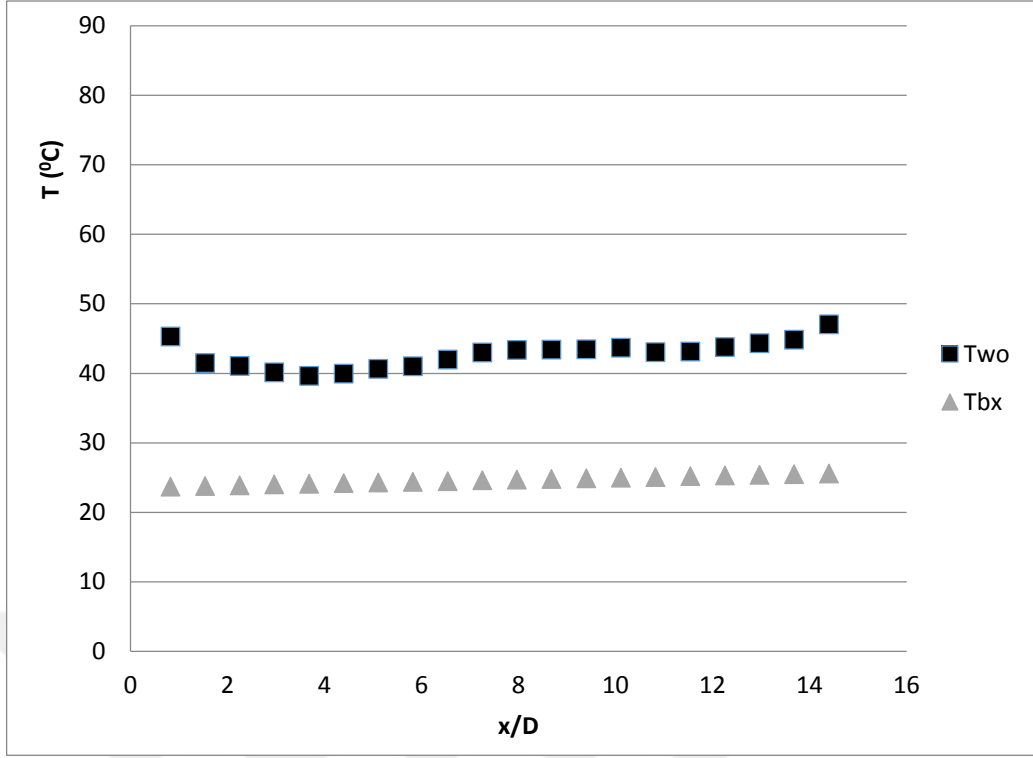
Şekil 4.68 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=27871)



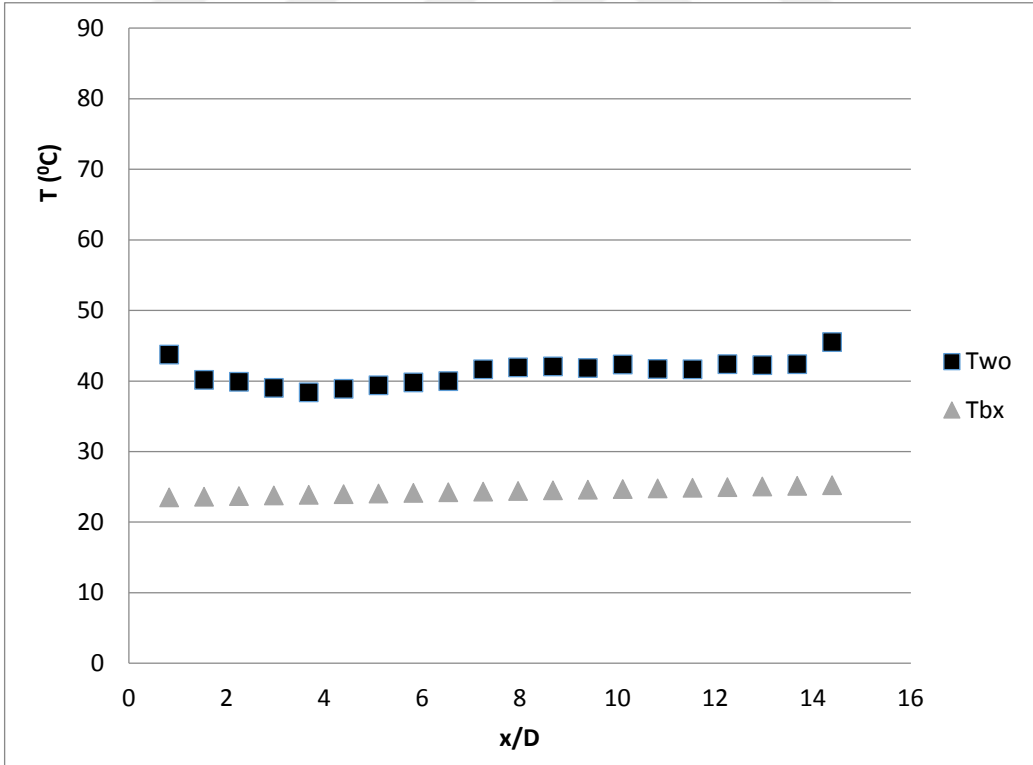
Şekil 4.69 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=33179)



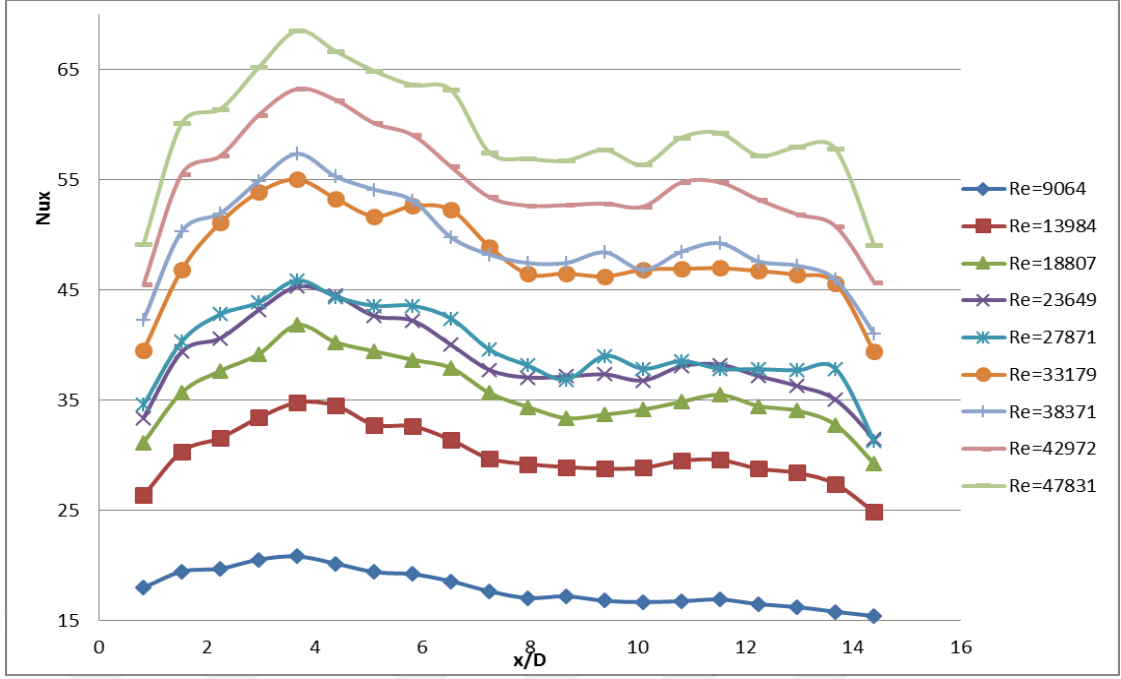
Şekil 4.70 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=38371)



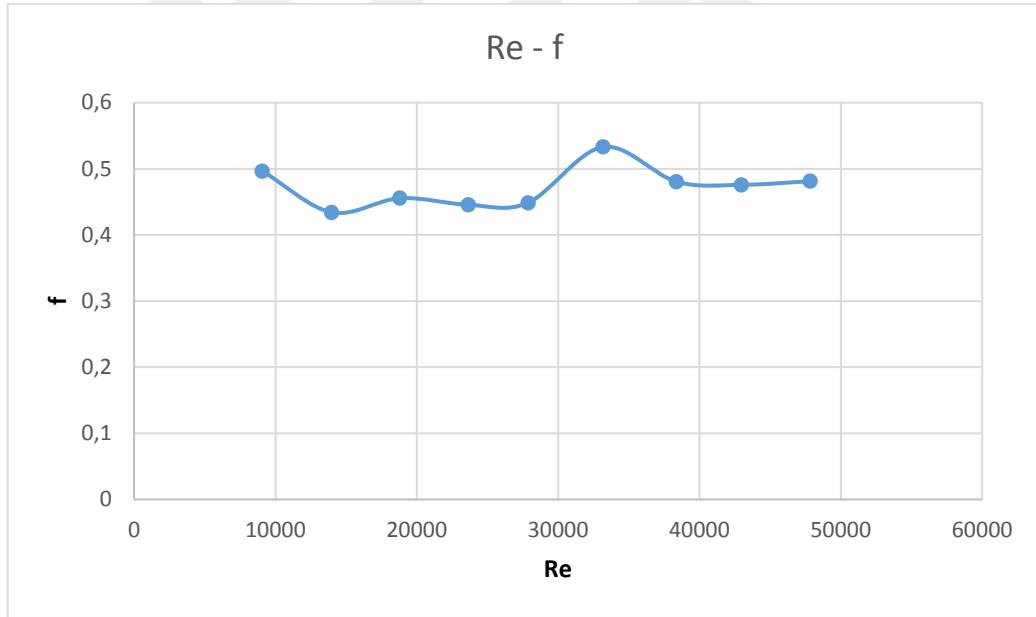
Şekil 4.71 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=42972)



Şekil 4.72 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca sıcaklık değişimi (Re=47831)



Şekil 4.73 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru boyunca Nusselt sayılarının değişimi



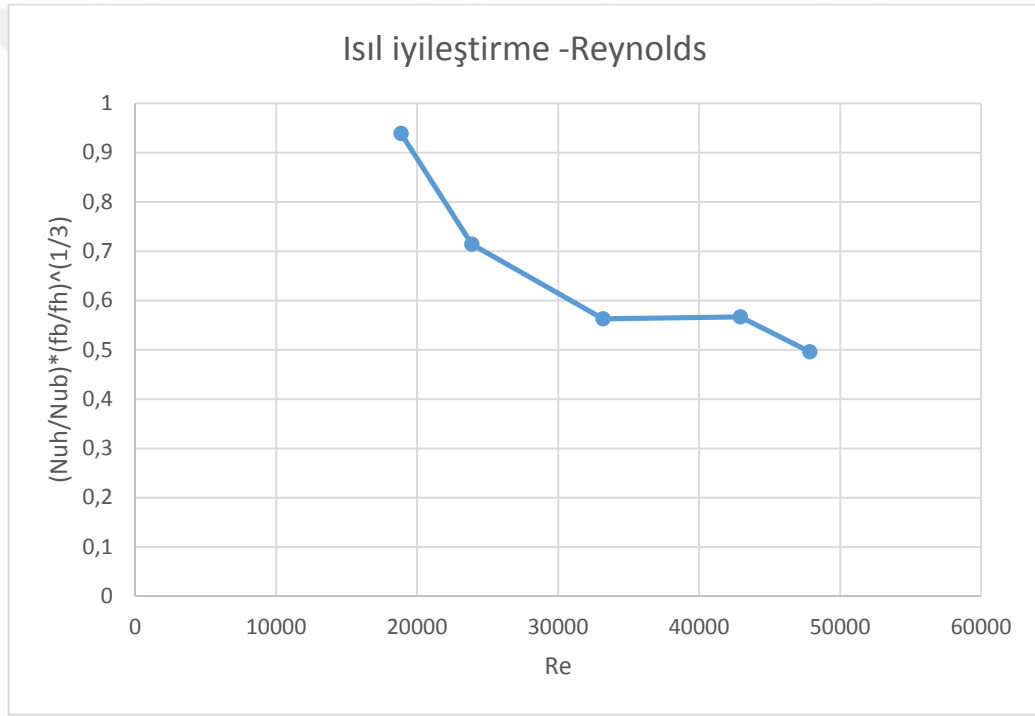
Şekil 4.74 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru için Reynolds sayısına göre sürtünme faktörünün değişimi

4.8. Pimli Boruların Isıl İyileştirme Etkileri

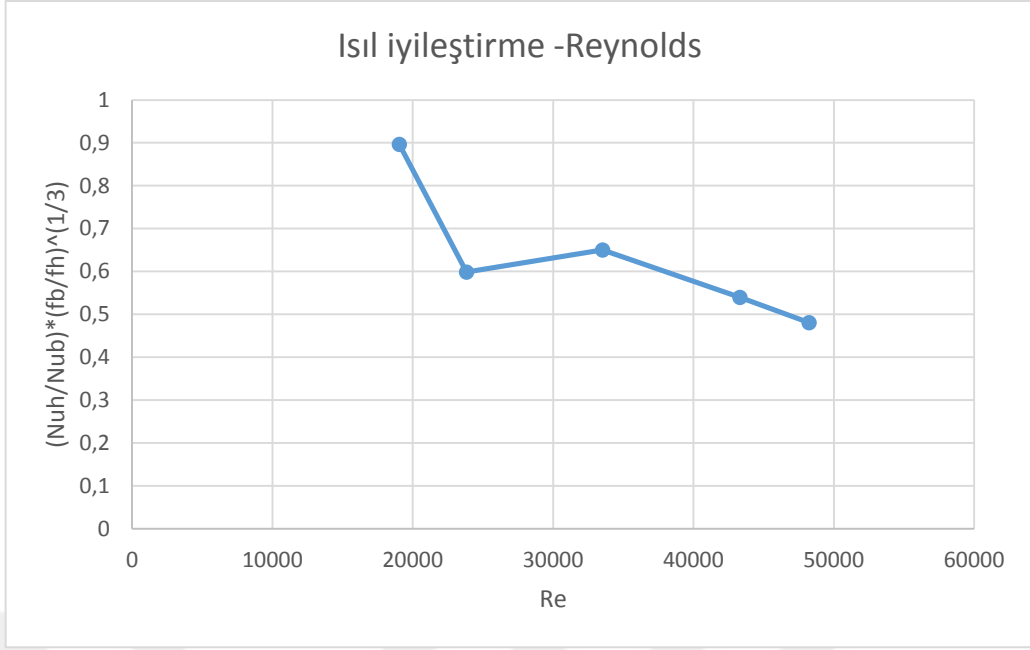
Çalışmada ilk olarak boş boru ile deneyler gerçekleştirildi. Elde edilen tüm ısıl iyileştirme değerleri Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Isıl iyileştirmede ki bu düşüş

Re=50000 e kadar devam etmektedir. En fazla azalma miktarı ise tüm pimli borular için Re=17000 ile Re=25000 aralığında tespit edilmiştir. En iyi ısıl iyileştirme değerine ise tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boruda ulaşılmıştır. Ancak çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru da pim sayısı tamamı pimli boruya göre yarısına kadar indirildiği düşünülürse eğer çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boruda da ısıl iyileştirme iyi sonuçlar vermiştir.

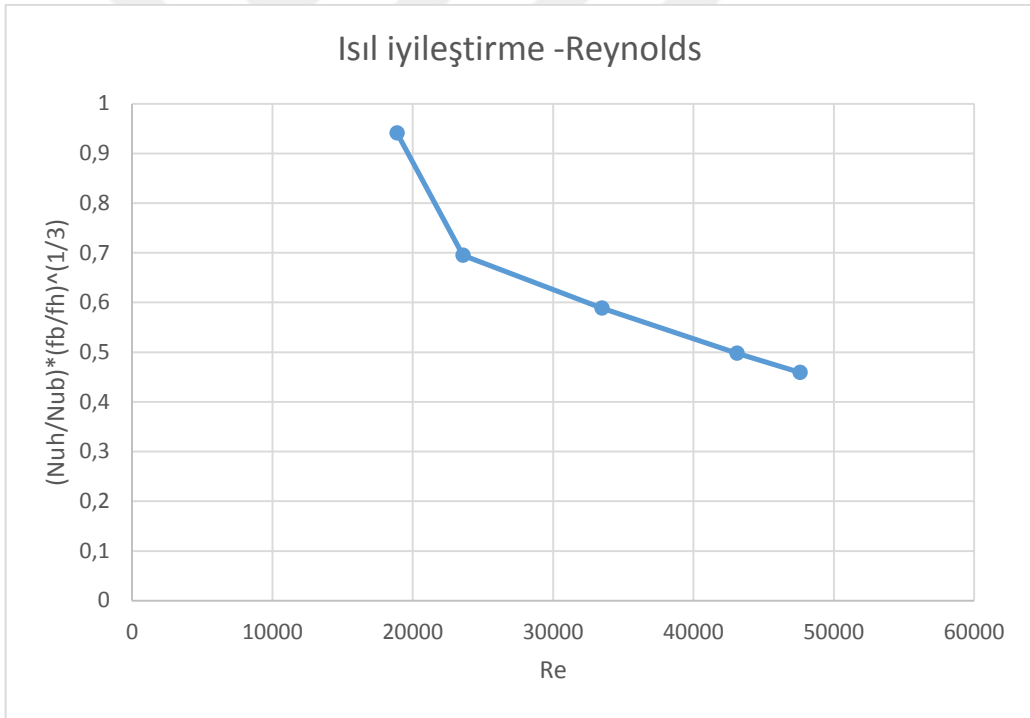
Boş borudan elde edilen veriler literatürde ki sonuçlar ile karşılaştırıldı. Boş borudan elde edilen sonuçların uygun olduğu tespit edildi ve pimli borular ile ölçümler gerçekleştirildi. Şekil 4.75 ve 4.80' de yer alan grafikler, pimli borularda ki ölçümlerin boş borulara göre karşılaştırılmasıdır.



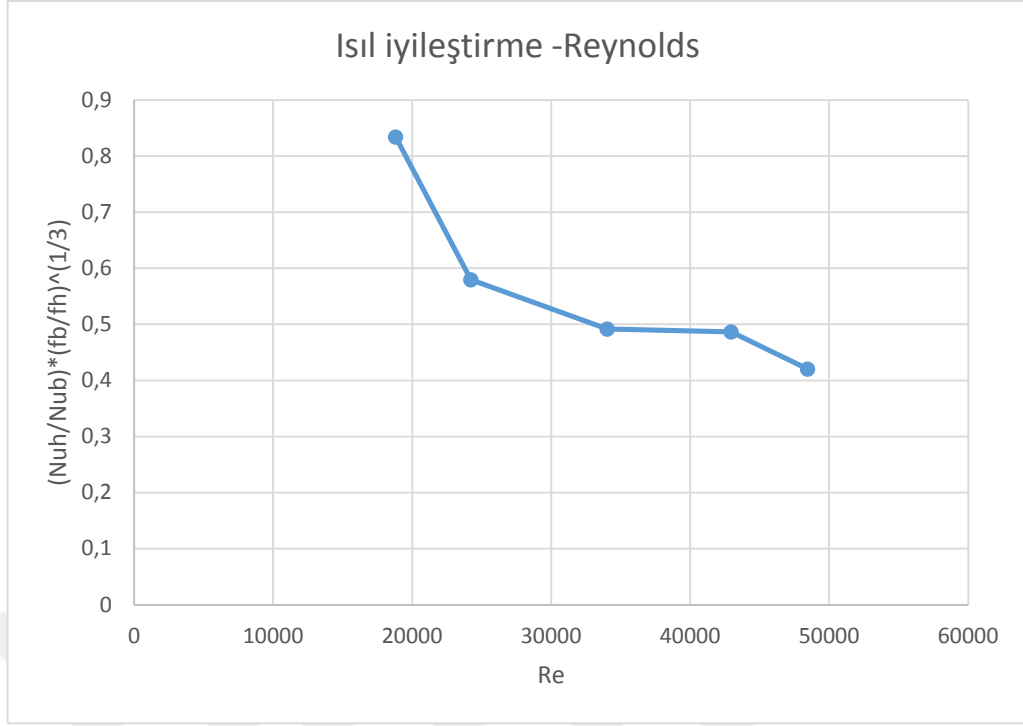
Şekil 4.75 Çapraz sıralanmış alüminyum pimli boru için Reynolds sayısına göre verimin değişimi



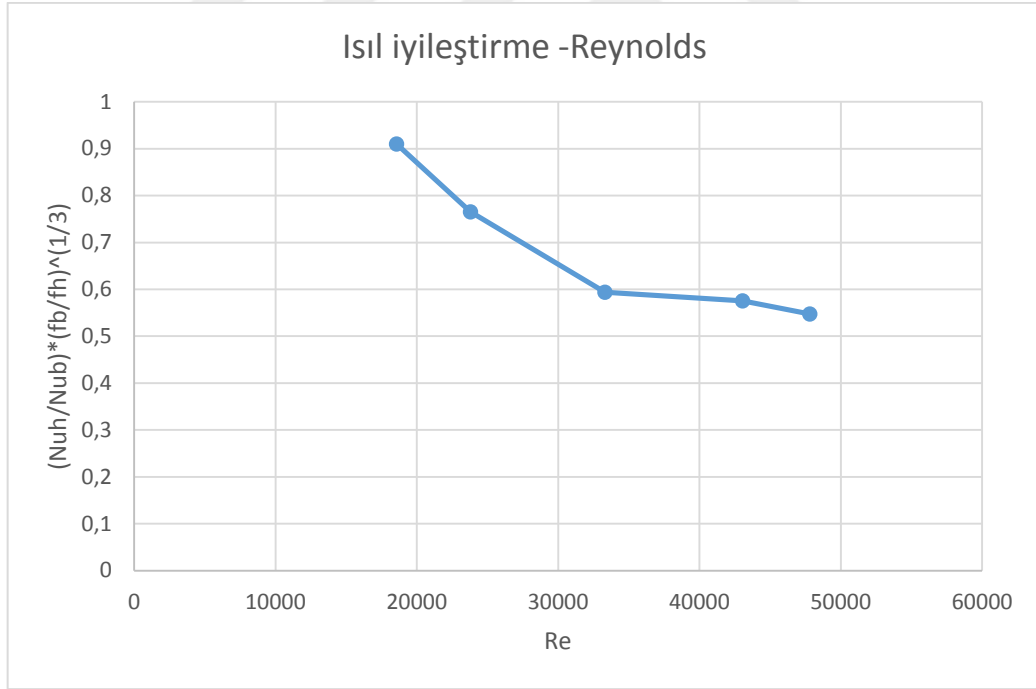
Şekil 4.76 Tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru için Reynolds sayısına göre verimin değişimi



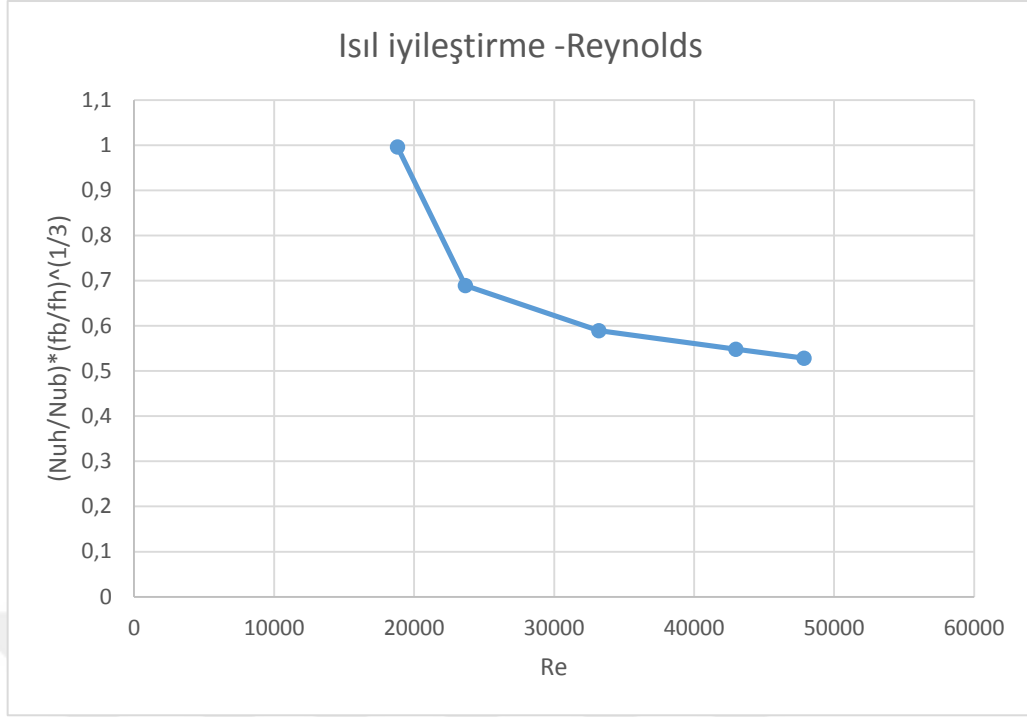
Şekil 4.77 Çapraz sıralanmış krom-nikel pimli boru için Reynolds sayısına göre verimin değişimi



Şekil 4.78 Tamamı düzenli takılı krom-nikel pimli boru için Reynolds sayısına göre verimin değişimi



Şekil 4.79 Çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boru için Reynolds sayısına göre verimin değişimi



Şekil 4.80 Tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru için Reynolds sayısına göre verimin değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, zorlanmış akış ve sabit yüzey akısı ile ısıtılmış boruya pimler yerleştirilerek ısı transferine etkisi Reynolds sayısının 10000-50000 aralığında deneysel olarak incelenmiştir. Boş boruda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçların literatüre uygun olduğu tespit edilmiştir. Boruya yerleştirilen pimler ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deneyler literatürdeki kanatçıklı borulardan farklı olarak boruya pimler vidalanarak yapılmıştır. Deneyler 2 farklı pim malzemesi (Cr-Ni, alüminyum (Al)), 2 farklı diziliş yöntemi (tamamı takılı 80 adet pim, birer eksik çapraz takılı 40 adet pim) ve alüminyum (Al) malzemedeki 2 farklı pim geometrisinde (yuvarlak pim, yüzey alanı daraltılmış pim) gerçekleştirilmiştir. Toplam 6 çeşit ölçüm yapılmıştır. Her ölçüm için 9 adet Reynolds (10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 35000, 40000, 45000, 50000) sayısında sıcaklıklar tespit edilerek ısı transferindeki artış ve basınç düşümü belirlenmiştir.

Bu çalışmada ayarlı transformatörün gücü sabit tutulmaya çalışılmış ve değişken parametresi azaltılmıştır. Fandan boruya iletilen hava miktarını ayarlamak için vana kullanılmıştır. Deneyler kapalı ortamda gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir ;

- Pimli boruda yapılan ölçümlerde elde edilen Nusselt değerleri pimsiz boruya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Pimli boruda giriş kısmında Nusselt değerleri ani yükselmeler yaşamakta ve daha sonra düşerek sabit bir değerde ilerlemektedir. Bunun sebebi ise giriş kısmında türbülansın çok fazla olmasıdır. Pimlerin dizilimine göre ısı transferine etkisi Nusselt sayısının en yüksek değerler aldığı tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru için elde edilmiştir.
- Malzeme geometrisine göre ısı transferinin etkisi Nusselt sayısının en yüksek değerler aldığı tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru için elde edilmiştir. Bunun yanında malzeme türünün ısı transferine etkisi olmadığı görülmüştür. Farklı malzemeler ile yapılan ölçümlerdeki küçük farkların ısıtma gücünden kaynaklanan farklardan olduğu görülmüştür.
- Tüm pimler için ısı transferine etkisinin en fazla olduğu tamamı düzenli takılı alüminyum pimli boru da olduğu görülmüştür.

- Pim malzemesinin sürtünme katsayısı üzerinde etkili olmadığı görülmüştür. Tamamı takılı pimlerin çapraz sıralı pimlere göre sürtünme katsayısında daha yüksek sürtünme katsayısı değerleri verdiği görülmüştür. Traşlanmış pimlerin silindirik pimlere göre daha düşük sürtünme katsayısı değerleri verdiği görülmüştür. En az sürtünme katsayısı değerlerine ise çapraz sıralanmış traşlı alüminyum pimli boruda ulaşılmıştır. Genel olarak tüm sürtünme katsayısı değerleri Re sayısı artmasına rağmen yakın değerler çıkmıştır.
- Bütün pimli borular için net ısıl iyileşmenin hemen hemen benzer değerler aldığı görülmektedir. Bütün pimli borularda düşük Re sayılarında net ısıl iyileşme bire yakın değerler almaktadır. Bütün pimli borularda Reynolds sayısının artmasıyla net ısıl iyileşmenin azaldığı görülmüştür.
- En iyi net ısıl iyileşme, 1 ve 0,5 aralığında tamamı düzenli takılı traşlı alüminyum pimli boru da görülmüştür.

5.2 Öneriler

- Bu çalışmada vidalama ile sıkı geçme yapılarak pimler boruya vidalanmıştır. Boruya pimleri takmak için açtığımız deliklerin ısı kaybına belli oranda etkisi olduğu düşünülmektedir. Isı kaybını en aza indirmek için çeşitli yöntemler geliştirilebilir. Pimler takıldıktan sonra bu noktalara kaynak ve lehim uygulanarak ısı iletimi daha iyi sağlanabilir. Yaptığımız çalışmada, pimleri çok fazla söküp taktığımızdan ve borunun çapı, içerisine el girmeyecek kadar küçük olduğundan boruya delik açarak pimleri vidalamak bizim yararımıza olmuştur.
- Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre ısıl gelişimin tam olarak sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada gelişmekte olan ısıl bölgede ölçümler yapılmıştır. Isıl gelişimin olabilmesi için test borusunun boyunun uzatılması daha yararlı olacaktır.
- Aynı deney düzeneği ve şartlar altında pim boyutları ve dizilimleri değiştirilerek araştırmalar yapılabilir.
- AISI paslanmaz çelik malzemeden elde edilen boru yerine, ısı iletim katsayısı daha yüksek malzemeden elde edilen boru kullanılarak aynı deneysel çalışma için ısı transferindeki artış miktarı araştırılabilir.
- Farklı ısıtma gücü ve farklı ortam sıcaklıklarında bu çalışmaya benzer deneysel çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abou-Ziyan, H. Z., Helali, A. H. B., & Selim, M. Y. E. (2016), Enhancement of forced convection in wide cylindrical annular channel using rotating inner pipe with interrupted helical fins. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 95, 996–1007.
- Aharwal, K. (2008). Experimental Investigation on Heat Transfer Enhancement Due to Gap in an Inclined Continuous Rip Arrangement in a Rectangular Duct of Solar Air Heater. *Renewable Energy*.
- Akyol, U. (2006). Heat Transfer and Thermal Performance of a Surface with Hollow Rectangular Fins. *Applied Thermal Engineer*.
- Badescu, V. (2017). Smooth and non-smooth optimal pin fin profiles beyond the Schmidt optimality assumption and “length-of-arc” approximation. *Applied Mathematical*
- Bilen, K. (2009). The Investigation of Groove Geometry Effect on Heat Transfer for Internally Grooved Tubes. *Applied Thermal Engineer*.
- Çengel, Y. (2014). Isı ve Kütle Transferi. G. Kitabevi (Ed.). İzmir.
- Darıcı, S. (1998). Borularda Akış Tıkanmasının Türbülanslı Isı Transferine Etkileri. İçinde *Selçuk Üniversitesi Makina Anabilim Dalı , Yüksek Lisans Tezi*. Konya.
- Didarul, M. (2007). Study on Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics with Short Rectangular Plate Fin of Different Pattern. *Experimental Thermal and Fluid Science*.
- Eren, M., & Caliskan, S. (2016). Effect of grooved pin-fins in a rectangular channel on heat transfer augmentation and friction factor using Taguchi method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 102, 1108–1122.
- Gölcü, M., & Atılgan, M. (1996). Üniorm Dairesel Kesitli Boru Akışlarında Kinetik Enerji ve Momentum Düzeltme Faktörlerinin Değişimi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 109–116.
- Güneş, S. (2009). *Çeşitli İç Elemanlar Yerleştirilmiş Bir Boruda Isı Geçişinin İncelenmesi. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi , Erciyes Üniversitesi*. Kayseri.
- Hiravennar, S. (2007). A Note on the Flow and Heat Transfer Enhancement in a Channel with Built in Winglet Pair. *International Journal of Heat and Fluid Flow*.
- KAKAÇ, S. (1970). *Örneklerle Isı Transferi (ODTÜ)*. Ankara.
- Khalled, A. (2007). Heat Transfer Enhancement in Hairy Fin System. *Applied Thermal*

Engineer.

Kirsch, K. L., & Thole, K. A. (2017). Pressure loss and heat transfer performance for additively and conventionally manufactured pin fin arrays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 2502–2513.

Ortiz, L. (2008). Heat Transfer Enhancement in a Horizontal Channel By The Addition of Curved Deflectors. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

Sara, O. N. (2001). Heat Transfer Enhancement in a Channel Flow with Perforated Rectangular Blocks. *International Journal of Heat and Fluid Flow*.

Sewall, E. A. (2006). Experimental Validation of Large Eddy Simulations of Flow and Heat Transfer in a Stationary Ribbed Duct. *International Journal of Heat and Fluid Flow*.

Shaeri, M. (2009). Numerical Analysis of Turbulent Convection Heat Transfer From an Array of Perforated Fins. *International Journal of Heat and Fluid Flow*.

Şahin, B. (2008). Performance Analysis of a Heat Exchanger Having Perforated Square Fins. *Applied Thermal Engineer*.

Tijing, L. (2006). A Study on Heat Transfer Enhancement Using Straight and Twisted Internal Fin Insert. *International Communications in Heat and Mass Transfer*.

Wang, C. (2002). Forced Convection in a Wavy Wall Channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

www.eie.gov.tr. (y.y.) http://www.eie.gov.tr/verimlilik/document/ogretmen_rehberi.pdf.
basım yeri bilinmiyor

□: İlayda İletişim Yayın Danışmanı

Yakut, K. (2006). Optimum design Parameters of a Heat Exchanger Having Hexagonal Fins. *Applied Energy*.

Yang, A., Chen, L., Xie, Z., Feng, H., & Sun, F. (2016). Constructal heat transfer rate maximization for cylindrical pin-fin heat sinks. *Applied Thermal Engineering*, 108, 427–435.

Zhang, J., Zhao, Y., Diao, Y., & Zhang, Y. (2015). An experimental study on fluid flow and heat transfer in a multiport minichannel flat tube with micro-fin structures. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 84, 511–520.

EKLER

EK-1 HİOKİ LR 8402 – 20 Çok Amaçlı Datalogger

Teknik Özellikler	
Giriş Özellikleri	
Standart 30 Kanallı ;	2,3 ve 4 Telli Giriş
Voltaj Girişi:	10 mV ile 100 V arası, 1-5 V f.s.
Maks. çözünürlük:	500 nV
Sıcaklık- Termokupl Modelleri :	200°C ile 2000°C arası (K, J, E, T, N, R, S, B, W)
Maks. Çözünürlük :	0.1 C
Pt 100 ve JPt 100 sensörleri :	200°C ile 800°C arası
Maks. Çözünürlük :	0.01°C
Direnç:	10 Ω ile 200 Ω f.s.
Maks çözünürlük :	0.5 mΩ
Nem:	100 % rh f.s.
Çözünürlük :	0.1 % rh

EK-2 KIMO MP100 Dijital Fark Basınç Ölçer

Teknik Özellikler	
Ölçüm aralığı:	0 ile ± 1000 Pa 2-5 m/s(pitot tüpü ile) 5-40 m/s(pitot tüpü ile)
Doğruluk :	Ölçülen değerlerin $\pm 5\%$ nde ± 1 Pa
Çözünürlük:	1 Pa
Ölçüm birimi seçimi :	kPa, inWg, mmHg, mBar, Psi, Bar m/s, fpm, kmh
Boyutları (YxGxD):	156,2 x 70,6 x 34,7 mm
Ağırlık :	190g

EK-3 TESTO 435 Dijital Hız Ölçer

Teknik özellikler	
Ölçüm aralığı (K-tipi, NiCr-Ni)	: -200... +1370 °C
Ölçüm aralığı (NTC)	: -50... +150 °C
Ölçüm aralığı (testo nem sensörü, kapasitif)	: 0... +100 %RH
Ölçüm aralığı (pervane)	: 0... +60 m/sn
Ölçüm aralığı (T-tipi, Cu-CuNi)	: -200... +400 °C
Ölçüm aralığı (Isınan tel-hot wire)	: 0... +20 m/sn
Ölçüm aralığı (mutlak basınç probu)	: 0... +2000 hPa
Ölçüm aralığı (CO2-IAQ probu)	: 0... +10000 ppm CO2
Ölçüm aralığı (dahili fark basınç)	: 0... +25 hPa
Doğruluk (K-tipi, NiCr-Ni)	: ± 0.3 °C (-60... +60 °C) $\pm(0.2$ °C +0.3% ölç.değ.) (kalan aralık)
Doğruluk (NTC)	: ± 0.2 °C(-25... +74.9 °C) ± 0.4 °C (-50... -25.1 °C) ± 0.4 °C (+75... +99.9 °C) $\pm 0.5\%$ ölç.değ. (kalan aralık)
Doğruluk (T-tipi, Cu-CuNi)	: ± 0.3 °C (-60... +60 °C) $\pm(0.2$ °C +0.3% ölç.değ.) (kalan aralık)
Doğruluk (dahili fark basınç)	: ± 0.02 hPa (0... +2 hPa) 1% ölç.değ. (kalan aralık)
Çözünürlük (K-tipi, NiCr-Ni)	: 0.1 °C
Çözünürlük (NTC)	: 0.1 °C
Çözünürlük (testo nem sensörü, kapasitif)	: 0.1 %RH

EK-4 Örnek Hesaplama

Krom–Nikel tamamı düzenli takılı pimli borunun ölçümünün hesaplaması

$$Re = 10000$$

$$\bar{T}_b = 19,7 C^{\circ}$$

$$\vartheta = 1,508 * 10^{-5} m^2$$

$$10000 = \frac{U_m * 0,70}{1,508 * 10^{-5}}$$

$$U_m = 2,1543 m/s$$

$$U_m = U_{max} * 0,82$$

$$U_{max} = 2,6272 m/s$$

$$Re = \frac{2,1543 * 0,070}{1,6452 * 10^{-5}}$$

$$Re = 9166$$

$$\bar{T}' = \frac{34,22 + 36,33}{2} = 35,275 C^{\circ}$$

$$\bar{T}_{\infty} = \frac{22,49 + 22,68}{2} = 22,585 C^{\circ}$$

$$\bar{T}_b = \frac{46,29 + 22,585}{2} = 34,43 C^{\circ}$$

$$\bar{T}_b = 34,43 C^{\circ}$$

$$\rho = 1,1484 kg / m^3$$

$$k_h = 0,0267 W / m C^{\circ}$$

$$\vartheta = 16,452 * 10^{-6} m^2/s$$

için

$$\text{Pr} = 0,7116$$

$$\text{Di} = 0,070 \text{ m}$$

$$\text{Do} = 0,076 \text{ m}$$

$$\text{L} = 1,16 \text{ m}$$

$$D' = 0,030 + 0,030 + 0,076 = 0,136 \text{ m}$$

$$P_t = 0,20 * 500 = 100 \text{ W}$$

$$Q' = 1,24 * \pi * 0,136 * 1,16 * (35,275 - 22,585)^{4/3} = 18,1815 \text{ W}$$

$$P_{net} = 100 - 18,1815 = 81,8185 \text{ W}$$

$$q_w = \frac{81,8185}{2 * \pi * 0,035 * 1,16} = 320,897 \text{ W/m}^2$$

$$\dot{q} = \frac{81,8185}{2 * \pi * (0,038^2 - 0,035^2) * 1,16} = 51136 \text{ W/m}^3$$

$$2,1543 = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi * (0,070)^2}{4}}$$

$$\dot{V} = 0,0083 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$K = \frac{(0,038)^2}{2 * 15} \left[\ln \frac{0,038}{0,035} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{(0,035)^2}{(0,038)^2} \right) \right] = 1,32 * 10^{-8}$$

$$T_{w_{o_1}} = 67,60 \text{ C}^o$$

$$T_{w_{i_1}} = 67,60 - (1,32 * 10^{-8}) * 51136,5$$

$$T_{w_{i_1}} = 67,5993 \text{ C}^o$$

$$T_{b_x} = 22,585 + \frac{81,8185 * (0,0575 / 1,16)}{1,148 * 0,0083 * 1005}$$

$$T_{b_x} = 23,0085 \text{ C}^o$$

$$h_x = \frac{320,897}{67,5993 - 23,0085}$$

$$h_x = 7,1966 \text{ W/m}^2 \text{ C}^0$$

$$Nu_x = \frac{2 * 7,1966 * 0,035}{0,0267}$$

$$Nu_x = 18,8675$$

$$\Delta P = 30$$

$$f = \frac{30}{\frac{1}{2} * (1,1484) * (2,1543)^2 * \left(\frac{1,065}{0,07}\right)}$$

$$f = 0,739$$

EK-5 Belirsizlik Analizi Örnek Hesaplama

$$\frac{W_{Re}}{Re} = \left[\left(\frac{0,1}{70} \right)^2 + \left(\frac{0,0215}{2,15} \right)^2 \right]^{1/2}$$
$$=0,0101$$

$$\frac{W_{T_b}}{T_b} = \left[\left(\frac{0,46}{68,87} \right)^2 + \left(\frac{0,22}{68,87} \right)^2 \right]^{1/2}$$
$$=0,0074$$

$$\frac{W_{P_{net}}}{P_{net}} = \left[\frac{(0,002)^2 + (5)^2 + (0,18)^2}{(500)^2} \right]^{1/2}$$
$$=0,01$$

$$\frac{W_q}{q} = \left[(0,01)^2 + \left(\frac{0,1}{70} \right)^2 + \left(\frac{0,1}{1160} \right)^2 \right]^{1/2}$$
$$=0,0094$$

$$\frac{W_f}{f} = \left[\left(\frac{1,5}{30} \right)^2 + \left(\frac{0,1}{70} \right)^2 + \left(\frac{0,1}{1160} \right)^2 + \left(\frac{0,0215}{2,15} \right)^2 \right]^{1/2}$$
$$=0,05$$

$$\frac{W_{h_x}}{h_x} = [(0,0094)^2 + (0,0074)^2]^{1/2}$$
$$=0,0089$$

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \left[(0,0089)^2 + \left(\frac{0,1}{70} \right)^2 \right]^{1/2}$$
$$=0,0942$$

EK-6 Kuru Havanın Özellikleri (KAKAÇ, 1970)

T	ρ	C_p	k_h	k	$10^6 \nu$	Pr
-150	2,79	0,245	0,012	0,0103	3,11	0,74
-100	1,98	0,241	0,0165	0,0142	5,96	0,72
-50	1,53	0,24	0,0206	0,0177	9,55	0,715
0	1,29	0,24	-	-	13,3	0,711
20	1,2	0,24	0,0257	0,0221	15,11	0,713
40	1,12	0,241	0,0271	0,0233	16,97	0,711
60	1,05	0,241	0,0285	0,0245	18,9	0,709
80	0,99	0,241	0,0299	0,0257	20,94	0,708
100	0,94	0,242	0,0314	0,027	23,06	0,704
120	0,89	0,242	0,0328	0,0282	25,23	0,7
140	0,85	0,242	0,0343	0,0295	27,55	0,694
160	0,81	0,243	0,0358	0,0308	29,85	0,693
180	0,77	0,244	0,0372	0,032	32,29	0,69
200	0,74	0,245	0,0386	0,0332	34,63	0,685
250	0,67	0,247	0,0421	0,0362	41,17	0,68
300	0,61	0,25	0,039	0,039	47,85	0,68
350	0,56	0,252	0,0485	0,0417	55,05	0,68
400	0,52	0,255	0,0516	0,0443	62,53	0,68
450	0,48	0,258	0,0543	0,0467	70,54	0,685
500	0,45	0,261	0,057	0,049	70,48	0,69
600	0,4	0,266	0,0621	0,0534	95,57	0,69
700	0,36	0,271	0,0667	0,057	113,7	0,7
800	0,32	0,276	0,0706	0,0607	132,8	0,715
900	0,3	0,28	0,0741	0,0637	152,5	0,725
1000	0,27	0,283	0,077	0,0662	175	0,735

T : Sıcaklık ($^{\circ}C$)

ρ : Yoğunluk (kg/m^3)

C_p : Özgül ısı ($kcal / kg^{\circ}C$)

k_h : Isı iletim katsayısı ($W / m^{\circ}C$)

k : Isı iletim katsayısı ($kcal / mh^{\circ}C$)

ν : Kinematik viskozite (m^2 / s)

Pr : Prandtl sayısı

EK-7 Paslanmaz Çeliğin Fiziksel Özellikleri

Katı metallerin özellikleri (Devam)						Çeşitli Sıcaklıklarda Özellikler (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
Yapı	Ergime Noktası, K	300 K 'de Özellikler									
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1000
Karbon-manganez-silikon (%1 < Mn < %1.65 %0.1 < Si < %0.6)		8131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1090
Krom (düşük) çelikleri: $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si (%0.18 C, %0.65 Cr, %0.23 Mo, %0.6 Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9
1 Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (%0.16 C, %1 Cr, %0.54 Mo, %0.39 Si)		7858	442	42.3	12.2			492 42.0	575 39.1	688 34.5	969 27.4
1 Cr-V (%0.2 C, %1.02 Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			492 46.8	575 42.1	688 36.3	969 28.2
Paslanmaz çelikler:											
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606
Kurşun	601	11,340	129	35.3	24.1	39.7 118	36.7 125	34.0 132	31.4 142		
Magnezyum	923	1740	1024	156	87.6	169 649	159 934	153 1074	149 1170	146 1267	
Molibden	2894	10,240	251	138	53.7	179 141	143 224	134 261	126 275	118 285	112 295
Nikel:											
Saf	1728	8900	444	90.7	23.0	164 232	107 383	80.2 485	65.6 592	67.6 530	71.8 562
Nikrom (%80 Ni, %20 Cr)	1672	8400	420	12	3.4			14 480	16 525	21 545	
Inconel X-750 (%73 Ni, %15 Cr, 6.7% Fe)	1665	8510	439	11.7	3.1	8.7 —	10.3 372	13.5 473	17.0 510	20.5 546	24.0 626
Niobyum	2741	8570	265	53.7	23.6	55.2 188	52.6 249	55.2 274	58.2 283	61.3 292	64.4 301
Paladyum	1827	12,020	244	71.8	24.5	76.5 168	71.6 227	73.6 251	79.7 261	86.9 271	94.2 281
Platin:											
Saf	2045	21,450	133	71.6	25.1	77.5 100	72.6 125	71.8 136	73.2 141	75.6 146	78.7 152
Alasım 60Pt-40Rh (%60 Pt, 940 Rh)	1800	16,630	162	47	17.4			52 —	59 —	65 —	69 —
Renyum	3453	21,100	136	47.9	16.7	58.9 97	51.0 127	46.1 139	44.2 145	44.1 151	44.6 156
Rodyum	2236	12,450	243	150	49.6	186 147	154 220	146 253	136 274	127 293	121 311

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kazım BAĞIRSAKCI
Uyruğu : Türkiye
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya - 20.07.1988

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise :	Erbil Kuru Lisesi, Selçuklu, Konya	2007
Üniversite :	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2014
Yüksek Lisans :	Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	-