



Yatay bir dairesel silindir etrafındaki akımda maksimum hızın yapay sinir ağları ile tahmini

A. Alper Öner¹, Murat ÇOBANER², M. Salih KIRKGÖZ³, M. Sami AKÖZ³

¹Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray/Türkiye

²Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 38039 Kayseri/Türkiye

³Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 01330 Adana/Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hız Dağılımı
Sınır Tabakası
ÇDR
YSA.

ÖZET

Akım içerisine batmış iki boyutlu dairesel silindirlere yapı elemanı olarak mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar, bu nedenle bu tür küt cisimlerin akışkan akım ile etkileşimi konusundaki araştırmalar tasarım amaçları bakımından önem arz etmektedir. Silindirik bir yapı etrafındaki hız dağılımını sınır tabakası gelişimi, ayrılma noktası ve kayma gerilmelerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Bu çalışmada, tabana yakın dairesel bir silindir etrafındaki hızlar üç farklı Reynolds sayısı ($Re_D = 840, 4150$ ve 9500) ve beş farklı boşluk oranı ($G/D = 0.2, 0.3, 0.6, 1.0$ ve 2.0) için PIV (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm) tekniği ile çalışılan ölçme sistemi kullanılarak ölçülmüştür. Açık kanal içerisindeki yatay, dairesel, izole bir pürüzsüz silindirin etrafındaki teğetsel hızın boyutsuz maksimum değeri, u_t/u_o , ile G/D , Re_D , ve α arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri kurulmuştur. Modellerin tahminleri karşılaştırıldığında, YSA modeli ÇDR'ye göre daha doğru sonuç vermiştir.

Estimation of maximum velocity of flow around a horizontal circular cylinder with artificial neural network

ABSTRACT

Two-dimensional submerged circular cylinders are widely used structural elements in engineering practices, and therefore the studies on the interaction of such bluff bodies with the fluid flow are important for design considerations. Velocity distribution around a cylindrical body is an important parameter in determining the boundary layer development, separation point and boundary shear stress. In this study, the velocity field of flow around a horizontal circular cylinder is investigated for the three different Reynolds number ($Re_D = 840, 4150$ and 9500) and five different gap ratio ($G/D = 0.2, 0.3, 0.6, 1.0$ and 2.0). PIV (Particle Image Velocimetry) technique is used to measure the flow velocities. The Multiple-Linear Regression (MLR) and Artificial Neural Network (ANN) model were developed to determine the relationship among the gap ratio (G/D), Reynolds number, (Re_D), and α for estimating the dimensionless maximum value of tangential velocity of flow around an isolated horizontal circular smooth cylinder in an open channel. The comparisons of results show that the ANN model gives more accurate results than the MLR model.

Keywords
Velocity Distribution
Boundary Layer
MLR
ANN.

* Sorumlu yazar (corresponding author) e-posta: mcobaner@erciyes.edu.tr

1. GİRİŞ

Dairesel bir silindir etrafındaki akım, boru hatları, köprü ayakları, açık deniz iletim hatları v.b. birçok mühendislik uygulamasında karşılaşılan, hidrolik mühendisliğin önemli konularındandır. Bu tür yapılar etrafındaki hidrodinamik kuvvetlerin tahmini ve kuvvetlerin değişiminin bilinmesi tasarım için hayati öneme sahiptir. Ayrıca katı madde bakımından hareketli bir taban üzerine yerleştirilen yatay bir boru hattı yada düşey bir köprü ayağı etrafındaki erozyon ve oyulmanın belirlenmesi de tasarım açısından bilinmesi gerekli faktörlerden birini oluşturmaktadır.

Katı madde bakımından hareketli bir katı sınır yakınına yerleştirilen boru hattı ile taban arasında, zamanla, boyutları boru çapına eşdeğer boşluklar oluşması neticesinde boru hattı askıda kalabilmektedir. Farklı boşluk oranlarında silindir etrafındaki akım farklı özellikler gösterebilmektedir.

Dairesel bir silindir etrafındaki akıma boşluk oranının etkisi bir çok araştırmacı tarafından deneysel ve teorik olarak incelenmiştir [1,2,3,4,5,6,7,8,9]. Bu çalışmalarda boşluk oranının silindir etrafındaki basınç dağılımında, silindire gelen kuvvetlerde, durma noktası ve sınır tabakası ayrılma açılarına ve silindir mansabında oluşan ayrılmış akım bölgesinde sebep olduğu değişimler farklı akım durumları için detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar; boşluk oranının azalmasıyla silindir önünde oluşan durma noktasının tabana yaklaştığını, silindirin tabandan uzak yüzeyindeki sınır tabakası mansaba kayarken tabana yakın yüzeydeki membaya kaydığını, periyodik vorteks kopması frekansının arttığını, boşluk oranının kritik boşluk oranına ulaşmasıyla itki ve kaldırma kuvvetlerinde meydana gelen değişimler sebebiyle silindir mansabında oluşan vorteks kopmalarının bastırıldığını ve G/D (G , silindir ile taban arasındaki boşluk, D , silindir çapı olmak üzere)'nin 1.0'den büyük değerleri için akımın tabandan çok fazla etkilenmediğini göstermektedir.

Geçmişte yapılan çalışmalar ışığında, batmış durumda bulunan dairesele bir silindir etrafındaki akım için dört farklı akım bölgesi tanımlanmaktadır[7,8]: (a) Silindir membasında

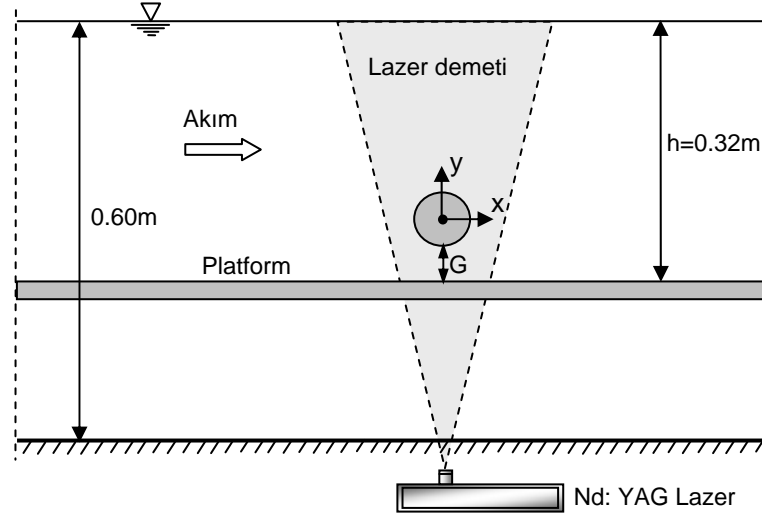
silindire yaklaştıkça yavaşlayan bir yavaşlama bölgesi, (b) Silindir alt ve üst yüzeylerinde oluşan sınır tabakaları, (c) Akımdaki daralma sebebiyle silindir iki yanında oluşan hızlanma bölgeleri, ve (d) Mansaptaki kuyruk bölgesidir. Fakat literatür incelendiğinde, akım bölgelerinin karakterini belirleyen en önemli faktörlerden biri olan hız alanının, özellikle de silindirin katı sınırına yakın hız profillerinin detaylı şekilde incelenmediği görülmektedir [7].

Bu çalışmada, tabana yakın dairesele bir silindir etrafındaki hızlar üç farklı Reynolds sayısı ve beş farklı boşluk oranı ($G/D = 0.2, 0.3, 0.6, 1.0$ ve 2.0) için Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (PIV) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Farklı Reynolds sayısı, farklı boşluk oranları durumlarında, silindir merkez eksenine göre farklı açılarda (α) elde edilen bu maksimum hızların belirlenebilmesi, için Yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak bir ağ modeli oluşturulmuş ve çoklu doğrusal regresyon tekniğiyle karşılaştırılmıştır.

2. DENEYLER

Deneyler Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarındaki açık kanal düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Taban ve yan yüzeyleri saydam pleksiglastan yapılmış olan kanal içerisine, 2m uzunluk ve 15mm kalınlıklı pleksiglastan yapılmış, kanal genişliğinde bir düzlem platform yerleştirilmiştir. Çapı $D=50$ mm olan pleksiglastan yapılmış dairesele pürüzsüz test silindiri, platform ile arasında farklı, G , boşlukları ayarlanabilecek şekilde platformun üzerine yatay olarak monte edilmiştir. Deney platformunun üzerinde akım derinliği, Şekil 1'de görüldüğü gibi 0.32 m olarak sabitlenmiştir.

Türbülanslı, düzenli akım şartlarında yapılan deneyde silindirin yerinde bulunmadığı durumda ölçülen hız profilinde, sınır tabakasının üst sınırındaki serbest akım hızları $u_0=19, 87$ ve 197 mm/s ve bu hız ile hesaplanan silindir çapına bağlı Reynolds sayıları ise, $Re_D(=u_0D)/\nu=840, 4150$ ve 9500 şeklindedir (ν akışkanın kinematik viskozitesidir).



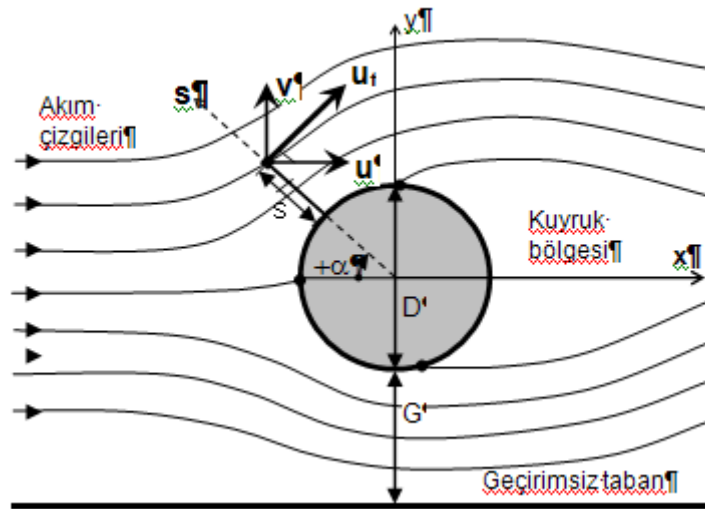
Şekil 1. Test düzeneğinin şematik görünümü

Akım hızlarının ölçülmesinde, parçacık görüntülemeli hız-ölçümü (*particle image velocimetry-PIV*) tekniği ile çalışan bir sistem kullanılmıştır. PIV cihazı ile, Şekil 1'de şematik olarak görüldüğü gibi, lazer demeti ile düzlemsel olarak ışınlanan bir bölgedeki anlık akım hızları, akım rahatsız edilmeden aynı anda ölçülebilmektedir. Bu ölçüm yönteminde akışkanla aynı hızda hareket eden mikron boyutundaki gümüş kaplı parçacıklar akışkana bırakılır. Ölçüm yapılması istenilen bölgeye lazer demeti gönderilerek düzlemsel bir görüntüleme yüzeyi oluşturulur. Lazer belli zaman aralıklarında ışır ve bu ışımalarındaki parçacık görüntüleri yüksek çözünürlüğe sahip CCD kamera ile kayıt edilir. Belirli zaman aralığında çekilen iki resimdeki

parçacıkların yer değiştirmesinden, noktasal anlık hızlar ve belli bir zaman diliminde de zamansal ortalama hızlar tespit edilir. Deney düzeneği ve deney yöntemi ile ilgili daha geniş bilgiye Öner (2007) ve Öner ve Diğ. (2008)'den ulaşılabilir.

3. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada, $Re_D=840$, 4150 ve 9500 akım durumlarında ve her bir akımda beş farklı boşluk oranı, $G/D=0.2, 0.3, 0.6, 1.0$ ve 2.0, için silindir eğri yüzeyinden etkilenen akım bölgesindeki, zamansal ortalama hız profilleri elde edilmiştir. Elde edilen hız dağılımlarının birçoğu [10]'da verilmiştir.



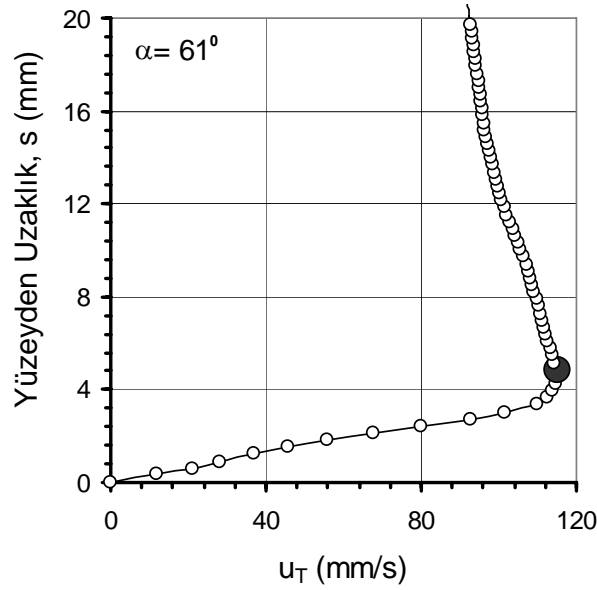
Şekil 2. Silindir etrafındaki akım alanı ve teğetsel hız bileşeni

Silindir yüzeyine dik doğrultulardaki akım hız profilleri, (silindirin yakınındaki bir noktada silindir yüzeyine teğetsel doğrultuda gelen u_t hız bileşeni) Şekil 2’de görüldüğü gibi akım alanında ölçülen yatay ve düşey hız bileşenleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$u_t = u \sin \alpha + v \cos \alpha \quad (1)$$

Bu ifadeye, u yatay hız bileşeni, v düşey hız bileşeni, ve α hesap noktasının bulunduğu doğrultunun yatayla yaptığı açıdır.

Şekil 3’de silindir yüzeyine dik doğrultulardaki akım hız profillerine örnek olarak, $G/D=1.0$ ve $Re_D=4150$ için silindirin tabandan uzak yüzeyinde, $\alpha=61^\circ$ ’deki teğetsel hız dağılımı verilmiştir. Şekil 3’de silindir eğri yüzeyinden etkilenen akım bölgesinde, silindire dik doğrultudaki teğetsel hızın sınır tabakasının hemen dışında bir maksimuma ulaştığı ve bu noktadan sonra hızın azalma eğilimine geçtiği görülmektedir.



Şekil 3. $G/D=1.0$ ve $Re_D=4150$ için $\alpha=61^\circ$ ’deki teğetsel hız bileşeninin değişimi

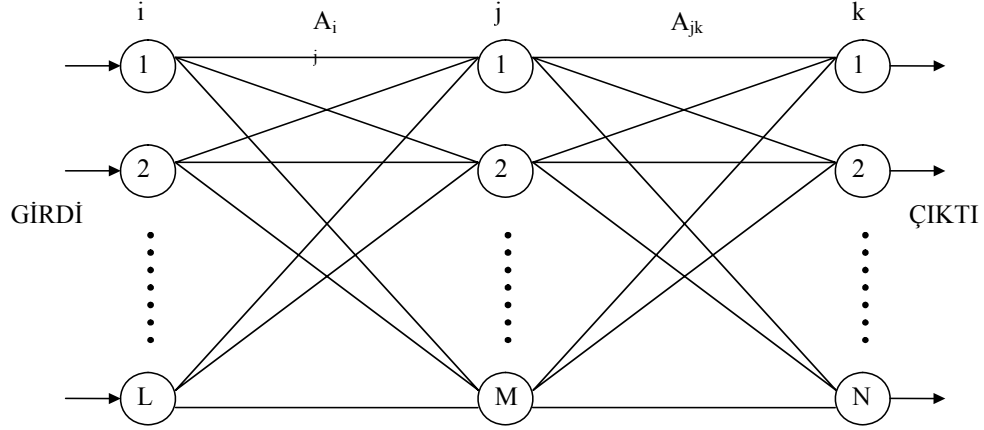
Sınır tabakası dışında oluşan teğetsel hız bileşenlerinin maksimum değerleri incelendiğinde, en büyük teğetsel hız bileşeninin yaklaşık $\alpha=\pm 70^\circ$ ile $\pm 80^\circ$ arasında olduğu, u_t/u_0 ile G/D , Re_D , ve α arasında bir bağlantı olduğu ve silindir çevresindeki sınır tabakası ayrılmasının da, silindir etrafındaki teğetsel hız bileşenin maksimuma ulaşmasından hemen sonra gerçekleştiği tespit edilmiştir. Teğetsel hızın maksimum değeri ile boşluk oranı (G/D), Re sayısı ve α arasındaki ilişkinin belirlenmesi için Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları (YSA), farklı ağırlıklarla birbirine bağlı birçok işlem elemanlarından oluşmuş yoğun

paralel sistemlerdir. YSA metotları içerisinde en çok kullanılanı hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışır [13].

Şekil 4, üç tabakalı bir yapay sinir ağını göstermektedir. Burada i girdi tabakası, j gizli tabaka ve k çıktı tabakası, A_{ij} ve A_{jk} ise hücre tabakaları arasındaki bağlantı ağırlıklarıdır. Başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri, eğitime sürecinde tahmin edilen çıktılarla gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak devamlı değiştirilir ve hataları minimum yapan bağlantı ağırlık değerleri ayarlanıncaya kadar hatalar geriye doğru (Şekil 4’de sağdan sola) yayılır. Burada ağırlıkları ayarlamak için Levenberg-Marquardt metodu kullanılmıştır [14].



Şekil 4. Üç tabakalı bir yapay sinir ağı.

j ve k tabakalarındaki her bir hücre, önceki tabakadan NET ağırlıklı toplam çıktıları girdi olarak alır. NET değeri (2) eşitliği ile hesaplanır.

$$NET_{pj} = \sum_{i=1}^L A_{ij} C_{pi} + \theta_j \quad (2)$$

Burada L girdi vektörünün boyutu, θ_j taraflılık sabiti (bias), A_{ij} i ve j tabakaları arasındaki ağırlıklar kümesi, C_{pi} p örneği için i tabakasının çıktı kümesidir. j ve k tabakalarındaki her bir hücre, NET değerini doğrusal olmayan bir tasvir fonksiyonundan geçirerek $f(NET)$ çıktısını üretir. Yaygın şekilde kullanılan bu tasvir fonksiyonu,

$$f(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Eğitim aşamasında, p örneği için toplam hata H_p , tahmin edilen ve gerçek çıktılar arasında kareler farkına bağlı olarak (4) eşitliğiyle hesaplanır.

$$H_p = \sum_{k=1}^N (G_{pk} - C_{pk})^2 \quad (4)$$

Burada N iterasyon sayısı olmak üzere G_{pk} ve C_{pk} sırası ile p örneği için gerçek ve tahmin edilen çıktı değerleridir. Eğitim işleminin asıl amacı toplam hatayı, H , minimum yapan bir ağırlıklar kümesi üretmektir.

$$H = \sum_{p=1}^p H_p \quad (5)$$

Her bir bağlantı ağırlığı, A_{ij} , (6) eşitliği ile yenilenir.

$$A_{ij}^{yeni} = A_{ij}^{eski} - \eta \frac{\partial H_p}{\partial A_{ij}} \quad (6)$$

Burada η öğrenme oranı olarak adlandırılan orantılılık katsayısını, $\partial H_p / \partial A_{ij}$ ise hata yüzeyinin eğimini göstermektedir [15, 16].

4. ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON

Çoklu doğrusal regresyonda amaç, bağımlı değişkeni etkilediği belirlenen bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkenin değerinin kestirilmesi ve bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmaktır.

Çoklu regresyon çözümlemesinde, bağımlı değişken y , bağımsız değişkenler x_1, x_2, \dots, x_p ile gösterildiğinde aralarındaki ilişki;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (7)$$

olarak yazılabilir. Burada; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_p$ bilinmeyenlerine regresyon katsayıları denir. Herhangi bir β_j regresyon katsayısı, diğer değişkenler sabit tutulduğunda (diğer değişkenlerin etkisi ortadan kaldırıldığında) x_j değişkeninde ortaya çıkan bir birimlik değişmeye karşılık y değişkenindeki beklenen değişiklik miktarını vermektedir. Diğer bir ifadeyle; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_p$; bağımsız değişkenlerin y 'nin saptanmasına yaptıkları göreceli katkıya ilişkin ağırlıklardır. Bu nedenle, β_j ($j=1, 2, \dots, p$) parametreleri genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 26(1): 63-70 (2010)

adlandırılmaktadır. β_0 'a ise kesim noktası veya sabit denir ve tüm x_j değişken değerleri sıfır olduğunda bağımlı değişkenin aldığı değeri gösterir. Denklemden yer alan ε ise hata terimini ifade etmektedir [17].

5. UYGULAMA

Bu çalışmada, u_t/u_o ile G/D , Re_D , ve α parametreleri arasındaki ilişkiyi göstermek için Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarında ölçülen farklı akım durumlarında ($Re_D=840, 4150$ ve 9500) ve her bir akımda beş farklı boşluk oranı, ($G/D=0.2, 0.3, 0.6, 1.0$ ve 2.0) için silindirik eğri yüzeyinden etkilenen akım bölgesindeki, silindirik yüzeyine dik doğrultulardaki akım hız profili verileri kullanılmıştır. u_t/u_o ile α^2 arasındaki korelasyondan dolayı 4. girdi olarak α^2 kullanılmıştır.

İlk olarak veriler, kurulacak olan modelleri eğitime ve test için rastgele olarak iki kısma ayrılmıştır. Farklı durumlar altında ölçülen akım hız profili değerlerinin % 75'i (270 adet) eğitime verisi, geriye kalan %25'i (89 adet) ise modelleri test etmek için kullanılmıştır. Modelde kullanılan parametrelerin minimum ve maksimum değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Modelde kullanılan parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

Parametreler	x_{min}	x_{mak}
G/D	0.2	2
Re_D	415	9500
α	-90	90
u_t/u_o	0.290	1.648

YSA simülasyonu MATLAB yazılımı yardımıyla çalıştırılmıştır. Tek gizli tabaka kullanılmış ve gizli tabaka ve çıkış tabakalarındaki transfer fonksiyonu olarak logaritma ve tanjant sigmoid fonksiyonları denenmiştir. YSA modelinin optimum ara tabaka hücre sayısı ve uygun transfer fonksiyonu deneme-yanılma ile bulunmuştur.

Uygun modelin seçilmesinde karekök ortalama karesel hata (KOKH) ve Ortalama Mutlak Rölatif Hata (OMRH) değerleri dikkate alınmıştır. KOKH ve OMRH eşitlikleri denklem (2) ve (3)'de tanımlanmaktadır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\left(\frac{u_t}{u_o} \right)_{i_{Gözlenmiş}} - \left(\frac{u_t}{u_o} \right)_{i_{Tahmin}} \right)^2}{N}} \quad (8)$$

$$OMRH = \frac{\left| \left(\frac{u_t}{u_o} \right)_{i_{Gözlenmiş}} - \left(\frac{u_t}{u_o} \right)_{i_{Tahmin}} \right|}{\left(\frac{u_t}{u_o} \right)_{i_{Gözlenmiş}}} * 100 \quad (9)$$

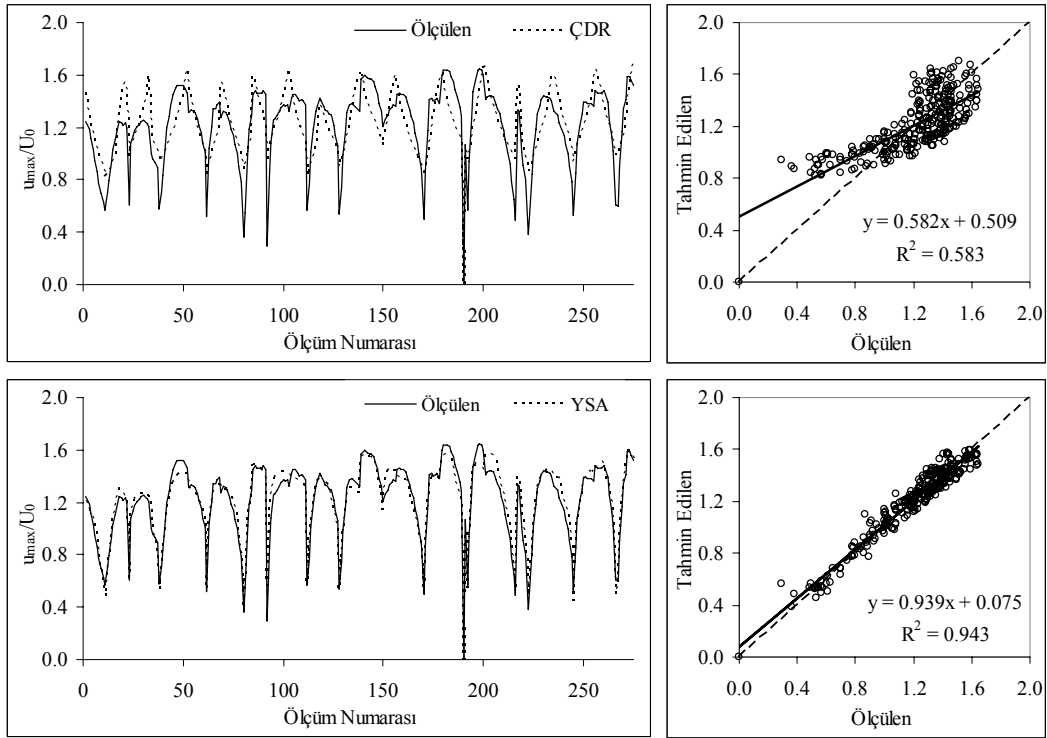
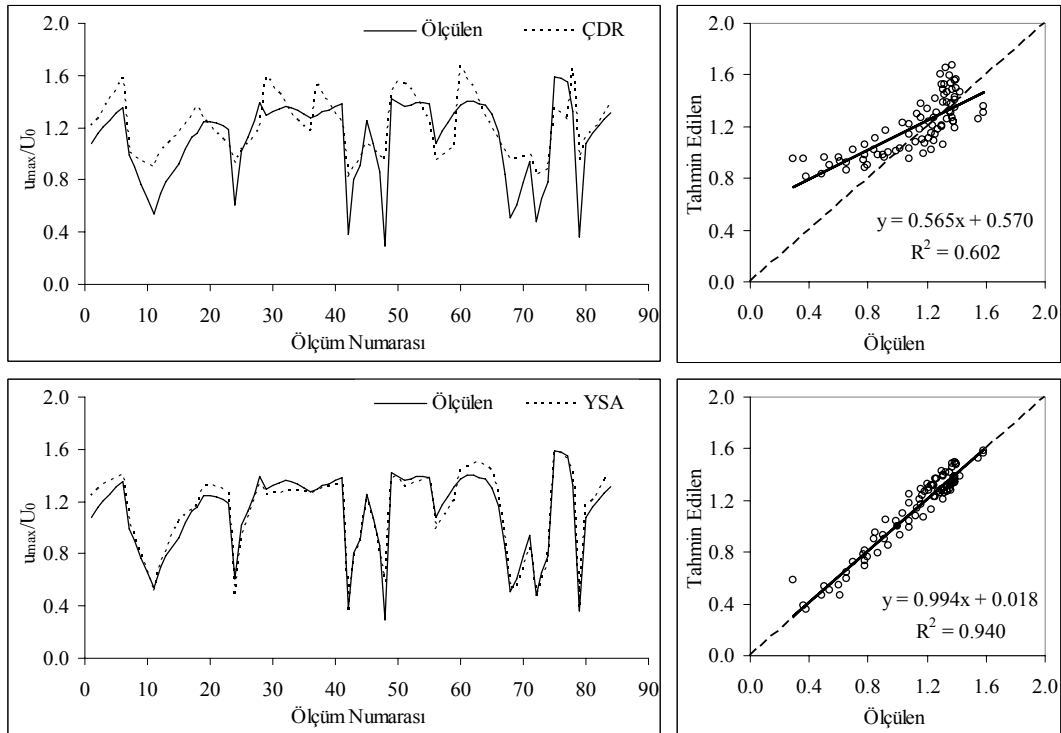
Denklemlerde, N gözlem adedini göstermektedir. YSA modelinde kullanılan eğitime verileri için ÇDR modeli oluşturulmuş ve test verilerinde bu elde edilen denklemlerin uygunluğu kontrol edilmiştir.

Çizelge 2. Modellerin eğitime ve test aşamasındaki KOKH ve OMRH değerleri

Model Girdileri	KOKH		OMRH (%)	
	Eğitime	Test	Eğitime	Test
ÇDR	0.03540	0.0429	15.8	21.1
YSA	0.0048	0.0058	5.0	6.6

YSA ve ÇDR modelleriyle yapılan tahminlerin KOKH ve OMRH değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'den de görüldüğü gibi YSA eğitime ve test aşamalarında en düşük KOKH ve OMRH değerlerine sahiptir. ÇDR test aşamasında ortalama %21.1 hata ile tahmin yaparken, YSA modeli ise u_t/u_o değerini ortalama %6.6 hata ile tahmin etmiştir.

Eğitime ve test aşaması için gözlenen ve tahmin edilen u_t/u_o değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Şekil 5 ve 6'dan da görüldüğü üzere YSA modeli u_t/u_o değerlerini ÇDR'den daha iyi tahmin etmiştir. Saçılma diyagramındaki kesikli olarak gösterilmiş eşitlik çizgisine bakıldığında, ÇDR $u_t/u_o < 1.0$ değerlerini fazla tahmin etmektedir. ÇDR'nin $u_t/u_o > 1.0$ değerlerinin tahminleri ise eşitlik çizgisinin etrafında dağınık durumda olduğu görülmektedir. Regresyon modelinin test aşamasındaki determinasyon katsayısı 0.602 iken, YSA modelinin ki 0.940'dır.

Şekil 5. Eğitim aşaması için ölçülen ve tahmin edilen u_i/u_0 değerlerinin karşılaştırılması.Şekil 6. Test aşaması için ölçülen ve tahmin edilen u_i/u_0 değerlerinin karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, $Re_D=840, 4150$ ve 9500 değerlerinde, düzenli üniform, türbülanslı akım durumunda, kanal tabanı ve silindir arasındaki boşluk oranının $G/D=0.2, 0.3, 0.6, 1.0$ ve 2.0 değerlerinde silindir katı sınırı yakınındaki, silindir katı sınırına dik deneysel hız profilleri incelenmiştir. Silindir eğri yüzeyinden etkilenen akım bölgesinde, silindir merkez eksenine göre farklı açılardaki teğetsel hızların sınır tabakasının hemen dışında bir maksimuma ulaştığı ve bu noktadan sonra azalma eğilimine geçtikleri belirlenmiştir. Silindir sınır tabakası dışında ulaşılan maksimum teğetsel hız değerlerin G/D oranı, Reynolds sayısı ve α açısı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Sınır tabakası gelişimi, sınır tabakası ayrılma noktası ve katı sınır kayma gerilmesi ile ilintili olan, teğetsel hızın boyutsuz maksimum değeri, u_t/u_0 ile $G/D, Re_D,$ ve α arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla üç tabakalı geri yayımlı YSA ve ÇDR modelleri kurulmuştur. Farklı boşluk oranlarına sahip farklı akım durumları için deneysel olarak ölçülen u_t/u_0 değerleri girdi olarak kullanılmıştır. YSA en iyi sonucu ara tabaka hücre sayısının 6 olduğu ve ara ve çıkış katmanları için sırasıyla tanjant sigmoid ve lineer transfer fonksiyonlarının kullanıldığı model vermiştir. u_t/u_0 değerlerinin tahmininde YSA modelinin ÇDR modeline göre istatistiksel olarak çok daha iyi tahminler verdiği Çizelge 2 ve Şekil 5 ve 6'dan görülmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, KOKH ve OMRH istatistiklerine göre YSA modelinin (sırasıyla, 0.0058 ve %6.6) sonuçları ÇDR'nin (sırasıyla, 0.0429 ve %21.1) verdiği sonuçlara göre çok daha küçüktür. YSA modeli özellikle $u_t/u_0 < 1.0$ değerleri ÇDR modeline göre daha iyi tahmin ettiği Şekil 5 ve 6'dan görülmektedir. Elde edilen bulgular, u_t/u_0 tahmininde YSA modelinin kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Bearman, P. W., Zdravkovich, M. M., "Flow around a circular cylinder near a plane boundary", *Journal of Fluid Mechanics*, 89, 33-47, 1978.
2. Hatipoğlu F., Avcı, İ., "Flow around a partly buried cylinder in a steady current", *Ocean Engineering*, 30, 239-249, 2003.
3. Sumer, B. M., Fredsoe, J., "Hydrodynamics around Cylindrical Structures", World Scientific, Singapore, 1997.
4. Lei, C., Cheng, L., Kavanagh, K., "Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder",

- Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 80, 263-286, 1999.
5. Price, S. J., Sumner, D., Smith, J. G., Leong, K., Paidoussis, M. P., "Flow visualization around a circular cylinder near to a plane wall", *Journal of Fluids and Structures*, 16, 175-191, 2002.
6. Straatman, A. G., Martinuzzi, R. J., "An examination of the effect of boundary layer thickness on vortex shedding from a square cylinder near a wall", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91, 1023-1037, 2004.
7. Zdravkovich, M. M., "Flow around circular cylinders, Vol. 1: Fundamentals", Oxford University Press Inc., New York, 1997.
8. Sümer, B. M., Fredsoe, J., "Hydrodynamics around cylindrical structures", World Scientific, Singapore, 1997.
9. Kirkgoz, M. S., Öner A. A., "Yatay bir dairesel silindir etrafındaki akımda hız alanının deneysel ve teorik incelenmesi" *Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 85-98, 2006.
10. Aköz, M. S., Öner A. A., Kirkgoz, M. S., "Tabana yakın bir silindir etrafındaki akımın farklı türbülans modelleri ile sayısal modellenmesi" *Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Faültesi Dergisi*, 22, 107-117, 2007.
11. Öner A. A., Kirkgoz, M. S., "Düzenli akımda tabana yakın yatay silindir yüzeyinde ve tabanda kayma gerilmesi dağılımlarının deneysel incelenmesi", *Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Faültesi Dergisi*, 22, 93-105, 2007.
12. Hiwada, M., Niwa, K., Kumada, M., Mabuchi, I., "Effects of tunnel blockage on local mass transfer from circular cylinder in cross-flow", *Heat Transfer Jap. Re.*, 8, 37-51, 1979.
13. Cobaner, M., Seckin, G., Kisi, O., "Initial assessment of bridge backwater using an artificial neural network approach", *Canadian Journal Of Civil Engineering*, 35, 5, 500-510, 2008.
14. Lippman, R., "An Introduction to Computing With Neural Nets", *IEEE ASSP Mag.*, 4, 4-22, 1987.
15. Marquardt, D., "An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters", *J.Soc.Ind.Appl.Math.*, pp.431-441, 1963.
16. Kişi, Ö., "Yapay sinir ağları ve regresyon teknikleri ile fiyos çayı akımlarının tahmini", *IV.Hidroloji Kongresi*, 23-25 Haziran, 347-353, İstanbul, Türkiye, 2004.
17. Kisi, O. "Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches", *Hydrological Sciences Journal*, 50(4), 683-696, 2005.
18. Alpar, R. "Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemlere giriş 1", Ankara, Türkiye, 2003.