

## Derin suda dairesel silindir arkasında meydana gelen akış yapısının örgü teller ile kontrol edilmesi

### Control of flow structure in the wake region of circular cylinder with meshy wire in deep water

Burcu OĞUZ<sup>1\*</sup>, Mustafa Atakan AKAR<sup>2</sup>, Engin PINAR<sup>3</sup>, Hüseyin AKILLI<sup>4</sup>, Beşir ŞAHİN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.

boguz@mersin.edu.tr

<sup>2</sup>Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.

atakanakar@gmail.com

<sup>3</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.

epinar@cu.edu.tr

<sup>4</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.

hakilli@cu.edu.tr, bsahin@cu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 28.07.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 08.02.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.41033

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Bu çalışmada amaç derin su içerisine yerleştirilen silindire (bacalar, yüksek binalar vb.) ve arkasındaki bir cisme veya cisimlere girdap kopması sonucu etki eden daimi olmayan yüklerin etkisinin ve şiddetinin azaltılması ve optimum değerlerin (tel kalınlığı ve geçirgenlik oranı,  $\beta$ ) belirlenmesidir. Bu amaçla çapı  $D=50$  mm olan dairesel silindir etrafına sarılan farklı kalınlık ve geçirgenlik oranına sahip örgü tellerin etkisi  $Re_D = 5000$  değerinde araştırılmıştır. Geçirgenlik oranları  $\beta = 0.5 - 0.8$  aralığında 0.1 artımlarla dört farklı değerdedir. Silindir üzerine sarılmış tellerin kalınlıkları  $b = 1$  mm, 2 mm, 3mm ve 4mm'dir. Silindir arkasında meydana gelen akış yapısı, silindir etrafına sarılan örgü tellerle kontrol edilmeye çalışılmıştır. Deneyler PIV (parçacık görüntülemeli hız ölçme) tekniği kullanılarak yürütülmüştür. Tüm geçirgenlik oranlarında, Türbülans Kinetik Enerji (TKE) ve Reynolds kayma gerilmesi değerleri  $b = 1$  mm ve 2 mm tel kalınlıklarında, örgüsüz silindirin değeri ile kıyaslandığında artmakta fakat  $b = 3$  mm ve 4 mm kalınlıklarında azalmaktadır. Geçirgenlik oranı,  $\beta = 0.6$  değerinde ve tel kalınlığı  $b = 4$  mm durumunda TKE ve Reynolds kayma gerilmesi değerleri, örgü tellerinin silindir arkasında meydana gelen akışı kontrol ettiğini göstermektedir. Frekans değerlerinin sonuçları da örgü tellerin, silindir arkasındaki akışı, geçirgenlik oranı  $\beta = 0.6$  ve  $b = 4$  mm tel kalınlığında en iyi kontrolü sağladığını net bir şekilde açıklamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** PIV, Girdap kontrol, Örgü tel, Silindir

#### Abstract

In this study the aim is decreasing the effect and the intensity of the temporary loads resulted from vortex shedding that have an impact on the cylinder (chimneys, high buildings etc.) located in deep water and the object or objects in the wake region and definition of the optimum values (wire thickness and porosity  $\beta$ ) With different thickness and different porosity ratios the effect of meshy wire that surrounded a circular cylinder of  $D=50$  mm diameter was observed at  $Re_D = 5000$ . The porosity ratios were four different values between a range of  $\beta = 0.5 - 0.8$  with an interval of 0.1. The thicknesses of wire were 1 mm, 2 mm, 3 mm and 4 mm. The flow structure in the wake region of circular cylinder was tried to be controlled by meshy wire that surrounded the cylinder. Experiments were carried out by using particle image velocimetry (PIV) technique. Comparing with bare cylinder results, turbulence kinetic energy (TKE) and Reynolds shear stress values increase with wire thicknesses of  $b = 1$  mm, 2 mm for all porosity ratios and decrease with  $b = 3$  mm, 4 mm. With porosity ratio of  $\beta = 0.6$  and wire thickness of  $b = 4$  mm TKE and Reynolds shear stress results show that meshy wire controls the flow in the wake region of the cylinder. Frequency value results also define that best flow control is obtained with  $\beta = 0.6$  and  $b = 4$  mm.

**Keywords:** PIV, Vortex control, Meshy wire, Cylinder

## 1 Giriş

Derin suda, akışkan, yumuşak ve keskin hatlara sahip katı cisimlerin yüzeyinden geçerken tutunamayıp ayrılmakta ve katı cisimlerin arkasında kalan bölge ile serbest akış bölgesi arasında hız farkından dolayı kararsız girdaplar oluşmaktadır. Periyodik olarak düşük basınç bölgesine doğru yönelmekte olan girdaplar, Karman girdap caddeleri olarak tanımlanmaktadır.

Cisimlerden uzaklaşırken çapları da artan bu girdaplar, katı cisimler ve arkalarındaki birçok yapıda titreşim, yorulma ve yapıların ömürlerini kısaltma gibi zararlar verebilmektedir. Bu yapılara köprü ayakları, ısı değiştiricileri, yüksek binalar, yüksek bacalar, soğutma kuleleri, direkler, deniz üzerine yapılan petrol arama istasyonları gibi uygulamalar örnek olarak verilebilir. Bu zararların etkilerini azaltmak için girdap

yapılarının oluşumlarını bozmak gerekmektedir. Uzun yıllardır yapılan akışkanlar mekaniği uygulamalarında, girdap oluşumunu bozmak için farklı cisimler üzerinde değişik yöntemler geliştirilmiştir. Akış yapısının kontrol edilmesinde kullanılan bu yöntemler, aktif ve pasif yöntemler olarak iki grupta toplanmaktadır. Aktif yöntemler sisteme dışarıdan enerji verilerek akış yapısını kontrol etmeyi amaçlarken, pasif yöntemlerde cisimler üzerinde ya da akış ortamında yapısal değişiklikler oluşturularak akış yapısını kontrol edilmesi amaçlanmaktadır [1].

Bu çalışmanın amacı, derin suda daha önce literatürde rastlanılmamış olan bir pasif kontrol yöntemi olan örgü tellerin ( $D = 50$  mm çapa sahip dairesel silindire sarılmış farklı kalınlık ve geçirgenlik oranına sahip) etkisini silindir çapına bağlı Reynolds,  $Re_D = 5000$  değeri için araştırmaktır. Çalışmanın sonun da tel kalınlığı ve geçirgenlik oranının,  $\beta$  silindir etrafında

oluşan akış yapısını dramatik derecede olmasa da değiştirdiği görülmüştür. Özellikle tel kalınlığının  $b = 4$  mm değeri için girdap kopmalarının frekansını düşürmede oldukça etkili olduğu belirlenmiştir.

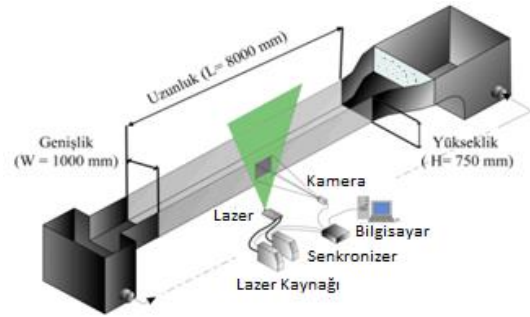
Literatürde derin suda, değişik geometrideki cisimler arkasındaki akış yapısı ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır [3]-[10],[12]-[14]. Bu çalışmaların çoğunluğu silindir etrafına yerleştirilmiş delikli silindir, ince plaka, çubuk veya deflektör gibi kontrol elemanları ile daimi olmayan akış yapısının kontrolü ile ilgilidir.

Son yıllarda derin suda silindir arkasındaki akışı kontrol etmeye yönelik yapılan çalışmalarda akışın anlık 2 boyutlu yapısı hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir Zhao ve diğ. (2010), dairesel silindir etrafına eş merkezli olarak gözenekli ortam (porous media) yerleştirerek akış kontrolü sağlamaya çalışmışlardır. Gözenekli ortam için öncelikle analitik sonuçları kullanarak sonlu eleman modeli oluşturmuşlar, daha sonra bu modeli kullanmak suretiyle gözenekli tabakanın taşıma kuvvetinin azaltılması üzerine etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Kaldırma katsayısındaki azalmanın, uygun bir şekilde seçilen gözenekli malzeme yardımıyla sağlanabileceği sonucuna varmışlardır. Literatürde örgü teller ile ilgili yapılan çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenden dolayı, bu deneysel çalışmada ise silindir etrafına sarılan örgü tellerin etkisi araştırılmıştır. Kullanılan bu pasif yöntemle derin suda silindir arkasındaki akış yapısının kontrol edilmesi ile türbülanslı akışlardan kaynaklanan problemlerin çözümüne katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Paydaş ve diğ. [2], Çapı  $D = 90$  mm olan silindir arkasında akış yapısını silindir üzerine üç farklı çapta delik açarak yedi farklı geçirgenlik oranında incelemişlerdir. Galvao ve diğ. [3], dairesel bir silindir etrafındaki akışı kontrol etmek için su kanatçığı kullanmışlardır. Deneysel olarak gerçekleştirdikleri bu çalışmada iki ve dört adet kanatçık kullanarak silindir üzerinde oluşan titreşimlerin ortadan kaldırılabilmesi sonucuna ulaşmışlardır [1]. Ozono [4], Hangan ve Kim [5], Lee ve diğ. [6], Hwang ve diğ. [7], Schumm ve diğ. [8], Kumar ve diğ. [9], pasif yöntemler yardımıyla birçok mühendislik alanında ortaya çıkan girdap kaynaklı titreşim sorununun giderilmesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır [1]. Kunze ve Brücker [10], silindir arkasındaki akışı hareketli ince plakalar kullanarak kontrol altına almaya çalışmış ve yaptıkları deneysel çalışmaları PIV (parçacık görüntülemeli hız ölçme) tekniğini kullanarak yürüterek plakaların girdap kopmasını değiştirdiğini ifade etmişlerdir. Pınar ve diğ. [11], yaptıkları çalışmada  $D = 60$  mm çaplı silindir kullanmış ve farklı geçirgenlik oranlarına sahip delikli ikinci bir silindiri bu silindirin etrafına yerleştirerek akış yapısını kontrol etmeye çalışmışlardır [1]. Yaptıkları deneysel çalışmayı  $Re_D = 10000$ ,  $D_i/D_d = 0.6$  çap oranı ve  $U = 100$  mm/s hız değerlerinde PIV tekniğini kullanarak gerçekleştirmişler ve sonuç olarak kontrol sağlanan en iyi geçirgenlik oranını  $\beta = 0.5$  olarak belirlemişlerdir [1]. Gim ve diğ. [12], dairesel silindirin arkasına yerleştirilen farklı boyutlardaki kontrol çubuklarının akış yapısına etkisini PIV tekniği kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, kontrol çubuklarının varlığının silindir art izini, önemli ölçüde etkilediği, fakat seçenekler arasında akış kontrolünü sağlamak için en uygun çubuk boyutu ve Reynolds sayısı değerinin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır [1]. Lim ve Lee [13], sürüklenmenin ve girdap frekansının azaltmak için silindirler üzerine o-ringler yerleştirerek, çalışmalarında silindirler arkasındaki iz bölgesi kontrolünde o-ringlerin, etkili olduğunu belirlemişlerdir. Zhao ve diğ. [14] akış

karakteristiklerini perfore yapı kullanarak kontrol etmeye çalışmışlardır [1].

## 2 Deney düzeneği

Deneyler Çukurova Üniversitesi Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında bulunan kapalı devre büyük ölçekli açık su kanalında gerçekleştirilmiştir. Su kanalının üst ve alt bölgesinde rezervuar bulunmaktadır. İki adet rezervuar arası 15 mm kalınlığında boyutları 8000x1000x750 mm (uzunluk  $\times$  genişlik  $(W)$   $\times$  yükseklik  $(H)$  olan) saydam Plexiglas ile birleştirilmiş olup Şekil 1'de gösterilmiştir. Aynı zamanda girişteki rezervuar ile deney kesiti arasındaki geçişi sağlamak amacıyla 2:1 oranında daralma kısmı mevcuttur. Bu daralma girişinde bulunan petekler ve rezervuarlar, türbülans yoğunluğunu %0.2'nin altında korumak için kullanılmaktadır. Bu deneysel çalışmada, derin sularda yerleştirilen silindir arkasındaki akış yapısı, silindiri çevreleyen örgü telleri ile kontrol edilmeye çalışılmıştır.



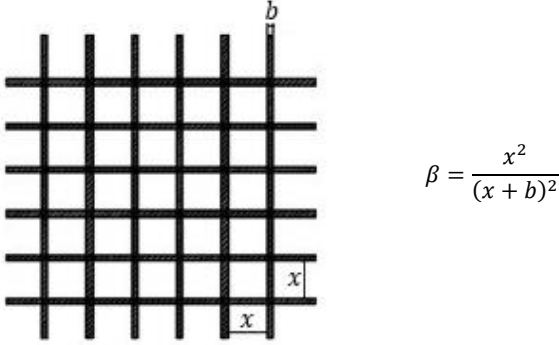
Şekil 1: Deney setinin şematik gösterimi [1].

Deneyler, PIV tekniği ile yapılmıştır (Şekil 1). 120 mJ gücündeki (Çift darbeli Nd:YAG) lazer kaynağı tarafından üretilen lazer ışınları saniyede en fazla 15 lazer çift lazer huzmesi gönderebilmektedir. Lazer huzmesi ile aydınlatılan akış alanı içinde hareket eden partiküllerin mili saniye boyutunda ( $\Delta t$ ) zaman aralıklarında çekilen iki fotoğraf arasındaki yer değiştirmeleri bulunmaktadır. Bilgisayara aktarılan bu fotoğraflar 32x32 piksel küçük alt bölgelere bölünmekte ve Hızlı Fourier dönüşümü kullanılarak her bir alt bölgedeki partiküllerin çekilen iki görüntü arasındaki yer değiştirmeleri bulunmaktadır [1]. Vektör sayısını arttırmak ve Nyquist kriterini sağlamak için hız vektörü hesaplanarak ağ yapısı %50 üst üste bindirilerek kaydırılmıştır [1]. Bilgisayara aktarılan bu fotoğrafların prosesi neticesinde anlık hız vektörleri hesaplanmaktadır [1]. Yayla [15], PIV hız ölçme tekniği ile ilgili ayrıntılı bilgiye değinmiştir. Westerweel ve diğ., [16] ve Adrian ve diğ. [17], bu ölçme yöntemindeki matematiksel ifade ve bilgileri çalışmalarında ortaya koymuştur [1].

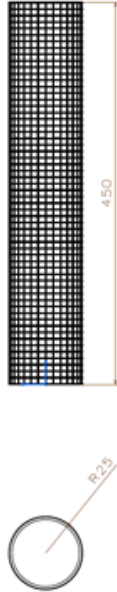
Deneyler süresince her bir durumda 3 set her set için ise 350 adet anlık görüntü alınmış her bir set 23.33 sn boyunca kayıt edilmiştir. Kayıt edilen görüntülerin prosesleri gerçekleştirilerek elde edilen anlık hız vektörleri verilerinden yararlanılarak ortalama hız vektörleri, TKE değerleri ve Reynolds kayma gerilmesi değerleri belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılan test numuneleri paslanmaz çelik malzemeden yapılmış örgü tel ile çevrili dairesel silindirlerden ( $D = 50$  mm) oluşmuştur. Tüm deneyler boyunca, su seviyesi ( $h$ ) 550 mm'de sabit tutulmuştur. Şekil 3'te deneyde kullanılan silindirlerin şematik resmi görülmektedir. Suyun hızı  $U_\infty = 100$  mm/s ve Reynolds sayısı  $Re_D = 5000$ 'dir.

Akış yapısını kontrol etmek için kullanılan örgü tel kalınlıkları  $b = 1$  mm, 2mm, 3 mm, 4 mm ve tellerin geçirgenlik oranları ise  $\beta = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ 'dir. Geçirgenlik oranı ( $\beta$ ), tüm yüzey alanının boşluk alanına oranı olarak tanımlanarak Şekil 2'de belirtilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada  $x$  iki tel arasındaki mesafeyi  $b$  ise telin çapını ifade etmektedir.



Şekil 2: Geçirgenlik oranı.



Şekil 3: Deneylerde kullanılan delikli dış silindirin şematik gösterimi.

Deneyler öncelikle herhangi bir akış kontrolü olmaksızın 'yalın silindir' olarak adlandırılan katı cisim üzerinde yapılmıştır. Bu deneyler akış özelliklerini belirlemek için karşılaştırma yapılabilmesi için bir referans noktasıdır. Geçirgenlik oranları  $\beta = 0.5 - 0.8$  aralığında 0.1 artımlarla dört farklı değerdedir. Silindir üzerine sarılmış tellerin kalınlıkları  $b = 1$  mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm'dir. Silindir arkasında meydana gelen akış yapısı, silindir etrafına sarılan tellerle kontrol edilmeye çalışılmıştır. Deneyler PIV tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Bu yöntemin akış kontrolündeki başarısının ortaya çıkartılması ile küt cisimler etrafındaki akış yapısının kontrolü konusunda kullanılan pasif kontrol yöntemlerine bir yenisi de eklenmiş olacaktır.

### 3 Bulgular ve tartışma

Farklı geçirgenlik ve kalınlıklara sahip örgü telle çevrili silindir ile yalın silindir için en yüksek TKE değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Tel kalınlığı arttırıldığı zaman  $b = 2$  mm, teller

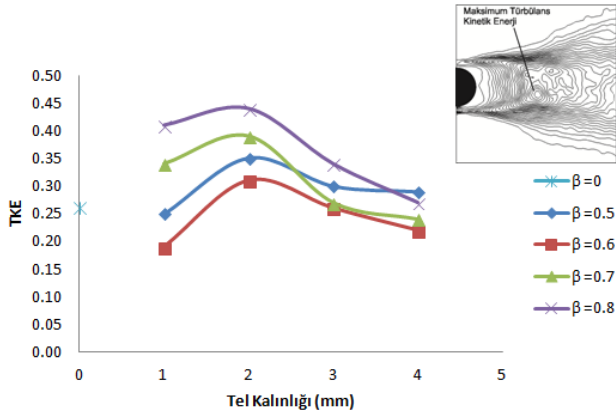
silindir arkasındaki akış yapısı üzerinde olumsuz bir etki yaratmıştır. Tel kalınlığı  $b = 2$  mm olduğunda ölçülen TKE değerleri, yalın silindir değeri (0.26) ile kıyaslandığında daha yüksek olmaktadır. Geçirgenlik oranların TKE değerlerine etkisi Şekil 4'te net bir şekilde görülmektedir. Geçirgenlik oranı,  $\beta = 0.6$  değerinde ve tel kalınlığı  $b = 4$  mm değerine arttırıldığı zaman, TKE değeri en düşük değere (0.22) ulaşmaktadır.

Yalın silindir etrafına 1 mm kalınlığına sahip örgü tel sarılması ile birlikte, geçirgenlik oranının  $\beta = 0.6$  ve  $\beta = 0.5$  değerleri hariç  $\beta = 0.7$  ve  $\beta = 0.8$  değerlerinde maksimum türbülans kinetik değerlerinde artış görülmektedir. Bu artışın sebebi geçirgenlik oranının artması ile birlikte, teller arasındaki boşluğun,  $x$  (Şekil 2) artmasına bağlı olarak 1 mm kalınlığa sahip tellerin akış üzerindeki etkinliğini kaybetmesidir. Diğer tel kalınlıklarında da benzer özellikler görülmektedir.

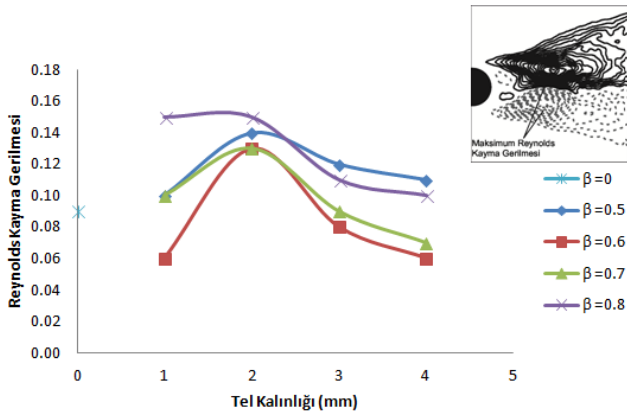
Yalın silindir ile farklı geçirgenlik ve kalınlıklara sahip örgü telle çevrili silindir için en yüksek Reynolds kayma gerilmesi değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Reynolds kayma gerilmesi sonuçlarının, TKE sonuçlarına benzer olduğu Şekil 5'e bakıldığında zaman çok açık bir şekilde görülmektedir. Tüm geçirgenlik oranlarında, tel kalınlığı  $b = 2$  mm olduğunda ölçülen Reynolds kayma gerilmesi değerleri, yalın silindir değeri (0.09) ile kıyaslandığında artmaktadır. Tel kalınlığı  $b = 4$  mm değerinde ise değerler aynı TKE değerlerinde olduğu gibi tüm geçirgenlik oranlarında azalmaktadır. Reynolds kayma gerilmesi değerleri en düşük değerine (0.06), Geçirgenlik oranı,  $\beta = 0.6$  değerinde ve tel kalınlığı  $b = 4$  mm olduğu anda ulaşmaktadır. Pınar ve diğ. [11],  $D = 60$  mm çaplı silindir kullanmış ve farklı geçirgenlik oranlarına sahip delikli ikinci bir silindiri bu silindirin etrafına yerleştirerek akış yapısını kontrol etmeye çalıştıkları çalışmada, kontrol sağlanan en iyi geçirgenlik oranını  $\beta = 0.5$  olarak belirlemişlerdir [1]. Bunun yanı sıra Özkan ve diğ. [18], sıg suda  $D = 50$  mm çaplı silindir etrafında beş farklı çapta ( $D = 60, 70, 80, 90, 100$  mm) ve dört farklı geçirgenlik oranında ( $\beta = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ ) delikli silindirler yerleştirerek inceledikleri çalışma sonuçlarına göre en iyi geçirgenlik oranı  $0.4 \leq \beta \leq 0.6$  değerleri arasındadır. Literatürde bahsi geçen geçirgenlik oranları, yapılan bu deneysel sonuçları ile son derece uyumludur [1],[11],[18].

Tel kalınlığı  $b = 1$  mm ve  $b = 2$  mm için, örgü tel kullanımı ile birlikte maksimum TKE ve maksimum Reynolds Kayma Gerilmesi değerlerindeki artışa tellerin kendisinden kopan küçük girdaplardan kaynaklı çalkantıların neden olduğu öngörülmektedir. Tel kalınlığının artması ile birlikte, her bir telin etrafından kopan küçük girdaplar büyüme ve birbirlerini etkisini sönmülmektedir. Bu durum tel kalınlığının  $b = 3$  mm ve  $b = 4$  mm değerleri için maksimum TKE ve maksimum Reynolds Kayma Gerilmesi değerlerinin tekrar azalmasına ve bazı durumlar için yalın silindirlerin sahip olduğu maksimum TKE ve maksimum Reynolds Kayma Gerilmesi değerlerinin de altına inmesine neden olmaktadır.

Yalın silindir arkasında ve geçirgenlik oranının,  $\beta = 0.6$  olduğu durumda (TKE değerinin en düşük olduğu) girdap kopma frekansı değerleri ölçülerek Şekil 6'da gösterilmiştir. Girdap kopma frekans değerleri için seçilen noktalar silindirlerin arkasındaki akış bölgesinde yer almaktadır. Tel kalınlığının artması girdap kopma frekans değerini önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin, yalın silindir için girdap kopma frekans değeri  $f = 0.411$  Hz olarak ölçülmüş iken tel kalınlığı  $b = 4$  mm'ye çıkarıldığında girdap kopma frekans değeri  $f = 0.294$  Hz'e düşmektedir.



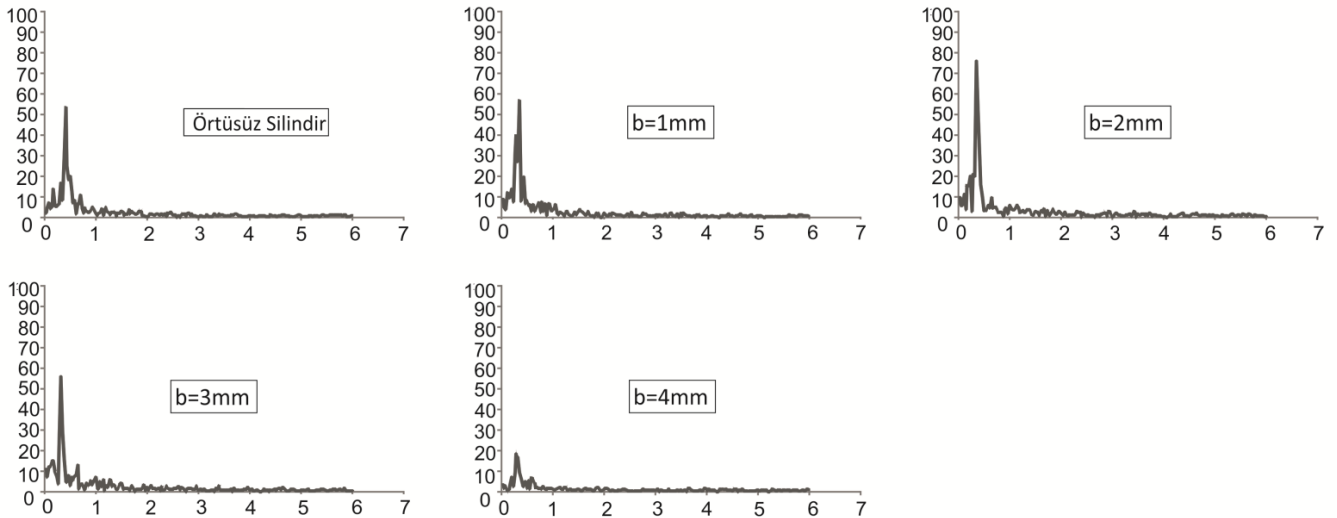
Şekil 4: Farklı geçirgenlik ve kalınlıklara sahip örgü telle çevrili silindirler ile yalın silindir için maksimum TKE değerleri.



Şekil 5: Yalın silindir ile farklı geçirgenlik ve kalınlıklara sahip örgü telle çevrili silindireler için maksimum Reynolds kayma gerilmesi değerleri.

#### 4 Sonuçlar

Farklı geçirgenlik oranlarına ( $\beta = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ ) ve tel kalınlıklarına ( $b = 1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 3 \text{ mm}, 4 \text{ mm}$ ) sahip örgü tellerin, silindir üzerine sarılarak akış üzerine olan etkileri



Şekil 6: Yalın silindir arkasında ve tüm tel kalınlıkları için geçirgenlik oranının,  $\beta = 0.6$  olduğu durumda girdap kopma frekans değerleri.

incelenmiştir. Tüm geçirgenlik oranlarında, TKE ve Reynolds kayma gerilmesi değerleri  $b = 1 \text{ mm}$  ve  $2 \text{ mm}$  tel kalınlıklarında, örgüsüz silindirin değeri ile kıyaslandığında daha yüksektir. Bu durumda TKE artışının nedeni hız dalgalanmalarının artmasıdır. TKE ve Reynolds kayma gerilmesi değerleri  $b = 3 \text{ mm}$  ve  $4 \text{ mm}$  kalınlığa sahip örgü tel varlığı ile düşmektedir. Bu çalışmalara ek olarak, silindir arkasında meydana gelen girdap üzerinde örgü telin de kritik olmayan bir kontrol etkisine neden olduğu net bir şekilde gösterilmiştir. Reynolds kayma gerilmesi ve TKE değerleri en düşük değerine, Geçirgenlik oranı,  $\beta = 0.6$  değerinde ve tel kalınlığı  $b = 4 \text{ mm}$  olduğu anda ulaşmaktadır. Frekans değerlerinin sonuçları da örgü tellerin silindir arkasındaki akışı kontrol ettiğini destekler niteliktedir. Sonuçlar literatürde bu konuda yapılan çalışmaları destekler niteliktedir. Pınar ve diğ. [11], yaptıkları deneysel çalışmalarda kontrol sağlanan en iyi geçirgenlik oranını  $\beta = 0.5$  olarak belirlemişlerdir [1]. Bunu yanı sıra Özkan ve diğ. [18], yaptıkları çalışma sonuçlarına göre en iyi geçirgenlik oranı  $0.4 \leq \beta \leq 0.6$  değerleri arasında olduğunu belirtmişlerdir. Literatürde yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere  $\beta = 0.5$  ve  $\beta = 0.6$  değerleri akışı kontrol eden en iyi geçirgenlik oranlarıdır.

Sonuç olarak bu çalışma ile tel kalınlığı ve geçirgenlik oranının,  $\beta$  silindir etrafında oluşan akış yapısını etkilediği tel kalınlığının akış kontrolünde önemli bir parametre olduğu Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen maksimum TKE ve maksimum Reynolds Kayma Gerilmesi değerlerinden anlaşılmaktadır. Tel kalınlığının  $b = 2 \text{ mm}$  değeri için tüm geçirgenlik oranlarında maksimum TKE ve Reynolds Kayma Gerilmesi değerlerinin yalın silindire göre arttığı belirlenmiştir. Tel kalınlığı  $b = 2 \text{ mm}$ 'nin çalkantının artmasının istendiği uygulamalar için yararlı olacağı belirlenmiştir. Geçirgenlik oranı,  $\beta = 0.6$  ve tel kalınlığı  $b = 4 \text{ mm}$  değeri için girdap kopmalarının frekansını düşürmede oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Son yıllarda silindir arkasında akışın kontrol edilmesi üzerine yapılan çalışmaların artması, konunun ne kadar önemli olduğunu desteklemektedir. Silindir arkasındaki akışın kontrol altına alınması ile birlikte, katı cisimler ve arkalarındaki birçok yapıda meydana gelen titreşim, yorulma ve yapıların ömürlerini kısaltma gibi olumsuzlukların önüne geçilmiş olacaktır.

## 5 Kaynaklar

- [1] Akar MA, Küçük M. "Silindir arkasındaki daimi olmayan akış yapısının pasif yöntemle kontrolü". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 123-128, 2014.
- [2] Paydaş K, Akar A, Karakuş C, Akıllı H, Şahin B. "Delikli silindir arkasında oluşan akış yapısının sığ suda incelenmesi". *16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kayseri, Türkiye, 30 Mayıs-2 Haziran 2007a.
- [3] Galvao R, Lee E, Farrell D, Hovera F, Triantafyllou M, Kitney N, Beynet P. "Flow control in flow-structure interaction". *Journal of Fluids and Structures*, 24(8), 1216-1226, 2008.
- [4] Ozono S. "Vortex suppression of the cylinder wake by deflectors". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91(1-2), 91-99, 2003.
- [5] Hangan H, Kim J. "Aerodynamic slot-control for 2D square prisms". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91(12-15), 1847-1857, 2003.
- [6] Lee SJ, Lee SI, Park CW. "Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod". *Fluid Dynamics Research*, 34(4), 233-250, 2004.
- [7] Hwang JY, Yang KS, Sun SH. "Reduction of flow-induced forces on circular cylinder using a detached splitter plate". *Physics of Fluids*, 15(8), 2433-2436, 2003.
- [8] Schumm M, Berger E, Monkewitz PA. "Self-excited oscillations in the wake of two dimensional bluff bodies and their control". *Journal of Fluid Mechanics*, 271, 17-32, 1994.
- [9] Kumar RA, Shon C, Gowda BHL. "Passive control of vortex-induced vibrations: An overview". *Recent Patents on Mechanical Engineering*, 1(1), 1-11, 2008.
- [10] Kunze S, Brücker C. "Control of vortex shedding on circular cylinder using self-adaptive hairy-flaps". *Comptes Rendus Mecanique*, 340(1-2), 41-56, 2012.
- [11] Pınar E, Özkan G M, Akıllı H, Şahin B. "Sığ suda silindir arkasında oluşan girdabın delikli silindir yardımıyla kontrol edilmesi". *18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Zonguldak, Türkiye, 7-10 Eylül 2011a.
- [12] Gim O, HyunKim S, Lee G. "Flow control behind a circular cylinder by control rods in uniform stream". *Ocean Engineering*, 38(17-18), 2171-2184, 2011.
- [13] Lim HC, Lee SJ. "Flow control of a circular cylinder with o-rings". *Fluid Dynamics Research*, 35(2), 107-122, 2004.
- [14] Zhao M, Cheng L. "Finite element analysis of flow control using porous media". *Ocean Engineering*, 37(14-15), 1357-136, 2010.
- [15] Yayla S. "Flow characteristic of staggered multiple slotted-tubes in the passage of fin Tube Heat Exchanger". *Strojniški Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 59(7-8), 462-472, 2013
- [16] Westerweel J. Digital Particle Image Velocimetry, Theory and Application. PhD. Dissertation, Delft University, Netherlands, 1993.
- [17] Adrian RJ. "Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics". *Annual Review of Fluid Mechanics*, 23, 261-304, 1991.
- [18] Ozkan GM, Oruc V, Akili H, Sahin B. "Flow around a cylinder by a permeable outer cylinder in shallow water". *Experiments in Fluids*, 53,1751-1793, 2012.