

# DÜZENLİ AKINTI DURUMUNDA TABANA OTURAN VE YARI GÖMÜLÜ ELİPTİK BİR SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMIN SAYISAL İNCELENMESİ

**Ahmet Alper ÖNER**

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Aksaray Üniversitesi, 68100, Aksaray  
[a\\_alperoner@hotmail.com](mailto:a_alperoner@hotmail.com)

(Geliş/Received: 01.04.2008 ; Kabul/Accepted: 07.09.2009)

## ÖZET

Düzenli akıntı durumunda, tabana oturan ve yarı gömülü eliptik bir silindir etrafındaki akım alanı sayısal olarak incelenmiştir. Memba ve mansapta oluşan ayrılma bölgelerinin genişliklerinin belirlenmesi amacıyla, sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak çalışan ANSYS hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı, olayı idare eden denklemlerin çözümünde kullanılmıştır. Sayısal hesaplamalarda, farklı ağ sistemleri için, k-ε ve k-ω türbülans modelleri kullanılmıştır. Tabana oturan dairesel bir silindir etrafındaki akım için en iyi ağ sistemi ve türbülans modeli, daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak belirlenmiştir. Ayrılma bölgeleri için elde edilen sayısal verilerin, literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Aynı ağ yapısı ve türbülans modeli, tabana oturan ve yarı gömülü eliptik bir silindirin memba ve mansabındaki ayrılma bölgelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Sayısal veriler, eliptik silindir mansabında oluşan ayrılma bölgesi genişliklerinin dairesel silindirin mansabındakine oranla çok daha küçük kaldığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Düzenli akıntı, eliptik silindir, ayrılma bölgesi, HAD, ANSYS.

## NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW AROUND A SURFACE MOUNTED AND SEMI-BURIED ELLIPTICAL CYLINDER IN STEADY CURRENT

### ABSTRACT

The flow around a surface mounted and semi-buried elliptical cylinder is investigated numerically in a steady current. To determine the length of upstream and downstream separation regions, the governing equations solved by using a computational fluid dynamics (CFD) software package, ANSYS, which is based on finite element method. The numerical simulations are carried out using k-ε and k-ω turbulence models for different mesh systems. The best mesh system and better turbulence model for flow around a surface mounted circular cylinder are selected by comparing with studies in literature. The numerical result for the separation regions seem to compare well with other studies. To determine the length of the separation regions upstream and downstream of a surface mounted and semi buried elliptical cylinder, same mesh system and turbulence model is used. Numerical results indicated that the length of the separation regions near the downstream of the elliptical cylinder is much smaller than downstream separation region of a circular cylinder

**Keywords:** Steady current, elliptical cylinder, separation area, CFD, ANSYS.

### 1. GİRİŞ (INRODUCTION)

Tabana yakın bir konumdaki iki boyutlu, batmış, yatay konumdaki silindirik yapılar etrafındaki akım, açık deniz iletim hatları, boru hatları, su altı yapı inşaatı ve ısı dönüştürücüleri gibi birçok mühendislik yapılarında karşılaşılan özel konulardandır. Pratikte sahip olduğu geniş uygulama alanlarına paralel ola-

rak, dairesel bir silindir etrafındaki akım konusunda geçmişte pek çok deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır [1-11]. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda genel olarak, tabanın silindir etrafındaki akım alanına etkisi, silindir çevresindeki basınç dağılımı, silindir önündeki durma noktası ve silindir etrafındaki sınır tabakası ayrılma noktalarının değişimi, kuyruk akımı, vorteks kopması davranışları incelenmiştir. Bu

araştırmalardan elde edilen bulgularda, silindirin tabana yaklaşması ile durma noktasının aşağı kaydığı, silindirin tabandan uzak sınır tabakası ayrılma noktası mansaba kayarken, taban tarafındaki sınır tabakası ayrılma noktasının membaya kaydığı ve silindir ile taban arasındaki boşluk miktarının belli değerlerinde silindir arkasındaki düzenli vorteks kopmasının bastırıldığı görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmalar ile, silindirin kanal taban sınır tabakası içerisinde olması halinde sürüklenme kuvveti katsayısının ( $C_D$ ) azaldığı ve silindirin tabana oturması durumunda sürüklenme kuvveti katsayısı minimum değere ulaşırken, kaldırma kuvveti katsayısının ( $C_L$ ) maksimum değer aldığı belirlenmiştir.

Tabana yakın dairesel silindirler ile ilgili yapılan çalışmalarda incelenen bir diğer konu da, taban üzerine monte edilen dairesel bir silindirin memba ve mansabında oluşan ayrılma bölgelerinin değişimidir. Bearman ve Zdravkovich [1], tabana oturan dairesel bir silindir etrafındaki akımı, silindir çapına bağlı Reynolds sayısının  $Re_D=25000$  ve  $Re_D=45000$  değerlerinde deneysel olarak incelemişler ve silindirin hem membasında hem de mansabında geniş ayrılma bölgeleri oluştuğunu bildirmişlerdir.

Jensen [12], taban ve silindir arasındaki farklı boşluk oranları için yaptığı deneysel çalışma sonucu,  $Re_D=7000$  durumunda tabana oturan pürüzsüz dairesel bir silindir mansabında oluşan ayrılma bölgesi uzunluğunu  $6D$  ( $D$ : silindir çapı) olarak belirlemiştir.

Brors [13], tabana oturan bir silindir etrafındaki akımı sayısal olarak modellemiş ve  $Re_D=15000$  için silindir membasındaki ayrılma bölgesi uzunluğunu  $0.77D$ , silindir mansabında oluşan ayrılma bölgesini uzunluğunu ise  $6.8-7.2D$  olarak hesaplamıştır.

Hatipoğlu ve Avcı [14], taban üzerine monte edilmiş ve yarı gömülü dairesel bir silindir membasında ve mansabında oluşan ayrılma bölgelerini deneysel ve sayısal olarak belirlemişlerdir. Bir açık kanal içerisine üniform yüzey pürüzlülük katsayısı,  $k=0.5$  ve çapı,  $D=89\text{mm}$  olan dairesel bir silindir yerleştirmişlerdir. Kanal girişindeki serbest akım hızını  $u_0=230\text{ mm/s}$  olarak sabitledikleri deneylerinde silindir etrafındaki akım alanını, akım görüntüleme tekniği kullanarak belirlemişlerdir.  $B$ , batma derinliği olmak üzere,  $B/D=0.0, 0.2$  ve  $0.5$  oranlarında silindir memba ve mansabındaki ayrılma bölgelerinin değişimini incelemişler. Ayrıca deneysel verilerle karşılaştırabilmek amacıyla, deneyler ile aynı şartlar için bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı kullanmışlardır. Elde ettikleri deneysel veriler ışığında, tabana oturan silindir için ( $B/D=0.0$ ), silindir membasındaki ayrılma bölgesinin  $1D$ , mansaptaki ayrılma bölgesinin ise  $6.7D$  genişliğinde olduğunu,  $B/D=0.2$  için bu genişliklerin  $0.8D$  ve  $5.5D$  olduğunu,  $B/D=0.5$  için ise membada ayrılma bölgesi oluşmazken ve mansaptaki ayrılma bölgesinin  $2.8D$  genişlikte olduğunu bildir-

mişlerdir. Yaptıkları sayısal çalışma sonucu ise  $B/D=0.0$  için membadaki ayrılma bölgesinin  $1.3D$ , mansaptakinin ise  $8.9D$  olarak hesaplamışlardır. Ayrıca mansaptaki ayrılma bölgesi ile silindir ve taban arasında sıkışmış, silindire bitişik ikincil bir ayrılma bölgesinin oluştuğunu ve bu ikincil ayrılma bölgesinin genişliğinin  $1.1D$  olduğunu bildirmişlerdir.  $B/D=0.2$  için membadaki ayrılma bölgesini  $0.9D$  olarak hesaplarken, mansaptakinin ise  $6.7D$  olarak belirlemişler ve mansaptaki ikinci ayrılma bölgesi genişliğinin ise  $0.8D$  olduğunu bildirmişlerdir.  $B/D=0.5$  için ise membada  $0.6D$ , mansapta  $2.1D$  genişliğinde ayrılma bölgeleri oluştuğunu hesaplamışlardır. Bu gömülme oranında mansapta ikinci bir ayrılma bölgesi oluşmadığını belirlemişlerdir.

Bazı özel uygulamalar için dairesel silindir yerine, eliptik ya da dörtgen silindirler kullanılmaktadır. Eliptik silindirin sürüklenme katsayısının dairesel silindire göre daha küçük olması ve eliptik silindirin ısı transfer katsayısının dairesel silindirinkinden biraz büyük olması [15,16], eliptik silindirin bazı aerodinamik ve termodinamik uygulamalar için tercih edilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca genel akım özelliklerinin dairesel silindir ile düz plaka arasında olması sebebiyle, eliptik silindir birçok mühendislik uygulamasında akımın kontrol edilmesi için kullanılan etkin bir yöntemdir.

Yukarıda bahsedilen özelliklerine karşın, birkaç istisna [15-18] haricinde, dairesel bir silindir ile karşılaştırıldığında eliptik bir silindir etrafındaki akım ile ilgili literatürde yeterli çalışma bulunmadığı görülmektedir. Eliptik silindir ile ilgili yapılan az sayıdaki çalışmanın da daha çok basınç etkisi ve vorteks kopması davranışı üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle tabana oturan ya da yarı gömülmüş eliptik bir silindir etrafındaki ayrılma bölgesi genişlikleri ile ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, düzenli akımda, tabana oturan ( $B/D=0.0$ ) ve yarı gömülü ( $B/D=0.5$ ) eliptik bir silindirin memba ve mansabında oluşan ayrılma bölgelerinin belirlenebilmesi amacıyla ANSYS 11<sup>®</sup> paket programı kullanılarak sayısal bir model oluşturulmuştur. Hem dairesel silindir etrafında oluşan ayrılma bölgeleri ile karşılaştırma yapabilmek, hem de modelin geçerliliğinin belirlenebilmesi amacıyla öncelikle dairesel silindir etrafındaki akım alanı modellenmiştir. Modellemede, Hatipoğlu ve Avcı [14]'nin çalışmasındaki silindir çapı,  $D=89\text{mm}$  ve serbest akım hızı,  $u_0=230\text{mm/s}$ , kullanılmıştır. Model seçiminde, farklı ağ yapıları için farklı türbülans modelleri denenmiş ve elde edilen sayısal bulgular Hatipoğlu ve Avcı [14]'nin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma neticesinde, en uygun sonucu veren ağ yapısı ve türbülans modeli belirlenmiştir. Belirlenen hesaplama ağı ve türbülans modeli, düzey yüksekliği dairesel silindir ile aynı,  $D=89\text{mm}$ , ve yatay uzunluğu ise dairesel silindirin iki katı,

$A=2D=178\text{mm}$ , olan eliptik bir silindir etrafındaki akım alanının hesaplanmasında kullanılmıştır.

## 2. TEMEL DENKLEMLER VE SAYISAL ÇÖZÜM (GOVERNING EQUATIONS AND NUMERICAL SOLUTION)

İki-boyutlu, düzenli, sıkışmayan, türbülanslı akım için hareketi idare eden temel denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\rho u_j \frac{\partial u_j}{\partial x_j} = \rho K_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

(1) ve (2) denklemlerinde yer alan  $u_i$ ,  $x_i$  doğrultusundaki akım hız bileşenini,  $K_i$  yer çekiminin sebep olduğu kütsel kuvveti,  $p$  basıncı,  $\mu$  dinamik viskoziteyi,  $\rho$  akışkan yoğunluğunu,  $-\rho \overline{u'_i u'_j}$  türbülans kayma gerilmesini ( $\tau_{ij}$ ), ve  $u'_i$  ve  $u'_j$  yatay ve düşey türbülans hız sapınçlarını temsil etmektedir. Denklem 2'de yer alan, türbülans kayma gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\tau_{ij} = (-\rho \overline{u'_i u'_j}) = \eta \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

denklemden görülen  $\eta$  ifadesi türbülans viskozitesi olarak adlandırılmaktadır ve sayısal hesaplamalarda  $\eta$ 'nin belirlenmesi amacıyla farklı türbülans modelleri geliştirilmiştir [19].

Bu çalışmada, iki denklemlilik türbülans modellerinden en iyi bilineni olan  $k-\varepsilon$  türbülans modeli ile, katı sınıra yakın bölgelerde ve pozitif basınç gradyanının oluştuğu ayrılma bölgelerinde  $k-\varepsilon$  türbülans modeline

göre daha iyi sonuç verdiği iddia edilen [20]  $k-\omega$  türbülans modelleri kullanılmıştır.

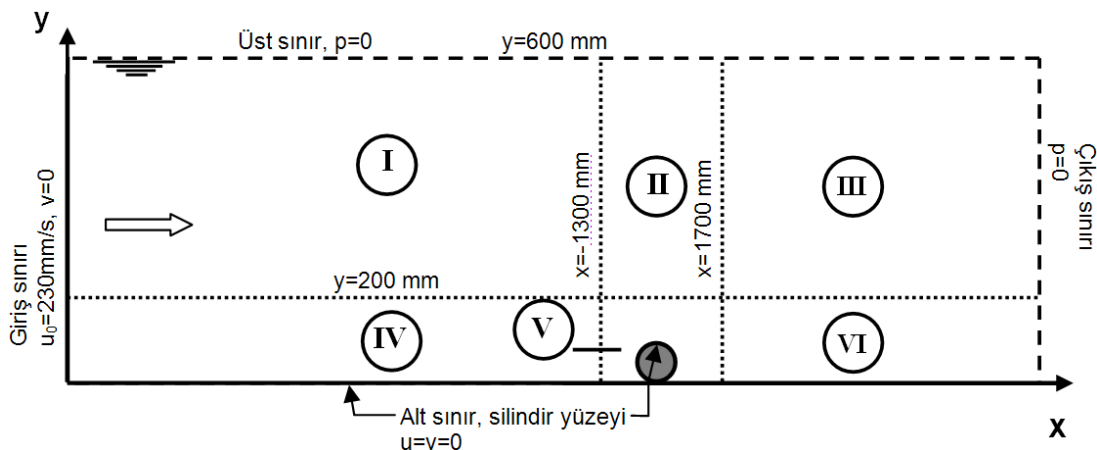
Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak çalışan ANSYS 11® hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı ile akışkan hareketini idare eden (1) ve (2) denklemleri, yukarıda bahsedilen türbülans modelleri kullanılarak çözülmüştür.

### 2.1. Çözüm Bölgesi ve Sınır Şartları (Solution Domain and Boundary Conditions)

Silindir etrafındaki akım alanının belirlenmesi amacıyla oluşturulan sayısal modellemeye Hatipoğlu ve Avcı [14]'nin deneysel çalışmaları esas alınarak 2.5m uzunluğundaki platformun üzerindeki 0.6m'lik akım alanı çözüm bölgesi olarak seçilmiştir. Çözüm bölgesinin üst sınırı ile çıkış sınırı atmosfere açık olduğu için, sınır şartı olarak basınç sıfıra eşit,  $p=0$ , alınmıştır. Alt sınır ve silindir yüzeyinde ise hızların sıfıra eşit olduğu, no-slip sınır şartı,  $u=v=0$  seçilmiştir. Çözüm bölgesinin girişinde ise Hatipoğlu ve Avcı [14]'nin deneylerinde kullandıkları, yatay hız ve düşey hız bileşeni değerleri,  $u=230\text{mm/s}$  ve  $v=0$  alınırken yüzey pürüzlülük katsayısı  $k=0.5$  olarak belirlenmiştir. Yine deneylerinde kullandıkları  $D=89\text{mm}$  çaplı silindir, giriş sınırından 1.5m, çıkış sınırından ise 1.0m uzaklığa yerleştirilmek suretiyle silindirin olduğu noktada sınır tabakası gelişiminin tamamlandığı, tam gelişmiş akım şartlarının oluşması ve silindirin çıkış sınırından etkilenmemesi amaçlanmıştır. Ayrıca yapılan hesaplamalarda çözüm bölgesinin su ile dolu olduğu kabul edilmiştir. Şekil 1'de  $B/D=0.0$  için belirlenen sayısal hesaplama bölgeleri ve sınır şartları görülmektedir. Eksenel oranı  $A/D (A=178, D=89)=2.0$  olan eliptik silindir için yapılan sayısal hesaplamalarda da yukarıda bahsedilen çözüm bölgesi ve sınır şartları kullanılmıştır.

### 2.2. Hesaplama Ağı (Computational Meshing)

Hesaplama ağının oluşturulmasında akım özellikleri dikkate alınarak 6 farklı alt bölge oluşturulmuştur. Hesaplama sırasında katı sınır sürtünmesinden dolayı



Şekil 1. Çözüm bölgesi ve sınır şartları (Solution domain and boundary conditions)

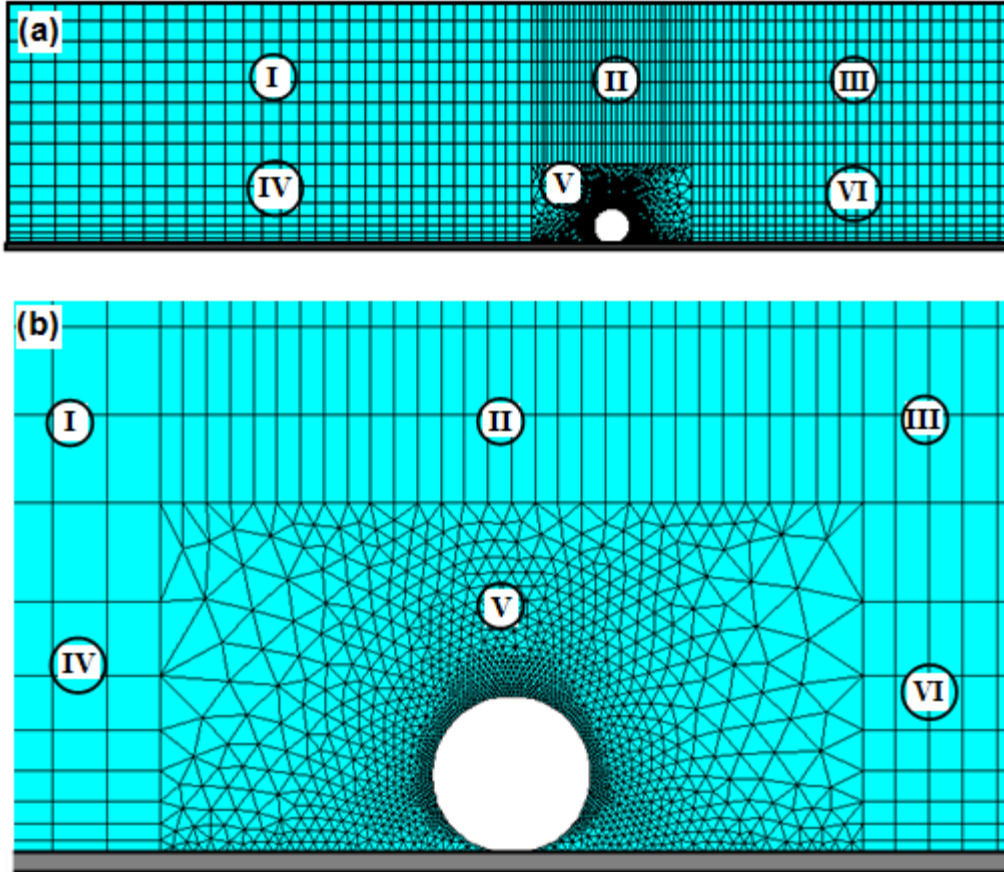
yüksek hassasiyet gerektiren, kanal tabanı ve silindir yüzeyine doğru sıklaştırma yoluna gidilmiştir. I, III, IV ve VI bölgelerindeki hesaplama ağı “x” doğrultusunda silindire doğru sıklaştırılırken, IV ve VI bölgeleri ayrıca “y” doğrultusunda kanal tabanına doğru da sıklaştırılmışlardır.

Şekil 2’de görüldüğü gibi, I, II, III, IV ve VI bölgelerindeki ağ yapısında dörtgen eleman tercih edilirken, V bölgesinde silindirin eğri yüzeyinin dörtgen eleman seçimini zorlaştırması sebebiyle üçgen eleman kullanılmış ve ağ yapısı silindir yüzeyine doğru sıklaştırılmıştır. Şekil 2 (a)’da hesap alanındaki genel ağ yapısı, (b)’de ise silindir etrafında oluşturulan üçgen ağ yapısı görülmektedir.

Yukarıda genel özellikleri verilen hesap ağı ile en uygun sayısal modelin oluşturulması amacıyla farklı eleman yoğunluklarına sahip, dört farklı ağ yapısı oluşturulmuştur. Hesaplama ağları oluşturulurken, silindir etrafındaki akıma etkisinin ihmal edilebilecek boyutta olduğu belirlenen I, II ve III bölgelerindeki eleman sayıları ve sıklaştırma oranları (her bir bölge içerisinde, x veya y doğrultusundaki ilk eleman ile aynı doğrultudaki son eleman boyutunun oranı) sabit tutulmuştur. IV, V ve VI bölgelerinde ise farklı sayıda eleman ve farklı sıklaştırma oranları kullanılmış, böylece farklı yoğunluklu, Ağ 1, Ağ 2, Ağ 3 ve Ağ 4 ağ sistemleri oluşturulmuştur.

Tablo 1’de görüldüğü gibi, I, II ve III bölgeleri “x” doğrultusunda, silindire doğru sıklaştırılarak 30’a, “y” doğrultusunda ise üniform şekilde 8’e bölünerek, bu bölgelerde 30x8 adet eleman kullanılmıştır. Tablo 1’de Ağ 1 için verilen I, II ve III nolu alt hesap bölgelerindeki eleman sayısı, ağ yapısı ve minimum eleman boyutları diğer ağ sistemleri için de aynen geçerlidir. Ağ 1, ağ sisteminin oluşturulmasında IV ve VI bölgeleri de benzer şekilde, silindire doğru, “x” doğrultusunda sıklaştırılarak 30’a, “y” doğrultusunda ise tabana doğru sıklaştırılarak 8 parçaya bölünmüştür. Nispeten daha hassas sonuç elde edilmesi gereken V bölgesinde ise, silindirin eğri yüzeyi sebebiyle, dörtgen eleman seçiminde oluşacak hataları minimize etmek amacıyla, silindir çevresinde daha sık olacak şekilde 2564 adet üçgen eleman kullanılmıştır.

Ağ 2, ağ sisteminde IV ve VI bölgelerinin “y” doğrultusundaki eleman sayıları 16’ya çıkarılmış böylece kanal tabanındaki minimum eleman boyutu 2.2 mm’ye düşürülmüştür. Silindir katı sınırının yakınındaki minimum eleman boyutları (2.47mm) ise aynı kalmıştır. Tablo 1’de görüldüğü gibi, Ağ 2 ile Ağ 3 ağ sistemleri arasında tek fark, silindir çevresinde daha fazla eleman kullanılması (4524 eleman) neticesinde minimum eleman boyutunun 2.47 mm’den 1.45 mm’ye düşmüş olmasıdır. Ağ 4’de ise IV ve VI bölgeleri “y” doğrultusunda 32’ye bölünmüş ve silindir çevresinde ise çok daha sık eleman kullanılmıştır.



Şekil 2. (a) Genel hesap ağı ve (b) silindir etrafındaki üçgen ağ yapısı ((a)The whole mesh system and (b) triangular meshes around the cylinder)

**Tablo 1.** Hesaplama ağlarının genel özellikleri (Main properties of the computational meshes)

	Bölge No	Eleman Sayısı	Ağ Yapısı	Minimum Eleman Boyutları (mm)
Ağ1	I	30x8	Silindire doğru sıkılaştırma	(min $\Delta x, \Delta y$ )= (30.0,50.0)
	II	30x8	Uniform	( $\Delta x, \Delta y$ )=(13.0,50.0)
	III	30x8	Silindire doğru sıkılaştırma	(min $\Delta x, \Delta y$ )=(18.4,50.0)
	IV	30x8	Silindire ve tabana doğru sıkılaştırma	(min $\Delta x, \min \Delta y$ )=(30.0,7.08)
	V	2564	Silindire ve tabana doğru sık	Silindir etrafında $\approx$ (2.47)
	VI	30x8	Silindire ve tabana doğru sıkılaştırma	(min $\Delta x, \min \Delta y$ )=(18.4,7.08)
Ağ2	I-II-III	Eleman sayısı ve yapısı Ağ 1 ile aynı		
	IV	30x16	Ağ yapısı Ağ1 ile aynı	(min $\Delta x, \min \Delta y$ )=(30.0,2.2)
	V	3268		Silindir etrafında $\approx$ (2.47)
	VI	30x16		(min $\Delta x, \min \Delta y$ )=(18.4,2.2)
Ağ3	I-II-III	Eleman sayısı ve yapısı Ağ 1 ile aynı		
	IV	30x16	Ağ yapısı Ağ1 ile aynı	Ağ2 ile aynı
	V	4524		Silindir etrafında $\approx$ (1.45)
	VI	30x16		Ağ2 ile aynı
Ağ4	I-II-III	Eleman sayısı ve yapısı Ağ 1 ile aynı		
	IV	30x32	Ağ yapısı Ağ1 ile aynı	(min $\Delta x, \min \Delta y$ )=(30.0,1.13)
	V	6002		Silindir etrafında $\approx$ (1.2)
	VI	30x32		(min $\Delta x, \min \Delta y$ )=(18.4,1.13)

mıştır. Böylece Ağ 4 için kanal tabanındaki minimum eleman boyutu 1.13mm, silindir çevresinde ise 1.2 mm'ye düşürülmüştür. Çalışmada kullanılan dört ağ yapısının özellikleri Tablo 1 de özetlenmiştir

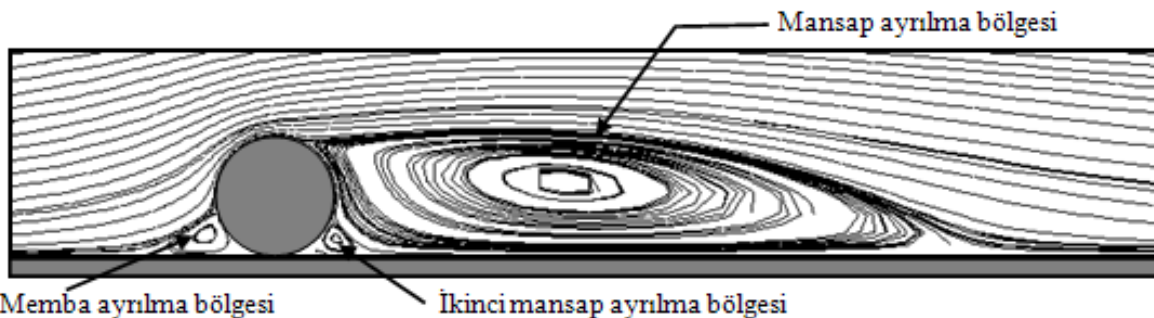
### 3. BULGULAR (RESULTS)

Bu bölümde, ANSYS paket programı kullanılarak, dört farklı ağ yapısı ve iki farklı türbülans modeli ile elde edilen dairesel silindir etrafındaki ayrılmış akım bölgelerinin özellikleri, Hatipoğlu ve Avcı [14]'nın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrılma bölgelerini belirlemede sayısal akım çizgileri kullanılmıştır. Şekil 3'de Ağ 1 için k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılarak elde edilen tabana oturan silindirin memba ve mansabındaki ayrılma bölgeleri görülmektedir. Hatipoğlu ve Avcı [14]'nin bulgularına benzer şekilde silindir membasında ve mansabındaki birincil ayrılma bölgelerinin dışında, mansaptaki geniş ayrılma bölgesi ve silindirle taban arasına sıkışan ikinci bir ayrılma bölgesi olduğu Şekil 3'de görülmektedir.

Tablo 2'de Ağ1, Ağ2, Ağ3 ve Ağ4 için k- $\epsilon$  ve k- $\omega$  türbülans modelleri ile elde edilen dairesel silindir etrafındaki sayısal akım çizgileri kullanılarak belirlenen ayrılma bölgesi uzunlukları görülmektedir.

Tablo 1'de verilen ağ yapıları dikkate alındığında, tabana doğru yapılan sıkılaştırmanın, membadaki ayrılma bölgesi ile mansaptaki ikinci ayrılma bölgesi genişliklerine önemli bir etkiye bulunmadığı, buna karşın mansaptaki ayrılma bölgesi genişliğini artırdığı Tablo 2'de açıkça görülmektedir. Yapılan çalışmada Ağ 4'deki eleman sayısını artırmanın yada sıkılaştırma oranını değiştirmek suretiyle daha sık bir eleman sistemi kullanmanın sonuca etkisinin ihmal edilebilecek boyutta olduğu, ayrıca bilgisayarın hesaplama süresini arttırarak çözüm elde edilmesini zorlaştırdığı belirlenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde Ağ 4 ile k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılarak tabana oturan dairesel bir silindirin membasındaki ayrılma bölgesinin 1.06D, mansaptaki ayrılma bölgesinin 6.4D ve ikincil mansap ayrılma bölgesinin ise 0.7 D olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu sonuçların, aynı akım şartları için Hatipoğlu ve Avcı [14]'nin deneysel bulgularına en yakın sonucu verdiği görülmektedir. Tabana oturan dairesel bir silindir için Ağ 4, ağ sistemi ve k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılarak elde edilen sayısal hesap bulgularının, geçmişte yapılan diğer çalışmalarla da [12, 13] uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Yukarıda verilen bilgiler neticesinde, Ağ 4 ağ sistemi ile k- $\epsilon$  türbülans modelinin, tabana oturan dairesel bir



**Şekil 3.** Ağ1 ile k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılarak elde edilen tabana oturan dairesel silindir için akım çizgileri ve ayrılma bölgeleri (Computed streamlines and the separation regions for the surface mounted circular cylinder using k- $\epsilon$  turbulence model on Mesh 1)

**Tablo 2.** Farklı Ağ yapıları ve türbülans modelleri ile hesaplanan tabana oturan dairesel silindir etrafındaki ayrılma bölgesi uzunlukları (The computed length of the separation region around the surface mounted circular cylinder using different mesh systems and turbulence models)

	Türbülans Modeli	Memba Ayrılma Bölgesi Uzunluğu	Mansap Ayrılma Bölgesi Uzunluğu	İkincil Mansap Ayrılma Bölgesi Uzunluğu
Ağ 1	k-ε	1.04D	5.7D	0.73D
	k-ω	1.3D	6.85D	0.82D
Ağ 2	k-ε	1.02D	6.3D	0.72D
	k-ω	1.2D	7.5D	0.86D
Ağ 3	k-ε	1.09D	6.3D	0.73D
	k-ω	1.3D	7.7D	0.86D
Ağ 4	k-ε	1.06D	6.4D	0.7D
	k-ω	1.4D	7.8D	0.9D

silindir etrafındaki ayrılma bölgelerinin belirlenmesinde en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir. Belirlenen ağ sistemi ve türbülans modeli, tabana oturan ve yarı gömülü, haldeki eliptik bir silindir etrafındaki ayrılma bölgelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

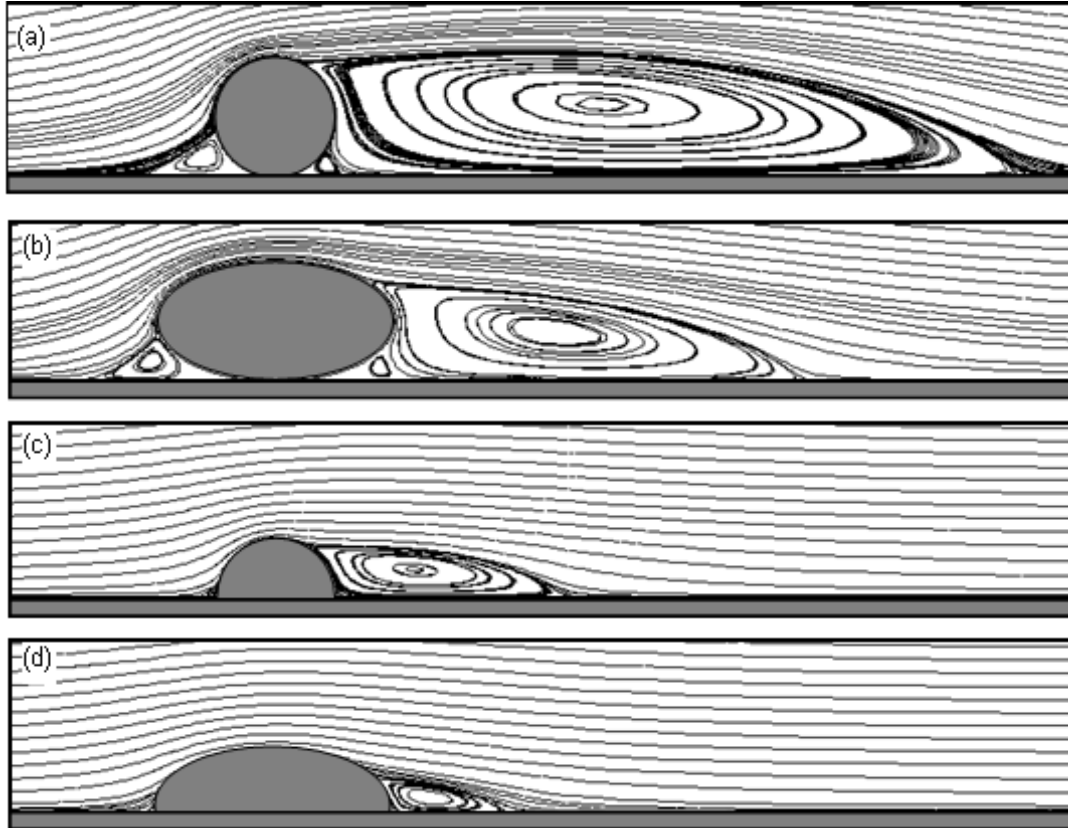
### 3.1. Tabana Oturan ve Yarı Gömülü Eliptik Bir Silindir Etrafındaki Ayrılma Bölgeleri (The Separation Zones Around a Surface Mounted and Semi-Buried Elliptical Cylinder)

Tabana oturan ve yarı gömülü haldeki eliptik bir silindirin memba ve mansabında oluşan ayrılma bölgeleri, Ağ 4 ağ sistemi ve k-ε türbülans modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4'de tabana oturan ve yarı gömülü eliptik silindir etrafındaki akım

çizgileri ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla, düşey yüksekliği ( $D=89\text{mm}$ ) eliptik silindir ile aynı olan dairesel silindir için hesaplanan akım çizgileri verilmiştir.

Şekil 4 (a) ve (b)'de, tabana oturan eliptik silindirin mansabında oluşan ayrılma bölgesi uzunluğunun, dairesel silindir mansabındakine oranla önemli ölçüde küçüldüğü görülmektedir.

Aynı sayısal model kullanılarak tabana oturan dairesel silindir mansabında hesaplanan ayrılma bölgesi uzunluğu  $6.4D$  iken, eliptik silindir için  $4.3D$  olarak hesaplanmıştır. Eliptik silindirin mansabında, dairesel silindire oranla daha küçük bir ayrılma bölgesi oluşmasına karşın, eliptik silindirin eksenel genişliğinin



**Şekil 4.** Tabana oturan (a) dairesel ve (b) eliptik, yarı gömülü (c) dairesel ve (d) eliptik silindir etrafındaki sayısal akım çizgileri (numerical streamlines around the surface mounted (a) circular and (b) elliptical cylinder, partly buried (c) circular and (d) elliptical cylinder.)

( $A/D=2.0$ ) daha büyük olması sebebiyle membada oluşan ayrılma bölgesi ve mansapta oluşan ikincil ayrılma bölgelerinin genişliklerinin dairesel silindire göre yaklaşık  $0.4D$  daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4 (c) ve (d)'de verilen akım çizgileri incelendiğinde, yarı gömülü haldeki dairesel ve eliptik silindir için mansaptaki ikincil ayrılma bölgesinin kaybolduğu görülmektedir. Ayrıca yarı gömülü eliptik silindirinin membasında da ayrılma bölgesi oluşmadığı belirlenmiştir. Dairesel silindir mansabında yaklaşık  $2D$ , membasında ise  $0.25D$ 'lik ayrılma genişlikleri hesaplanırken, yarı gömülü eliptik silindir mansabındaki sayısal ayrılma bölgesi genişliği  $1D$  olarak bulunmuştur.

Ağ 4 ve  $k-\varepsilon$  türbülans modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda tabana oturan dairesel silindir için sürüklenme katsayısının,  $C_D=0.65$ , kaldırma kuvveti katsayısının ise  $C_L=0.51$  olduğu, yarı gömülü dairesel silindir için sürüklenme ve kaldırma katsayılarının  $C_D=0.33$ ,  $C_L=0.12$  şeklinde değiştiği belirlenmiştir. Tabana oturan eliptik silindir için  $C_D=0.37$  ve  $C_L=0.55$  olarak hesaplanırken, yarı gömülü eliptik silindir için ise  $C_D=0.10$  ve  $C_L=0.04$  olarak belirlenmiştir. Şekil 4 (c) ve (d)'de verilen akım çizgileri incelendiğinde, yarı gömülü haldeki dairesel ve eliptik silindir için mansaptaki ikincil ayrılma bölgesinin kaybolduğu görülmektedir. Ayrıca yarı gömülü eliptik silindirinin membasında da ayrılma bölgesi oluşmadığı belirlenmiştir. Dairesel silindir mansabında yaklaşık  $2D$ , membasında ise  $0.25D$ 'lik ayrılma genişlikleri hesaplanırken, yarı gömülü eliptik silindir mansabındaki sayısal ayrılma bölgesi genişliği  $1D$  olarak bulunmuştur.

Ağ 4 ve  $k-\varepsilon$  türbülans modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda tabana oturan dairesel silindir için sürüklenme katsayısının,  $C_D=0.65$ , kaldırma kuvveti katsayısının ise  $C_L=0.51$  olduğu, yarı gömülü dairesel silindir için sürüklenme ve kaldırma katsayılarının  $C_D=0.33$ ,  $C_L=0.12$  şeklinde değiştiği belirlenmiştir. Tabana oturan eliptik silindir için  $C_D=0.37$  ve  $C_L=0.55$  olarak hesaplanırken, yarı gömülü eliptik silindir için ise  $C_D=0.10$  ve  $C_L=0.04$  olarak belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, düzenli akıntı durumunda tabana oturan ve yarı gömülü dairesel bir silindir memba ve mansabında oluşan ayrılma bölgeleri ANSYS® 11 hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı ile sayısal olarak modellenmiştir. Uygun ağ yapısı ve türbülans modelinin belirlenebilmesi amacıyla, farklı ağ yapıları için  $k-\varepsilon$  ve  $k-\omega$  türbülans modelleri ile elde edilen sayısal bulgular, Hatipoğlu ve Avcı [14]'nin yaptıkları çalışma ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu en uygun sonucu verdiği tespit edilen Ağ 4 ağ yapısı ile  $k-\varepsilon$  türbülans modeli, tabana oturan ve yarı

gömülü eliptik bir silindir memba ve mansabında oluşan ayrılma bölgelerinin sayısal olarak belirlenmesinde kullanılmıştır.

Yapılan sayısal incelemeler neticesinde, tabana oturan eliptik ve dairesel silindir mansabında oluşan asıl ayrılma bölgesinin dışında, silindir hem membasında hem de mansabında silindir ve tabana bitişik iki ayrılma bölgesinin daha oluştuğu belirlenmiştir. Yarı gömülü dairesel silindir mansabında silindir ile tabana bitişik haldeki, ikincil ayrılma bölgesinin kaybolduğu, yarı gömülü eliptik silindir için ise mansabındaki asıl ayrılma bölgesinin dışında herhangi bir ayrılma bölgesi oluşmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, hem tabana oturan hem de yarı gömülü durumdaki eliptik silindir mansabında hesaplanan ayrılma bölgesi genişliklerinin dairesel silindir ile karşılaştırıldığında önemli oranda küçüldüğü tespit edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma 107M641 nolu proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir, teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bearman P W, Zdravkovich M M. "Flow Around a Circular Cylinder Near a Plane Boundary", **Journal of Fluid Mechanics**, Vol. 89, 33-47, 1978.
2. Grass A J, Raven P W J, Stuart R J, Bray J A. "The influence of boundary layer velocity gradients and bed proximity on vortex shedding from free spanning pipelines." **Journal of Energy Resources Technology**, Vol. 106, 70-78, 1984.
3. Zdravkovich M M. "Forces on a circular cylinder near a plane wall". **Applied Ocean Research**, Cilt 7, 197-201, 1985.
4. Zdravkovich M M. Flow around circular cylinders, vol. 1. Oxford. **Oxford University Press**, 1997.
5. 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**, Vol. 80: 263-286, 1999.
6. Price S J, Sumner D, Smith J G, Leong K, Paidoussis M P. 2002. "Flow visualization around a circular cylinder near to a plane wall. **Journal of Fluids and Structures**, Vol. 16, No 2, 175-191, 2002.
7. Dipankar A, Sengupta T K. "Flow past a circular cylinder in the vicinity of a plane wall". **Journal of Fluids and Structures**, Cilt 20, 403-423, 2005.
8. Liang D, Cheng L. "Numerical modeling of flow and scour below a pipeline in currents Part I. Flow simulation". **Coastal Engineering**, Vol. 52, 25-42, 2005.

9. Kırkgöz M., S., Öner A., A., “Yatay bir dairesel silindir etrafındaki akımda hız alanının deneysel ve teorik incelenmesi”. **ÇÜ Müh.-Mim. Fak. Dergisi**, Cilt 21, 85-98, 2006.
10. Öner A., A., Kırkgöz M., S., “Düzenli akımda tabana yakın yatay silindir yüzeyinde ve tabanda kayma gerilmesi dağılımlarının deneysel incelenmesi” **ÇÜ Müh.-Mim. Fak. Dergisi**, Cilt 22, 93-106, 2007.
11. Aköz M., S., Öner A., A., Kırkgöz M., S., “Tabana yakın bir silindir etrafındaki akımın farklı türbülans modelleri ile sayısal modellenmesi” **ÇÜ Müh.-Mim. Fak. Dergisi**, Cilt 22, 107-118, 2007.
12. Jensen B., L., “Large scale vortices in the wake of a cylinder placed near a wall.” **Second International Conference on Laser Anemometry**, University of Strathclyde, UK, 1-11, 1987.
13. Brors B., “Numerical modeling of flow and scour at pipelines”. **J. Hydr. Eng.** 125, 511-523, 1999.
14. Hatipoglu F, Avcı I. “Flow around a partly buried cylinder in a steady current”. **Ocean Engineering**; Vol. 30, 239-249, 2003.
15. Ota T., Nishiyama H., Taoka Y. “Heat transfer and flow around an elliptic cylinders in subcritical flow” **AIAA Journal**, Vol. 27, 1771-1779, 1984.
16. Ota T., Nishiyama H., Taoka Y. “Flow around an elliptic cylinder in the critical Reynolds number regime ” **Journal of Fluids Engineering**, Vol. 109, 149-155, 1987.
17. Choi J H, Lee S J. “Ground effect of flow around an elliptic cylinder in a turbulent boundary layer”. **Journal of Fluids and Structures**, Vol. 14: 697-709, 2000.
18. Johnson S., A., Thompson M., C., Hourigan K., “Flow past elliptical cylinders at low Reynolds number”. **14. Australian Fluid Mechanics Conference**, Adelaide University, Australia, 2001.
19. Wilcox D C. Turbulence modeling for CFD. California. **DCW Industries Inc.**; 2000.
20. Wilcox D C. “Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models”. **American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal**, Vol. 26, No 11, 1299-1310, 1988.