



Makale

Başlığın Boru Hattı Etrafındaki Akıma Etkisi

Ahmet Alper ÖNER

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Aksaray

ÖZET

İki boyutlu batmış dairesel silindirler birçok amaçla kullanılan yapı elemanlarıdır. Birçok mühendislik uygulamasında karşılaştığımız kıyı ötesi boru hatlarını bu yapılara örnek olarak gösterebiliriz. Hidrodinamik kuvvetler ya da insanların sebep olduğu zararlardan koruyabilmek amacıyla kıyı ötesi boru hatları deniz tabanına gömülmektedir. Erozyon ya da hareketli deniz tabanının yer değiştirmesi yerel oyulmalara ve dolayısıyla boru hattının kendi kendine gömülmesini sağlayabilmektedir. Oyulmanın oran ve miktarının artırılması amacıyla, boru hattı üzerine başlık (spoiler) olarak adlandırılan, yüzgeç benzeri bir yapı monte edilmesi fikri 20 yıl önce ortaya atılmıştır. O günden bu yana maliyeti azaltmak, stabilizeyi sağlamak ya da vorteks kopması potansiyelini azaltmak amacıyla birçok projede kullanılmaktadır.

Bu çalışma dairesel bir silindir üzerine başlık yerleştirilmesinin akımda sebep olduğu değişiklikler, sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak çalışan ANSYS paket programı ile sayısal olarak çözülmüştür. Boru hattı üzerine başlık yerleştirilmesinin akım alanını büyük ölçüde değiştirdiği, en büyük değişimin basınç dağılımında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boru Hattı, Başlık, Vorteks Kopması, Akım Alanı

GİRİŞ

Katı madde bakımından hareketli bir deniz tabanı üzerine yerleştirilen kıyı ötesi boru hatlarında, tabanda meydana gelen oyulmalar neticesinde, zamanla, boru hattı ile taban arasında boru çapına eşdeğer büyüklüklere varabilen boşluklar oluşabilmekte ve bunun sonucunda, boru hattı deniz tabanına yakın bir mesafede askıda kalabilmektedir. Zaman içerisinde meydana gelen akıntılar, fırtına gibi doğal etkenlerle bu askıda kalma işlemi, kendi kendine taban içerisine gömülme ile sonuçlanabilmektedir.

Kıyı ötesine yerleştirilen boru hatlarını, hidrodinamik kuvvetlerden veya insanların sebep olabileceği zararlardan korumak için tabanda belli derinliklere gömmek gerekmektedir. Boru hattının geçtiği güzergâhta deniz tabanında bir hendek açıp boruyu yerleştirmek ve hendeği doldurarak borunun gömülmesini sağlama işlemlerinin boru hattı maliyetini çok fazla artırması sebebiyle boru hattının gömülmesine alternatif yöntemler araştırılmaktadır.

Daha önce yapılan çalışmalar, bir boru hattının kendi kendine gömülmesini artırmanın ve hızlandırmanın boru hattı üzerine bir başlık yerleştirilerek yapılabileceğini göstermiştir. Boru hattı üzerine başlık yerleştirilmesi yeni bir fikir gibi görünse de arabaların, plakaların, bacaların üzerine başlık yerleştirilmesi işlemi eskiden beri yapılmaktaydı. Bütün bu başlık yerleştirme işlemlerinin ortak amacı cisim etrafındaki akım alanının istenilen şekilde değiştirilmesidir.

Günümüzde birçok projede uygulama alanı bulan boru hattı üzerine başlık yerleştirilmesinin, oluşan oyulma miktarını artırdığı gibi başlıksız bir boru hattına göre 10 kat daha hızlı gömülmeye sebep olduğu bildirilmektedir (1). Bu konuda yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, oyulma miktarı ve hızında meydana gelen artışa sebep olarak, yerleştirilen başlığın neden olduğu blokaj etkisini ve taban ile boru hattı arasındaki akım yoğunluğunun artmasını ana etkenler olarak göstermektedir (1,2,3,4).

Literatür incelendiğinde boru hattı üzerine yerleştirilen başlığın boru hattı etrafındaki akıma etkisinin sistematik olarak incelenmediği ve konu ile ilgili veri yetersizliği görülmektedir. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen veri yetersizliğini gidermek ve başlık yerleştirilmesinin boru hattı etrafındaki akımda neden olduğu değişiklikleri incelemek amacıyla, açık kanal su akımında kanal tabanından 10mm (0.1D, D silindir çapı) yukarıda yatay olarak duran, başlıklı ve başlıksız, pürüzsüz izole silindirler etrafındaki akım sayısal olarak incelenmiştir.

TEMEL DENKLEMLER VE SAYISAL ÇÖZÜM

Silindir etrafındaki iki-boyutlu, düzenli, sıkışmayan, türbülanslı akımda hareketi idare eden, kütle ve momentumun korunumundan elde edilen temel denklemler aşağıdaki gibidir:

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

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

(1) ve (2) denklemlerinde u_i , x_i doğrultusundaki akım hız bileşeni (yani, u ve v olarak yatay (x) ve düşey (y) hız bileşenleri), K_i yer çekiminden kaynaklı kütleli kuvvet, p basınç, μ dinamik viskozite, ρ akışkan yoğunluğu, $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ türbülans kayma gerilmesi (τ_{ij}), ve u'_i ve u'_j yatay ve düşey türbülans hız sapıncıdır.

(2) denklemindeki türbülans kayma gerilmesi bünye denklemi ile verilmiştir:

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

burada η türbülans viskozitesidir.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD-computational fluid dynamics) yöntemleri ile modelleme yapılırken, (3) denklemindeki η türbülans viskozitesinin belirlenmesi için çeşitli türbülans modelleri geliştirilmiştir (6). Bu çalışmada, η türbülans viskozitesinin belirlenmesinde iki denklemlilik türbülans modelleri içerisinde en iyi bilinen, k - ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Bu modelde türbülans viskozitesi, türbülans kinetik enerjisi, k , ve onun kayıp oranına, ϵ , bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (7):

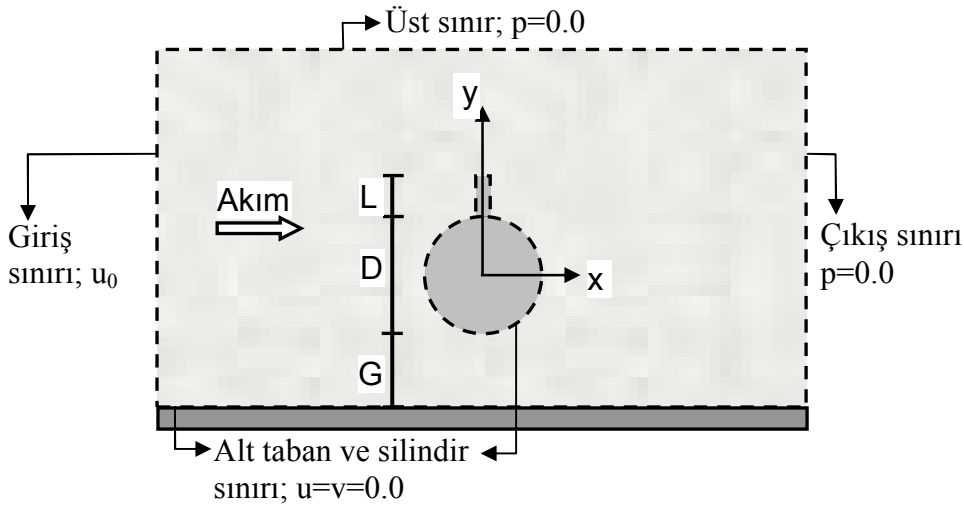
$$\eta = \rho C_\eta \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

(4) denkleminde C_η (=0.09) türbülans sabitidir. k - ϵ modelinde k ve ϵ değerlerinin bulunması için iki adet kısmi diferansiyel transport denkleminin çözümü gerekmektedir.

Çözüm Bölgesi ve Sınır Şartları

Geçirimsiz bir taban yakınına yerleştirilen dairesel bir boru hattı üzerine yerleştirilen başlığın silindir etrafındaki akımda oluşturduğu değişimleri incelemek amacıyla sonlu elemanlar tabanında çalışan ANSYS-Flotran paket programı kullanılmıştır. Hesap yapılan akım alanı ve sınır şartları Şekil 1’de verilmiştir.

Kanal tabanı ve silindir yüzeyi pürüzsüz ve geçirimsiz kabulüyle yatay ve düşey hız $(u,v) = 0$ şartı ile, çıkış ve üst sınırlar ise akımın atmosfere açıldığı düşünülerek basınç $(P) = 0$ şartı ile verilmiştir. Çalışmamızda geçirimsiz tabandan 10mm yüksekliğe yerleştirilen, $D=50\text{mm}$ çapında dairesel bir silindir ve üzerine $L=10\text{mm}$ ’lik $(0.2D)$ bir başlık yerleştirilmesi durumları göz önüne alınarak çözüm yapılmıştır. Silindirin merkezinin kanal başlangıcına ve bitimine olan uzaklığı sırasıyla $30D$ ve $10D$ olarak alınmıştır. Su yüksekliği ise yaklaşık $6.5D$ yüksekliğindedir. Bu uzaklıkların daha fazla olmasının silindir etrafındaki akımın sayısal çözümüne bir etkisinin olmadığı daha önceki çalışmalarda belirtilmektedir [3,5]. Kanal giriş sınırında ise $u_0 = 17$ ve 87 mm/s’lik iki farklı serbest akım hızı verilmiştir ki bu serbest akım hızlarına denk gelen silindir çapına bağlı Reynolds sayıları $(Re_D = u_0 D / \nu)$ 840 ve 4150 olmaktadır.



Şekil 1. Sayısal hesaplama bölgesi ve sınır şartları

ANSYS-Flotran HAD paket programı kullanılarak başlıklı ve başlıksız silindir etrafındaki akım alanları çözülmüştür. Böylece silindir üzerine başlık yerleştirilmesi durumunda silindir etrafındaki hız ve basınç dağılımlarında meydana gelen değişimlerin karşılaştırılması ve literatürde bahsedilen; başlığın oyulma miktar ve hızını artırma mekanizmasının sebeplerinin incelenmesi sağlanmıştır.

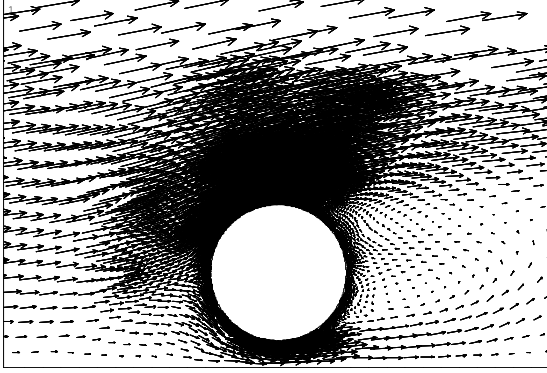
Şekil 1’de tanımlanan çözüm bölgesi için, başlıklı ve başlıksız boru hattı etrafında aynı yoğunluklu sonlu elemanlar hesap ağı oluşturulmuştur. Böylece iki farklı durum için elde edilen sayısal çözümlere ağ yapılarının etki etmemesi sağlanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

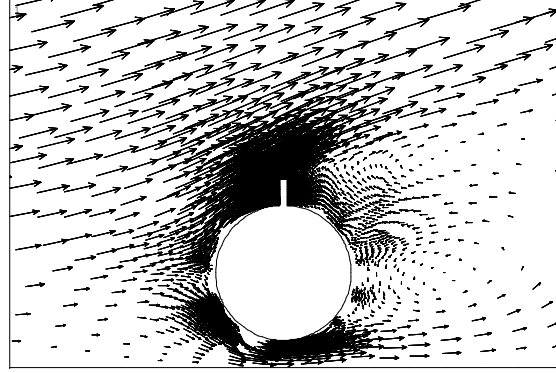
Bu bölümde, ANSYS paket programı kullanılarak, başlıklı ve başlıksız boru hattı durumları için yapılan modellemelerden elde edilen sayısal hesaplama bulguları karşılaştırılmıştır.

Akım Görünümü

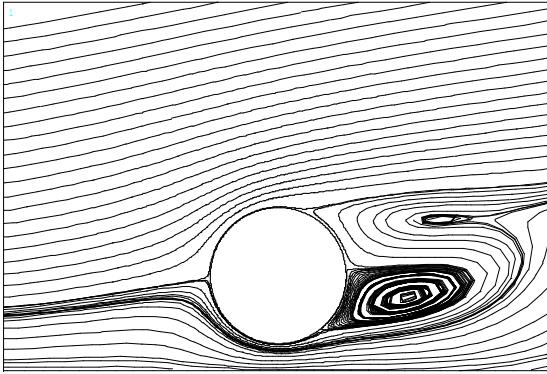
(a) Başlıksız vektör alanı



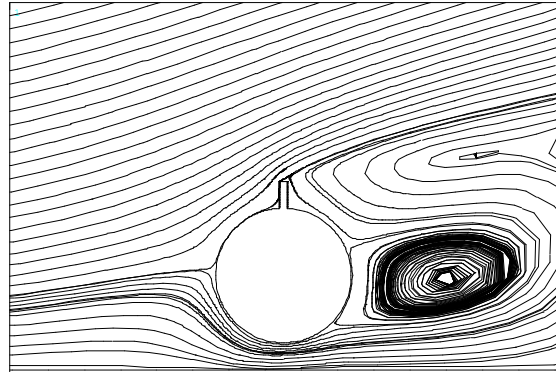
(b) Başlıklı vektör alanı



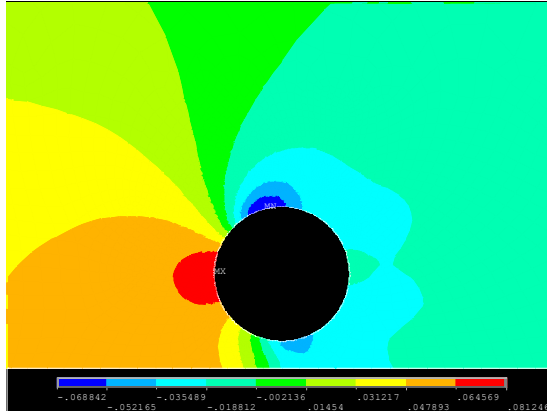
(c) Başlıksız akım çizgileri



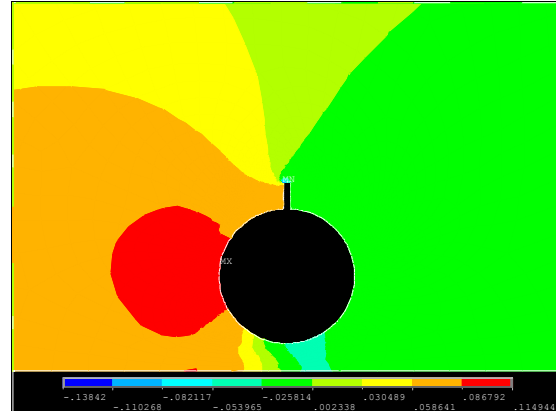
(d) Başlıklı akım çizgileri



(e) Başlıksız basınç alanı



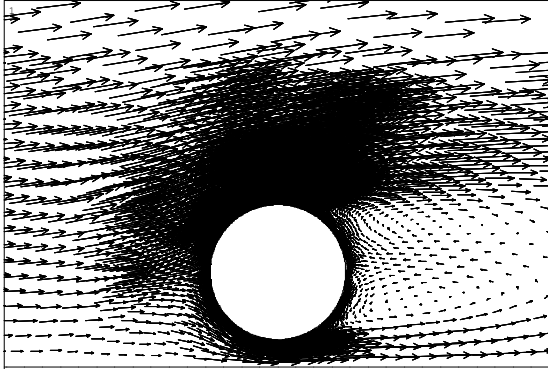
(f) Başlıklı basınç alanı

Şekil 2. $Re_D=840$ için silindir etrafındaki akım alanı

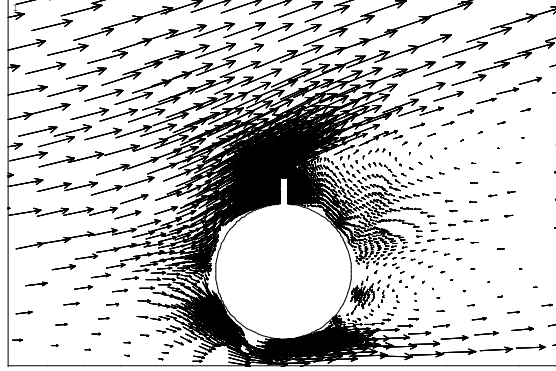
Şekil 2 ve 3'te iki farklı Reynolds sayısı için başlıklı ve başlıksız silindir etrafındaki akım alanı görülmektedir. Verilen vektör alanı ve akım çizgileri silindir üzerine başlık yerleştirilmesi durumunda silindir önünde oluşan durma noktasının yukarı kaydığını, benzer şekilde silindir kuyruğunun da yukarı doğru yönlendiği ve genişliğinin arttığını göstermektedir. Silindir kuyruğunun yukarıya yönelmesinin silindir ile taban arasındaki boşluktan geçen akım yoğunluğunun artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca başlık yerleştirilmesinin silindir alt ve üst yüzeylerinden kopan vorteks merkezlerinin mesafelerini artırdığı görülmektedir. Şekil 2 ve 3'teki vektörler incelendiğinde başlığın varlığının, silindirin hemen membasındaki hız vektörlerinin yatayla yaptığı açığı artırarak tabana doğru yönlendirdiği görülmektedir.

Şekil 2 ve 3'te verilen silindir üzerinde bir başlık olması veya olmaması durumları arasındaki en belirgin farklılığın basınç alanlarında olduğu görülmektedir. Başlık yerleştirilmesi durumunda başlıksız silindir üzerinde oluşan minimum basınç oluşmamakta ve öndeki basınç yoğunluğu artmaktadır. Bu durum silindir itki ve kaldırma kuvvetlerinin değişmesi anlamına gelmektedir.

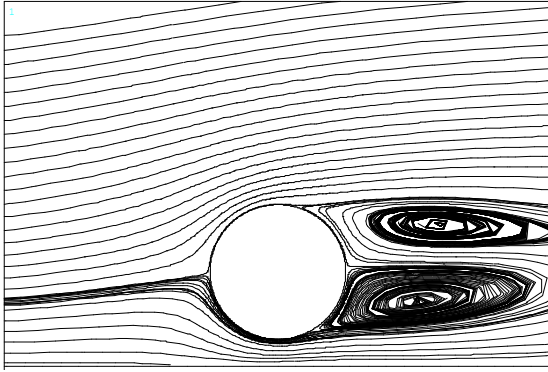
(a) Başlıksız vektör alanı



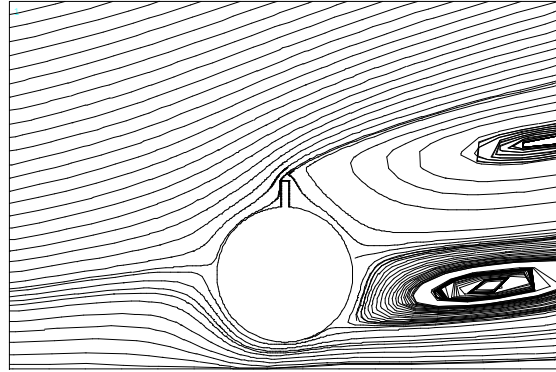
(b) Başlıklı vektör alanı



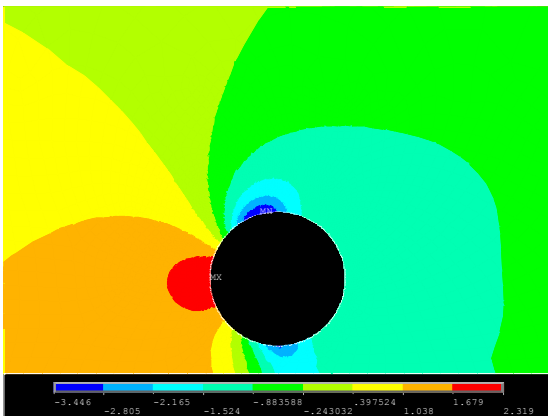
(c) Başlıksız akım çizgileri



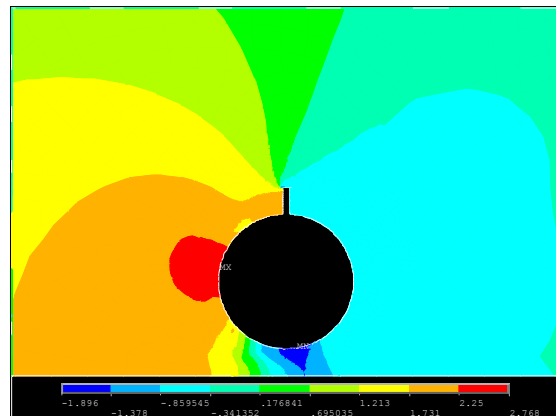
(d) Başlıklı akım çizgileri



(e) Başlıksız basınç alanı



(f) Başlıklı basınç alanı

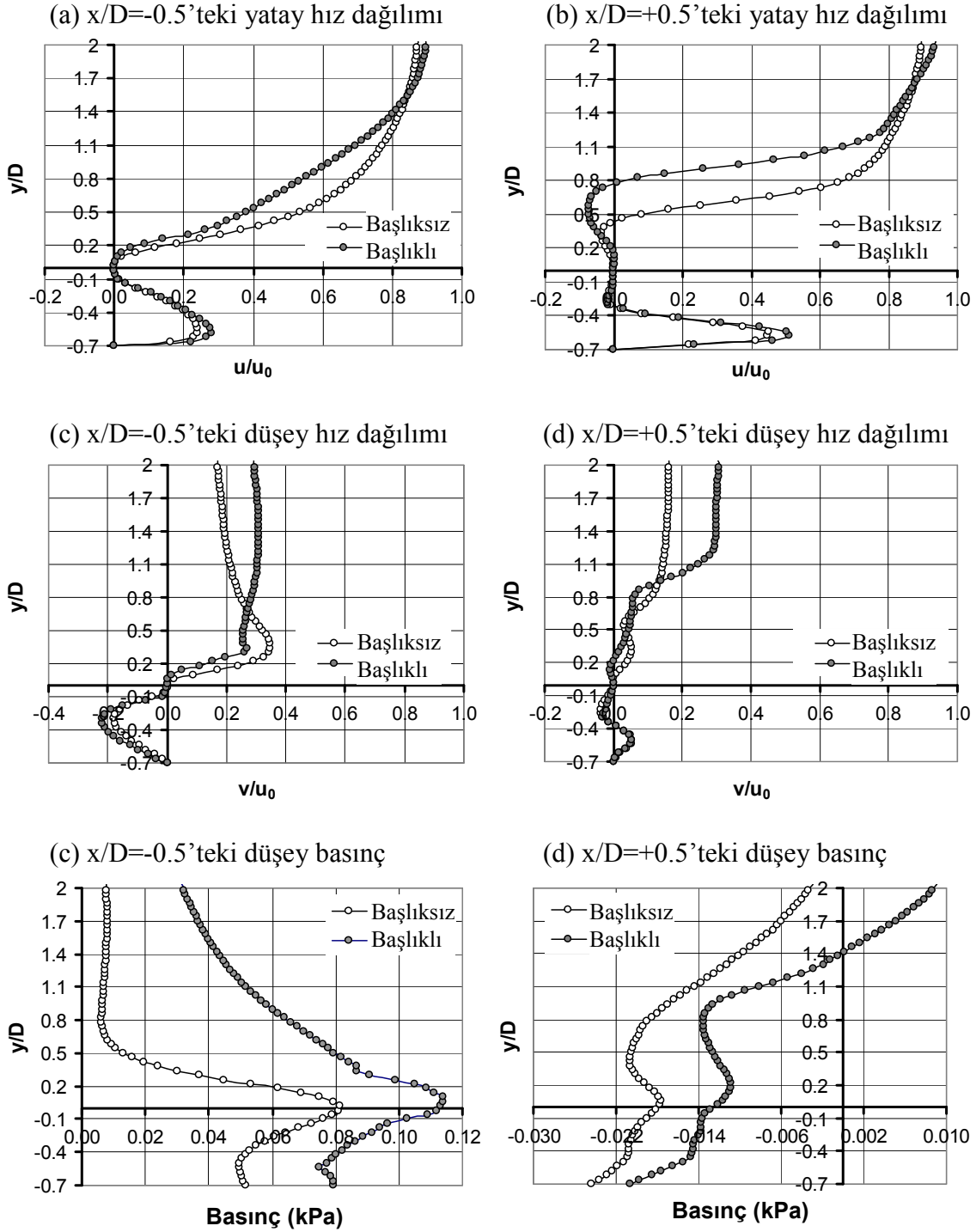


Şekil 3. $Re_D=4150$ için silindir etrafındaki akım alanı

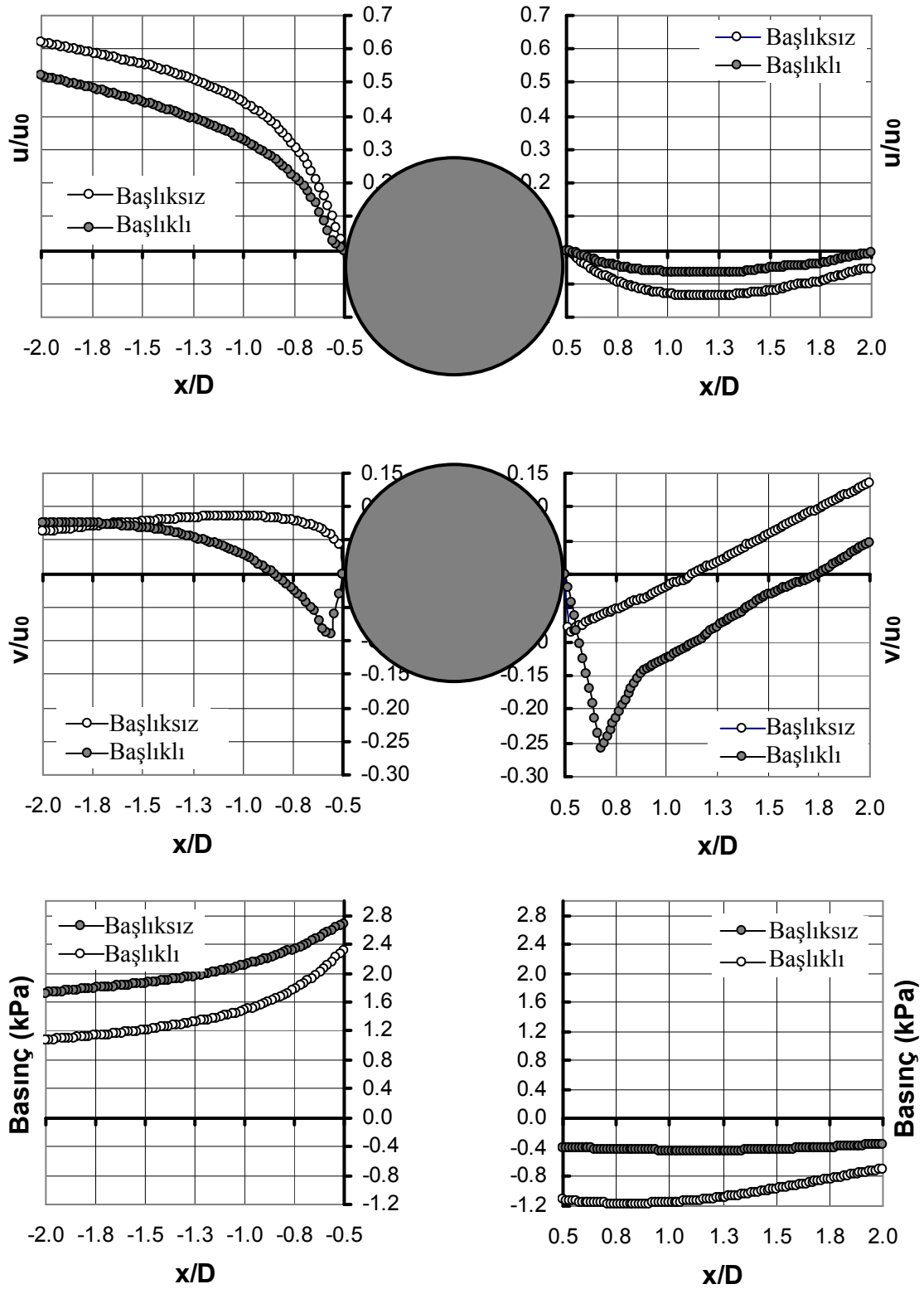
Silindir Etrafında Hız ve Basınç Dağılımları

Bir önceki bölümde genel çerçevede irdelenen silindir etrafındaki akım karakteristikleri, bu bölümde silindir memba ve mansabındaki belirli kesitlerde incelenmiştir. Silindirin hemen membasındaki $x/D=-0.5$ kesiti, hemen mansabındaki $x/D=+0.5$ kesiti ile silindir yatay ve düşey merkez eksenlerinden geçen, boyutsuz yatay ve düşey hız dağılımlarının yanı sıra aynı kesitlerdeki basınç dağılımları verilmiştir.

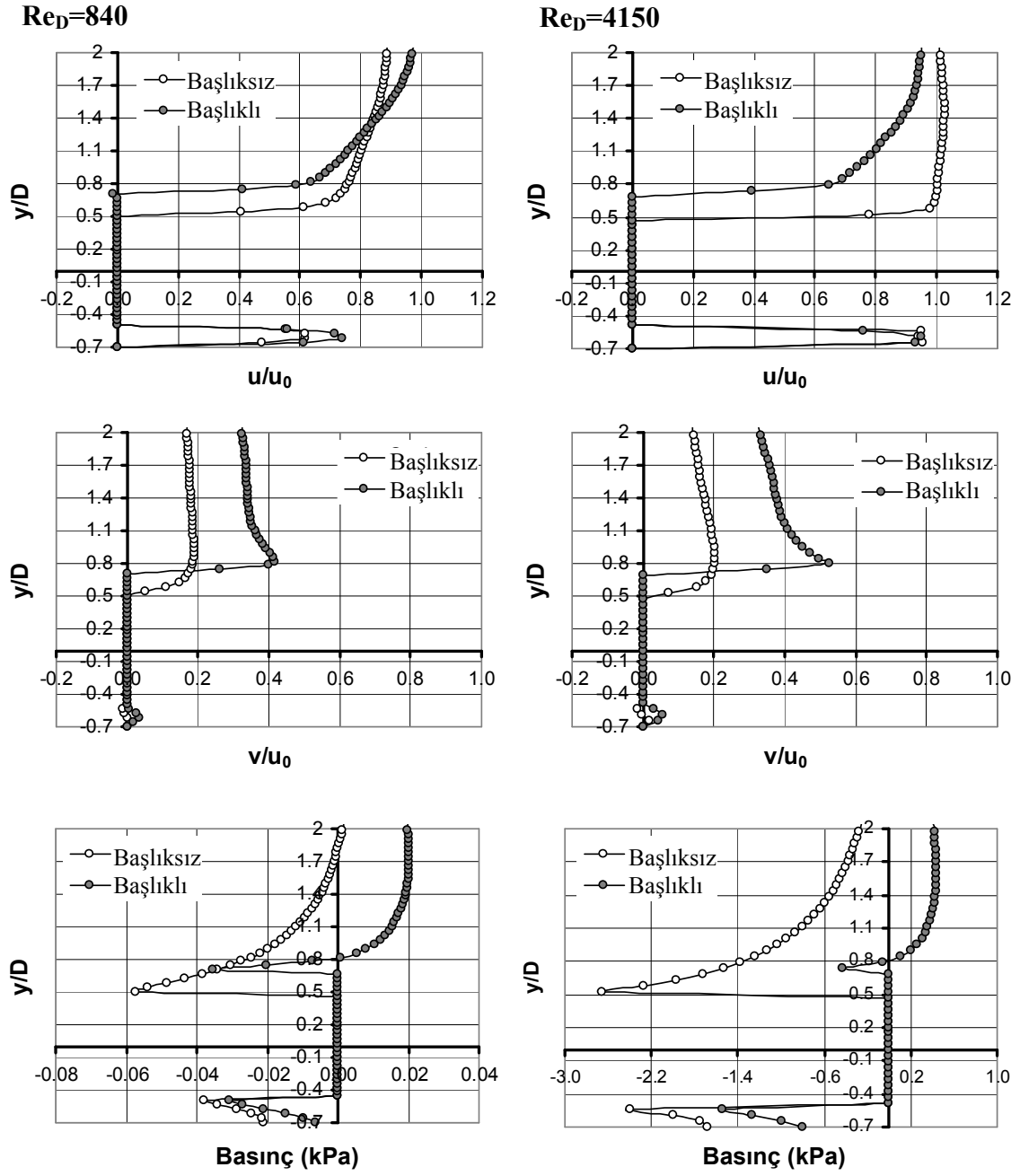
Başlığın varlığının boşluktan geçen yatay hız dağılımına etkisinin çok fazla olmadığı, buna karşın düşey hız dağılımında, özellikle de silindir membasındaki $x/D=-0.5$ kesiti ile silindir merkezinin düşey ekseninde, artış gözlemlenmiştir. $x/D=-0.5$ kesitindeki düşey hız dağılımının negatif yöndeki artışı akımın boşluğa yöneldiğini ve hız vektörlerinin tabana doğru daha dik bir açı olarak ilerlediğini göstermektedir. Bu artışın $x/D=0.0$ kesitinde pozitif yönde devam ettiği Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 4, Şekil 5, Şekil 7 ve Şekil 8'de görüldüğü gibi, silindir üzerine başlık yerleştirilmesi silindir memba ve mansabındaki basınç dağılımlarını önemli ölçüde değiştirmektedir. Başlık olması silindir membasında basıncı artırırken mansap basıncını azalmaktadır ki bu da itki kuvvetinin değiştiğinin bir göstergesidir. Ayrıca silindir üst yüzeyindeki basıncın önemli oranda azalması da kaldırma kuvvetinin değişeceğini göstermektedir.



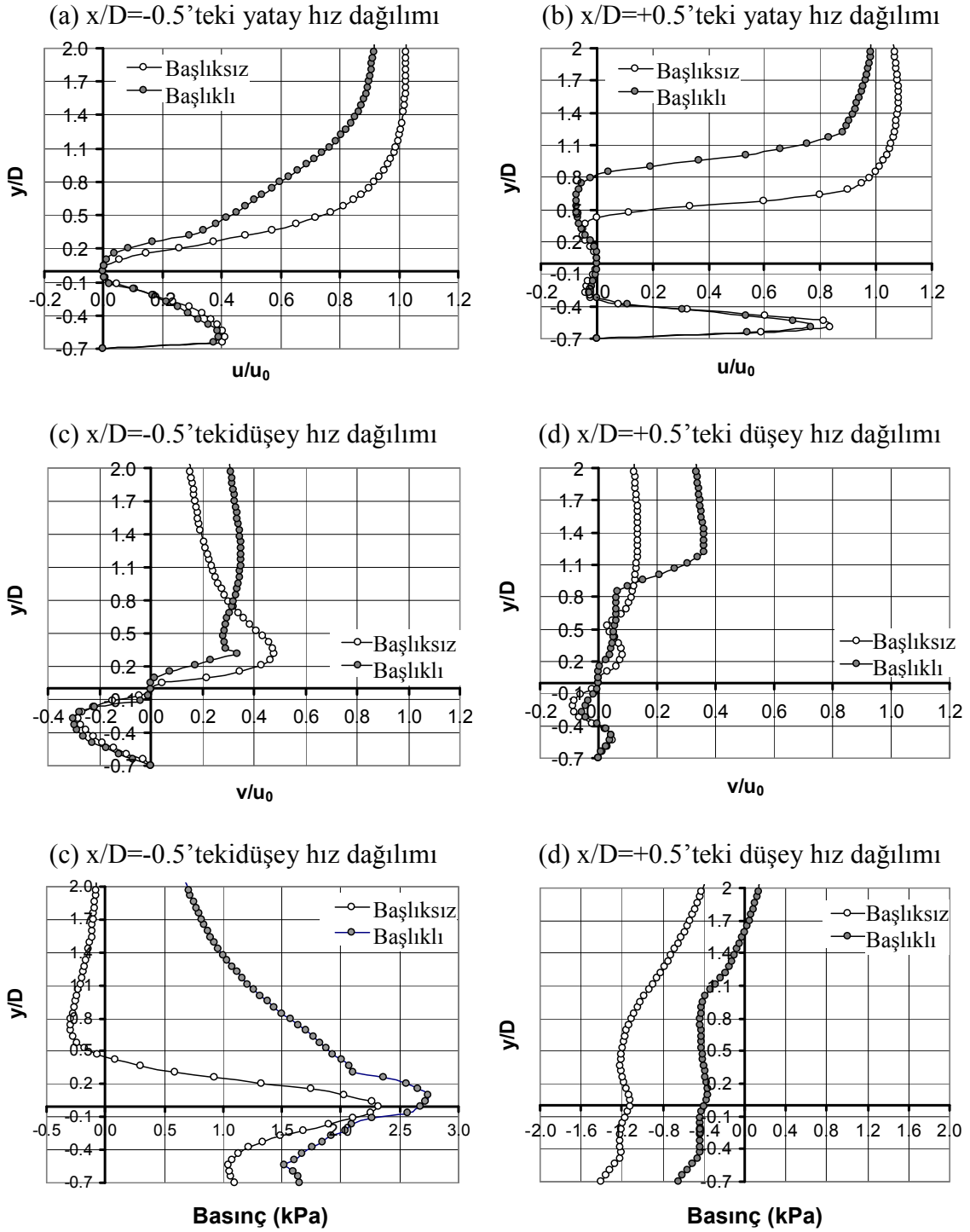
Şekil 4. $Re_D=840$ için silindir memba ve mansabında, başlıklı ve başlıksız durumlar için yatay ve düşey hız ile basınç dağılımlarının değişimleri



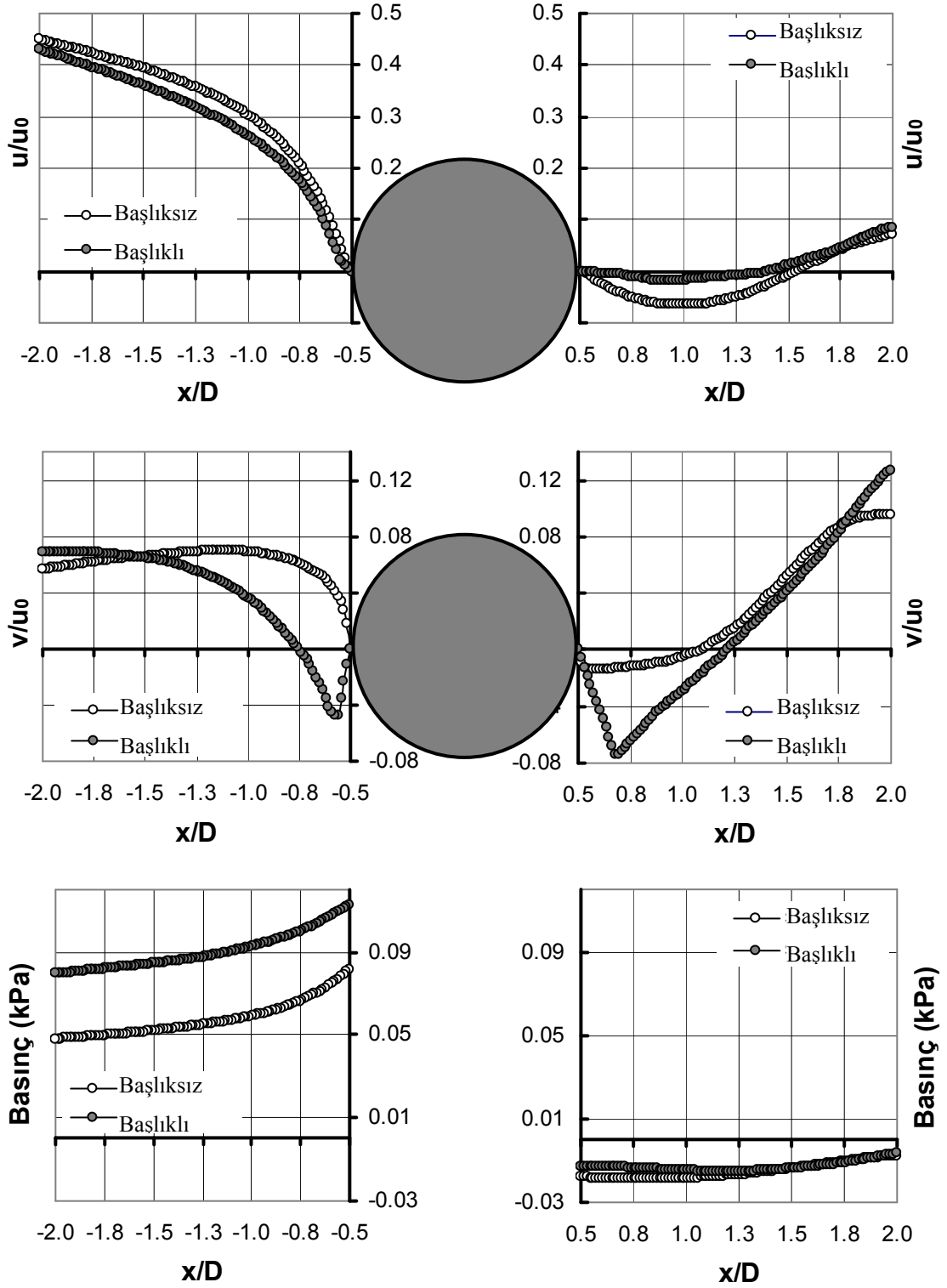
Şekil 5. $Re_D=840$ için silindir merkez eksenini doğrultusundaki yatay ve düşey hız ile basınç dağılımlarının değişimleri



Őekil 6. $Re_D=840$ ve $Re_D=4150$ için silindir dűőey merkez eksenine dođrultusundaki yatay ve dűőey hız ile basınç dađılımlarının deđiŐimleri.



Şekil 7. $Re_D=4150$ için silindir memba ve mansabında, başlıklı ve başlıksız durumlar için yatay ve düşey hız ile basınç dağılımlarının değişimi



şekil 8. $Re_D=4150$ için silindir merkez eksenini doğrultusundaki yatay ve dűşey hız ile basınç dağılımlarının değişimleri

SONUÇLAR VE TARTIşMA

Bu çalışmada silindir çapına bağlı Reynolds sayısının $Re_D=840$ ve 4150 değerlerinde, tabandan $0.1D$ yűkseklie yerleştirilen bir silindir űzerine yine $0.1D$ yűkseklinde başlık yerleştirilmesinin silindir etrafındaki akımda meydana getirdiği değişimler, sonlu elemanlar tabanında alışan Ansys-Flotran paket programını ile sayısal olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışma sonucu, silindir üzerine başlık yerleştirilmesinin vorteks merkezlerinin birbirine olan uzaklıklarını artırdığı, dolayısıyla silindir kuyruk uzunluğunu ve genişliğini büyüttüğü ve kuyruğu yukarı doğru yönlendirdiği tespit edilmiştir. Silindir kuyruğunda oluşan bu değişimin vorteks kopması frekansını etkileyeceği dolayısıyla Strouhal sayısını değiştirerek farklı yanal kuvvetlerin oluşmasına yol açacağı açıktır. Başlığın varlığının silindir membasındaki basınç yoğunluğunu artırması, silindir mansabında ise azalan basınç, silindire gelen itki kuvvetinin arttığı bir göstergesidir. Basınç dağılımları incelendiğinde silindire bir başlık monte edilmesi durumunda kaldırma kuvvetinin de önemli şekilde değiştiği görülmektedir.

Silindir etrafındaki farklı kesitler de verilen hız dağılımları incelendiğinde, başlığın silindir ile taban arasındaki akım hızını, özellikle de düşey hızı, artırdığı tespit edilmiştir. Ancak Re_D sayısı arttıkça hızdaki bu artış azalmaktadır. Başlığın oyulmayı artırmasına en büyük etkenin, akım hızındaki bu artış olduğu tahmin edilmektedir. Elde edilen bulgular literatürdeki bilgiler ile uyum içerisinde.

Farklı boşluk oranları, farklı başlık uzunlukları ve farklı Reynolds sayıları ile yapılacak teorik ve deneysel çalışmaların problem hakkında daha fazla bilgi sahibi olunabilmesi için gerekli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca başlık yerleştirilmesi her ne kadar oyulma miktar ve hızını artırsa da, silindir etrafında sebep olduğu basınç, dolayısıyla kuvvet dengesindeki değişimler dikkate alınarak boru hattının tasarımının yeniden gözden geçirilmesi gerekliliği unutulmamalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir (Proje No: 107M641).

KAYNAKLAR

1. HULSBERGEN,C.H., BIJKER,R., “Effect of spoilers on submarine pipeline stability”, OTC 4467, 171-178, 1989
2. CHIEW, Y.M., , “Effect of spoilers on scour at submarine pipelines”, J. Hydraul. Eng. ASCE 118 (9), 1311-1317, 1992
3. CHENG, L., CHEW, L.W., “Modelling of flow around a near bed pipeline with spoiler”, Ocean Engineering,30, 1595-1611, 2003
4. SÜMER, B., FREDSOE, M., “Hydrodynamics around Cylindrical Structures”, World Scientific, Singapore, 1997
5. LEI, C., CHENG, L., KAVANAGH, K., “Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vorteks shedding of a circular cylinder”, J. Wind Engineering an İnd. Aerodynamics, 80, 263-286, 1999
6. WILCOX, D. C., “Turbulence Modeling for CFD”, DCW Industries, Inc., California, 2000.
7. LAUNDER, B. E., SPALDİNG, D. B., “The numerical computation of turbulent flows”, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3, 269-289, 1974.