

## Yatay Borularda Türbülötörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Deneysel Araştırılması

Şendoğan KARAGÖZ<sup>1</sup>, Sibel ÇİLTAŞ<sup>1</sup>, Orhan YILDIRIM\*<sup>1</sup> , Sadık ERDOĞAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Erzurum, Türkiye

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Erzurum Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Erzurum, Türkiye

Geliş / Received: 14/09/2018, Kabul / Accepted: 04/02/2019

### Öz

Bu çalışmada, boru içerisine türbülans oluşturacak kanatçıklar yerleştirilerek boş boru ile kıyaslanmıştır. Üç farklı kanatçık arası mesafede ( $S_y=101, 216, 340$ ) ve üç farklı kanatçık açısına ( $\alpha=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ) sahip 9 türbülötör, üç farklı Reynolds sayısında (Re) kullanılmıştır. Bu türbülötörlerin ısı transfer performansı ve sürtünme karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. En yüksek hız değerinde Nu sayısındaki en yüksek artış  $S_y = 101$  mm kanatçık arası mesafede ve  $\alpha = 90^\circ$  kanatçık açısında elde edilmiştir. Kanatçık arası mesafenin artmasıyla Nu sayısında azalma olduğu görülmüştür.  $S_y$  mesafesi en az olan türbülötör bütün Re sayılarında en yüksek Nu sayısına sahiptir. Nu sayısı açısından sırama yapıldığında;  $S_{y(10)} > S_{y(5)} > S_{y(3)}$  olduğu gözlemlenmiştir. Bu türbülötörlerin kanatçık arası mesafesinin ( $S_y$ ) ve kanatçık açılarının ( $\alpha$ ), Nu sayısına etkisi olduğu yapılan çalışmalarla görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Türbülötör, Sürtünme Faktörü, Isı transferi, Basınç Düşümü, Makro Boru

### Experimental Investigation of the Effect of Turbulators on Heat Transfer in Horizontal Pipes

#### Abstract

In this study, vanes that will create turbulence inside the pipe were installed in pipe and compared with empty pipe. Nine different turbulators which are at three different distances between vanes ( $S_y=101, 216, 340$ ) and has three different angles of vanes ( $\alpha=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ) were used in three different Reynold Number (Re). Heat transfer performance and friction characteristics of these turbulators have been investigated experimentally. The highest increase in Nu number in maximum speed value was obtained as  $S_y=101$  mm at vanes distance, and  $\alpha=90$  at vanes angle. A decrease in the Nu number was observed with the increase in the distance between the vanes. When the order is made in terms of Nu number ; The sequence is  $S_{y(10)} > S_{y(5)} > S_{y(3)}$ . It was observed in the studies conducted that vane distances ( $S_y$ ) and vane angles ( $\alpha$ ) had impact on Nu number.

**Keywords:** Turbulator, Friction Factor, Heat Transfer, Pressure Drop, Macro Pipe

### 1. Giriş

Günümüzde sanayinin ve halkın günlük yaşantısında önemli bir hâle gelen enerjiye talep sürekli artarken enerji kaynakları da hızla tükenmektedir. Kaynakların verimli olarak kullanılması bazı bilim dallarına konu olmaktadır. Soğutma ve ısıtma sistemlerinde ısı geçişinin sağlanabilmesi için yüzey alanının artırılması kullanılan yöntemlerden biridir. Endüstriyel tip kazanlarda, kalorifer tipi kazanlarda, nükleer tesisler verimin artırılması için türbülötör kullanımı oldukça yaygındır. Enerji maliyetini düşürmesi açısından faydalı olan türbülötörlerin tasarımı

konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar en uygun türbülötör tipini belirlemek için hem deneysel hem de sayısal olarak yapılmaktadır. Yıldız vd. (1998) yaptığı çalışmada iç içe çift borulu bir ısı değiştiricisine yerleştirilen kıvrımlı şeridin ısı transferi ve basınç kaybına olan etkisini belirlemek için çalışmışlardır. Deneyler paralel akış ve zıt yönlü akış durumları için yapılmıştır. Çift borulu hava soğutmalı sistemde ısı transferi, tüp içerisine yerleştirilen türbülötör sayesinde %100 artmıştır. Araştırmacılar farklı şekilde tasarlanan türbülötörlerin etkilerini

gözlemek için çalışmalar yürütmüştür. Boru içerisindeki akış da dairesel kesitli helisel yay kullanımının ısı geçişi üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılmıştır. Bu türbülatorlerin, sürtünme faktörü ve Nusselt(Nu) sayısının ısı geçişine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak tel sargıların termodinamik olarak Reynolds(Re) sayısının 13000'e kadar olan değerlerinde avantajlı olduğu görülmüştür(Kahraman *vd.*, 2008). Isı değiştiricilerinde ısı geçiş miktarının artışı için kullanılan konik halka türbülatorlerin akışkan titreşim karakteristiklerini, deneysel olarak araştırılmıştır. Re sayısının artışıyla Nu sayısının artması ve en küçük eğim düzenlemesi için, maksimum ısı geçiş miktarı elde edilmiştir(Yakut ve Şahin, 2004). Bir boru içindeki türbülanslı hava akışındaki girdabın etkisi bir diğer araştırma konusu olmuştur. Girdap olmayan borudaki ısı transferi ile karşılaştırdıklarında girdap eleman içeren borulardaki ısı transferinin önemli oranda arttığı gözlemlenmiştir (Sparrow et al., 1984).Helisel bantların etkisi olan bir tüpteki ısı geçiş miktarının artışı bir diğer çalışma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüpün içerisine ısı geçiş oranını artırmaya yardımcı olan girdaplı akış üreten bir helisel bant yerleştirmişlerdir. Re sayısının 2300-8800 arasında değişen akış rejiminde kullanılmıştır. Deneyler sonucunda helisel bantlar kullanmanın düz tüpe göre ısı geçiş oranını artırdığı görülmüştür. Düzenli yerleştirilen helisel bantlarda düz tüpe göre %50 den fazla,  $s=0,5$  de ise en yüksek Nu sayısı elde edilmiştir (Eimsa-ard and Promvonge, 2005). Isı transferine etki eden bu türbülatorlerin ısı geçişini incelemek için sayısal çalışmalar da yapılmaktadır. Bir yüzeyine iki veya üç boyutlu elemanlar yerleştirilen yatay kanaldaki ısı ve akış özellikleri araştırılmıştır. Sayısal olarak yapılan çalışmada sabit ısı akısında CFD modeli kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan elemanların ısı transferini iyileştirdiği görülmüş ve uygulanan modellerin

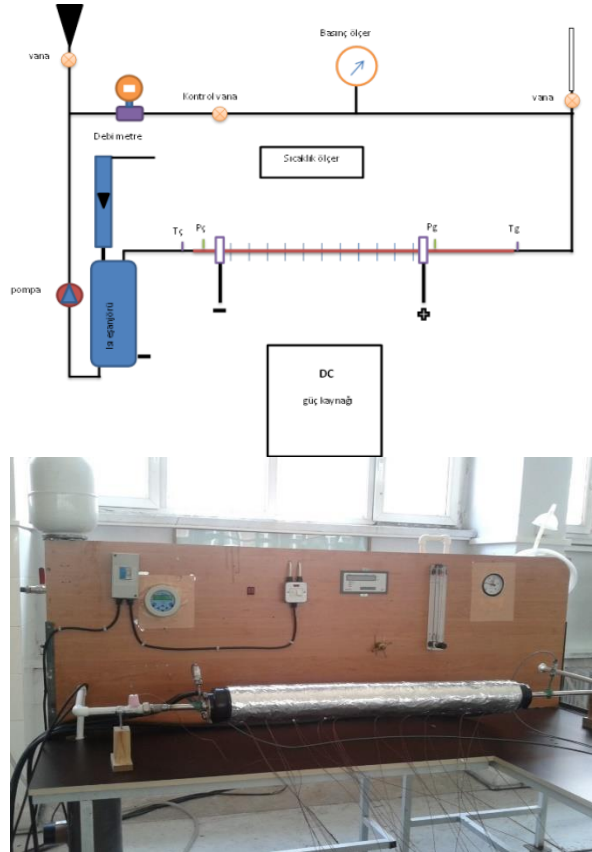
doğruluğu tespit edilmiştir (Karagöz *vd.* 2017; Karagöz., 2015). Arguhan ve Yıldız (2006) iç içe borulu ısı değiştiricilerinde içteki borunun döndürülmesiyle dönmenin Nu Sayısı ve basınç düşüşüne etkisini araştırmışlardır. Dönel helisel iç borunun Nu sayısı, dönmeyen düzgün yüzeyli borunun Nu Sayısının birkaç kat olduğunu gözlemlemişlerdir ve ek basınç düşüşünün ısı transferindeki artışı yanında daha düşük kaldığını belirlemişlerdir. Chen *vd.* (2006) çalışmalarında dairesel ve farklı oval kesitli borunun kesit değişimlerinin ısı transferine etkilerini incelemişlerdir. Laminer akış şartlarında, HAD kodlu bir programda üç farklı geometri modellenerek Reynolds sayısının 500-2000 aralığında ısı transfer performansına ve sürtünme faktörüne etkilerini incelenmişlerdir. Reynolds sayısının bu geniş aralığında geometriler optimize edilirse oval kesitli boruların aynı şartlarda dairesel boruya göre daha iyi sonuçlar vereceğini görmüşlerdir. Ho et al. (2005) çoklu geçişli ters akış prensibine göre çalışan güneş enerjili hava ısıtıcıların performanslarını geliştirmek için çalışmalar yapmıştır. Absorbant plaka ve yalıtım levhası yatay ve dikey olarak yerleştirilerek açık kanallar dört alt kanala ayrılmıştır. Çalışma sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Eklene plakaların ısı geçiş miktarını artırdığı görülmüştür. Uğurlubilek *vd.* (2011) 18 mm çaplı bir bakır boruda sıkı geçme olarak helisel türbülatorün ısı transferine etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Re sayısı aralığı 1000-20000 olarak alınmıştır. Boru boyu 250 mm et kalınlığı 1 mm'dir. Sarım sayıları ise 5, 10, 20 olarak kabul edilmiştir. Nu değeri, Re sayısına bağlı olarak mevcut kolerasyonlarla kıyaslanmıştır. Helisel türbülatorler laminarin akışta ısı geçişini arttırdığı türbülanslı akışta ise verimli olmadığı gözlenmiştir. Bu makalede yatay borularda türbülatorlerin ısı transferine olan etkileri deneysel olarak incelenmiş ve Nu-Re ve f-Re grafikleri elde edilmiş, farklı ısı

transfer iyileştirme elemanlarının kullanıldığı bu çalışmada ısı transfer iyileştirmesinin etkisi araştırılarak sonuçlar sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deney düzeneği

Sistemde bulunan tüm elemanların ve ölçme elemanlarının çalışır durumda olmasının test edildiği ve ölçüm elemanlarının kalibresinin yapıldığı deney düzeneği (Şekil 1) akışkan besleme bölümü ve test bölümü olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin fotoğrafı ve şematik görünümü

#### 2.1.1. Akışkan besleme bölümü

Akışkan besleme bölümü; belli sıcaklıklarda girmesini sağlamak için kullanılan ısı değiştiricisi kullanılarak iş

yapan akışkan suyun test borusuna giriş koşullarına getirilmesini sağlamaktadır.

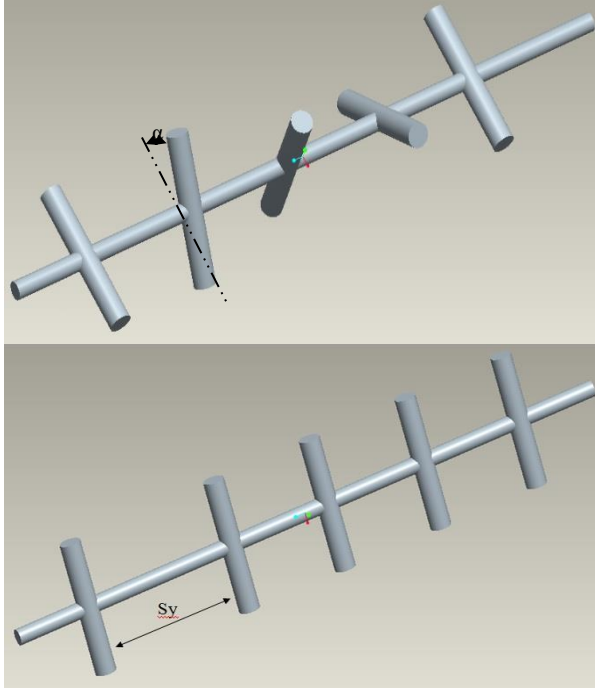
#### 2.1.2. Test bölümü

Test bölümü ısı transferinin meydana geldiği kısımdır. Test borusu kısmında basınç ve sıcaklık ölçüm elemanı bulunmaktadır. Bourdon tipi manometre sistem basıncını ölçmektedir. Sistemin giriş ve çıkışında kullanılan basınç transdüseri basınç kayıplarını ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda üç farklı debi değeri kullanılmıştır (205-409-614 L/h). İş yapan akışkanın giriş sıcaklığı test bölümüne girmeden önce termoeleman ile ölçülmüştür.

Test borusu boyu 1020 mm, dış çapı 17 mm ve iç çapı 13,5 mm olan Cr-Ni (316L) bir borudur. Test borusu cidarına termoelemanların 11 tanesi üst cidara diğer 11 tanesi de alt cidara olmak üzere eşit aralıklarla yerleştirilmiş, test borusunun giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek amacıyla da 2 adet T-tipi bakır-konstant termoelemanlar kullanılmıştır.

#### 2.2. Deneysel yöntem

Deneysel çalışmalar 614 – 409 – 205 L/h aralığında debi, 10 – 5 – 3 kanatçık sayılarına sahip elemanlarla gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.** 0° de sabitlenmiş ve farklı açılarda sabitlenen türbülatorler

Çizelge 1’de gösterildiği gibi ısı transfer yüzeyleri efektif çapla karakterize edilmektedir. Efektif çap aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_e = \sqrt{\frac{4V'}{\pi L}}$$

Burada  $V'$  ( $V' = V_{boru} - V_{Türbülator}$ ) boru net iç hacmini ve  $L$  boru uzunluğunu belirtmektedir.

**Çizelge 1.** Isı transfer yüzey konfigürasyonları ve karakteristikleri

Borunun karakteristiği	De (mm)
Boş boru	13,50
3 elemanlı boru	13,48
5 elemanlı boru	13,47
10 elemanlı boru	13,45

**Çizelge 2.** Deneysel parametreler

$S_y$ (mm)	101	216	340
$\alpha$ (°)	0	45	90
Re	6000	12000	18000

Deneysel sistemin kurulmasıyla ilgili çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

- i. Sistemde test borusu olarak 1020 mm uzunluğunda, 13,5 mm çapında Cr-Ni (paslanmaz çelik 316L) malzemenen yapılmış çelik bir boru kullanılmıştır.
- ii. Dengeleyici tank gerekli çalışma basınçlarına dayanıklı malzemenen üretilmiştir.
- iii. Güç kaynağı, ısıtıcı test borusunda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi sağlamak için kullanılmaktadır. (DC güç kaynağından ölçülen akım değeri; 1,8 Watt, 210A)
- iv. Sistemde gerekli test basıncını sağlamak için basınçlı el cenderesi kullanılmıştır. Basınç farkını ölçmek için giriş ve çıkış bölgesinde birer tane basınçölçer kullanılmıştır.
- v. Sisteme giren akışkanın debi ölçümleri için türbin tipi debi ölçer kullanılmıştır.
- vi. Termoelemanlar, basınç transdüseri ve türbin tipi debi ölçerden alınan veriler data logger vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Toplam 24 adet termoeleman kullanılmıştır.
- vii. Sistemde iş yapan akışkan suyu dolaştırmak amacıyla bir adet pompa kullanılmıştır.
- viii. Test borusunda istenilen sıcaklıkta iş yapan akışkan girişini sağlamak amacıyla bir adet ısı değiştiricisi kullanılmıştır.

### 2.3 Hesaplama metodu

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak Nusselt Sayısı ( $Nu$ ), sürtünme faktörü ( $f$ ) ve Reynolds Sayısı ( $Re$ ) hesaplanmıştır.

Buna göre sisteme verilen ısı, DC güç kaynağının volt ve akımı direkt olarak okunmuştur. Güç kaynağından alınan ısı akışkana aktarılırken kayıplar oluşmuştur. Bu kayıpları önlemek ve hesaba katmak için  $\sqrt{3}$  katsayısı ile çarpılmıştır. Buradan da sisteme verilen ısı miktarı;

$$Q = VI\sqrt{3}$$

Yüzeyden akışkana aktarılan ısı;

$$Q = hA(T_w - T_s)$$

Burada A borunun iç yüzey alanı,  $T_s$ , suyun ortalama sıcaklığı olup  $((T_g + T_ç)/2)$  şeklinde ifade edilir.  $T_w$  ise borunun ortalama cidar sıcaklığıdır. Bu ifadeden elde edilen ısı taşınım katsayısı yardımıyla Nu Sayısı;

$$Nu = \frac{hD}{k}$$

İfadesiyle belirlenir, burada D borunun iç çapı, k ise suyun ısı iletim katsayısıdır. Darcy sürtünme faktörü ( $f$ ) pratik olarak şu şekilde ifade edilmiştir;

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \left( \frac{1}{2} \rho V^2 \right)$$

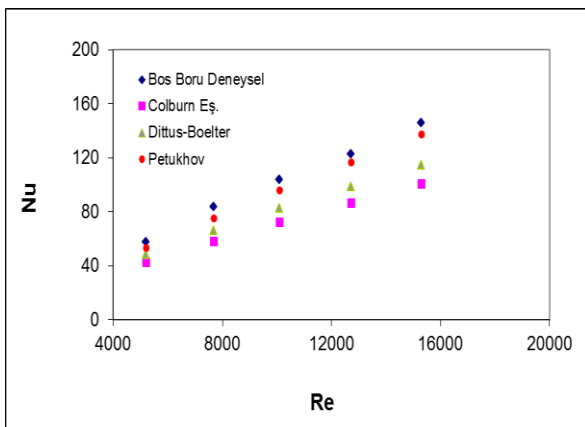
Re Sayısı da aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunur;

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Burada V karakteristik sıvı hızı, D borunun iç çapı,  $\mu$  sıvı viskozitesi,  $\rho$  sıvı yoğunluğudur.

### 3. Bulgular

Bu bölümde deneysel çalışmalarda edilen araştırma bulguları değerlendirilmiş sonuçlar grafiksel ortamda hazırlanmıştır. Sonuçlar boş borudaki akış ve iyileştirme elemanı kullanan borulardaki akış olmak üzere iki alt bölüm hâlinde incelenmiştir.

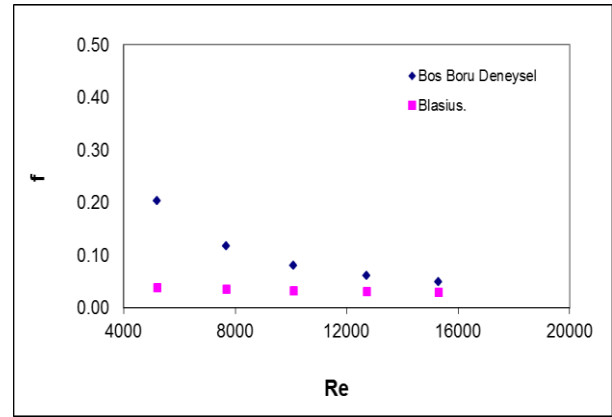


Şekil 3. Boş boru için Nu- Re değişimi

#### 4.1. Boş boruda akış

Şekil 3'te Boş Boru'da yapılan deneysel sonuçlar görülmektedir. Şekil 3'ten de anlaşılacağı gibi elde edilen sonuçlar literatürde verilen sonuçlarla uyum içerisindedir. Borunun farklı çalışma debilerinde ölçülen yüzey sıcaklık ortalaması ve giriş-çıkış sıcaklık ortalamasının değişmesine ısı taşınım katsayısı(h) etki etmektedir. Re sayısının artması ile Nu sayısının artması beklenen bir sonuçtur. Deneysel çalışma koşulları için elde edilen Nu sayısı korelasyonu  $Nu=0,0112.Re^{0,8427} Pr^{(1/3)}$  şeklindedir. Re sayısı aralığı ise 6000-18000 olarak belirlenmiştir. Bu korelasyon aşağıda verilen korelasyonla karşılaştırıldığında mühendislik açısından uygun bir korelasyon olduğu anlaşılmaktadır.

Colburn denklemi:  $Nu=0,023.Re^{0,8} .Pr^{1/3}$   
Dittus-Boelter denklemi:  $Nu=0,023.Re^{0,8} .Pr^n$  (n=0,4/0,3)

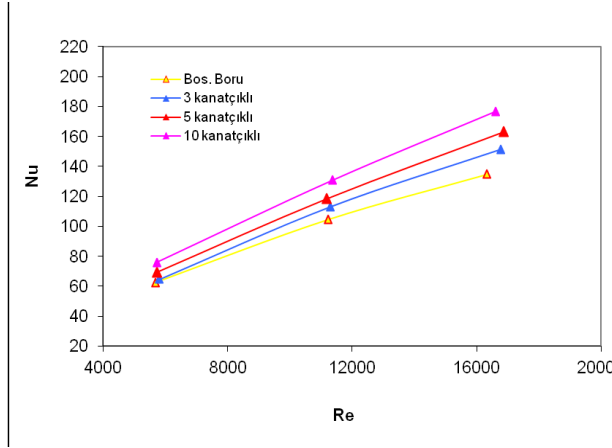


Şekil 4. Boş boru için f- Re değişimi

Şekil 4'te Boş Boru'da yapılan deneysel sonuçlar gösterilmiştir. Şekil 4.'dan da anlaşılacağı gibi f-Re ilişkisi literatürdeki sonuçlarla uygunluk göstermektedir. Re sayısının artması ile f'nin azalması beklenen bir sonuçtur. Şekil 4'de ilk değerlerin yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni basınç düşümü değerlerinin düşük hızlarda hassas olarak okunamamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca Blasius eşitliğinde hassasiyetin %25 olduğu düşünülürse bu hata düzeyinin beklenmesi normaldir. Deneysel çalışma koşulları için elde edilen f sayısı korelasyonu  $f=15433.Re^{-1,334}$  şeklindedir.

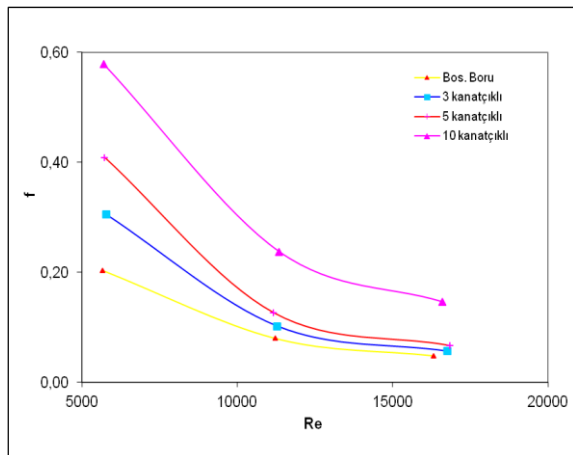
Blasius denklemi:  $f=0,316.Re^{-0,25}$

#### 4.2. Türbülatorlü borularda akış



Şekil 5. 3,5 ve 10 kanatçıklı türbülatorlerin 45° de Nu-Re değişimi

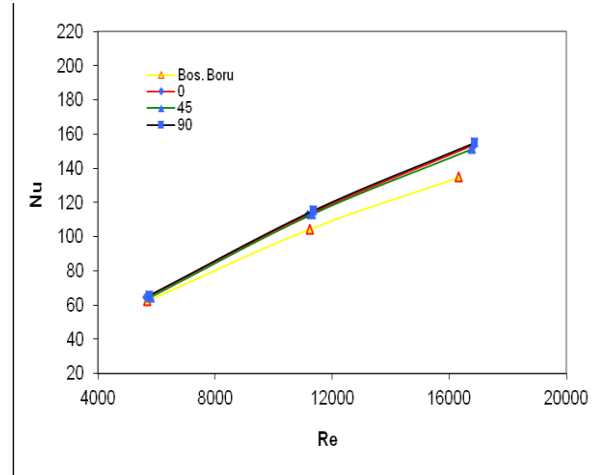
Şekil 5’de görüldüğü gibi boru içerisine 45° açıda ve üç farklı kanatçıklar arası mesafeye ( $S_y$ ) sahip türbülatorler için Nu-Re değişimi gösterilmektedir.  $S_y$  mesafesi en az olan türbülator için artan Re sayılarıyla Nu sayıları da artmaktadır. Nu sayısı açısından sırama yapıldığında  $Nu_{10} > Nu_5 > Nu_3$  olduğu görülmektedir. Bütün türbülatorler Boş Boru ile karşılaştırıldığında artan Re sayılarıyla beraber Nu sayılarında da belirgin bir artış görülmektedir.  $S_y$ ’nin azalmasıyla kanatçık sayısı artmakta ve Nu sayısı artmaktadır (Eiamsa-ard. et al., 2010).



Şekil 6. 3,5 ve 10 kanatçıklı türbülatorlerin 45° de f-Re sayısı değişimi

Şekil 6’de görüldüğü gibi boru içerisine 45° açıda üç farklı kanatçıklar arası mesafeye

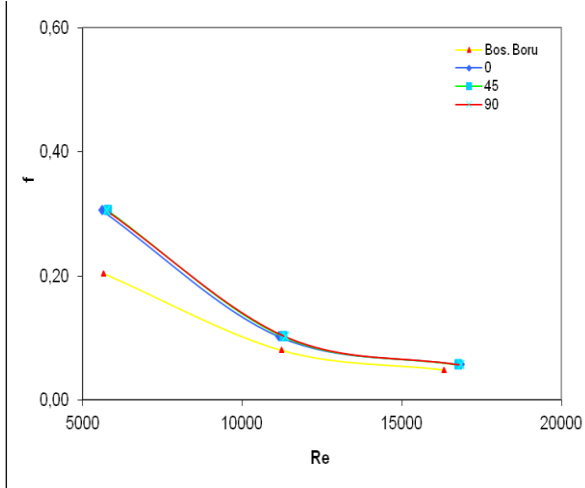
( $S_y$ ) sahip türbülatorler yerleştirilmesi sonucu elde edilen sürtünme katsayısının Re ile değişimi görülmektedir. Yerleştirilen her bir türbülator Boş Boru ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısında belirli bir artış gözlenmiştir.  $S_y$  mesafesi en az olan türbülator bütün Re sayılarında en yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. f sayısı açısından sıralama yapıldığında  $f_{10} > f_5 > f_3$  olduğu görülmektedir. Bu da  $S_y$ ’nin azalması kanatçık sayısını artırmakta ve f’nin artmasına sebep olmaktadır (Eiamsa-ard. et al., 2010).



Şekil 7. Üç kanatçıklı 0°, 45°, 90° açılına sahip türbülatorlerin Nu- Re değişimi

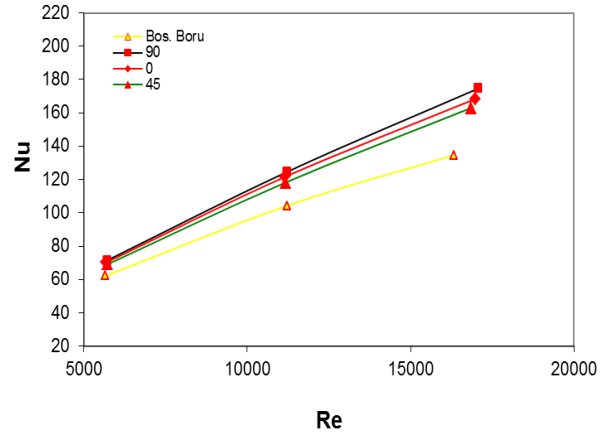
Şekil 7’de görüldüğü gibi boru içerisine aynı  $S_y$  kanatçık mesafesinde ve üç farklı açılara ( $\alpha$ ) sahip türbülatorler için Nu-Re değişimi görülmektedir. Bütün türbülatorler Boş Boru ile karşılaştırıldığında artan Re sayıları ile beraber Nu sayılarında da belirgin bir artış söz konusudur.  $\alpha$  açısı en büyük olan türbülator bütün Re sayılarında en yüksek Nu sayısı elde edilmiştir. Nu sayısı açısından sıralama yapıldığında  $90^\circ > 0^\circ > 45^\circ$  olduğu görülmektedir. Bu durum, kanatçıkların boru içindeki konumu ile açıklanabilir. Normalde beklenen açı sıralaması küçükten büyüğe doğrudur (Yıldız vd., 2002). Yatay akışta yerçekimi kuvvetleri akışkan akışına dik yönde sıvı yoğunluklarına bağlı olarak etki yapar. Bu ise asimetric yoğunluk farkına ve ayrılmaya neden olur. Bu kuvvetler, yoğunluğu yüksek olan sıvıyı boru tabanına, düşük olan sıvıyı borunun üst tarafına doğru yönlendirir (Sekmen, 2006). Bu da boru

içerisindeki iş yapan akışkanın alt cidar yakınlarında daha düşük sıcaklıklarda üst cidara yakın akışkanın ise daha yüksek sıcaklıklarda olması anlamına gelir. Düşük sıcaklıktaki akışkan cidarda daha fazla ısı absorbe etme eğilimindedir. Dolayısıyla boru içerisine yerleştirilecek türbülatorün konumu bu açıdan önem kazanmaktadır.



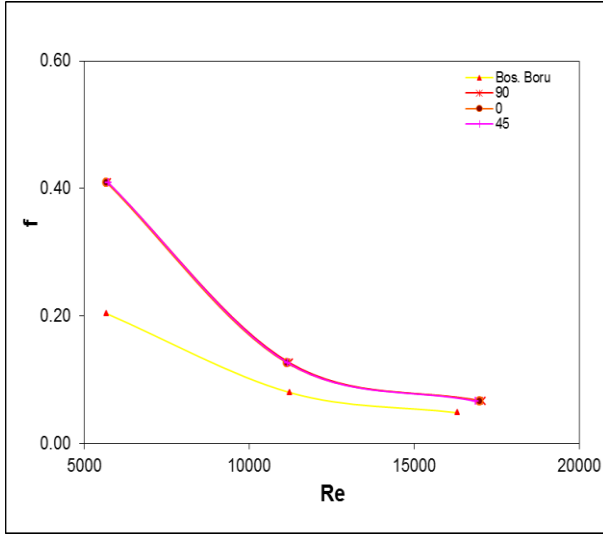
**Şekil 8.** Üç kanatçıklı 0°, 45°, 90° açılara sahip türbülatorlerin f-Re sayısı değişimi

Şekil 8'da görüldüğü gibi boru içerisine aynı  $S_y$  mesafede ve üç farklı açılara ( $\alpha=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ) sahip türbülatorler yerleştirilmesi sonucu elde edilen sürtünme katsayısının Re ile değişimi görülmektedir. Yerleştirilen her bir türbülator Boş Boru ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısında belirli bir artış elde edilmiştir. Türbülatorler kendi aralarında belirgin bir etki göstermemiştir. Bunun nedeni efektif çapın sabit kalması, yani kanatçık adedinin sabit olmasıyla açıklanabilir.



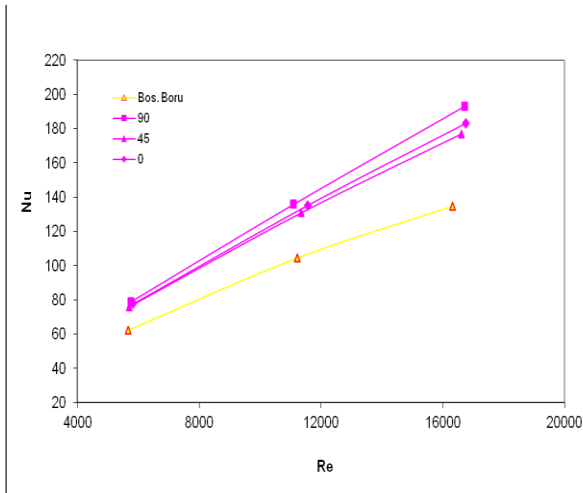
**Şekil 9.** Beş kanatçıklı 0°, 45°, 90° açılara sahip türbülatorlerin Nu-Re değişimi

Şekil 9'da görüldüğü gibi boru içerisine aynı  $S_y$  mesafede ve üç farklı açılara ( $\alpha$ ) sahip türbülatorler için Nu-Re değişimi gösterilmiştir. Bütün türbülatorler Boş Boru ile karşılaştırıldığında yüksek Re sayılarında Nu sayısında belirgin bir artış vardır.  $\alpha$  açısı en büyük olan türbülator bütün Re sayılarında en yüksek Nu sayısına sahiptir. Nu sayısı açısından sıralama yapıldığında  $90^\circ > 0^\circ > 45^\circ$  olduğu görülmektedir. Bunu, kanatçıkların boru içindeki konumu ile açıklayabiliriz. Normalde beklenen açı sıralaması küçükten büyüğe doğrudur (Sekmen, 2006). Yatay akışta yerçekimi kuvvetleri akışkan akışına dik yönde sıvı yoğunluklarına bağlı olarak etki yapar. Bu ise asimetric yoğunluk farkına neden olur ve ayrılmayı oluşturur. Bu kuvvetler, yoğunluğu yüksek olan sıvıyı boru tabanına, düşük olan sıvıyı ise borunun üst tarafına doğru yönlendirir (Karagöz et al., 2017; Karagöz, 2015). Bu da boru içerisindeki iş yapan akışkanın alt cidar yakınlarında daha düşük sıcaklıklarda üst cidara yakın akışkanın ise daha yüksek sıcaklıklarda olması demektir. Düşük sıcaklıktaki akışkan cidarda daha fazla ısı absorbe eder. Bundan dolayı boru içerisine yerleştirilecek türbülatorün konumu önemli bir mühendislik yaklaşımını ortaya koymaktadır.



**Şekil 10.** Beş kanatçıklı 0°, 45°, 90° açılara sahip türbülötörlerin  $f$ - $Re$  değişimi

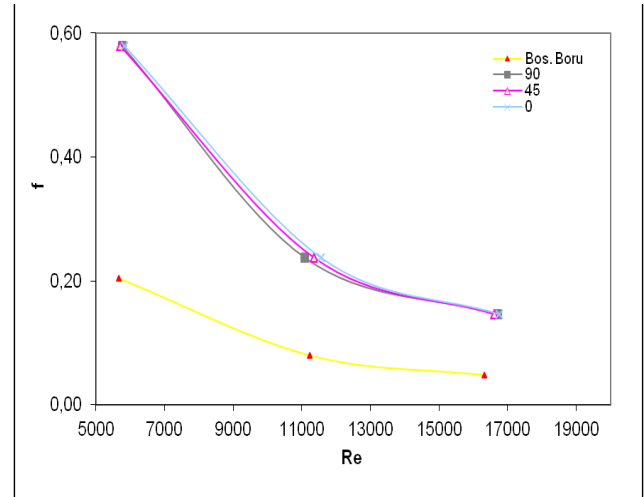
Şekil 10'de görüldüğü gibi boru içerisine üç farklı açığa ( $\alpha=0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ) sahip ve aynı  $S_y$  mesafede türbülötörler yerleştirilmesi sonucu elde edilen sürtünme katsayısının  $Re$  ile değişimi görülmektedir. Yerleştirilen her bir türbülötör boş boru ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısında belirli bir artış elde edilmiştir. Türbülötörler kendi aralarında belirgin bir etki göstermemiştir. Bunun nedeni efektif çapın sabit kalması, yani kanatçık adedinin sabit olması ile açıklanabilir.



**Şekil 11.** On kanatçıklı 0°, 45°, 90° açılara sahip türbülötörlerin  $Nu$ - $Re$  değişimi

Şekil 11'de görüldüğü gibi boru içerisine aynı  $S_y$  mesafede ve üç farklı açılara ( $\alpha$ ) sahip türbülötörler için  $Nu$ - $Re$  değişimi görülmektedir. Bütün türbülötörler Boş Boru

ile karşılaştırıldığında artan  $Re$  sayılarıyla beraber  $Nu$  sayılarında belirgin bir artış gözlenmiştir.  $\alpha$  açısı en büyük olan türbülötör bütün  $Re$  sayılarında en yüksek  $Nu$  sayısına sahiptir.  $Nu$  sayısı açısından sıralama yapıldığında  $90^\circ > 0^\circ > 45^\circ$  olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, kanatçıkların boru içindeki konumu ile açıklanabilir. Normalde beklenen açı sıralaması küçükten büyüğe doğrudur (Sekmen, 2006). Yatay akışta yerçekimi kuvvetleri akışkan akışına dik yönde sıvı yoğunluklarına bağlı olarak etki yapar. Bu ise asimetrik yoğunluk farkına neden olur ve ayrışma ortaya çıkar. Bu kuvvetler, yoğunluğu yüksek olan sıvıyı boru tabanına, düşük olan sıvıyı ise borunun üst tarafına doğru yönlendirir (Karagöz et al.,2017; Karagöz, 2015). Bu da boru içerisindeki iş yapan akışkanın alt cidar yakınlarında daha düşük sıcaklıklarda üst cidara yakın akışkanın ise daha yüksek sıcaklıklarda olmasına neden olur. Düşük sıcaklıktaki akışkan cidarda daha fazla ısı absorbe eder. Bundan dolayı boru içerisine yerleştirilecek türbülötörün konumu mühendislik açısından önemlidir.



**Şekil 12.** On kanatçıklı 0°, 45°, 90° açılara sahip türbülötörlerin  $f$ - $Re$  değişimi

Şekil 12'te görüldüğü gibi boru içerisine aynı  $S_y$  mesafede ve üç farklı açılara ( $\alpha=0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ) sahip türbülötörlerin yerleştirilmesi sonucu elde edilen sürtünme katsayısının  $Re$  ile değişimi görülmektedir. Yerleştirilen her bir türbülötör Boş Boru ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısında



belirli bir artışa söz konusudur. Türbülatorler kendi aralarında belirgin bir etki göstermemiştir. Bunun nedeni efektif çapın sabit kalması, yani kanatçık adedinin sabit olması ile açıklanabilir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu deneysel çalışmada, boru içerisinde akışta türbülans oluşturacak kanatçıklar yerleştirilmiştir. Üç farklı kanatçıklar arası mesafe ( $S_y$ ), kanatçık açısı ( $\alpha$ ) ve Re sayısına (Re) sahip toplam dokuz farklı türbülator kullanılarak sabit ısı akışında Nu ve f değerleri incelenmiştir. Sonuçlar aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir;

- Deneysel çalışmalarda elde edilen Nu sayısı korelasyonu literatürdeki korelasyonlarla uyum içerisinde. Re sayısı 6000-18000 olarak belirlenmiştir.
- Boru içerisine üç farklı kanatçıklar arası mesafeye ( $S_y$ ) sahip türbülatorler yerleştirilmiştir.  $S_y$  mesafesi en az olan türbülator bütün Re sayılarında en yüksek Nu sayısına sahiptir. Nu sayısı açısından sırama yapıldığında;  $S_{y(10)} > S_{y(5)} > S_{y(3)}$  olduğu görülmektedir.
- Deneyledeki efektif çap azaldıkça Nu sayısının arttığı görülmüştür. Deneyledeki efektif çap azaldıkça sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür.
- Bu türbülatorler Boş Boru ile karşılaştırıldığında artan Re sayılarıyla beraber Nu sayısında da belirgin bir artış gözlenmiştir. Bunun nedeni  $S_y$ 'nin azalması kanatçık adedinin artması ile açıklanabilir.
- Boru içerisine üç farklı kanatçıklar arası mesafeye ( $S_y$ ) sahip türbülatorler yerleştirilmesi sonucu elde edilen sürtünme katsayısı Boş Boru ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısında belirli bir artış söz konusudur.
- $S_y$  mesafesi en az olan türbülator bütün Re sayılarında en yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. Bunun nedeni  $S_y$ 'nin azalması ile kanatçık adedinin artmasıdır.
- Boru içerisine üç farklı açığa ( $\alpha$ ) sahip türbülatorler yerleştirilmiştir. Bu türbülatorler Boş Boru ile karşılaştırıldığında artan Re sayılarıyla beraber Nu sayısında da belirgin bir artış görülmüştür.

• Boru içerisine üç farklı açığa ( $\alpha$ ) sahip türbülatorler yerleştirilmesi sonucu elde edilen sürtünme katsayısının boş boru ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısında belirli bir artış gözlenmiştir. Türbülatorler kendi aralarında belirgin bir etki göstermemiştir. Bunun nedeni ise efektif çapın sabit kalması, yani kanatçık adedinin sabit olması ile açıklanabilir.

• Nu sayısına ve sürtünme faktörüne olan etkileri hakkında daha kesin ve detaylı bilgi sahibi olmak için deneylede incelenen türbülatorlerin kanatçıklar arası mesafeleri ( $S_y$ ), kanatçık açıları ( $\alpha$ ) ve Re sayıları (Re) farklı kombinasyonlar da deneyle yapmak gerekmektedir.

• Yatay akışta yerçekimi kuvveti akışkan akışına dik yönde sıvı yoğunluklarına bağlı olarak etki yapar. Bu ise asimetrik yoğunluk farkına ve ayrışmaya neden olur. Bu kuvvetler yoğunluğu yüksek olan sıvıyı boru tabanına yönlendirirken düşük olan sıvıyı ise borunun üst cidarına yönlendirir. Bu nedenle boru içerisinde iş akışkanının alt cidar yakınlığında düşük sıcaklıklarda üst cidar yakınlığında ise yüksek sıcaklıklarda olması anlamına gelir. Bu nedenle Türbülatorün konumu önem arz etmektedir.(Karşlı, 2000)

• Paket programlarla bu deneylelerin teorik çözümlenmelerinin yapılması uygun olacaktır.

#### 5. Teşekkür

Bu makale Sevin (Sibel) ÇİLTAŞ tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinin bir kısmıdır. Makalede bulunan yazarlar Sevin ÇİLTAŞ'a teşekkür etmektedir.

#### 6. Kaynaklar

- Sevin ÇİLTAŞ. 2012. "Yatay Borularda Türbülatorlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Deneysel Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi*.
- Yıldız, C., Biçer, Y., Pehlivan, D. 1998. Effect of Twisted Strips on Heat Transfer and Pressure Drop in Heat Exchanger, *Energy Conversion & Management*, 39, 331-336.

- Tanda, G., 2004. Heat Transfer in Rectangular Channels with Transverse and V-Shaped Broken Ribs, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 229–243.
- Karslı, S., 2000. “Zorlanmış konveksiyonlu kaynamalı yatay bir boru sisteminde iki fazlı akış kararsızlıklarının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi*.
- Yakut, K., Sahin, B. 2004. The Effects of Vortex Characteristics on Performance of Coiled Wire Turbulators Used for Heat Transfer Augmentation, *Applied Thermal Engineering*, 24, 2427–2438.
- Sparrow, E.M., Chaboki, A. 1984. Swirl Affected Turbulent Fluid Flow and Heat Transfer in a Circular Tube, *ASME Journal of Heat Transfer*, 106, 766-773.
- Ko, K-H., Anand, N.K. 2003. Use of Porous Baffles to Enhance Heat Transfer in a Rectangular Channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 4191– 4199.
- Eiamsa-ard, S. and Promvonge, P. 2005. Enhancement of Heat Transfer in a Tube With Regularly-spaced Helical Tape Swirl Generators, *Solar Energy*, 78, 483–494.
- Lee, C.K. ve Abdel-Moneim, S.A. 2001. Computational Analysis of Heat Transfer in Turbulent Flow Past a Horizontal Surface with Two-Dimensional Ribs, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 28, 2, 161–170.
- Argunhan, Z., ve Yıldız, Cengiz., 2006. Dairesel Kesitli Bir Borunun Girişine Yerleştirilen Delikli Sabit Kanatçıklı Dönme Üreticinin Isı Geçişi ve Basınç Düşüşüne Etkileri, *Pamukkale Universty Engineering College Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (2), 217-223.
- Yıldız C., Çakmak G. 2002. Boru Girişinde Düzgün Sıralı Enjektörlü Türbülans Üretici Bulunan Isı Degistiricilerinde Isı Geçisinin ve Basınç Düşümünün incelenmesi, *Termodinamik Dergisi*, 116, 103-110.
- Ufuk SEKMEN. 2006. “Boru içi akışlarda türbülatorlerin ısı transferine olan etkisinin araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi. *Erciyes Üniversitesi*.
- Zimparov, V. 2004. Prediction of Friction Factors and Heat Transfer Coefficients For Turbulent Flow in Corrugated Tubes Combined Twisted Tape Inserts. Part 2: Heat Transfer Coefficients, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 385–393.
- Sara, O.N., Pekdemir, T., Yapıcı, S., Yılmaz, M. 2001. Enhancement of Heat Transfer from a Flat Surface in a Channel Flow by Attachment of Rectengular Blocks, *International Journal of Energy Research*, 25, 563-576.
- Uğurlubilek, N., Uralcan, İ.Y., 2011. Helisel Türbülatorlerin Isı Geçişine Etkisinin Sayısal İncelenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, XXIV, 2.
- Eiamsa-ard, S., Thianpong, C., Eiamsa-ard, P., Promvonge, P. 2009. Convective heat transfer in a circular tube with short-length twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 365–371.
- Eiamsa-ard, S., Thianpong, C, Eiamsa-ard, P. 2010. Turbulent heat transfer enhancement by counter/co-swirling flow in a tube fitted with twin twisted tapes, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 53–62.
- Karagoz, S., Afshari, F., Yildirim, O., and Comakli, O. 2017. Experimental and numerical investigation of the cylindrical blade tube inserts effect on the heat transfer enhancement in the horizontal pipe exchangers. *Heat and Mass Transfer*, 53(9), 2769-2784
- Karagoz, S. 2015. Investigation of thermal performances of “S-shaped” enhancement elements by response surface methodology. *Heat and Mass Transfer*, 51(2), 251-263.
- Zhou, D.W., and Lee, S-J. 2004. Heat Transfer Enhancement of Impinging Jets Using Mesh Screens, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 2097–2108.
- Ho, C.D., Yeh, C.W., Hsieh, S.M., 2005. Improvement in Device Performance of Multipas Flat-Plate Solar Air Heaters with External Recycle, *Renewable Energy*, 30, 1601–1621,

- Chen, W. L., Wong, K.L., Huang, C.T., 2006. "A parametric study on the laminar flow in an alternating horizontal or vertical oval cross-section pipe with computational fluid dynamics", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49: 287-296.
- MEB/Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü(hbogm), Ünite 5, <https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/2ElektrikBilgisi/unite05.pdf>, Son erişim tarihi: 03.12.2018
- MEB/Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü(hbogm), Ünite 6, <https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1Elektroteknik/unite6.pdf>, Son erişim tarihi: 03.12.2018
- Iprocessmart. 2017. [https://www.iprocessmart.com/techsmart/3-phase\\_equations.htm](https://www.iprocessmart.com/techsmart/3-phase_equations.htm), Son Erişim Tarihi: 03.12.2018
- Kahraman N., Sekmen, U., Çeper, B., Akansu, O. 2008. Boru İçi Akışlarda Türbülatorlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28, 2, 51-59