



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SPOİLER ETKİLİ DAİRESEL KESİTLİ YATAY ELEMANLAR
ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ**

HALİL CEBECİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY

Eylül - 2013



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SPOİLER ETKİLİ DAİRESEL KESİTLİ YATAY ELEMANLAR
ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ**

HALİL CEBECİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY

Eylül - 2013

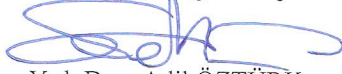
TC
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SPOİLER ETKİLİ DAİRESEL KESİTLİ YATAY ELEMANLAR
ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL VE SAYISAL İNCELENMESİ**

Halil CEBECİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yrd. Doç. Dr. N. Adil ÖZTÜRK danışmanlığında hazırlanan bu tez 11/09/2013 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Adil ÖZTÜRK
Başkan


Doç. Dr. Ahmet YAPICI
Üye


Doç. Dr. Azize AKÇAYOĞLU
Üye

Bu tez Enstitümüz Makina Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:676

Doç. Dr. İsmail Hakkı KARAHAAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, sekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

16.09.2013

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılmayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Halil CEBECİ

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Spoilersiz Silindir	4
2.2. Spoilerli Silindir	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. MATERYAL.....	8
3.2. PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇÜM TEKNİĞİ (PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY (PIV)) İLE HIZ ÖLÇÜMÜ	10
3.3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD).....	12
3.4. KORUNUM DENKLEMLERİ.....	12
3.5. SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIŞIN MATEMATİKSEL FORMÜLLERİ	13
3.5.1. Dairesel Kesitli Borularda Reynolds Sayısı	13
3.5.2. Türbülans Parametrelerinin Belirlenmesi	13
3.5.2.1. Türbülans Yoğunluğu	14
3.5.2.2. Türbülans Uzunluk Skalası ve Hidrolik Çap	14
3.5.2.3. Türbülans Kinetik Enerjisinin Türbülans Yoğunluğu İle Hesaplanması	14
3.5.2.4. Türbülans Yayılımının Türbülans Uzunluk Skalası İle Hesaplanması	15
3.5.2.5. Spesifik Dağılım Oranının Türbülans Uzunluk Skalası İle Hesaplanması	15
3.6. KANAL İÇERİSİNDE SPOILERSİZ VE SPOİLERLİ SİLİNDİR GEOMETRİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI	15
3.7. SINIR ŞARTLARI.....	17
3.7.1. Nümerik Hesap Ağı.....	20
3.8. NÜMERİK SONUÇLAR	22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	23

4.1. Deneysel Bulgular	23
4.2. Sayısal Sonuçlar	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR	103
TEŞEKKÜR	106
ÖZGEÇMİŞ	107

ÖZET

**SPOİLER ETKİLİ DAİRESEL KESİTLİ YATAY ELEMANLAR
ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL VE SAYISAL
İNCELENMESİ**

Küt dairesel cisimler üzerindeki akışlar hem deneysel hem de sayısal çalışmalar son yıllarda önemli bir araştırma konusu olmuştur. Silindirik elemanlar etrafındaki akımın yapısı akışın hızına, derinliğine, akışkanın viskozitesine, silindirik yapının şekil ve boyutlarına, silindirin akış içerisindeki konumuna ve silindirin katı sınırına olan uzaklığına bağlı olarak değişmektedir. Bu deneysel çalışmada $D=50$ mm çapında ve yatay platform üzerinden 130mm ($G=130$) mesafedeki silindirik yapının boşluk oranı $G/D= 2.6$ değerine sahip küt, spoilerli dairesel silindir üzerinde oluşan akış yapısı, serbest akış hızı ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısının $Re_d=750, 1500, 4000, 9600$ değerlerinde, PIV tekniği kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre spoiler etkisiyle silindir tabanında oluşan girdap etkisi özellikle yüksek Reynolds sayılarında önemli ölçüde artmış ve taban oyulmalarını arttırmak amacıyla spoiler kullanımının faydası görülmüştür. Ancak yüksek Reynolds sayılarında taban oyulması sağlanırken, aynı zamanda spoiler arkasında kavitasyon meydana geldiğinden dolayı, Reynolds sayısına bağlı olarak spoiler'in geometrik yapısının değiştirilmesinin uygun olduğu önerilmiştir. Elde edilen deney bulguları Fluent Paket programı ile de çözümlenmiş ve spoilersiz silindir için $Re_d=4000$ değerine kadar standart $k-\omega$ türbülans modeli, $Re_d=4000$ ve yukarısı hız değerleri için sst $k-\omega$ türbülans modelinin uygunluğu görülmüştür. Spoilerli silindir için ise $Re_d=4000$ hız değerine kadarki hızlarda sst $k-\omega$, $Re_d=4000$ ve yukarısı hız değerleri için ise standart $k-\omega$ türbülans modeli önerilmiştir.

2013, 107 sayfa

Anahtar Sözcükler: Dairesel Silindir, Spoiler, Boru Hatları, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV), Girdap

ABSTRACT**SPOİLER ETKİLİ DAİRESEL KESİTLİ YATAY ELEMANLAR
ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL VE SAYISAL
İNCELENMESİ**

Flow past a cylinder is widely investigated on both numerical and empirical studies in recent years. It is known that, flow structure around cylindrical objects depends on flow velocity, depth, viscosity, shape and dimensions of the cylindrical body, position of the cylinder on a flow regime, distance between the cylinder and the solid boundary. In this, study, the diameter of the cylinder is $D=50$ mm and the vertical distance between the cylinder, the horizontal platform is 130 mm ($G=130$), and the gap ratio is $G/D=2.6$. The experiments were performed by using the PIV technique for the Reynolds number ($Re_d=750, 1500, 4000, 9600$) based on the cylinder diameter and the free stream velocity. The results showed that the cavitation effects were significantly reduced at low Reynolds number conditions. When the Reynolds number is increased, the cavitation also occurred upstream of the cylinder. While base engrave was possible at greater Reynolds numbers, cavitations occurred behind the spoiler. Thus it's advised that the geometric structure of the spoiler should be changed depending on the Reynolds number. The experimental results were analyzed numerically with the Fluent software and it was found that for the Reynolds number up to 4000, the standard $k-\omega$ turbulence model and for the Reynolds number greater than 4000, the sst $k-\omega$ turbulence model were seemed to be appropriate based on the error estimation. For the cylinder with spoiler, it is advised that the sst $k-\omega$ model is promising for the Reynolds number up to 4000, whereas standard $k-\omega$ turbulence model for is promising for the Reynolds number greater than 4000.

2013, 107 pages

Keywords: Circular Cylinder, Spoiler, Pipelines, Particular Image Velocimetry Technique (PIV), Vorticity

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
Q	: Kütleli Debi
A	: Alan
V	: Hız
Re	: Reynolds Sayısı
Pr	: Prandtl Sayısı
ρ	: Yoğunluk
u_{ort}	: Ortalama Hız
μ	: Dinamik Viskozite
$L=D_H$	: Hidrolik Çap
I	: Türbülans Yoğunluğu
ℓ	: Türbülans Uzunluk Skalası
k	: Türbülans Kinetik Enerjisi
ε	: Türbülans Yayılımı
ω	: Spesifik Dağılıma Oranı
C_μ	: Türbülans Model Sabiti
u, v ve w	: x, y ve z yönlerinde hız alanı bileşenleri
x, y ve z	: Kartezyen koordinatları sistemi
P	: Basınç
τ_{ij}	: Gerilme Tensörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Silindir etrafındaki akışta oluşan ayrılma, tekrar birleşme noktaları; ayrılma ve karışma bölgesinin şematik gösterimi (Arat, 2010)	3
Şekil 2.1. Silindir üzerindeki akış yapısının PIV tekniği ile elde edilmiş görüntüsü (Öztürk, 2006)	6
Şekil 3.1. Deney düzeğinin katı modeli	9
Şekil 3.2. Deney düzeneği ölçüm alanı ölçekli gösterimi	9
Şekil 3.3. Ölçüm için kullanılan elemanlar	11
Şekil 3.4. Kanal içerisine yerleştirilmiş spoilerli silindir geometrisi	16
Şekil 3.5. Platform üzerine yerleştirilen spoilerli silindir geometrisi ölçüleri	16
Şekil 3.6. Sınır şartlarının geometride gösterimi	17
Şekil 3.7. Hesap ağı yapısının ekran görünümü	20
Şekil 3.8. Hesap ağı özellikleri	21
Şekil 3.9. Orthogonal Quality değer tablosu	21
Şekil 3.10. Silindir etrafında elde edilen ağ yapısı	22
Şekil 4.1. Silindir üzerinden geçen akım yönü	23
Şekil 4.2. $G/D=2.6$ değerindeki spoilersiz silindir arkasında elde edilen hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, girdap konturu $\langle \omega \rangle$	25
Şekil 4.3. Spoilerli silindir arkasında oluşan akış yapısı (A- hız vektörü $\langle V \rangle$, B- akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, C- girdap konturu $\langle \omega \rangle$ ($G/D=2.6$ $Re_d=750$))	26
Şekil 4.4. Spoilersiz silindir merkez çizgileri boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=750$)	27
Şekil 4.5. Spoilerli silindir merkez çizgileri boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=750$)	28
Şekil 4.6. Spoilerli silindir arkasında oluşan akış yapısı (A- hız vektörü $\langle V \rangle$, B- akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, C- girdap konturu $\langle \omega \rangle$ ($G/D=2.6$ $Re_d=1500$))	29
Şekil 4.7. Spoilersiz silindir merkez çizgileri boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=1500$)	30
Şekil 4.8. Spoilerli silindir merkez çizgileri boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=1500$)	30
Şekil 4.9. Spoilerli silindir arkasında oluşan akış yapısı (A- hız vektörü $\langle V \rangle$, B- akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, C- girdap konturu $\langle \omega \rangle$ ($G/D=2.6$ $Re_d=4000$))	31
Şekil 4.10. Spoilersiz silindir merkez çizgisi boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=4000$)	32
Şekil 4.11. Spoilerli silindir merkez çizgisi boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=4000$)	32
Şekil 4.12. Spoilerli silindir arkasında oluşan akış yapısı (A- hız vektörü $\langle V \rangle$, B- akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, C- girdap konturu $\langle \omega \rangle$ ($G/D=2.6$ $Re_d=9600$))	33
Şekil 4.13. Spoilersiz silindir merkez çizgisi boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=9600$)	34
Şekil 4.14. Spoilerli silindir merkez çizgisi boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=9600$)	34

Şekil 4.15. Laminar çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$).....	35
Şekil 4.16. Laminar çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$)	36
Şekil 4.17. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$)	36
Şekil 4.18. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$).....	37
Şekil 4.19. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$).....	37
Şekil 4.20. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$)	38
Şekil 4.21. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$).....	38
Şekil 4.22. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$).....	39
Şekil 4.23. Standart $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$).....	39
Şekil 4.24. Standart $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$).....	40
Şekil 4.25. Sst $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$)	40
Şekil 4.26. Sst $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$).....	41
Şekil 4.27. Laminar çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$).....	42
Şekil 4.28. Laminar çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$).....	42
Şekil 4.29. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$).....	43
Şekil 4.30. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$).....	43
Şekil 4.31. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$).....	44
Şekil 4.32. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$).....	44
Şekil 4.33. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$).....	45
Şekil 4.34. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$).....	45
Şekil 4.35. Standart $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$).....	46
Şekil 4.36. Standart $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$).....	46
Şekil 4.37. Sst $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$)	47
Şekil 4.38. Sst $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$)	47
Şekil 4.39. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$)	48
Şekil 4.40. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$).....	49
Şekil 4.41. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$).....	49
Şekil 4.42. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$).....	50

Şekil 4.43. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$).....	50
Şekil 4.44. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$).....	51
Şekil 4.45. Standart $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$).....	51
Şekil 4.46. Standart $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$).....	52
Şekil 4.47. Sst $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$).....	52
Şekil 4.48. Sst $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$).....	53
Şekil 4.49. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$).....	54
Şekil 4.50. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$).....	54
Şekil 4.51. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$).....	55
Şekil 4.52. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$).....	55
Şekil 4.53. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$).....	56
Şekil 4.54. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$).....	56
Şekil 4.55. Standart $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$).....	57
Şekil 4.56. Standart $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$).....	57
Şekil 4.57. Sst $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$).....	58
Şekil 4.58. Sst $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$).....	58
Şekil 4.59. Spoilersiz silindir laminar model silindir arkası görüntü, MSE=0.15 ($Re_d=750$).....	60
Şekil 4.60. Spoilersiz silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.087 ($Re_d=750$).....	60
Şekil 4.61. Spoilersiz silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.094 ($Re_d=750$).....	61
Şekil 4.62. Spoilersiz silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.091 ($Re_d=750$).....	61
Şekil 4.63. Spoilersiz silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.177 ($Re_d=750$).....	62
Şekil 4.64. Spoilersiz silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.03 ($Re_d=750$).....	62
Şekil 4.65. $Re_d=750$ sst $k-\omega$ modeli spoilersiz silindir anlık görüntüleri (30s).....	63
Şekil 4.66. Spoilersiz silindir laminar model silindir arkası görüntü, MSE=0.014 ($Re_d=1500$).....	65
Şekil 4.67. Spoilersiz silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.037 ($Re_d=1500$).....	65

Şekil 4.68. Spoilersiz silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.032 ($Re_d=1500$).....	66
Şekil 4.69. Spoilersiz silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.028 ($Re_d=1500$).....	66
Şekil 4.70. Spoilersiz silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.046 ($Re_d=1500$).....	67
Şekil 4.71. Spoilersiz silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.006122 ($Re_d=1500$).....	67
Şekil 4.72. $Re_d=1500$ sst $k-\omega$ modeli spoilersiz silindir anlık görüntüleri (15s).....	68
Şekil 4.73. Spoilersiz silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.006319 ($Re_d=4000$).....	70
Şekil 4.74. Spoilersiz silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.007542 ($Re_d=4000$).....	70
Şekil 4.75. Spoilersiz silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.006467 ($Re_d=4000$).....	71
Şekil 4.76. Spoilersiz silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.004083 ($Re_d=4000$).....	71
Şekil 4.77. Spoilersiz silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.006049 ($Re_d=4000$).....	72
Şekil 4.78. $Re_d=4000$ standart $k-\omega$ modeli spoilersiz silindir anlık görüntüleri (7.5s).....	73
Şekil 4.79. Spoilersiz silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.005977 ($Re_d=9600$).....	75
Şekil 4.80. Spoilersiz silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.003507 ($Re_d=9600$).....	75
Şekil 4.81. Spoilersiz silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.003189 ($Re_d=9600$).....	76
Şekil 4.82. Spoilersiz silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.00258 ($Re_d=9600$).....	76
Şekil 4.83. Spoilersiz silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.022 ($Re_d=9600$).....	77
Şekil 4.84. $Re_d=9600$ standart $k-\omega$ modeli spoilersiz silindir anlık görüntüleri (3.75s).....	78
Şekil 4.85. Spoilerli silindir laminar model silindir arkası görüntü, MSE=0.015 ($Re_d=750$).....	80
Şekil 4.86. Spoilerli silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.095 ($Re_d=750$).....	81
Şekil 4.87. Spoilerli silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.053 ($Re_d=750$).....	81
Şekil 4.88. Spoilerli silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.031 ($Re_d=750$).....	82

Şekil 4.89. Spoilerli silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.015 ($Re_d=750$).....	82
Şekil 4.90. Spoilerli silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.016 ($Re_d=750$).....	83
Şekil 4.91. $Re_d=750$ standart $k-\omega$ modeli spoilersiz silindir anlık görüntüleri (30s).....	84
Şekil 4.92. Spoilerli silindir laminar model silindir arkası görüntü, MSE=0.012 ($Re_d=1500$).....	86
Şekil 4.93. Spoilerli silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.002889 ($Re_d=1500$).....	86
Şekil 4.94. Spoilerli silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.003907 ($Re_d=1500$).....	87
Şekil 4.95. Spoilerli silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.038 ($Re_d=1500$).....	87
Şekil 4.96. Spoilerli silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.0007537 ($Re_d=1500$).....	88
Şekil 4.97. Spoilerli silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.038 ($Re_d=1500$).....	88
Şekil 4.98. $Re_d=1500$ standart $k-\omega$ modeli spoilersiz silindir anlık görüntüleri (15s).....	89
Şekil 4.99. Spoilerli silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.045 ($Re_d=4000$).....	91
Şekil 4.100. Spoilerli silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.054 ($Re_d=4000$).....	91
Şekil 4.101. Spoilerli silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.055 ($Re_d=4000$).....	92
Şekil 4.102. Spoilerli silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.041 ($Re_d=4000$).....	92
Şekil 4.103. Spoilerli silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.032 ($Re_d=4000$).....	93
Şekil 4.104. $Re_d=4000$ sst $k-\omega$ modeli spoilersiz silindir anlık görüntüleri (7.5s).....	94
Şekil 4.105. Spoilerli standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.012 ($Re_d=9600$).....	96
Şekil 4.106. Spoilerli rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.124 ($Re_d=9600$).....	96
Şekil 4.107. Spoilerli realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.027 ($Re_d=9600$).....	97
Şekil 4.108. Spoilerli standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.012 ($Re_d=9600$).....	97
Şekil 4.109. Spoilerli sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.002981 ($Re_d=9600$).....	98

Şekil 4.110. $Re_d=9600$ sst $k-\omega$ modeli spoilersiz silindir anlık görüntüleri (3.75s).....	99
--	----

1. GİRİŞ

Yüzeyi atmosfere açık bir akışta tabana yakın bulunan ve akışa tamamen batmış silindirik yapılar ile akış arasındaki etkiler özellikle petrol ve doğalgaz boru hatları atık su hattı gibi mühendislik uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Akış ile etkilenen cisim etrafındaki akış alanının ve silindirik yapıya gelen hidrodinamik kuvvetlerin belirlenmesi mühendislik tasarımı için gereklidir.

Silindir etrafındaki akışın yapısı akış hızına, derinliğe, akışkanın vizkozitesine, silindir kesitinin şekline ve boyuna ayrıca silindirin akış alanı içerisindeki konumuna bağlıdır. Bu nedenle silindir çapına bağlı boyutsuz Reynolds sayısı silindir üstü akışın sınıflandırılabilmesi için önemli bir boyutsuz büyüklüktür.

$$Re_D = \frac{u_0 * D}{\mu} \quad (1)$$

Reynolds sayısının $90 < Re_D < 300$ değerinden girdap çiftleri karşılıklı olarak karşılıklı olarak kopmaya başlamakta ve karman girdap yolunu oluşturmaktadır. Girdapların farklı zamanlarda periyodik olarak kopmaları, akım simetrisinin bozulmasına neden olmaktadır. Silindir üzerindeki girdap kopma frekansı boyutsuz Strouhal Sayısı ile tanımlanır:

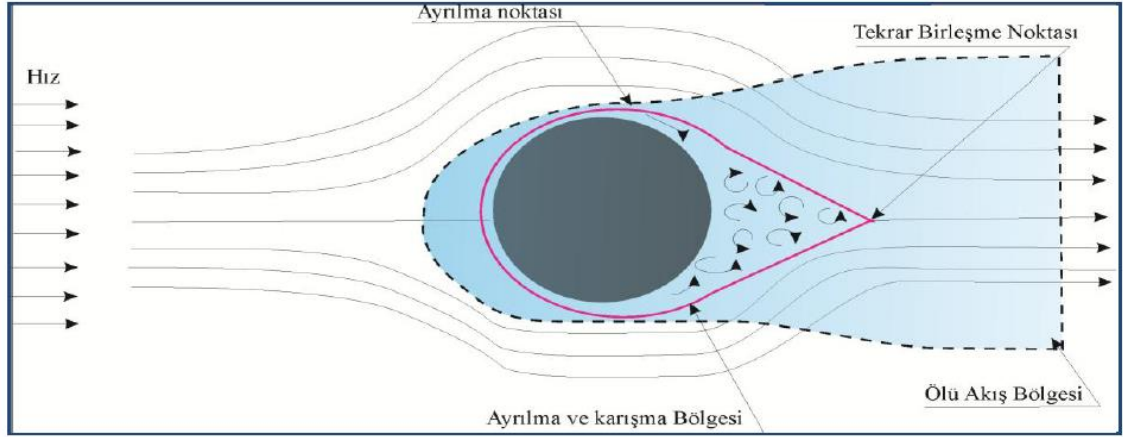
$$St = f \frac{D}{u_0} \quad (2)$$

Boru hatlarını hidrodinamik kuvvetlerden yada insanların sebep olabileceği zararlardan korumak için boru hatlarını sıvı tabanı içerisine gömmek gerekmektedir. Boru hatlarının tabana gömülmesi çoğu zaman zaman içerisinde oluşan akıntılar ve fırtına gibi doğal etkenler ile gerçekleşmektedir. Ancak doğal etkenler her zaman yeterli olmamakta ve akış tabanı içerisine hendek açılarak boru hattının hendek içerisine gömülmesi sağlanmaktadır. Fakat bu yöntem yüklü yatırım maliyetini de beraberinde getirmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalar boru üzerine yerleştirilecek spoilerin borunun kendi kendine gömülmesini sağlayabileceğini göstermiştir. Her ne kadar boru hatlarına spoiler yerleştirilmesi yeni bir fikir gibi görünse de eskiden bu yana araçların üzerine

yada baca üzerine spoiler kullanılması alışıldık bir yöntemdir. Spoiler kullanılmasıdaki alışlageldik amaç cisim etrafındaki akışın istenilen şekilde kontrol edilmesidir.

Akışın laminar ve türbülanslı yapıya sahip olması, dairesel yapılarda da etkin bir rol oynamaktadır. Bir dairesel yapı üzerinde oluşan akış yapısının bilinmesi, dairesel yapı üzerindeki enerji değişimlerinin anlaşılmasında etkin rol oynamaktadır. Bir akışkan yüksek bir hızla eğrisel bir yüzey üzerine akarsa; katı ile akışkanın birleşme noktalarında akışkan kendini yüzeye sarmaya başlar. Silindir üst yüzeyinde oluşan düşük basınç ile akış içe doğru ters şekilde dönmeye başlar. Silindirden akışın koptuğu noktaya ayrılma noktası denilmektedir. Ayrılma bölgesi ne kadar büyük olursa basınç kaybı o kadar artar. Akışın ayrılma bölgesinden sonra akışına düzensiz devam etmesi ve silindir geometrisine bağlı olarak hızını kaybetmesi ölü akış bölgesini oluşturmaktadır. Ayrılma bölgesi akışın iki koldan birbiri ile yeniden birleşmesiyle; tekrar birleşme noktasında biter fakat ölü akış bölgesi; akış hızını tekrar kazanana kadar gelişerek devam eder (Şekil 1.1) (Arat, 2010). Viskozitenin önemli olduğu akışlar viskoz yani sürtünmeli akış adını almaktadır. Akışkan viskozitesinden kaynaklı yüzey ile akışkan arasında bir hız (hidrodinamik) sınır tabakası meydana gelir. Viskoz akışlarda iki tür akış bölgesi vardır. Bu akış bölgeleri laminar ve türbülanslı akışta farklılık gösterir. Laminar akışta, akış yapısı, akış tabakalarının hareketi ile tanımlanır. Komşu tabakalar bu akış yapısında birbirine karışmaz ve tek bir çizgi halinde hareket ederler. Türbülanslı akışta ise, akış yapısı rast gele üç boyutta hareket eden partiküllere tanımlanır. Türbülanslı akışta hız dalgalanmaları nedeniyle tabakalar arası momentum transferi söz konusudur. Bir akışkan içerisinde hareket eden (ya da etrafından akışkan geçen sabit) her katı cismin yüzeyinin etrafında viskoz kuvvetlerin olduğu bir sınır tabaka gelişir. Sınır tabakalar laminar ya da türbülanslı olabilir. Sınır tabakanın laminar mı türbülanslı mı olacağı lokal akış koşullarının Reynolds sayısı hesaplanarak makul bir şekilde bulunabilir. Akım ayrılması sınır tabakanın ters basınç gradyanından yeteri kadar uzakta hareket etmesi durumunda oluşur ki bu durumda sınır tabakasının hızı neredeyse sıfıra düşer. Akışkan akımı cisim yüzeyinden ayrılır ve bunun yerine girdaplar oluşturur. Bu yüzden viskoz akışa sınır tabaka, ayrılma bölgesi ve ölü akış bölgesi çok önemli bir şekilde etki eder (Arat, 2010). Uygulamalarda bu tür akış yapılarının kesinlikle göz ardı edilmemesi gerekmektedir.



Şekil 1.1. Silindir etrafındaki akışta oluşan ayrılma, tekrar birleşme noktaları; ayrılma ve karışma bölgesinin şematik gösterimi (Arat, 2010)

Bu çalışmada kararlı akış durumunda boru üzerine spoiler yerleştirilmesinin akışta neden olduğu değişimleri incelemek amacı ile açık su kanalında taban ile silindir arasındaki boşluk oranı $G/D=2.6$ için spoilerli pürüzsüz bir boru etrafındaki akış Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) ile deneysel olarak incelenmiş spoilerli silindir için incelenen deneysel sonuçlar Mersin Üniversitesi Tarsus Teknoloji Fakültesinde yürütülen Doç. Dr. Azize Akçayoğlu'nun danışmanlığındaki Tübitak Projesi 111M726 kapsamında alınan Ansys 14.5 Fluent paket programı ile elde edilen nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Akışkanlar mekaniği uygulamalarında küt cisimler üzerine uygulanan akış yapısının incelenmesi bilim adamları ve uygulama mühendisleri tarafından hem sayısal hemde deneysel olarak yıllardır araştırılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı olan üstü atmosfere açık sıvılar içerisine batmış borular üzerindeki akış yapısı ise geçmişten günümüze kadar hep bir araştırma ve tartışma konusu olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte bu yöndeki çalışmalar hız bulmuş gerek sayısal gerekse deneysel sonuçlar literatüre kazandırılmıştır.

2.1. Spoilersiz Silindir

$Re_d=840$ ve 4150 değerlerinde ve $G/D=0.2, 0.3$, ve 1.0 boşluk oranlarında deneysel olarak gerçekleştirilmiş ve $G/D=1.0$ boşluk oranı için, silindir etrafındaki akımın, sınır tabaka etkisinin ihmal edilebilir ölçüde küçüldüğü gösterilmiştir (Öner, A.A., Kırkgöz, M.S., 2007).

Silindir bir miktar tabana gömülmüş ve silindirin gömülü olduğu mesafe/ silindir çapı, gömme oranı olarak tanımlanmış ve $B/D=0.25, 0.5$ gömme oranlarında $Re_d=1000, 3000, 5000, 7000$ Reynolds sayılarındaki akış koşullarında deneyler gerçekleştirilmiştir. $B/D=2.5, 0.5$ gömülme oranları için, Reynolds gerilme ve türbülans kinetik enerjisi, $B/D=0$ gömülme oranındaki silindire göre, silindirin gömülme oranının azalması etkisiyle iz bölgesi içinde ana akış bölgesinden daha yüksek bir moment aktarılması nedeniyle Reynolds gerilme ve türbülans kinetik enerjisinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Aköz, M.S., 2012).

Akış görselleştirme yöntemlerinden sıcak film ve PIV ile $1200 \leq Re_d \leq 4960$ Reynolds sayıları aralığında duvara yakın bir dairesel silindir etrafındaki akışı araştırmak için deneysel bir çalışma yapılmış, düşük Reynolds sayılarında, $Re_d < 2600$, Strouhal sayısı $G/D \leq 2.0$ da tek silindir için anlamlıyken, yüksek Reynolds sayılarında, $Re_d \geq 4000$, G/D oranının Strouhal sayısı için önemsiz olduğu görülmüştür. Strouhal sayısının etkili olduğu minimum G/D boşluk oranı ise $G/D=0.25$ olarak tespit edilmiştir (Preece, S.J., 2002).

Akışın karakteristiği incelenmiş, deneysel bir çalışma yapılarak akışın hız vektörleri, akım çizgisi eğrileri, hız konturları ve Reynolds gerilme korelasyonları incelenmiştir. Bu çalışmada silindirin anlık akış verileri akış alanındaki izlerin boyutunun Re sayısının fonksiyonuna bağlı olarak, boyuna yönde kısaldığını göstermiştir. Sürekli gelişen akışın kayma etkisi nedeniyle akışın merkezi ile iz bölgeleri arasındaki dalgalanmaların mekanik oyulmalara sebep olabileceği görülmüştür (Akoz, M.S. ve Diğerleri, 2010).

Bir düzlem yatak yüzeyi üzerinde çeşitli yüksekliklerde yatay duran bir dairesel silindir etrafındaki akış üzerine deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. $0.3D$ den büyük boşluk oranlarında Strouhal sayısının sabit olduğu belirtilmiştir (Bearman, P.W., Zdravkovich, M.M., 1978).

G ; silindir ile yatay düzlem arasındaki mesafe ve D ; silindirin çapı olmak üzere $G/D=0, 0.2, 0.3$ boşluk oranlarında çalışmıştır. $G/D=0$ oranında durma noktasındaki akıştan ayrılmış iki adet farklı yönlerde dönen girdap görülmüştür. Düzensiz girdap dağılması bu tip geometrilerde görülmekle birlikte, $G/D 0.2$ boşluk oranında türbülans sınır tabakasında girdap dağılması meydana gelmiş, laminar durumdaysa girdap dağılması $G/D 0.3$ boşluk oranında meydana gelmiştir (Zdravkovich M.M, 1980).

Sürekli ve salınımlı akımın yatay ekseninde, küçük bir silindir katı yüzeyinden geçişini, akış görselleştirilme tekniği PIV ile incelemiştir. Yaptığı çalışmayla silindir arkasında oluşan alt nalı girdap yapısı ile silindir çapını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, salınımlı akışta at nalı girdap silindir arkasında ters yönlü ve periyodik olarak oluşmuştur (Testik, F.Y. ve diğerleri, 2005).

Düz bir plaka üzerinde silindir etrafındaki akım $Re_d=25000$ ve $Re_d=45000$ değerlerinde incelenmiştir. G/D oranının 0.3 'ten büyük olması halinde silindir arkasında düzenli girdap kopmasının oluştuğunu, küçük olması halinde ise düzenli girdap kopmasının oluşmadığı belirlenmiştir. Ayrıca $G/D=0.1$ oranına kadar duvar etkisi hissedilmiştir (Bearman ve Zdravkovich, 1978).

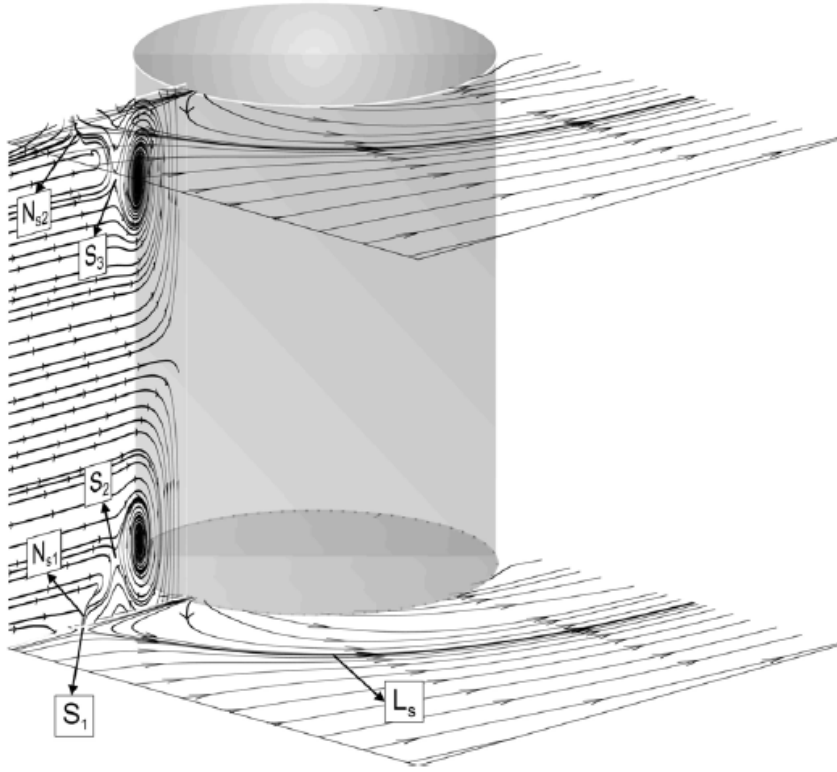
$Re_d=0.86 \times 10^5$ ve $Re_d=0.3 \times 10^5$ değerlerinde $0.1D$ kalınlığında ince bir sınır tabakasında boşluk oranının girdap kopmasına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada

girdap kopmalarının oluşmadığı alan olarak pürüzsüz bir silindir için $0.3D-0.4D$, pürüzlü bir silindir için ise $0.2D-0.3D$ olarak belirlenmiştir (Buresti ve Lanciotti, 1979).

$Re_d=25 \times 10^3$ için silindirin tabana tamamen temas halinde olduğu $G/D=0.0$ durumunda silindir arkasında girdap kopmasının oluşmadığı gözlemlenmiştir (Zdravkovich, 1980).

$G/D=0.37$ durumunda dairesel bir silindir nümerik olarak incelenmiştir. Farklı türbülans modellerinin denenmesi sonucunda hem $k-\epsilon$, hemde $k-\omega$ türbülans modelinin basınç dağılımında ve hız alanında iyi sonuçlar verdiği ve girdap kopmasının hesap ağı yapısından etkilenmediği belirtilmiştir (Liang ve Cheng, 2005).

Öztürk ve ark. (2006), plaka üzerindeki 50mm çapa sahip silindirin Reynolds değerinin $Re_d= 1500-6750$ değerleri arasında akış yapısı incelemiş ve akışı direkt etkileyen at nalı girdap etkilerini anlatmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Silindir üzerindeki akış yapısının PIV tekniği ile elde edilmiş görüntüsü (Öztürk, 2006)

2.2. Spoilerli Silindir

Deniz altı boru hatlarının incelendiği çalışmada boru üzerine spoiler yerleştirilmesinin kaldırma kuvvetini azaltacağı bildirilmiştir (Brown, 1967).

0.25D yükseklik de spoilerli boru hattı için yapılan deneysel çalışmada boru üzerine yerleştirilen spoiler'in tabanda erozyonu tetiklediği ve taban oyulmalarını arttırdığı tespit edilmiştir. (Hulsbergen, 1984, 1986).

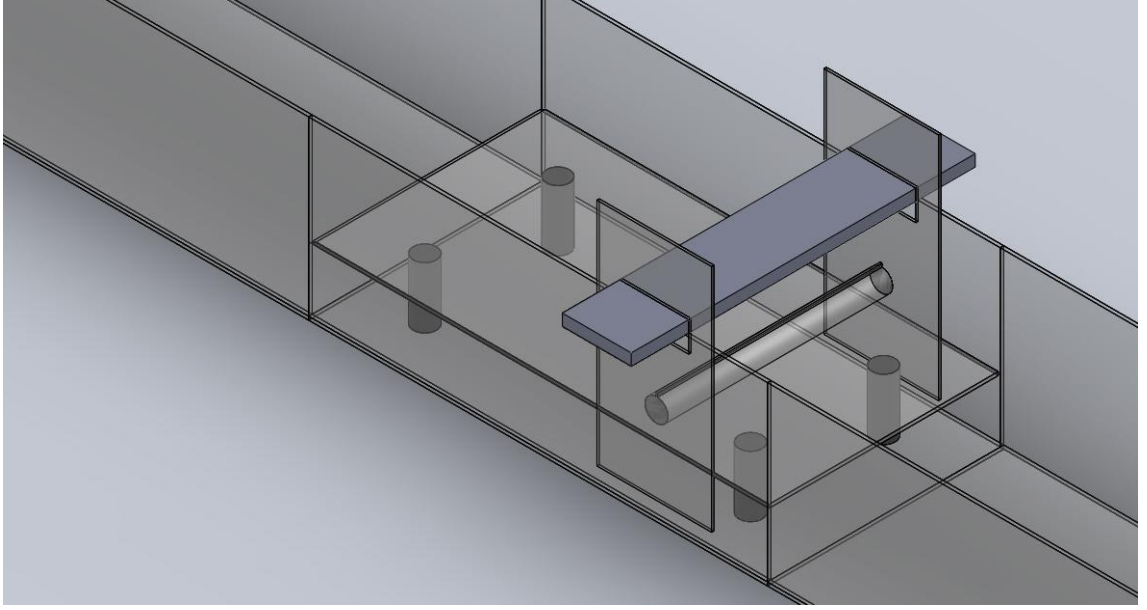
Spoilerli ve spoilersiz silindir etrafındaki akım $Re_d=1000$ ve $Re_d=2000$ değerlerinde incelenmiştir. Spoiler'in ters yönlü bir kaldırma kuvvetine neden olduğu tespit edilmiştir. Silindir zerine spoiler yerleştirilmesi sonucu oluşan oyulmanın sebebi spoiler'in silindir ile taban arasındaki akım miktarını arttırıcı etki göstermesi olarak gösterilmiştir (Cheng ve Chew, 2003).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

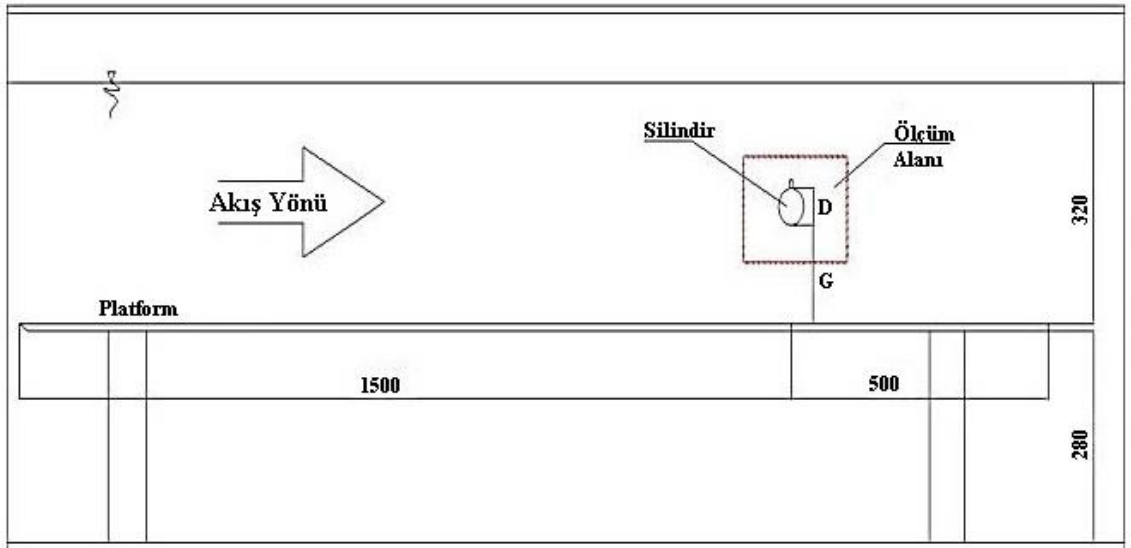
3.1. MATERYAL

Bu çalışma Mustafa Kemal Üniversitesi, Mersin Üniversitesi ve Çukurova Üniversitesi kampüslerinde bulunan imkânlardan faydalanılarak hazırlanmıştır. Mersin ve Mustafa Kemal Üniversitesinde hesaplamalı ve teorik kısım, Çukurova Üniversitesinde deneysel kısım gerçekleştirilmiştir.

Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, akışkanlar mekaniği laboratuvarında kurulu olan kapalı devre açık yüzeyli su kanalında deneyler gerçekleştirilmiştir. Kanal düzeneği, su giriş haznesi ve su toplama haznesi olmak üzere iki su haznesi ile bu iki hazneyi birleştiren 1.000 mm genişlik, 750 mm derinlik ve 14.000 mm uzunluğundaki açık su kanalından oluşmaktadır. Kanal tabanı ve yan duvarlar 15 mm kalınlığındaki saydam akrilik malzemeden yapılmış olup ölçümler için saydam ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. Suyun girişindeki su tankından akışın üniform olarak çıkmasını sağlamak amacıyla haznenin kanal kesitine ulaştığı bölgeye akış düzenleyici petek sistemleri yerleştirilerek kanal girişinde suyun mümkün olduğu kadar çalkantısız ve düzenli olarak girmesi sağlanmaktadır. Kanal içerisindeki suyun serbest akış hızı, hız kontrol ünitesi yardımıyla değişik devirlerde çalışan bir santrifüj pompa ile ayarlanmıştır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 'de görüldüğü gibi, kanal başlangıcından 4000 mm uzaklığa kanal ile aynı genişlikteki, 2000 mm uzunluk ve 15 mm kalınlığa sahip, kanal tabanından üst yüzeyi 280 mm yükseklikte olan akrilik malzemeden yapılmış bir platform yerleştirilmiştir. Platformun su giriş haznesi tarafındaki ucu 30°'lik bir açı ile inceltilerek, akımın platforma girişi rahatlatılmıştır. D=50 mm çapında ve 980 mm uzunluğundaki akrilik malzemeden yapılmış dairesel bir silindir, 500 mm eninde, 10 mm kalınlığında ve 1000 mm yüksekliğindeki yalancı duvarlara monte edilmiş ve platformun üzerine yerleştirilmiştir. Bu yalancı duvarların yükseltilmesi ile silindir ile platform arasındaki uzaklık ayarlanabilmektedir. Ayrıca silindir platformun başından 1500 mm (30D), platform sonundan ise 500 mm (10D) uzaklığa yerleştirilerek silindirin olduğu noktada gelişmiş akım elde edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde platform üzerindeki su yüksekliği 320 mm de sabit tutulmuştur.



Şekil 3.1. Deney düzeğinin katı modeli



Şekil 3.2. Deney düzeneği ölçüm alanı ölçekli gösterimi

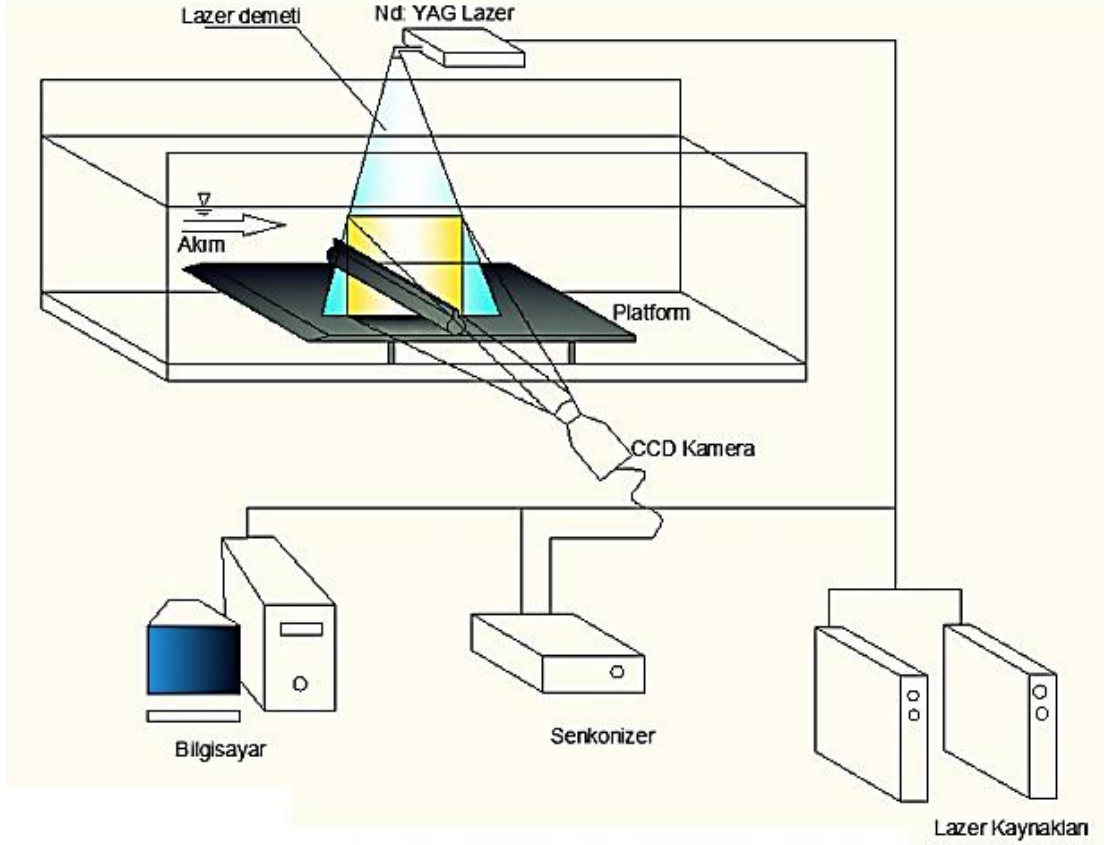
3.2. PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇÜM TEKNİĞİ (PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY (PIV)) İLE HIZ ÖLÇÜMÜ

Test alanının lazer demetiyle aydınlatılması sonucu, lazerin aydınlattığı bölgedeki akıma bırakılmış olan parçacıkların belli zaman aralıklarında resimlerinin çekilmesi ve belirli zaman aralığında çekilen iki resimdeki parçacıkların yer değiştirmesinden hız alanı elde edilmiştir. Çok küçük zaman aralıklarında, yüksek enerji ile parlayabilmesi, silindirik merceklerle ince bir demet haline getirilebilmesi sebebiyle test alanının aydınlatılmasında lazer kullanılmıştır. Burada 532 nm’lik çift dalga boyuna sahip kızıl ötesi radyasyon dalgası gönderebilen, her parlamada 120 mJ enerjiye sahip, 1.5 mm kalınlığında lazer demeti gönderen, çift darbeli Nd:Yag lazeri kullanılmıştır.

Ölçüm alanında aydınlatılan parçacıkların hareketlerinin yakalanabilmesi için yüksek çözünürlüklü bir CCD (Charge-Coupled Device) kamera, lazer demetine dik bir pozisyonda yerleştirilmiştir. Lazer parlaması ve kamera senkronize bir şekilde çalışmakta böylece lazer demetinin birinci anlık parlaması kamerada birinci kareye, ikinci parlaması da ikinci kareye kaydedilmekte ve ikinci kayıttan sonra her iki kare de bilgisayara aktarılmıştır. Bu çalışmada 1024x1024 piksel çözünürlükteki bir CCD kamera ile saniyede 10 kare yakalanmıştır. Lazer kaynağı darbeli tip olduğu için lazer ile kameranın eş zamanlı olarak çalışması gerekmektedir. Lazer kaynağı ile dijital kamera arasındaki zamanlamayı ayarlayan cihaz eş zamanlayıcı (senkronizer) olarak adlandırılmakta ve bir bilgisayar tarafından kontrol edilmiştir. Bilgisayara aktarılan bu fotoğraflar genellikle 32x32 piksel ebatlarında küçük alt bölmelere bölünmekte ve Hızlı Fourier dönüşümü kullanılarak her bir alt bölgedeki parçacıkların çekilen iki görüntü arasındaki yer değiştirmeleri bulunmaktadır. Deney düzeneği ölçüm sistemi elemanları Şekil 3.3 de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Bu yöntemin işleyişi ve kullanılabilirliği hakkındaki geniş bilgi Adrian, R. J. (1991), Westerweel, J. (1993), ve Rockwell, D. ve diğerleri (1993) tarafından kapsamlı olarak verilmiştir.

Bu ölçme tekniğinde kullanılan matematiksel ifadeler ve gerekli bilgiler Aköz, M.S. ve diğerleri (2010) tarafından verilmiştir. Her iki görüntü arasındaki Δt zaman aralığı ve her bir alt bölgedeki parçacıkların aldıkları ortalama mesafe bilindiğinden, göz önüne alınan alt bölgelerdeki akışın hızı hesaplanmaktadır. Akış yapısına bağlı

olarak hız vektörlerinden %3'ü kötü vektör olarak adlandırılan akış yapısına uymayan hız vektörlerinden oluşmaktadır. Alınan resimlerin analizleri yapılarak önce anlık iki boyutlu hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Ölçüm için kullanılan elemanlar

3.3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler ve ilerlemeler, akışkanlar mekaniğinde CFD (Computational Fluid Dynamics) adıyla yeni bir çalışma alanı doğmasına neden olmuştur. CFD çalışmalarında, bilgisayar yardımıyla akış simülasyonu yapılacak olan alan ve bu alanda meydana gelen etkileşimler detaylı olarak incelenebilmektedir. CFD çalışmalarından elde edilen en önemli sonuçlardan birisi, bir tasarım yapılmadan önce bilgisayar simülasyonu aracılığıyla elde edilen veriler yardımıyla verim artırma yöntemleri ve tasarıma yönelik bir takım problemlerin deney aşamasına gelmeden önce rahatlıkla çözülebilmesidir. Ayrıca CFD ile yapılan çalışmalar daha az maliyetli ve daha farklı düşünceler geliştirebilme yönünde büyük katkılar sağladığı için tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalar esnasında ayrıntılı ve birleşik geometri içerisindeki değişiklikler daha kolay ve daha hızlı şekilde yapılabilmektedir.

Yüksek hızlı süper bilgisayarların geliştirilmesiyle kompleks akış problemlerinin çözülmesinde bilgisayar kullanımı kaçınılmaz hâle gelmiştir. İşte bu noktada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), temel akış problemleriyle bilgisayar teknolojisi arasında bir köprü görevi görmektedir. CFD tekniği endüstriyel veya endüstriyel olmayan birçok uygulama alanında kullanılmaktadır (Soruşbay, C., 2003).

3.4. KORUNUM DENKLEMLERİ

Temel olarak bir akışın incelenmesi için süreklilik, momentum (Navier Stokes denklemleri) ve enerji denklemlerinin, uygun başlangıç ve sınır koşulları ile beraber çözülmesi gerekir. İki boyutlu kanal akışı için genel korunum denklemleri aşağıda verilmiştir.

- Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

- Momentum denklemi

$$\rho U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (4)$$

3.5.SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIŞIN MATEMATİKSEL FORMÜLLERİ

3.5.1. Dairesel Kesitli Borularda Reynolds Sayısı

Dairesel kesitli borulardaki iç akış için akış tipini belirleyen Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetleri}} = \frac{\rho \cdot u_{ort} \cdot D}{\mu} \quad (5)$$

Reynolds sayısı, akışkana etkiyen atalet kuvvetlerinin viskoz etkilere oranı olarak tanımlanır. Akışın türbülanslı olmaya başladığı Reynolds sayısına kritik Reynolds sayısı denir. Farklı geometriler ve akış şartları için kritik Reynolds sayısı değeri farklıdır.

3.5.2. Türbülans Parametrelerinin Belirlenmesi

Bilindiği gibi akışlar, laminar ve türbülanslı olmak üzere ikiye ayrılır. Akışın karakteristiği, boyutsuz olan Reynolds sayısının değerine bağlıdır. Reynolds sayısının değeri ise akışkanın fiziksel özelliği olan viskozite, akış hızı ve akış ortamını karakterize eden karakteristik uzunluğunun fonksiyonudur. Laminer akış çizgisel bir akış olup, akım ipliciği boyunca akış tabakaları birbirinden tamamen ayrı ve karışmaksızın kaldıkları düzgün akımdır (Çengel, 2008).

Türbülans akımda ise, akışkan yörüngeleri karışarak, akış çalkantılı bir şekilde oluşmaktadır. Pompalardaki akış, yüksek hızdan dolayı genellikle türbülanslıdır. Türbülanslı akışların incelenmesi laminar akışlara oranla oldukça zordur. Bu tip problemlerde türbülansın etkisini katmak için modeller geliştirilmiştir. Bu modellerde akışkanın fiziksel viskozitesine ilave olarak, akışın özelliklerine bağlı diğer bir viskozite terimi tanımlanmakta ve ona türbülans viskozitesi denilmektedir. Bu ek viskozite terimini hesaplamak için araştırmacılar tarafından değişik modeller sunulmakta, bu modellerin arasında ise “Standart k-epsilon modeli” yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modelde “k” türbülansın kinetik enerjisini, “epsilon” ise türbülansın yayılımını belirtir. Bu nedenle türbülanslı akışlarda süreklilik ve momentum denklemlerine, türbülans kinetik enerji ve yayılım denklemleri de eklenmekte, çözülmesi gereken denklemlerin sayısı artmakta ve bu da denklem sisteminin çözümünü zorlaştırmaktadır (FLUENT User’s Guide Version 6.1, 1998). Standart, RNG ve Realizable olmak üzere k-epsilon modelleri üçe ayrılır. Üç modelde k (türbülans kinetik

enerjisi) ve ε (türbülans yayılma oranı) için aktarım denklemleri benzer formattadır. Üç model arasındaki temel farklar ise türbülans viskozitesini hesaplama metodu, k ve epsilon'un türbülans yayılmasını etkileyen prandtl sayıları ve epsilon denkleminde kullanılan ve kullanılmayan terimlerdir. Aktarım denklemleri, türbülans viskozitesini hesaplama metodu ve model sabitleri her model için farklıdır. Türbülansın oluşması, kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans oluşması, sıkıştırılabilirliğin etkilerini hesaplama ısı ve kütle transferinin modellenmesi her model içinde esas olarak ortaktır(Versteeg, H.K., 1995).

3.5.2.1. Türbülans Yoğunluğu

Türbülans yoğunluğu I ile ifade edilir. Türbülans yoğunluğu türbülans kinetik enerjisinin(k) hesaplanmasında kullanılır(ANSYS FLUENT 14.5 User's Guide, 2013).

$$I = 0.16(Re_{D_H})^{-1/8} \quad (6)$$

3.5.2.2. Türbülans Uzunluk Skalası ve Hidrolik Çap

Türbülans uzunluk skalası ℓ ile ifade edilir. Türbülans uzunluk skalası fiziksel bir özellik olup büyük girdaplarla alakalı türbülanslı akışlarda enerjiyi ifade eder.

$$\ell = 0.07L \quad (7)$$

Türbülans uzunluk skalası akışın hidrolik çapına bağlıdır. Ancak türbülans uzunluk skalası hidrolik çaptan büyük olamaz. L , hidrolik çap olarak ifade edilir(ANSYS FLUENT 14.5 User's Guide, 2013). ($L=D_H$)

3.5.2.3. Türbülans Kinetik Enerjisinin Türbülans Yoğunluğu İle Hesaplanması

Türbülans kinetik enerjisinin türbülans yoğunluğu ile bağlantısı aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir. Burada u_{ort} ortalama hızı ifade etmektedir(ANSYS FLUENT 14.5 User's Guide, 2013).

$$k = \frac{3}{2}(u_{ort}I)^2 \quad (8)$$

3.5.2.4. Türbülans Yayılımının Türbülans Uzunluk Skalası İle Hesaplanması

Türbülans uzunluk skalası bilinen akışlarda türbülans yayılımı(ε) aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\varepsilon = C_{\mu}^{3/4} \frac{k^{3/2}}{\ell} \quad (9)$$

C_{μ} deneysel bir sabit olup türbülans modelleri için kullanılır. Yaklaşık olarak bu değer 0.09 alınır(ANSYS FLUENT 14.5 User's Guide, 2013).

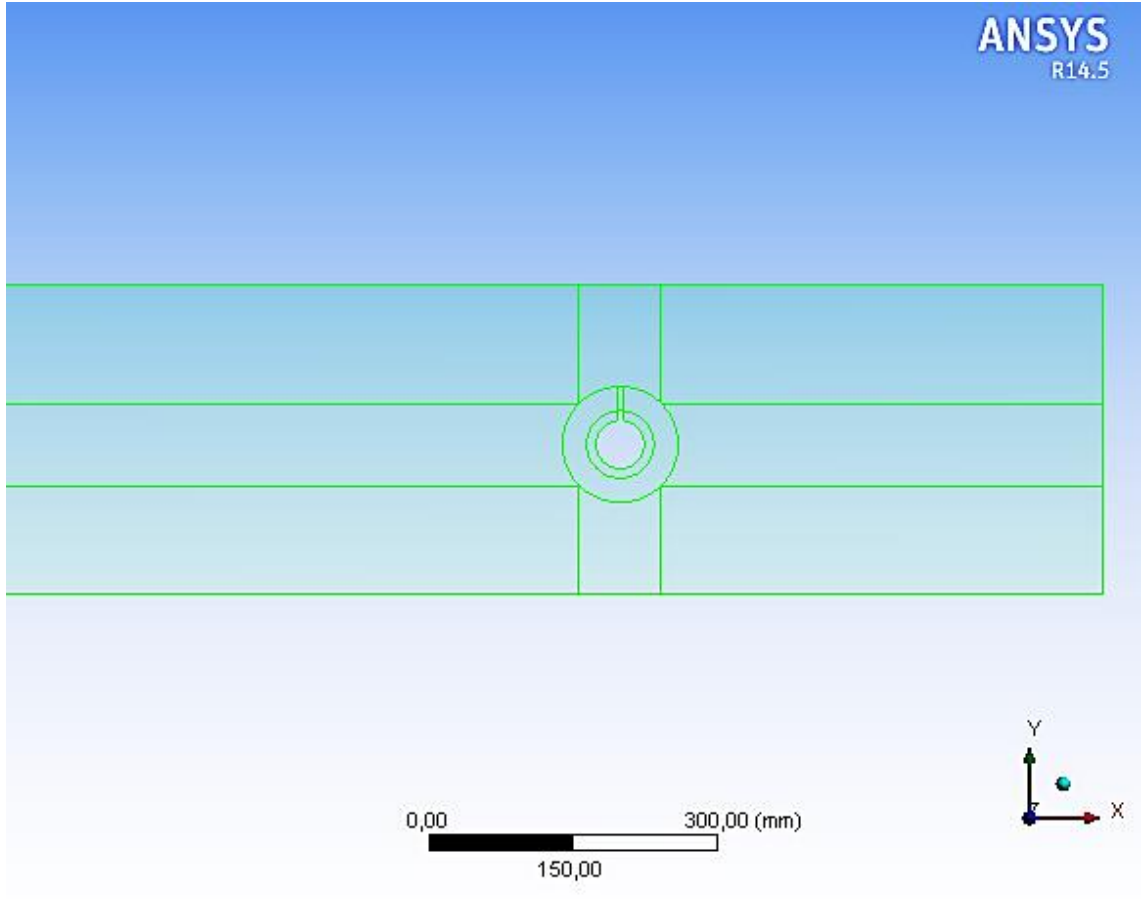
3.5.2.5. Spesifik Dağılma Oranının Türbülans Uzunluk Skalası İle Hesaplanması

Türbülans uzunluk skalası bilinen akışlarda spesifik dağılma oranını(ω) aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\omega = \frac{k^{1/2}}{C_{\mu}^{1/4} \ell} \quad (10)$$

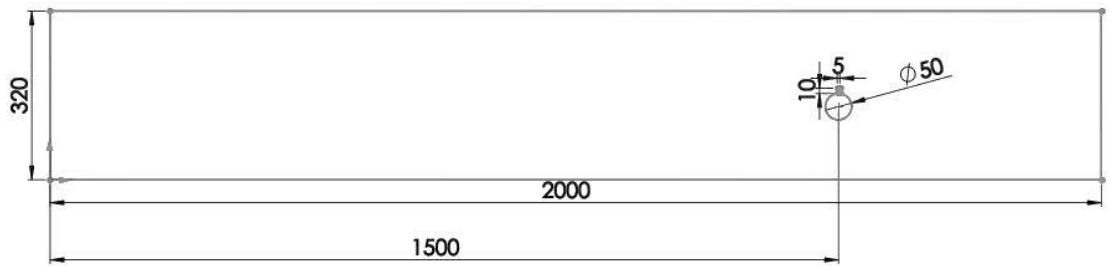
3.6. KANAL İÇERİSİNDE SPOİLERLİ VE SPOİLERLİ SİLİNDİR GEOMETRİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Açık kanalda silindir gibi küt geometri üstü akışlar periyodik akışlardır. Bu tür kendini tekrarlayan periyodik akışlarda iki boyutlu geometriyi tercih etmek çözüm süresini kısaltacağı gibi sonuçlarda da farklılık yaratmayacaktır. Bu yüzden iki boyutlu model periyodik tip akış için daha ucuz bir yöntemdir. İki boyutlu model geometrisi Ansys Fluent 14.5 programının Desing Modeler modülü ile oluşturulmuştur. İki boyutlu model yüzeyi daha sonra ağ eleman geçişlerinin yumuşak olmasını sağlamak için yüzeylere ayrılmıştır.



Şekil 3.4. Kanal içerisine yerleştirilmiş spoilerli silindir geometrisi

Platform üzerine yerleştirilen spoilerli silindir hesap ağı geometrisi şekil 8 de verilmiştir.



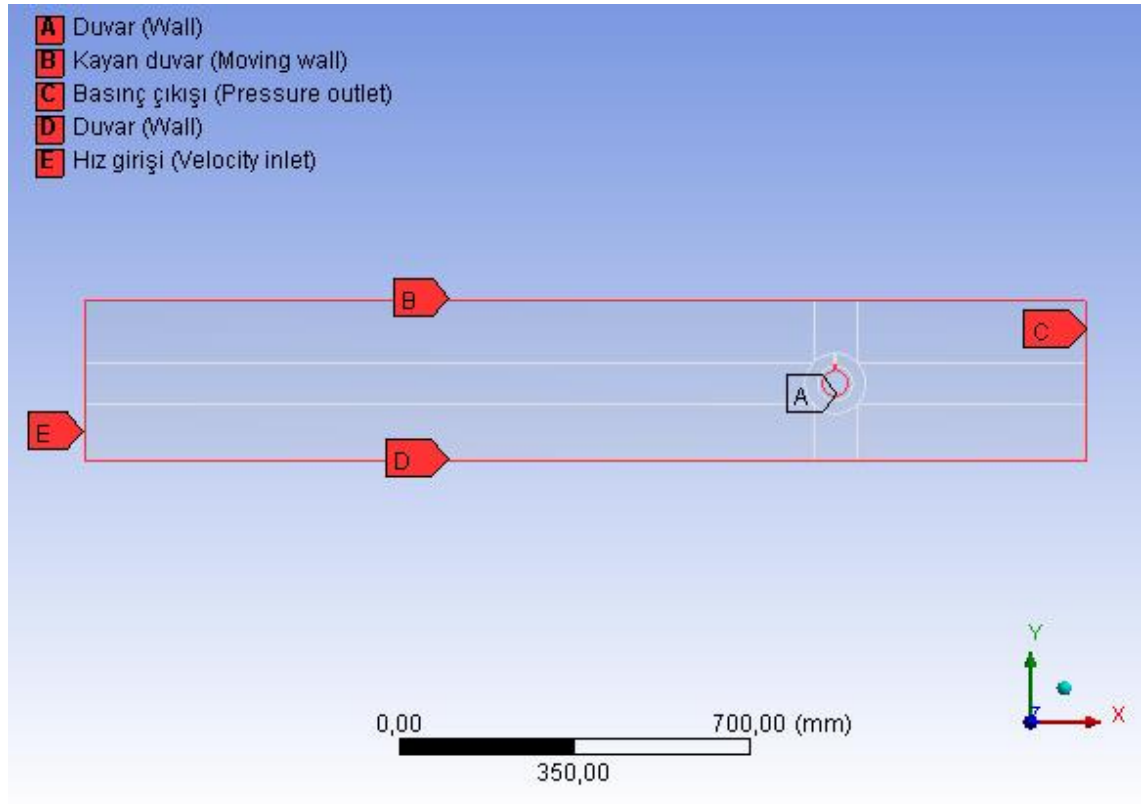
Şekil 3.5. Platform üzerine yerleştirilen spoilerlı silindir geometrisi ölçüleri

Silindirin merkezinden itibaren kanalın giriş ve çıkış uzaklıkları sırasıyla 30D ve 10D olarak alınmıştır. Girişin ve çıkışın bu mesafelerden daha fazla olması durumunun

nümerik çalışmalarda tam gelişmiş akıma bir faydası yoktur (Cheng ve Chew, 2003; Liang ve Cheng, 2005).

3.7.SINIR ŞARTLARI

Akışın kanala girişine “hız girişi” sınır şartı, kanaldan çıkışına ise “basınç çıkışı” sınır şartı kullanılmıştır. Kanalin yüzeyi atmosfere açık olduğundan dolayı hareket yapısını bozmamak için sıvı yüzeyi kayan duvar olarak tanımlanmıştır. Kayan yüzeyde hız kanal içerisinde akan akışkan hızıdır. Kanal tabanı ve silindir yüzeyinde yüzeylerde kaymama koşulu ile “duvar” sınır şartı kullanılmıştır. Akışkan olarak deneylerde kullanıldığı üzere sıvı su tercih edilmiştir. Nümerik hesaplamada deney koşulları bire bir sağlanmıştır.



Şekil 3.6. Sınır şartlarının geometride gösterimi

Çözümde türbülans modeli olarak aşağıda verilen k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri kullanılmıştır.

- Standart k- epsilon türbülans modeli
- RNG k- epsilon türbülans modeli
- Realizable k- epsilon türbülans modeli

- Standart k- omega türbülans modeli
- SST k- omega türbülans modeli

Standart k-omega modeli problemin çözümünde duvar modeline ihtiyaç duymaksızın çözüm uygular. K-epsilon türbülans modellerinde duvar modeli olarak “Enhanced Wall Function” kullanılmıştır. Enhanced Wall Function duvar modelleri arasında en gelişmiş modeldir. Bu model cidarlardaki viskoz etkilerini de çözüme dâhil ederek problemin çözümünde daha uygun çözüm yapılmasını sağlar. Ayrıca cidarlarda sınır tabaka etkisi oluşturarak bu çalışmada akış yapısının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sınır tabaka etkisinde bu duvar fonksiyonu için en önemli kriter y^+ değeri olup bu değerin $1 \leq y^+ < 3$ aralığında olması gerekmektedir. y^+ değerinin $y^+ \approx 1$ olması sonuçların doğruluğunu arttıracaktır (ANSYS FLUENT 14.5 User’s Guide, 2013). Aktarım denklemleri, türbülans viskozitesini hesaplama metodu ve model sabitleri her model için farklıdır. Türbülansın oluşması, kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans oluşması, sıkıştırılabilirliğin etkilerini hesaplama ısı ve kütle transferinin modellenmesi her model içinde esas olarak ortaktır (ANSYS FLUENT 14.5 User’s Guide, 2013). Bu modeller için aktarım denklemleri aşağıda verilmiştir;

Standart k-epsilon modeli aktarım denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (12)$$

RNG k-epsilon modeli aktarım denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (14)$$

Realizable k-epsilon modeli aktarım denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (15)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (16)$$

Burada;

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (17)$$

Bu denklemlerde G_k ortalama hız değişiminden dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, G_b kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, Y_M bütün yayılma oranlarında sıkıştırılabilir türbülans genişleyen çalkantıların katkısını simgelemektedir. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ model sabitleridir. α_k ve α_ε sırasıyla k ve ε için zıt efektif Prandtl sayılarıdır. S_k ve S_ε kullanıcı tanımlı kaynak terimlerdir(ANSYS FLUENT 14.5 User's Guide, 2013).

Standart k-omega modeli aktarım denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad (18)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (19)$$

Bu denklemde G_ω ; ω üretimi, Γ_k ; k ve ω 'nın efektif yayılma gücü, Y_k ve Y_ω ; k ve ω 'nın türbülansdan dolayı dağıtımı, S_k ve S_ε ; kullanıcı tanımlı kaynak terimlerdir(ANSYS FLUENT 14.5 User's Guide, 2013). Hesaplamalarda tüm model katsayılarının varsayılan değerleri kullanılmış, model katsayıları değerlendirilmemiştir.

SST k-omega modeli aktarım denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad (20)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (21)$$

Bu denklemde G_ω ; ω üretimi, Γ_k ; k ve ω 'nın efektif yayılma gücü, Y_k ve Y_ω ; k ve ω 'nın türbülansdan dolayı dağıtımı, D_ω çapraz difizyonu temsil etmekte, S_k ve S_ε ; kullanıcı tanımlı kaynak terimlerdir(ANSYS FLUENT 14.5 User's Guide, 2013). Hesaplamalarda tüm model katsayılarının varsayılan değerleri kullanılmış, model katsayıları değerlendirilmemiştir.

3.7.1. Nümerik Hesap Ağı

Hesap ağı oluşturulurken tüm elemanların dörtgen yapıda olmasına ve elemanlar arasındaki geçişin oldukça yumuşak olmasına dikkat edilmiştir. Ansys Fluent 14.5 programının Desing Modeler modülü ile oluşturulan geometri daha sonra Ansys Fluent 14.5 programının Meshing Modeler modülüne Ansys Workbench altında bağlanmıştır.

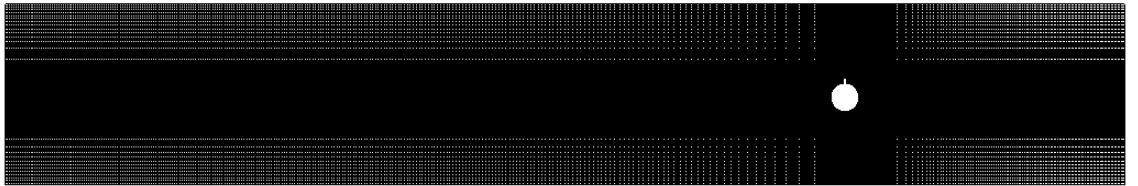
Ağ yapısı oluşturulacak yüzeylerin tamamı “Map Face” olarak tanımlanmış ve tüm ağ elemanlarının düzenli bir şekilde birbirlerine bağlanması sağlanmıştır. Silindir etrafı spoiler hariç 1520 parçaya ayrılmıştır. Böylelikle 1520 adet nokta oluşması sağlanmıştır. Spoilerin uzun kenarları 50 parçaya ayrılmış ve spoiler tabanından spoilerın tepe noktasına kadar olan büyüme oranı 1.05 olarak programa tanıtılmıştır. Spoilerin üst kısmı da 50 parçaya bölümlendirilmiştir.

Silindirin etrafına çizilen yalancı daire de 1520 parçaya ayrılmış ve silindirin ve daire üzerindeki noktaların bire bir birbirlerini karşılaması sağlanmıştır. Bu şekilde yüzeylerdeki karşılıklı nokta sayıları eşit tutularak geçişlerin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Çözüm bölgesinde ağ yapısını oluşturan elemanların küçük olması çözümün doğruluğunu arttıracaktır. Bu yüzden silindire doğru sıklaşan ve silindirden uzaklaştıkça genişleyen elemanlar tercih edilmiştir. Böylece silindir etrafındaki sınır tabaka için gerekli yoğunluk sağlamıştır.

Silindirin kanal tabanına olan mesafe (G) ve silindir yarı çapı (D) göz önüne alındığında $G/D \geq 2$ durumunda taban sınırının etkisinin olması bilinmektedir (Öner ve Diğerleri, 2008). Modelin G/D oranı 2.6 olduğundan dolayı tabanda herhangi bir sıklaştırma yapılmamıştır. Silindir taban etkisinden uzaktır.

Şekil 3.7 da ağ yapısının tam şekli görülmektedir.



Şekil 3.7. Hesap ağı yapısının ekran görünümü

Nümerik hesap ağının oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur ise hesap ağının kalitesidir. Uygun olmayan kalitelerde oluşturulan hesap ağlarında yapılan çözümler yanlış sonuçlar vermektedir. Bu nedenle hesap ağının kalitesinin kontrolü Orthogonal Quality değeri ile kontrol edilir. Şekil 3.8 da oluşturulan ağ yapısı için hesaplanan Orthogonal Quality değeri görülmektedir.

Statistics	
☐ Nodes	151405
☐ Elements	150255
☒ Mesh Metric	Orthogonal Quality
☐ Min	0,71679168843014
☐ Max	1
☐ Average	0,983195877711262
☐ Standard Deviation	4,22176126758542E-02

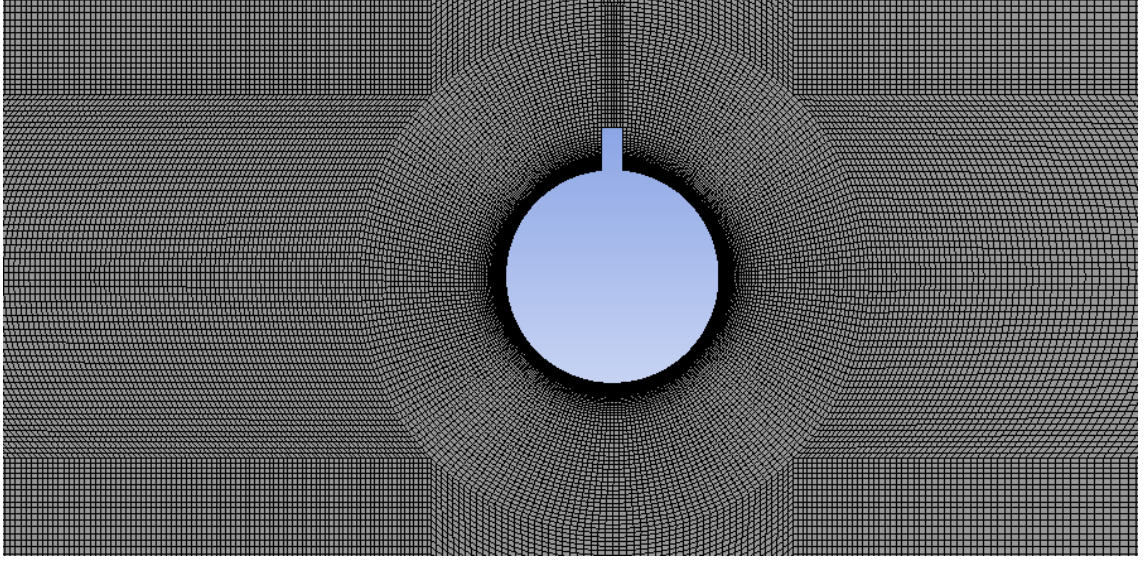
Şekil 3.8. Hesap ağı özellikleri

Oluşan hesap ağının Orthogonal Quality değerinin 0.7 olduğu görülmektedir. Şekil 3.9 da verilen tabloda değer skalası verilmiştir. Hesap ağında 151405 adet düğüm noktası ve 150255 eleman oluşmuştur.

Orthogonal quality mesh metrics spectrum					
					
Inacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00
14	© 2011 ANSYS, Inc.	December 27, 2011			Release 14.0

Şekil 3.9. Orthogonal Quality değer tablosu

Orthogonal Quality değer tablosuna bakıldığında oluşan ağ yapısının çok iyi bir değerde olduğu görülmektedir. Şekil 3.10 de elde edilen ağ yapısının silindir etrafındaki dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.10. Silindir etrafında elde edilen ağ yapısı

3.8.NÜMERİK SONUÇLAR

Hesap ağı Mesh Platform modülü ile oluşturulmuş ve nümerik çözümünde ANSYS FLUENT 14.5 programının sonlu hacim metodunu kullanan CFD-FLUENT modülü ile gerçekleştirilmiştir. Sayısal Çözümde türbülans modeli olarak k-epsilon ve k-omega modelleri kullanılmıştır.

Fluent programında öncelikle giriş sınır şartlarının verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle hız girişi olarak tanımlanan girişte akımın hızı türbülans modeline uygun k , ϵ ve ω değerleri giriş şartı olarak tanıtılmıştır. Bu değerler denklem 8, 9 ve 10 ile hesaplanmıştır.

Materyal olarak sıvı su tanımlanmıştır. Öncelikle içine plaka ve silindir yerleştirilmemiş 600 mm lik kanal içerisinde tam gelişmiş akım elde edilmiş ve bu hız profilinin sıvı yüzeyinden itibaren 320 mm lik kısmı silindirli modelde giriş profili olarak uygulanmış ve deney şartları tamamen sağlanmıştır.

Silindir üstü akışlar periyodik akışlardır. Silindir arkasında alınan bir noktada çözüm sırasındaki ortalama hız incelemiş ve çıkan hız grafiğinin periyodikliği

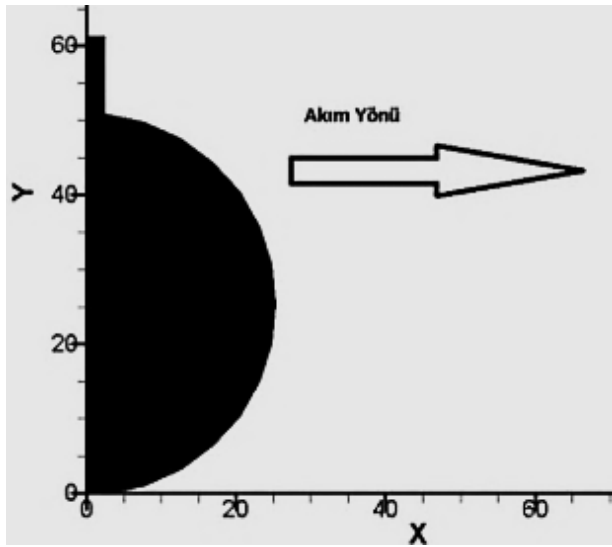
sağlaması ortalama 8000 iterasyon sürmüştür. Bu yüzden tüm modeller için 8000 iterasyon çözüm yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Deneyisel Bulgular

Reynolds sayısının 750, 1500, 4000 ve 9600 değerlerinde spoilersiz silindir ve spoilerli silindir için PIV deneyleri yapılmıştır. Öncelikle spoilersiz silindir arkası görüntüler yorumlanmış ardından spoiler etkisi ile karşılaştırmalarda bulunulmuştur.

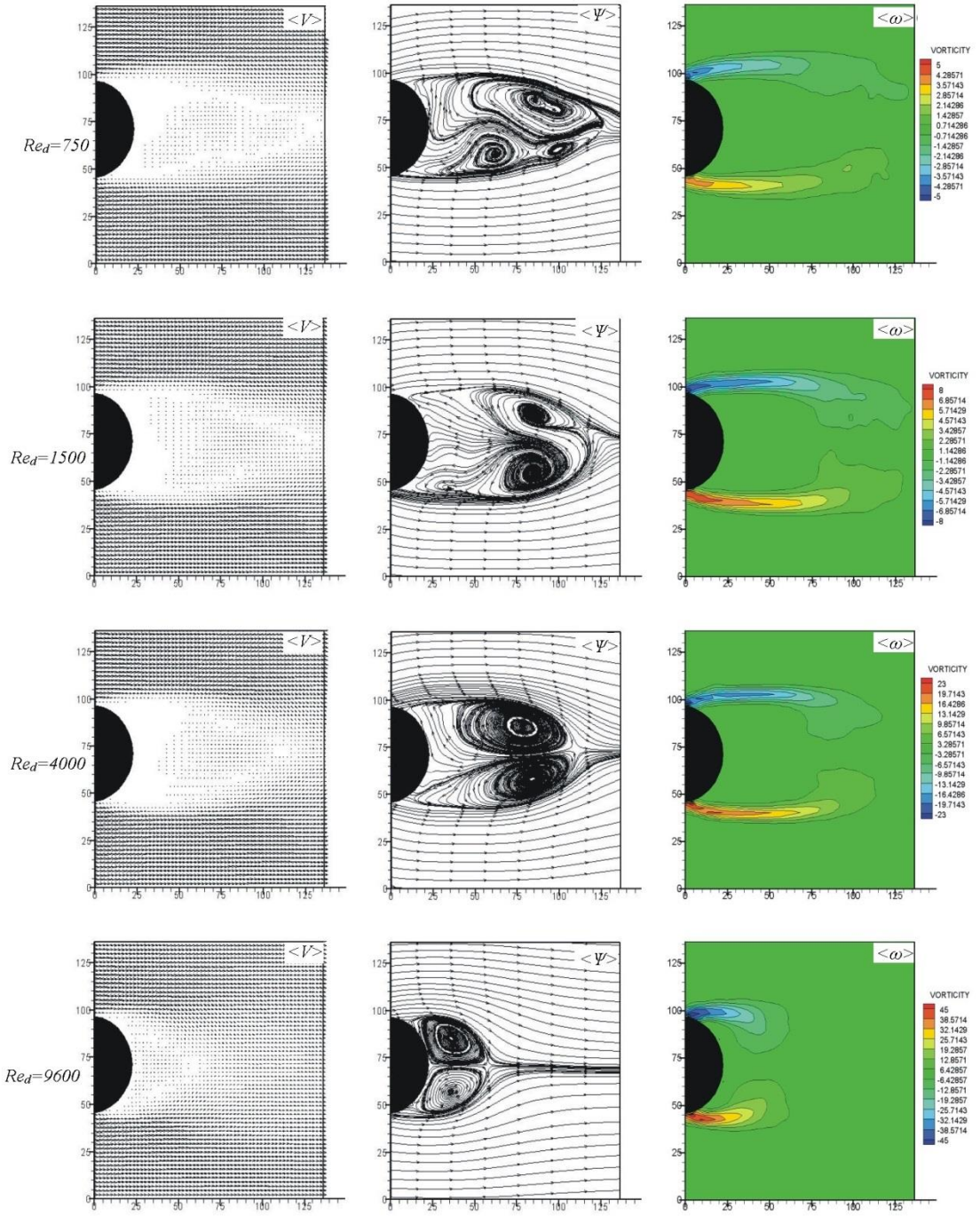
Yapılan tüm PIV deneyleri sonucunda elde edilen akım çizgileri ve girdap konturları akış yapısının anlaşılmasında daha etkin rol oynamaktadır. Şekil 4.1 de görüldüğü gibi akış yönü soldan sağa doğrudur.



Şekil 4.1. Silindir üzerinden geçen akım yönü

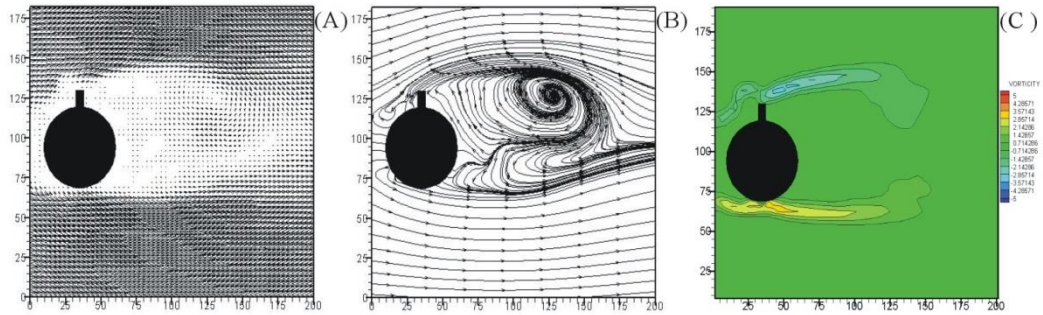
Şekil 4.2 de tabana paralel düzlem plaka üzerinde $G/D=2.6$ değerinde spoilersiz silindir arkasında Reynolds sayısının $Re_d=750-9600$ değerleri arasında oluşan akış yapısının zaman ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturları $\langle \omega \rangle$ verilmiştir. Sol taraftaki yarım siyah daire silindiri temsil etmektedir. $Re_d=750$ değerinde elde edilen hız alanına göre, Reynolds değerinin düşük olmasından ve akışın laminar olmasından dolayı silindir arkasında geniş bir ölü akış bölgesi ve biri baskın olmak üzere üç girdap (G) ve iki tane durma noktası(D) oluşmuştur. $Re_d=1500$ ve daha yüksek olduğunda silindir arkasındaki akış yapısı farklılıklar göstermektedir. Artan hız

ile beraber laminar akış yapısı türbülanslı yapıya dönüşmekte ve silindir arkasında oluşan yapıyı etkilemektedir. $Re_d=1500$ değerinde hız alanını ve akım çizgilerini incelediğimizde, silindir arkasında alt tarafta baskın olmak üzere bir adet girdap çifti, ayrıca bir adet durma noktası oluşmuştur. Reynolds sayısı büyüdükçe silindire doğru yaklaşan bir ayrılma noktası oluşmaktadır. Ayrıca bir adet durma noktası olduğu da gözlemlenmektedir. Re sayısı arttıkça girdaplar silindire yaklaşmıştır. $Re_d= 4000$ ve 9600 değerlerinde silindir arkasında silindir eksenine göre simetrik bir ayrılma gözlenmiştir. $Re_d=1500$ değerinde ise akış alt kısımda üst kısma göre daha baskın görülmektedir. Artan Reynolds değerleriyle birlikte kontur seviyeleri de artış göstermiştir. Artan Reynolds sayılarında silindirin alt ve üst kısımlarında oluşan girdap konturları net bir biçimde gösterilmiştir. Hız arttıkça girdap konturlarının boyu küçülmüş ve kontur değerleri artmıştır.



Şekil 4.2. $G/D=2.6$ değerindeki spoilersüz silindirin arkasında elde edilen hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, girdap konturu $\langle \omega \rangle$

Şekil 4.3 de $G/D=2.6$ ve $Re_d=750$ için spoilerli silindir arkasında oluşan hız vektörü akım çizgisi girdap konturu alanları gösterilmiştir. Reynolds sayısının aynı değerinde spoilerli (Şekil 4.3 A,B,C) ve spoilersiz (Şekil 4.2, $Re_d=750$) silindir karşılaştırılması sonucunda akış yapısının farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4.3 B’de Spoiler etkisi ile beraber alt kısımdaki iki girdap tamamen kaybolmuş ve üst kısımdaki girdap daha baskın bir hal almıştır. Spoiler etkisiyle girdap sayısında azalma meydana gelmiştir ayrıca alt kısımda bir tane kaynak oluşmuştur. İncelenen akış alanında Spoilerli silindirde $Re_d=750$ değerinde durma noktası gözlenmemiştir. Şekil 4.3C de silindir arkasında oluşan akış yapısına ait girdap konturları verilmiştir. Spoiler etkisiyle kontur seviyeleri azalmıştır. Spoiler etkisiyle silindirin üst kısımlarında oluşan girdap konturları silindir eksenine doğru bükülmüş ve silindir tabanında oluşan girdap konturları x-eksenine daha paralel bir hale gelmiştir. Bu da spoiler tarafında oluşan girdabın spoiler etkisiyle baskınlığının arttığını ve dolayısı ile tabanda oluşan girdabın etkisinin tamamına yakını $Re_d=750$ değeri için sönümlendiğini göstermektedir. Bu ise silindir tabanı oyulmaları açısından beklenen olumlu etkinin oluşması anlamına gelmektedir.

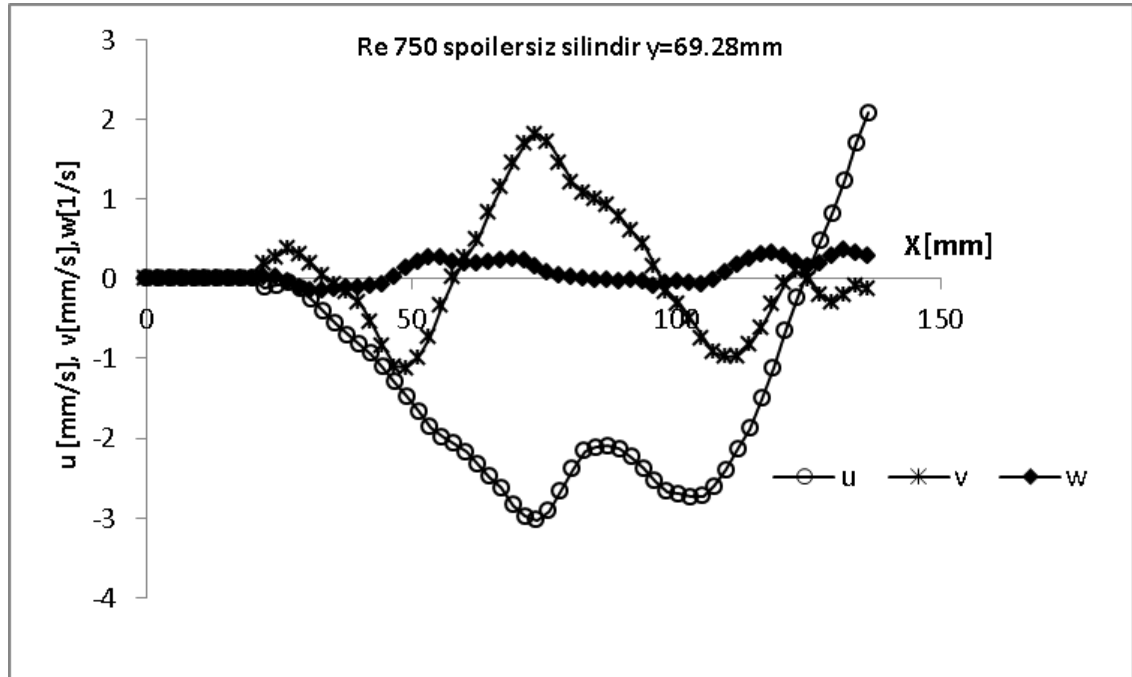


Şekil 4.3. Spoilerli silindir arkasında oluşan akış yapısı (A- hız vektörü $\langle V \rangle$, B- akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, C- girdap konturu $\langle \omega \rangle$ ($G/D=2.6$ $Re_d=750$))

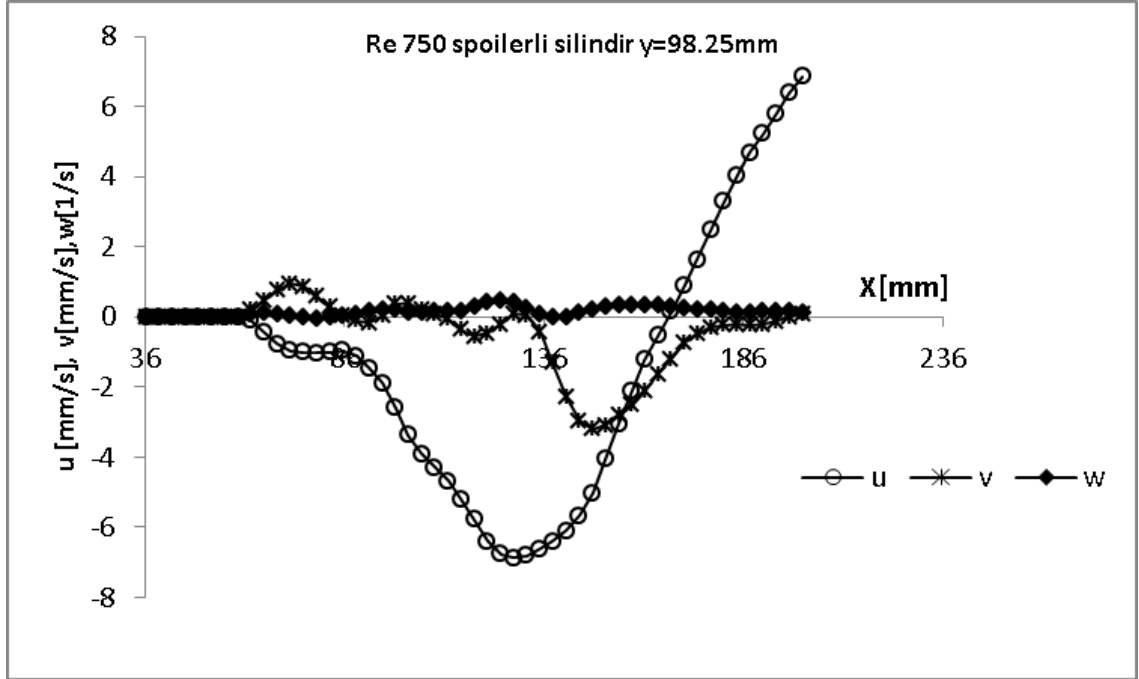
Spoilersiz ve spoilerli silindir için $Re_d=750$ değerinde silindirin merkezinden x eksenine paralel çizilen bir çizgi boyunca hız bileşenleri ve girdap dağılımı diyagramları Şekil 6 da verilmiştir. Spoilersiz silindirde “u” hızı için iki minimum ve iki maksimum noktası oluşmuştur. Ancak spoiler etkisiyle “u” hızı için bir minimum ve bir maksimum noktası oluşmuştur. Spoilersiz silindirde “v” hız grafiğinde iki minimum noktası oluşmaktadır. Spoilerli silindirde ise bir minimum noktası oluşmuştur. Spoilersiz silindirde maksimum “v” hızı 1,81 mm/s ve bu hızın silindir merkezine olan x uzaklığı

73.76 mm iken spoiler etkisi ile bu değer 0.93 mm/s değerine düşmüş ve bu hızın silindir merkezine olan uzaklığı 36,42 mm olmuştur.

Spoilerli silindirde oluşan v hızı minimum değeri -3,19 mm/s ve bu hızın silindir merkezine mesafesi 112.14 mm dir. Spoiler etkisi ile v minimum hızının silindirden uzaklaştığı görülmektedir. Spoilersiz silindirde iki tane minimum noktası varken spoilerli silindirde v hızına ait sadece bir tane minimum noktası oluşmuştur. Spoilersiz silindire ait silindir merkezine yakın oluşan minimum “ u ” hızı -2.98 mm/s ve bu hızın silindir merkezine olan mesafesi 71.52 mm dir. Silindirden uzak oluşan diğer “ u ” minimum noktası değeri -2.70 mm/s ve bu hızın silindir merkezine olan x mesafesi 100.58mm dir. Spoilerli silindirde meydana gelen tek u hızı minimum değeri -6.76 mm/s olmuş ve bu noktanın silindir merkezine olan x mesafesi 89.10 mm olarak tespit edilmiştir. $Re_d=750$ için girdap spoiler etkisiyle azalmaktadır. “ u ” ve “ v ” hızları spoilersiz silindirde $x=125$ mm de sıfır olup durma noktası oluşturmuştur. Bu noktada girdap değeri de sıfır olmuştur Ancak spoilersiz silindir için merkez çizgisinin üstündeki “ u ” ve “ v ” hız değerlerinin (Şekil 4.4) aynı anda sıfır olduğu noktaya rastlanmamıştır. Spoilersiz durumda silindir merkezi $y=69.28$ mm den, spoilerli durumda silindir merkezi $y=98.75$ mm den geçmektedir.

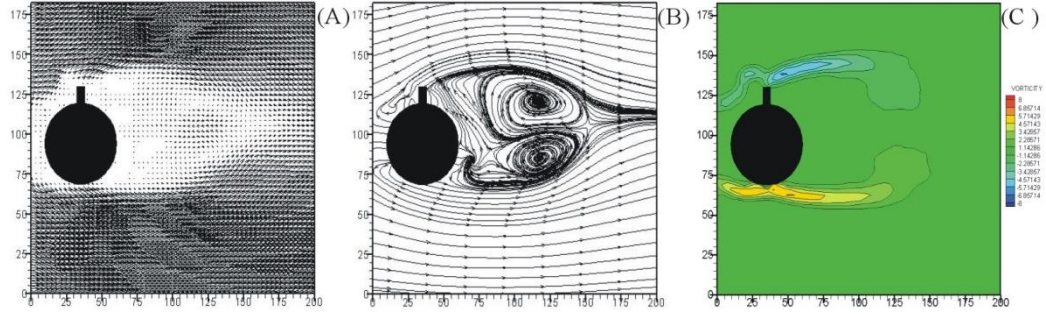


Şekil 4.4. Spoilersiz silindir merkez çizgileri boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=750$)



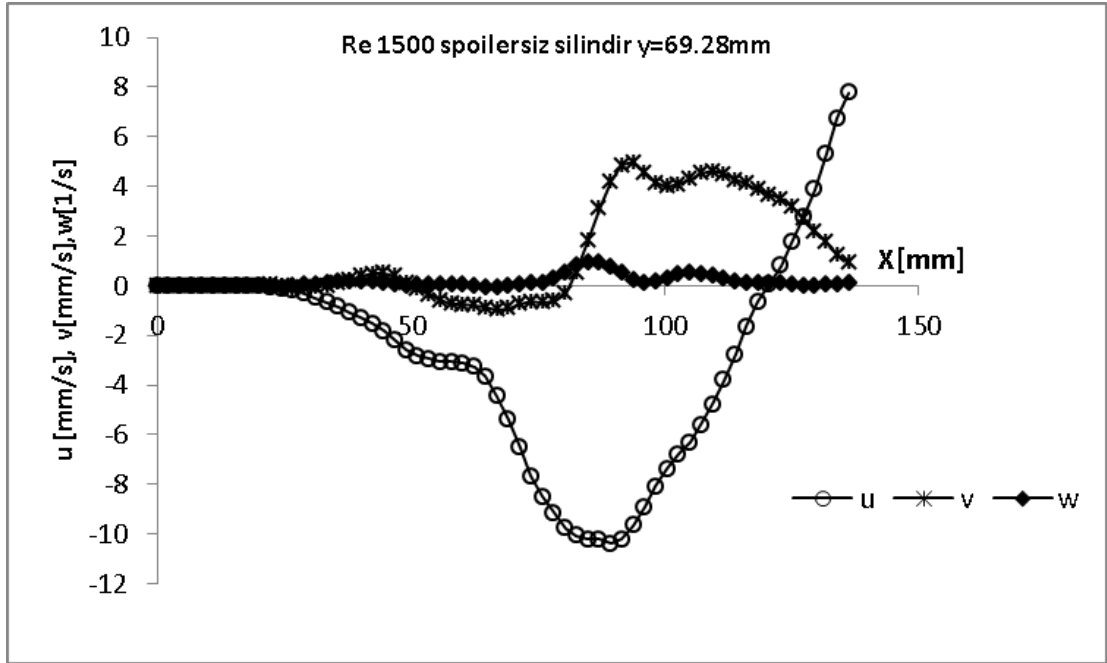
Şekil 4.5. Spoilerli silindir merkez çizgileri boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=750$)

Şekil 4.6 A da $Re_d=1500$ hız değerlerinde spoilerli silindir deney sonuçlarına ait hız vektörü alanı verilmektedir. $Re_d=1500$ değerinde spoiler etkisini araştırmak amacıyla, Şekil 4.2 $Re_d=1500$ ile Şekil 4.6 karşılaştırıldığında spoiler etkisi ile beraber alt kısımdaki girdap baskınlığını yitirmiş ve üst kısımdaki girdap daha baskın bir hal almıştır. Girdap sayısında bir değişiklik olmamakla birlikte, spoiler etkisiyle kaynak noktası oluşmuş ayrıca bir adet daha durma noktası gözlenmiştir. Spoilerli silindirde görülen girdaplar spoilersiz silindirde görülen girdaplara göre silindire daha yakın oluşmuştur. Şekil 4.6 C de silindir arkasında oluşan girdap konturları verilmiştir. Kontur değerlerinin minimum, maksimum ve artım değerleri sırasıyla ± 8 $1/\text{s}$ dir. Spoiler etkisiyle silindirin üst kısımlarında oluşan jet silindir eksenine doğru bükülmüş ve silindir tabanında oluşan girdap spoiler'ın bulunduğu üst kısımda oluşan girdap ile hemen hemen eşit bir seviyeye gelmiştir.

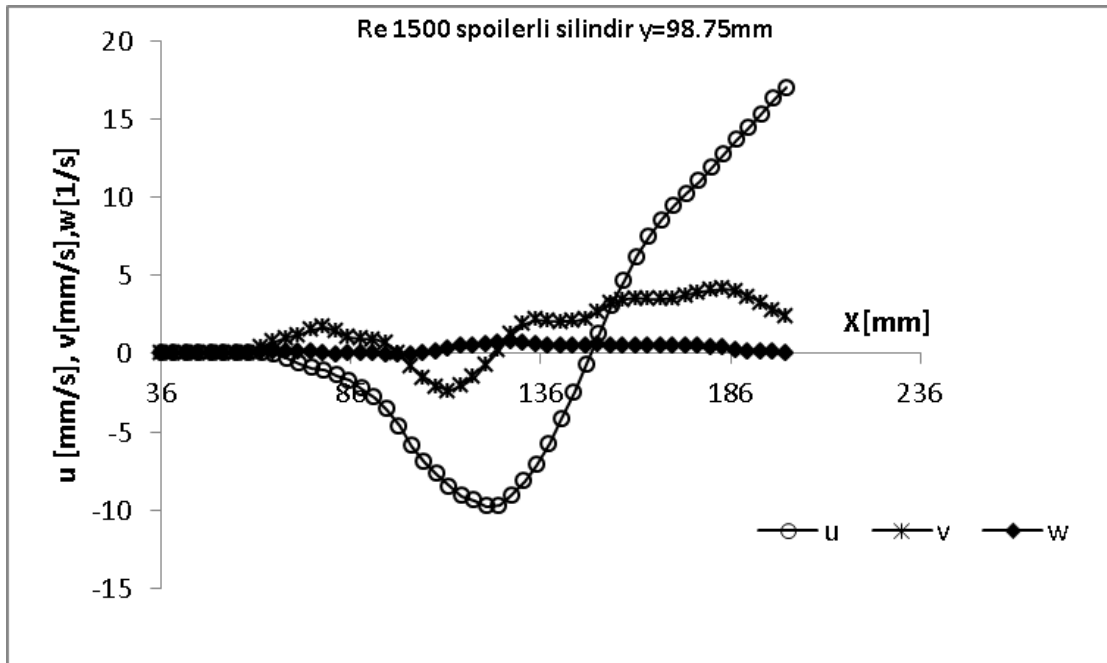


Şekil 4.6. Spoilerli silindir arkasında oluşan akış yapısı (A- hız vektörü $\langle V \rangle$, B- akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, C- girdap konturu $\langle \omega \rangle$ ($G/D=2.6$ $Re_d=1500$))

$Re_d=1500$ için silindirlerin merkezinden x eksenine paralel çizilen çizgi boyunca elde edilen hız ve girdap diyagramları Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 da verilmiştir. Spoilersiz silindir için maksimum “v” hızı 4.8mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 91.64 mm iken spoiler etkisiyle “v” hızının maksimum hızı 4.15 mm/s olmuş ve silindir merkezine olan x mesafesi 145.06 mm olarak tespit edilmiştir. “v” hızı maksimum noktasının spoiler etkisiyle silindir merkezine olan uzaklığının arttığı ve hızının azaldığı görülmektedir. Spoilersiz silindirin minimum “v” hızı -0.86 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 64.82 mm iken spoilerli silindirde ise minimum “v” hızı -2.12 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 72.63 mm değerindedir. $Re_d=750$ değerine denk gelen hız değeri 1.5 mm/s iken silindir sonunda bu hız değeri $Re_d=750$ değerinden daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Spoilersiz silindirde minimum “u” hızı -10.22 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 87.17 mm değerindeyken spoilerli silindirde bu değer -9.78 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 85.8 mm değerindedir. Spoiler etkisiyle girdabın $Re_d=1500$ de de sıfır a yaklaştığı görülmektedir. Girdap eğrisi değerinin spoilerli silindirde spoilersiz silindire göre daha düşük çıkması spoilerli silindirin altındaki oyulmaları ciddi ölçüde sönmüleyebileceğini göstermektedir.

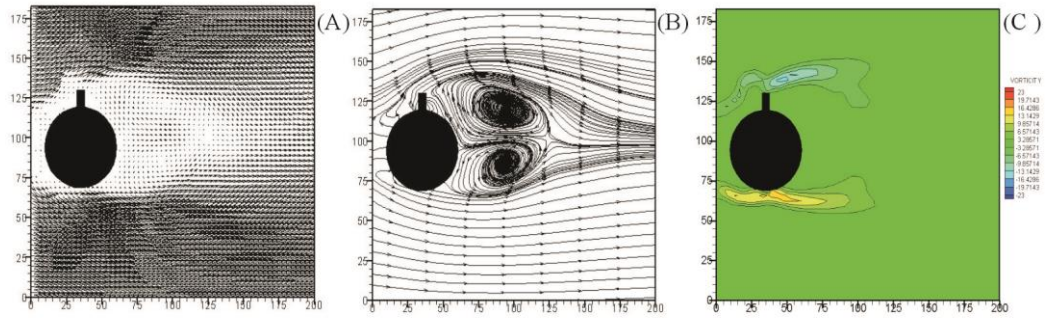


Şekil 4.7. Spoilersiz silindir merkez çizgileri boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=1500$)



Şekil 4.8. Spoilerli silindir merkez çizgileri boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=1500$)

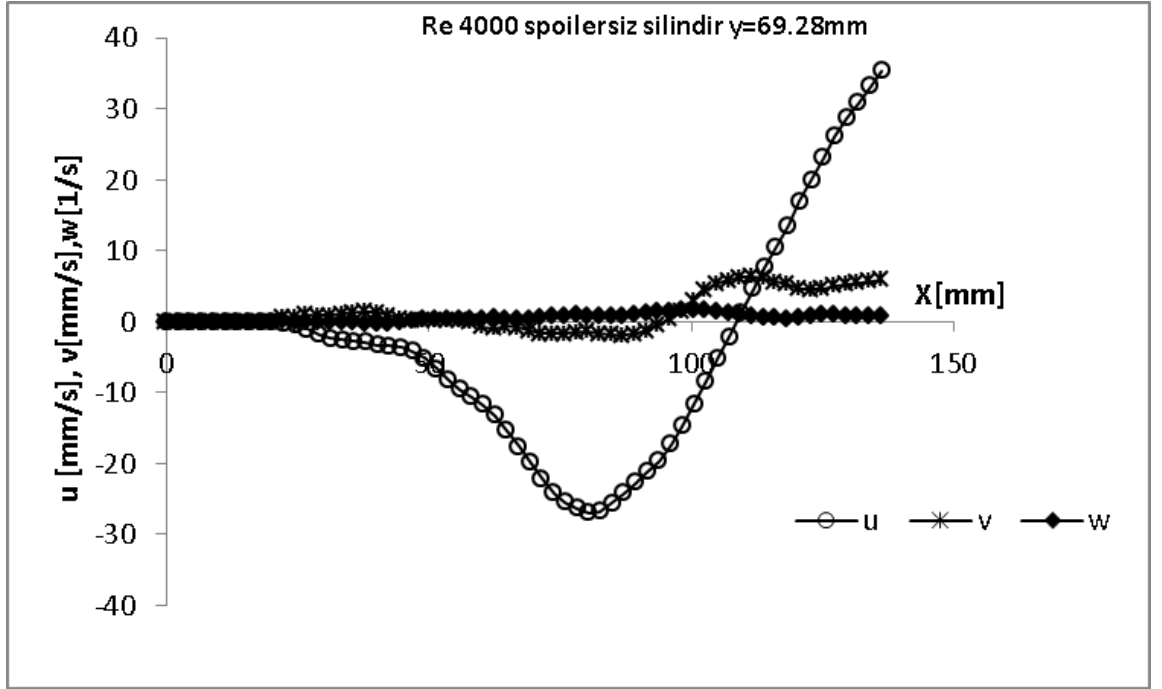
Şekil 4.9 de $Re_d=4000$ değerlerinde düzlem plaka üzerinde $G/D=2.6$ değerinde akım çizgisi ve girdap kontur alanları verilmiştir. Şekil 4.9 A da $Re_d=4000$ değerlerinde spoilerli silindir deneylerinden elde edilen hız vektörü alanı $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=4000$ değerinde silindir arkasında $Re_d=1500$ deki akışa göre daha dar bir ölü akış bölgesi ve üstte daha baskın olmak üzere iki girdap alanı oluşmuştur. Şekil 4.2 $Re_d=4000$ ile Şekil 4.9 karşılaştırıldığında spoiler etkisi ile beraber üst kısımdaki girdaplar baskınlığını yitirmiş ve girdaplar simetrik bir hal alıp silindire daha da yaklaşmıştır. Girdap sayısı ve durma noktası sayısı aynı kalmakla beraber spoilerli silindirde $Re_d=1500$ değerinde görülen kaynak noktası kaybolmuştur, ayrıca spoiler'in arkasında spoiler dibinde kavitasyon oluştuğu görülmüştür. Spoilerli silindir arkasında görülen girdaplar, spoilersiz silindire göre silindire daha yakın oluşmuştur. Spoiler etkisi ve artan Reynolds sayısı ile birlikte kontur değerleri de değişmiş, silindirin üst kısımlarında oluşan girdap konturları spoiler'e daha çok yaklaşmıştır (Şekil 4.9 C).



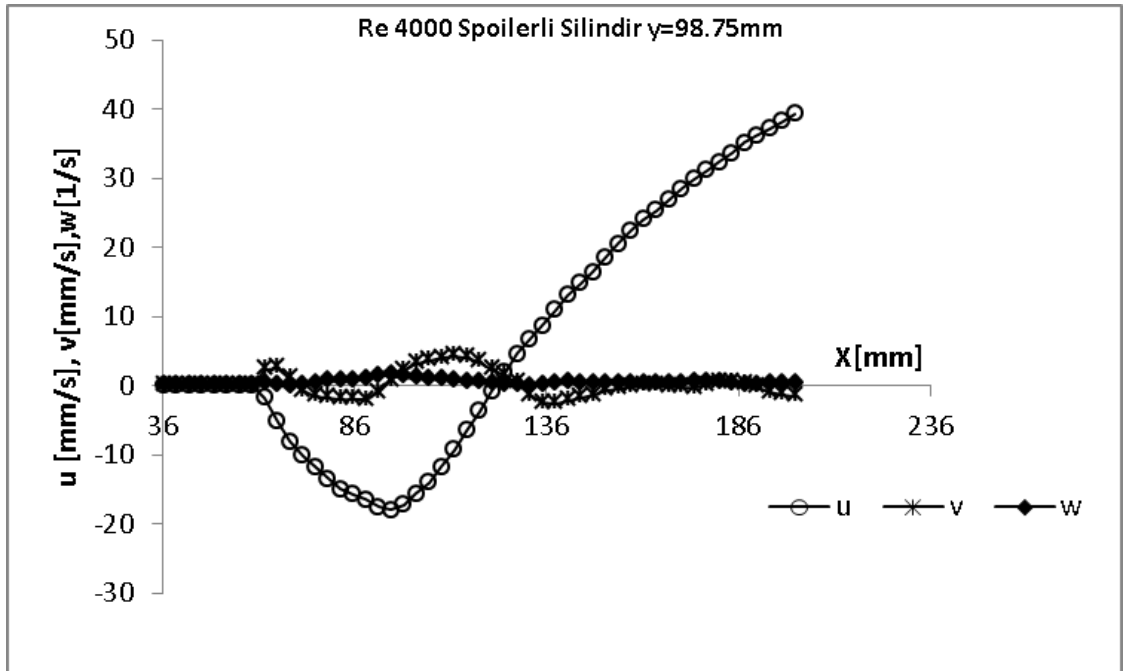
Şekil 4.9. Spoilerli silindir arkasında oluşan akış yapısı (A- hız vektörü $\langle V \rangle$, B- akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, C- girdap konturu $\langle \omega \rangle$ ($G/D=2.6$ $Re_d=4000$))

$Re_d=4000$ için silindirlerin orta noktasından x eksenine paralel çizilen çizgi boyunca elde edilen hız diyagramları Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 de verilmiştir. Spoilersiz silindir için maksimumum “v” hızı 6.25mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 109.52 mm dir. Spoiler etkisiyle “v” hızının maksimum değeri 4.02 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 72.64 mm olmuştur. Spoilersiz silindirin minimum “v” hızı -1.75 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 72.64 mm iken spoilerli silindirde ise minimum “v” hızı -1.90 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 49.59 mm değerindedir. Spoilersiz silindirde minimum “u” hızı -26.30 mm/s ve silindir merkezine

olan x mesafesi 78.22 mm değerindeyken, spoilerlı silindirde bu değerler sırasıyla -17.89 mm/s ve 59.47 mm değerindedir. Spoiler etkisiyle girdabın $Re_d=4000$ değerinde de sıfıra daha da yaklaştığı görülmektedir.

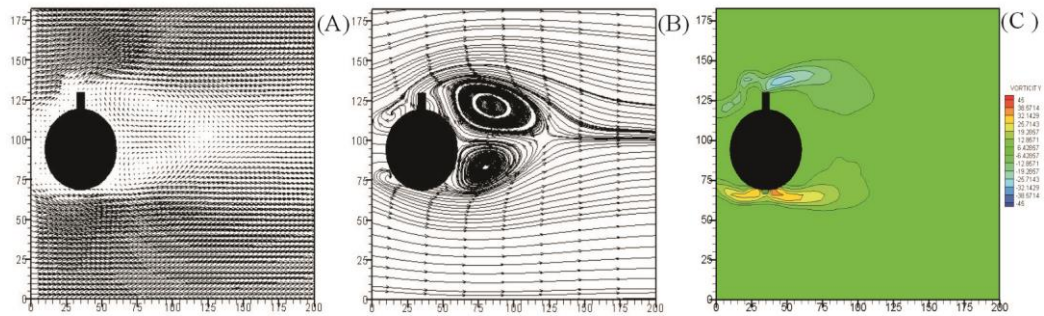


Şekil 4.10. Spoilersiz silindir merkez çizgisi boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=4000$)



Şekil 4.11. Spoilerli silindir merkez çizgisi boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=4000$)

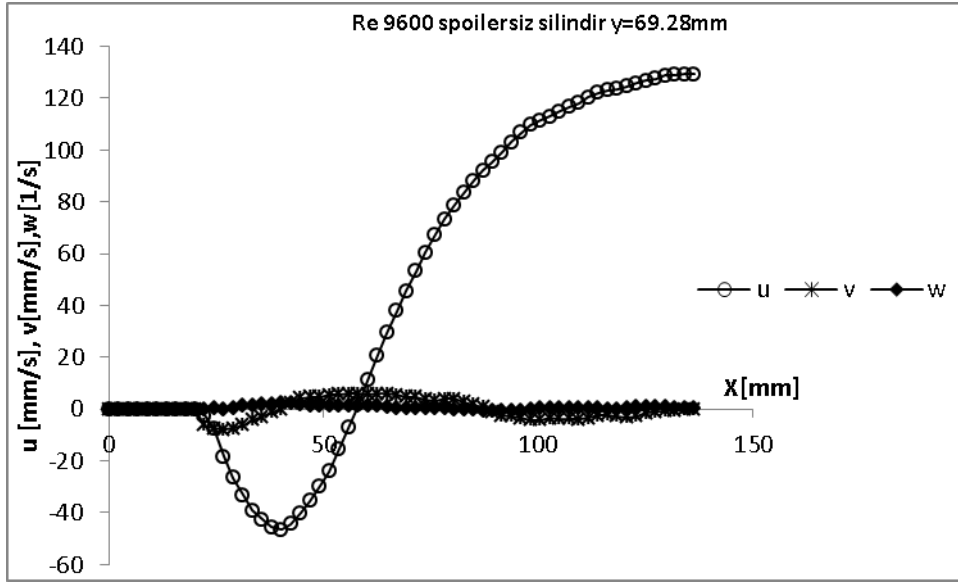
Şekil 4.12 de tabana paralel düzlem plaka üzerinde $G/D=2.6$ değerinde spoilersiz silindir arkasında silindir çapına bağlı Reynolds sayısının $Re_d=9600$ değerlerinde akış yapısının zaman ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturları $\langle \omega \rangle$ verilmiştir. Şekil 4.12 A da $Re_d=9600$ hız değerlerinde spoilerli silindir akış yapısına ait hız alanları $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=9600$ değerinde hız vektörlerinde Reynolds değerinin artmasından ve akış yapısının daha çok türbülanslı olmasından dolayı silindir arkasında $Re_d=4000$ deki akışa göre daha dar bir ölü akış bölgesi ve birbiriyle hemen hemen aynı büyüklükte iki girdap oluşmuştur. Şekil 4.2 $Re_d=9600$ ile Şekil 4.12'ün karşılaştırılması sonucunda Spoiler etkisi ile beraber üst kısımdaki girdap baskınlığını arttırmış ve girdapların simetrisi bozulmuştur. Girdap ve durma noktası sayısında bir değişiklik olmamakla beraber spoiler tabanında meydana gelen kavitasyon etkisi bu Reynolds sayısında da görülmüştür. Alt kısımdaki girdap boyutu küçülmüştür. Spoiler etkisiyle silindirin üst kısımlarında oluşan girdap konturları spoiler'e daha da yaklaşmıştır (Şekil 4.12 C).



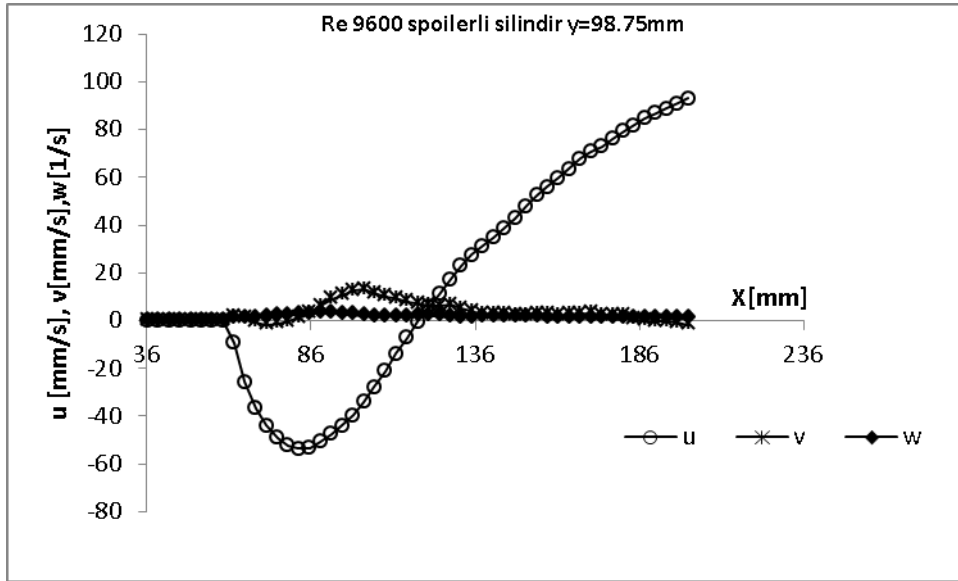
Şekil 4.12. Spoilerli silindir arkasında oluşan akış yapısı (A- hız vektörü $\langle V \rangle$, B- akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$, C- girdap konturu $\langle \omega \rangle$ ($G/D=2.6$ $Re_d=9600$))

$Re_d=9600$ için silindirlerin merkez noktasından x eksenine paralel çizilen çizgi boyunca elde edilen hız diyagramları Şekil 4.13'de verilmiştir. Spoilersiz silindir için maksimum “v” hızı 5.77 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 53.64 mm iken spoiler etkisiyle “v” hızının maksimum hızı yine 12.45 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 62.76 mm olmuştur. Spoilersiz silindirin minimum “v” hızı -7.89 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 26.82 mm iken spoilerli silindirde ise minimum “v”

hızı -1.63 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 36.42 mm değerindedir. Spoilersiz silindirde minimum “ u ” hızı -45.72 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 37.99 mm değerindeyken spoilerli silindirde bu değer -53.68 mm/s ve silindir merkezine olan x mesafesi 46.29 mm değerindedir. Spoiler etkisiyle girdap değerlerinin $Re_d=9600$ de de sıfıra hemen hemen eşit olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13. Spoilersiz silindir merkez çizgisi boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=9600$)



Şekil 4.14. Spoilerli silindir merkez çizgisi boyunca u , v ve w dağılımı ($Re_d=9600$)

4.2. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde sonlu hacimler metodu ile çalışan ANSYS 14.5 CFD-FLUENT programı ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Farklı Reynolds sayılarında laminar, standart $k-\varepsilon$, rng $k-\varepsilon$, realizable $k-\varepsilon$, standart $k-\omega$ ve SST $k-\omega$ modeller denenmiştir. Deney şartlarını sağlamak amacı ile önce 2m lik boş kanal çalıştırılmış ve hız profilleri elde edilerek plaka üzerindeki silindire hız profili uygulanmıştır.

$Re_d=750$ için giriş hız şartı 0.015m/s ve formül 8 ile hesaplanan k değeri;

$$k=1.651 \times 10^{-6}$$

formül 9 ile hesaplanan ε değeri;

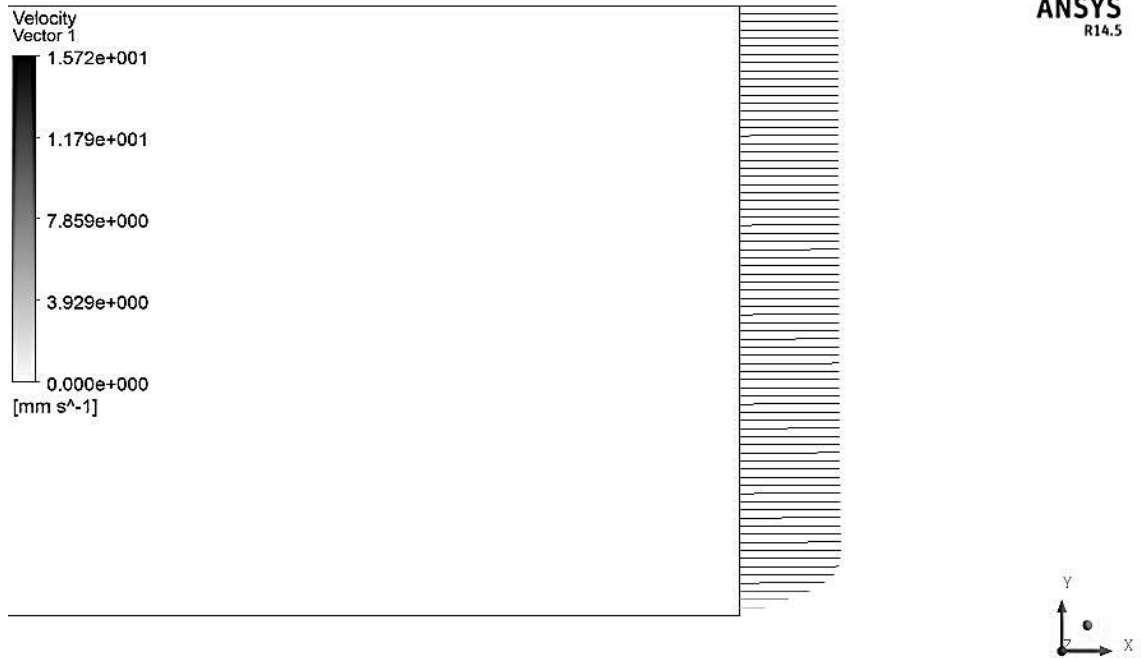
$$\varepsilon=9.959 \times 10^{-8}$$

ve formül 10 ile hesaplanan ω değeri;

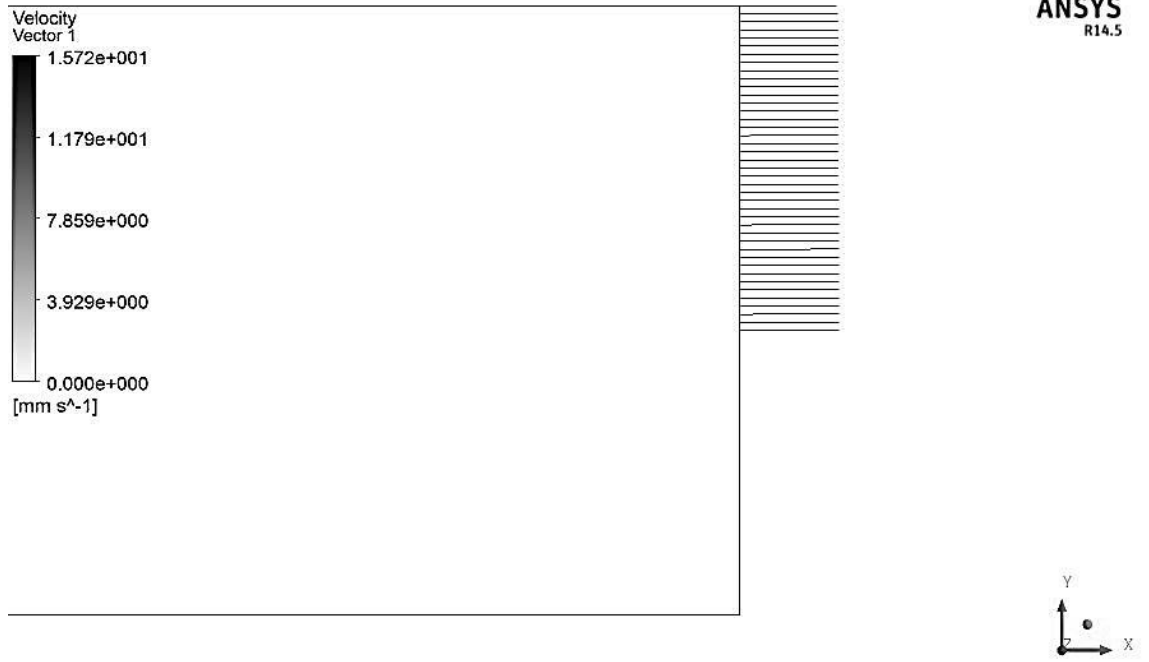
$$\omega=0.67$$

olarak hesaplanmıştır.

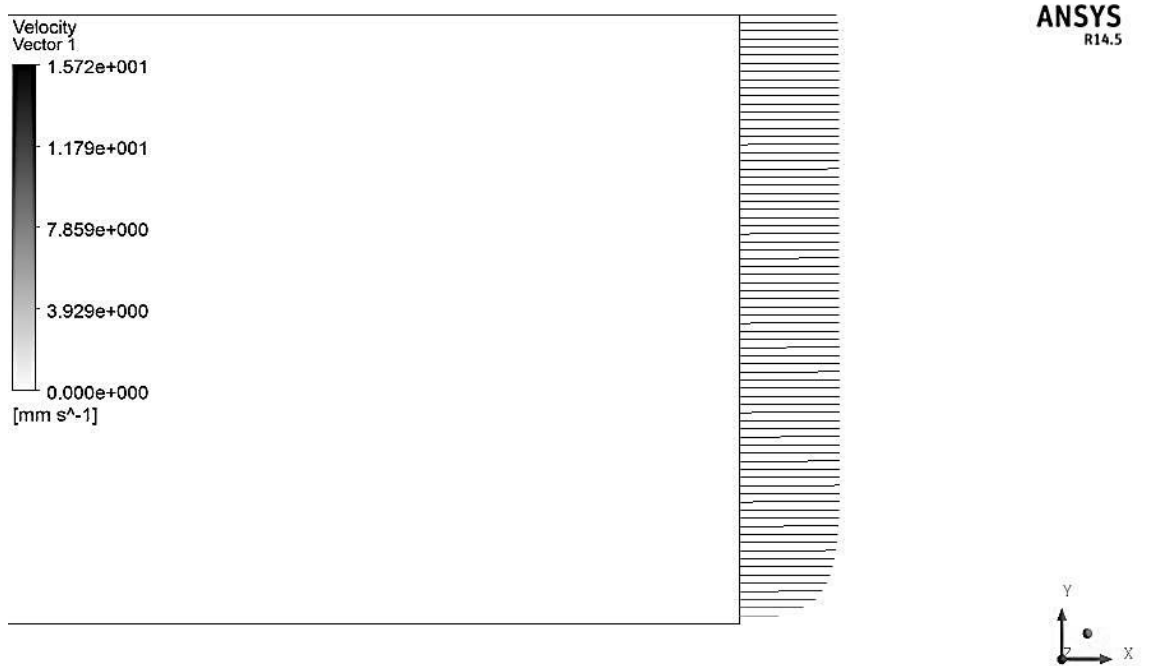
Şekil 4.15 den Şekil 4.26'e $Re_d=750$ için boş kanalda elde edilen nümerik hız profilleri ve plaka üzerinde girişte uygulanacak hız profili gösterilmiştir.



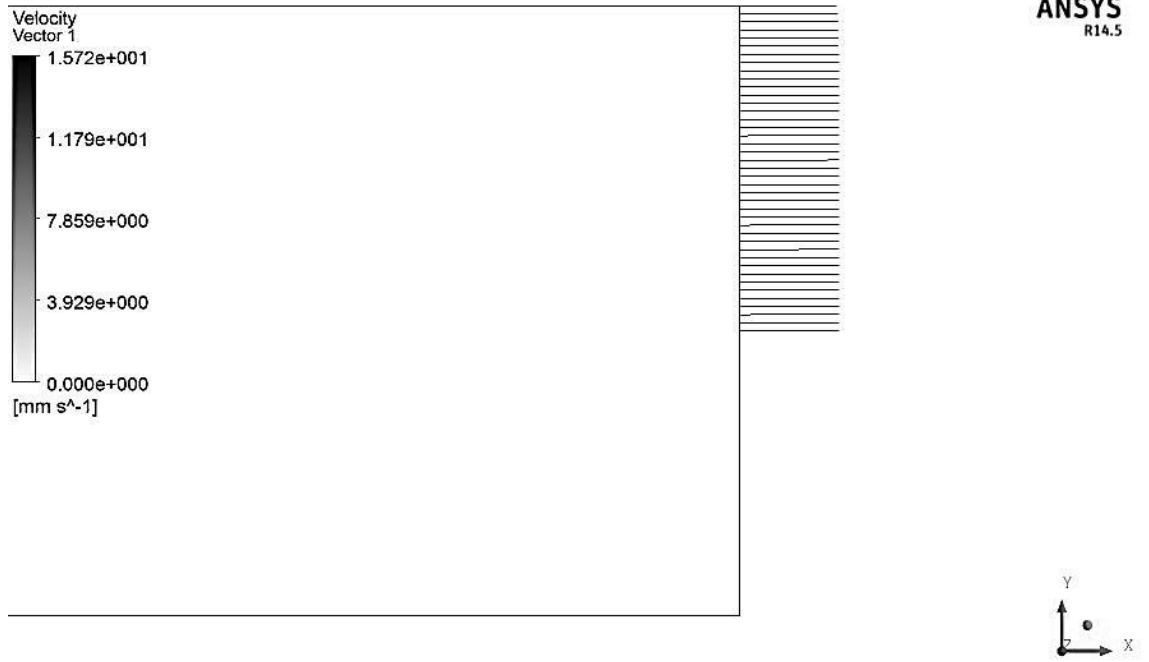
Şekil 4.15. Laminar çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$)



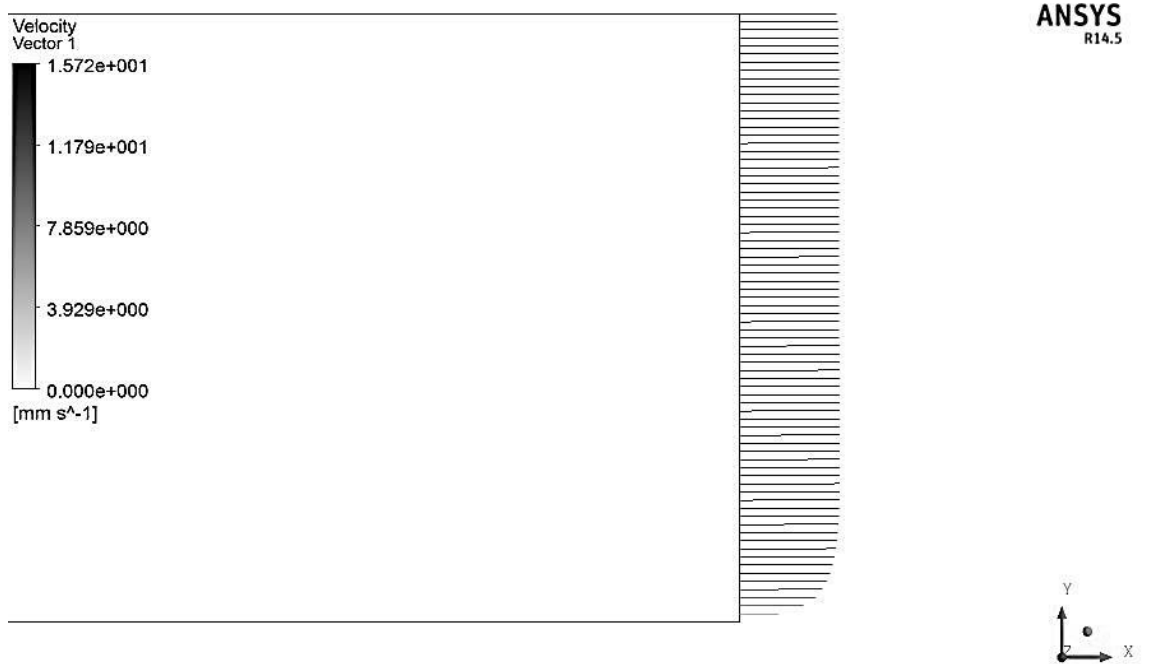
Şekil 4.16. Laminar çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$)



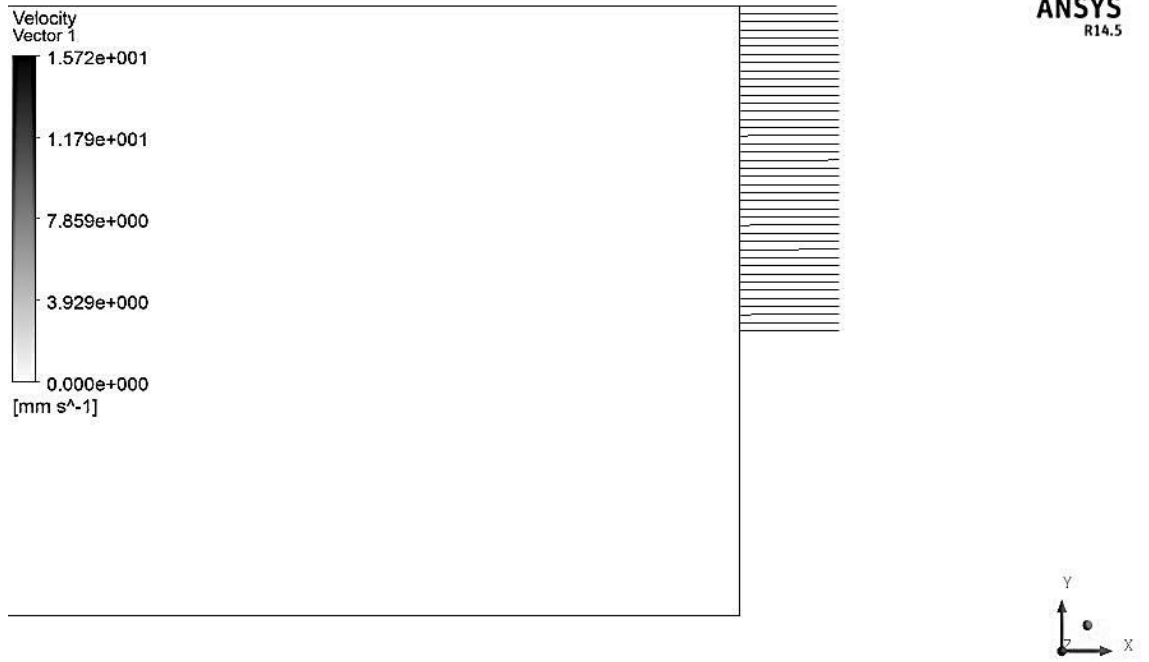
Şekil 4.17. Standart $k-\epsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$)



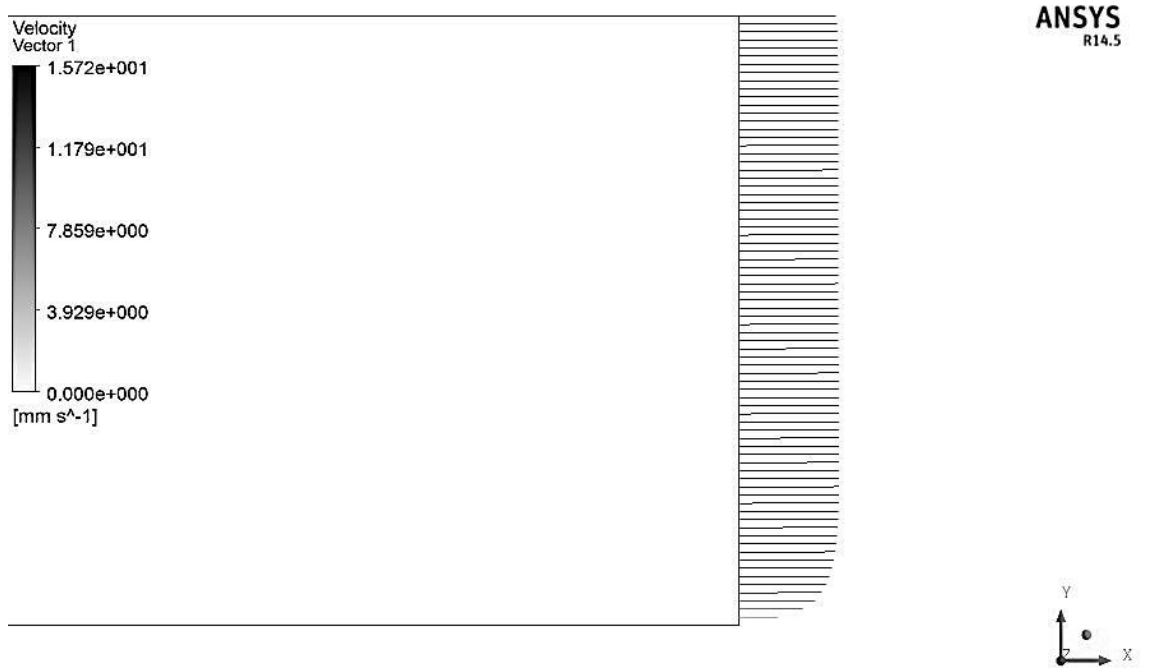
Şekil 4.18. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$)



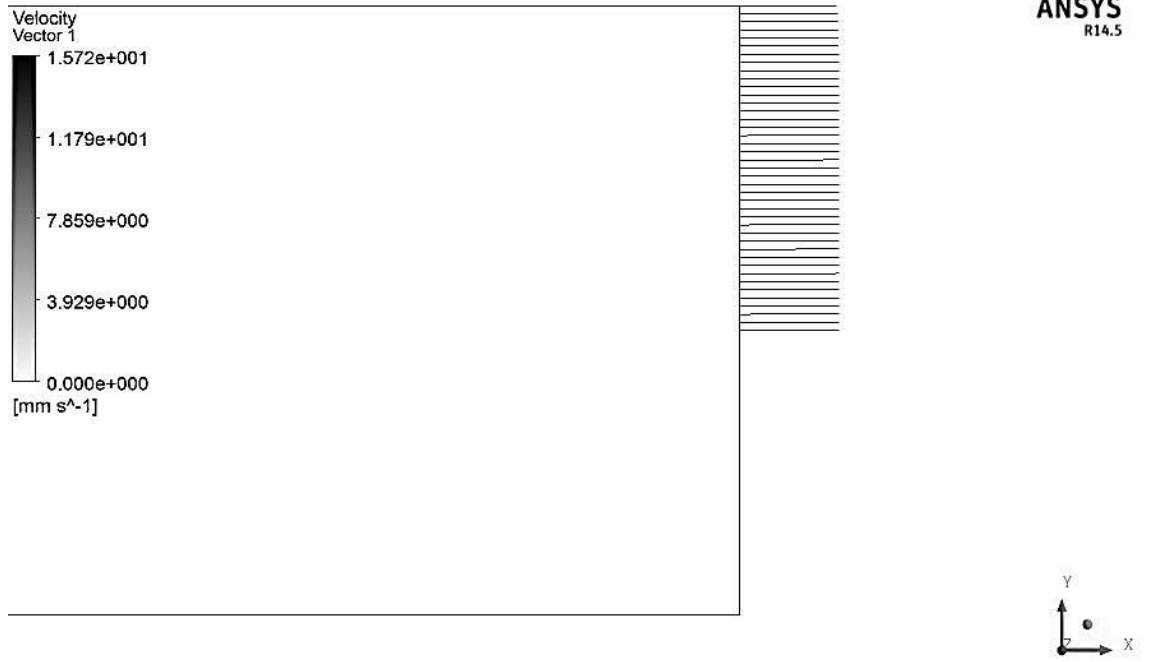
Şekil 4.19. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$)



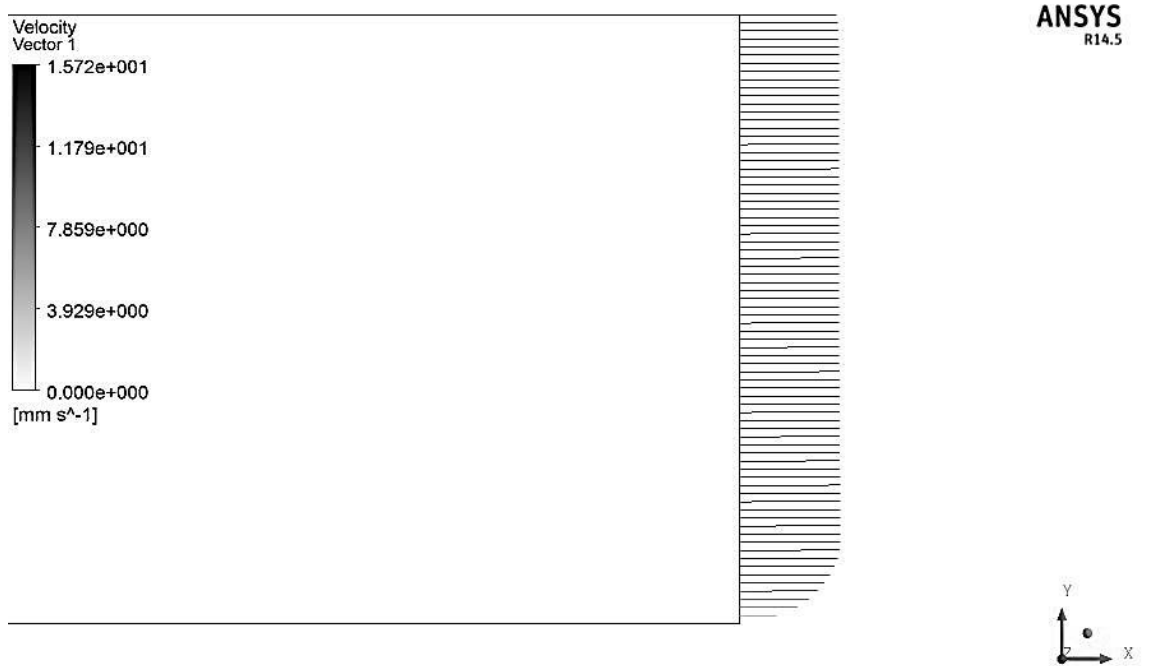
Şekil 4.20. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$)



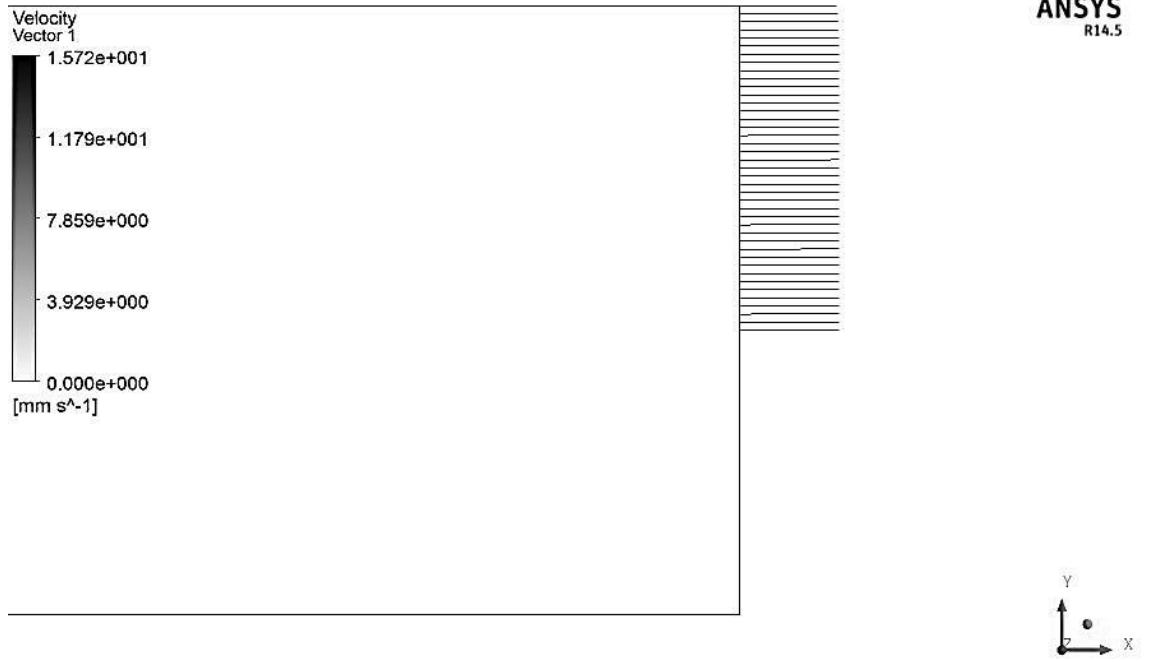
Şekil 4.21. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$)



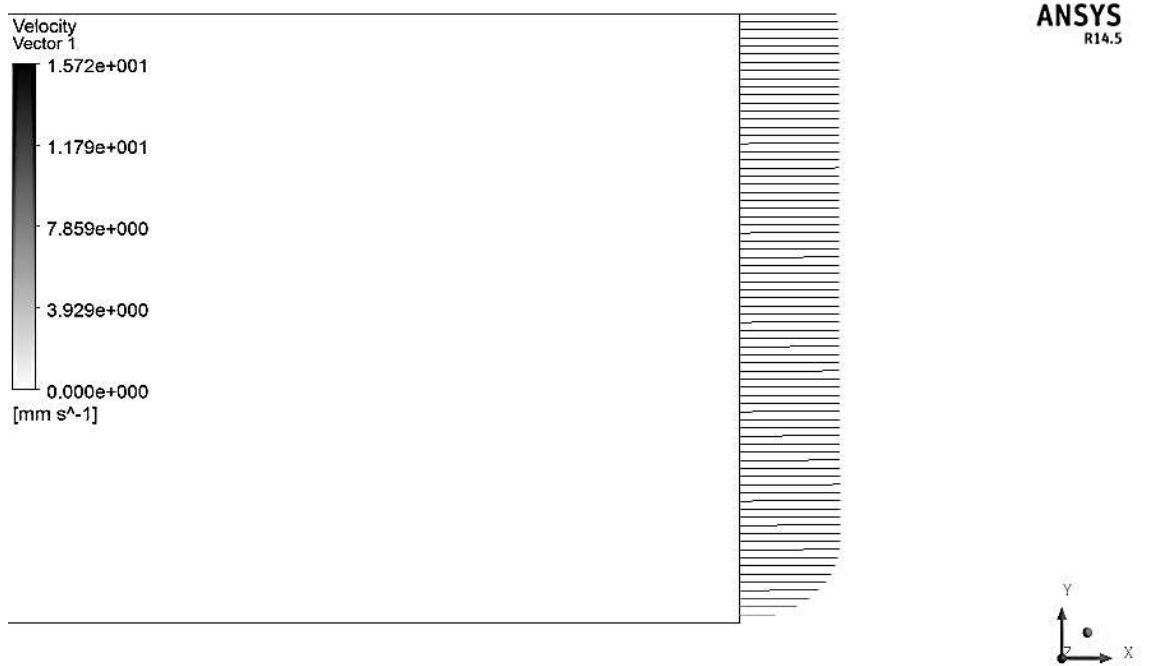
Şekil 4.22. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$)



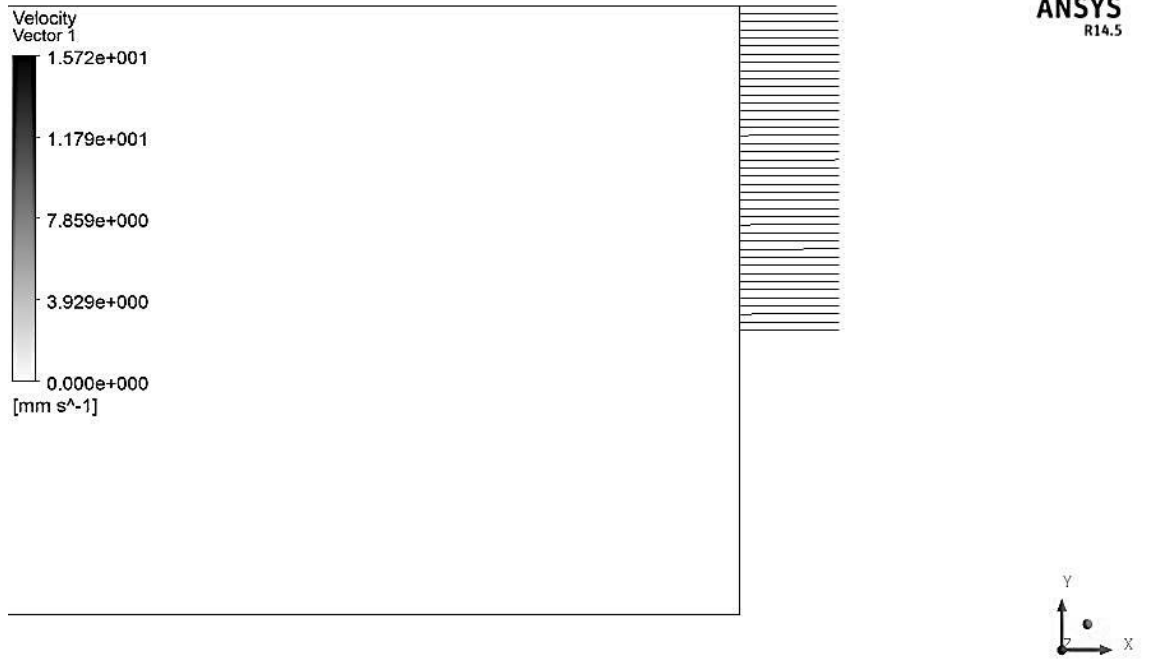
Şekil 4.23. Standart $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$)



Şekil 4.24. Standart $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$)



Şekil 4.25. Sst $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=750$)



Şekil 4.26. Sst k - ω çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=750$)

$Re_d=1500$ için giriş hız şartı 0.030 m/s ve formül 8 ile hesaplanan k değeri;

$$k = 5.553 \times 10^{-6}$$

formül 9 ile hesaplanan ε değeri;

$$\varepsilon = 6.144 \times 10^{-7}$$

ve formül 10 ile hesaplanan ω değeri;

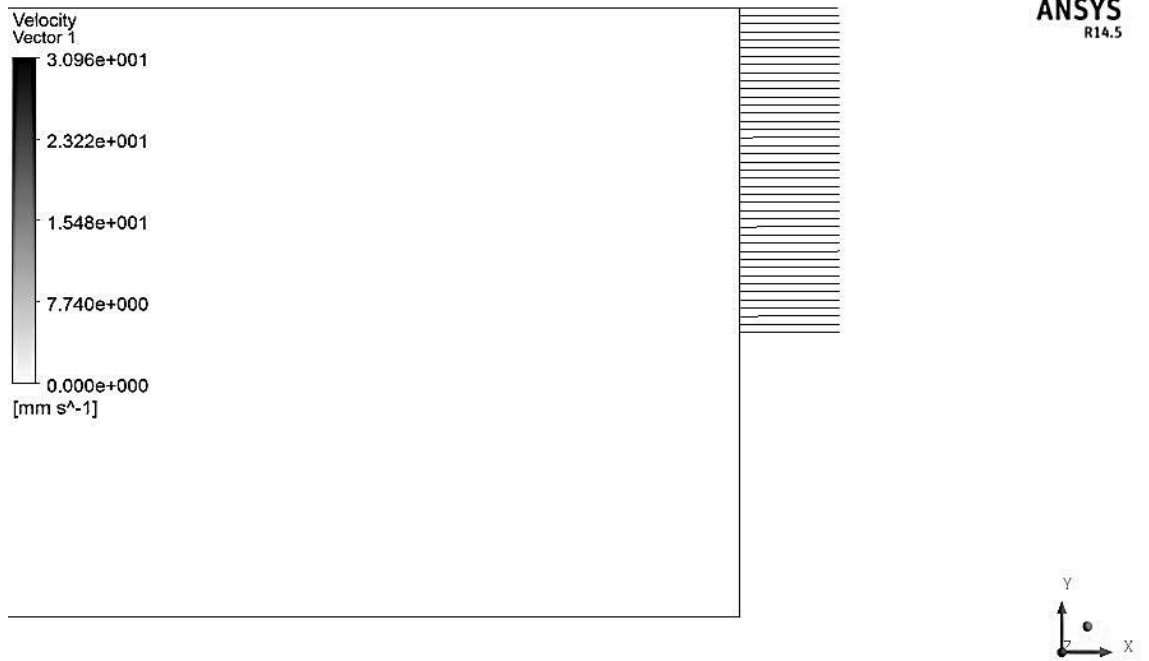
$$\omega = 1.229$$

olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.27 den Şekil 4.38'a $Re_d=1500$ için boş kanalda elde edilen nümerik hız profilleri ve plaka üzerinde girişte uygulanacak hız profili gösterilmiştir.



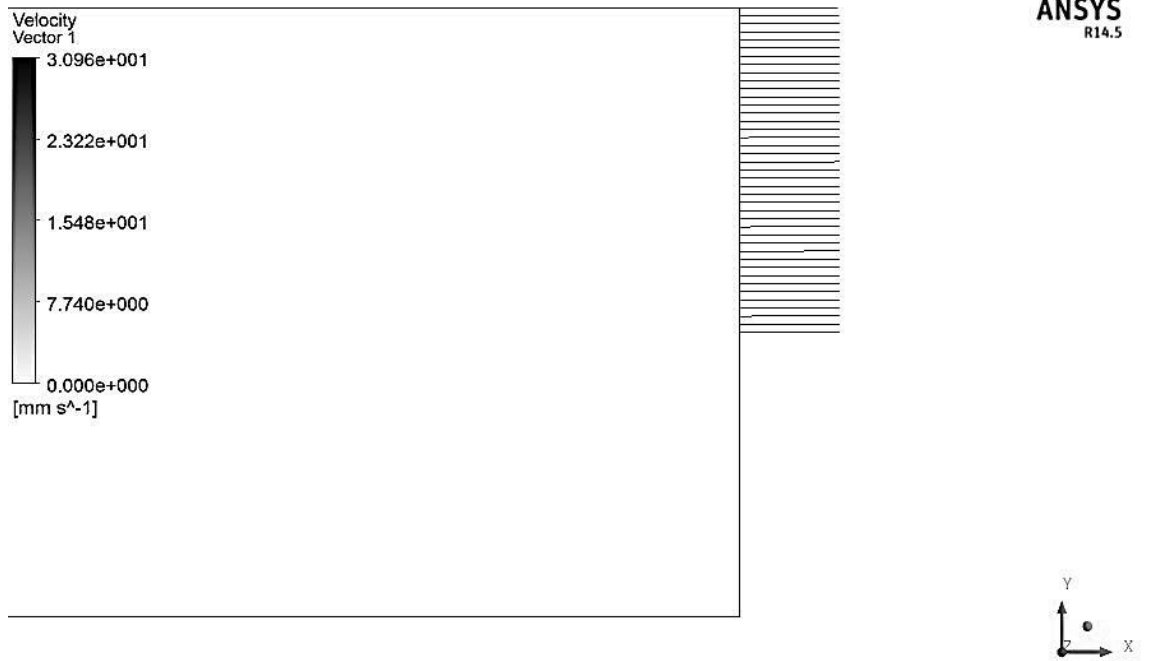
Şekil 4.27. Laminar çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$)



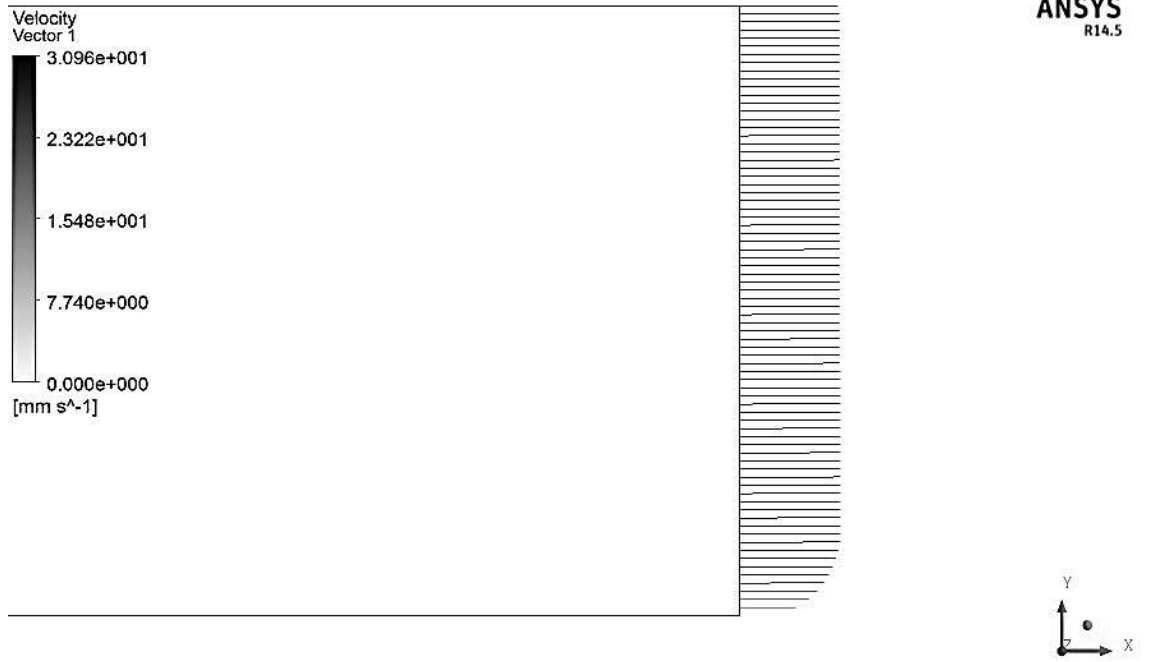
Şekil 4.28. Laminar çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$)



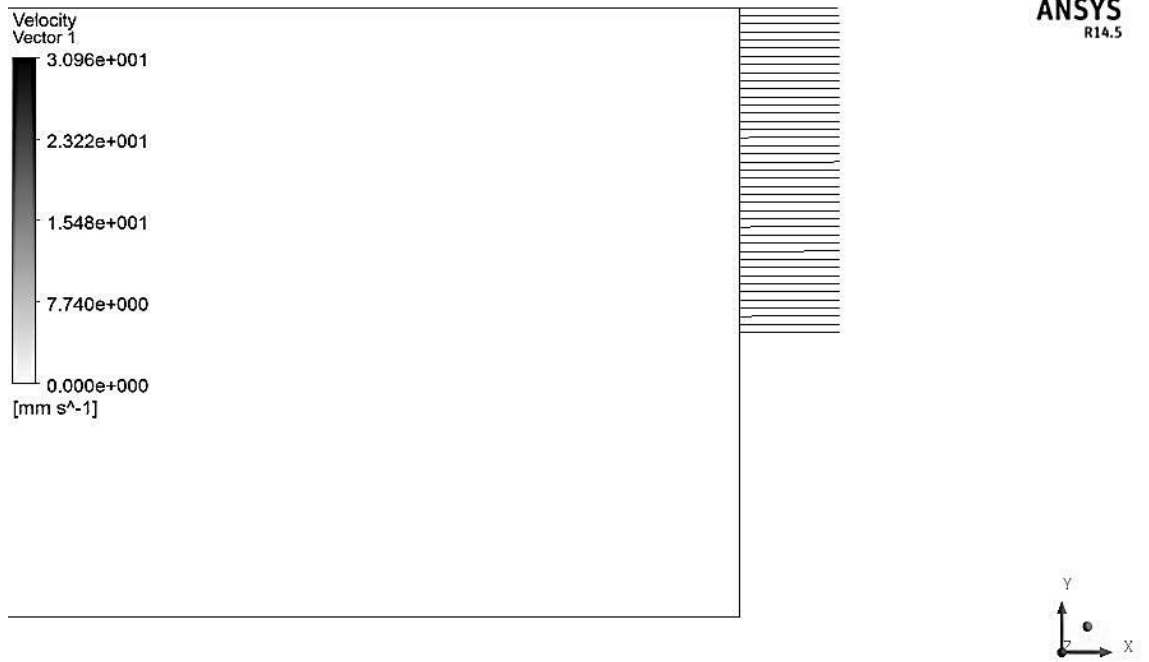
Şekil 4.29. Standart k - ϵ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$)



Şekil 4.30. Standart k - ϵ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$)



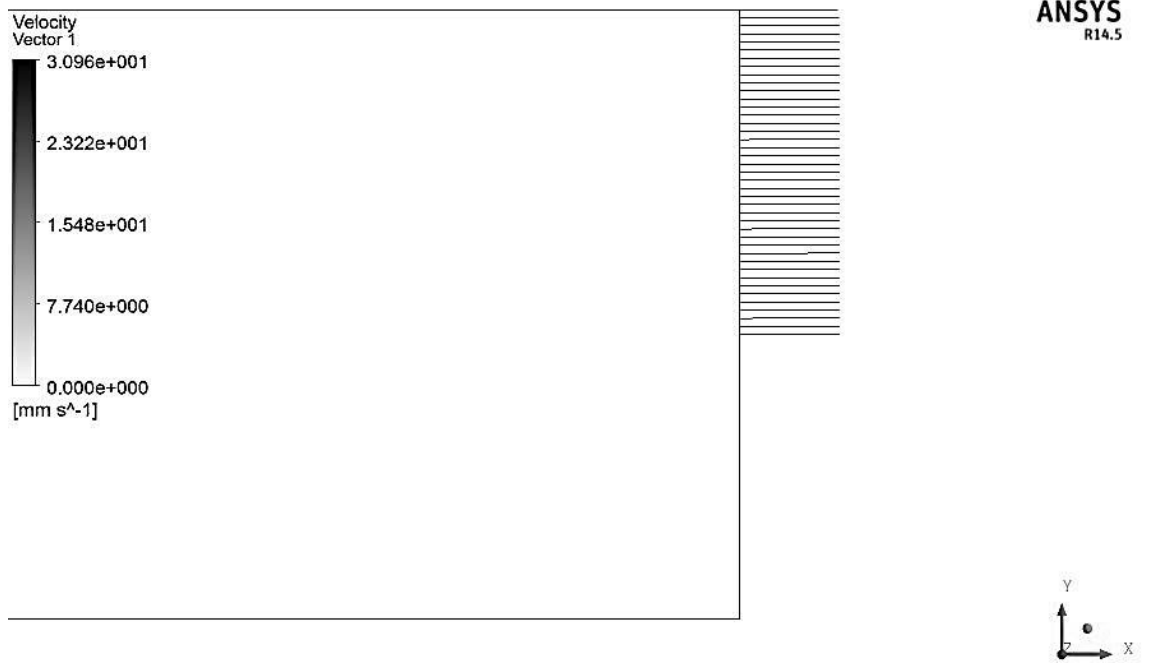
Şekil 4.31. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$)



Şekil 4.32. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$)



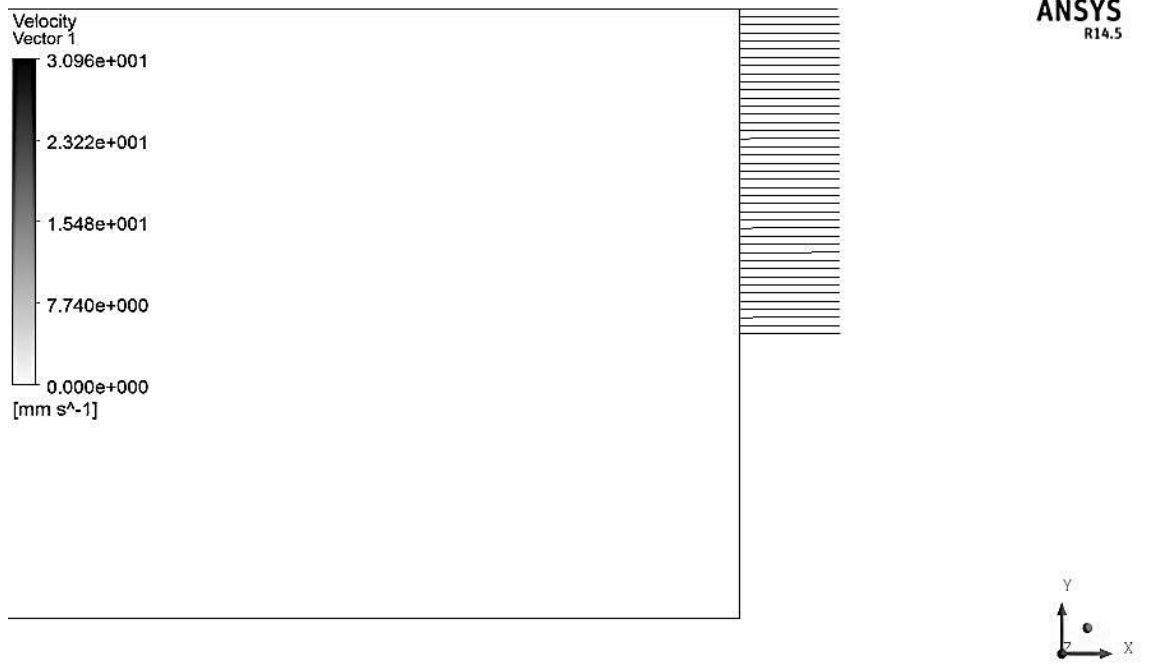
Şekil 4.33. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$)



Şekil 4.34. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$)



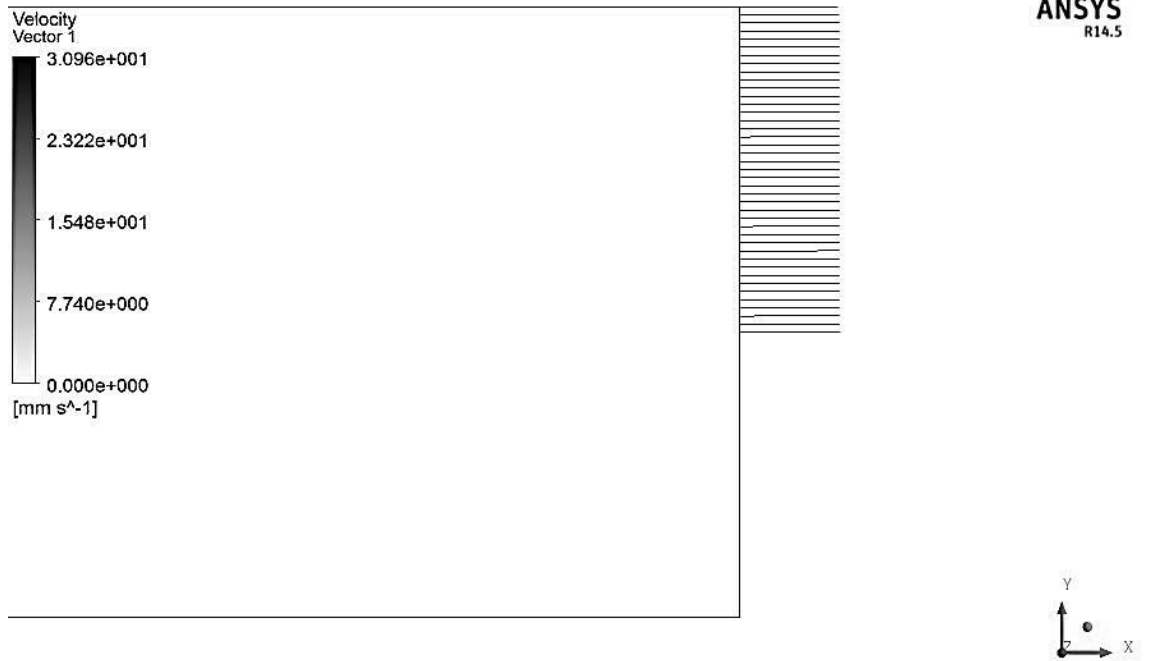
Şekil 4.35. Standart $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$)



Şekil 4.36. Standart $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$)



Şekil 4.37. Sst $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=1500$)



Şekil 4.38. Sst $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=1500$)

$Re_d=4000$ için giriş hız şartı 0.080 m/s ve formül 8 ile hesaplanan k değeri;

$$k = 3.09 \times 10^{-5}$$

formül 9 ile hesaplanan ε değeri;

$$\varepsilon = 8.065 \times 10^{-6}$$

ve formül 10 ile hesaplanan ω değeri;

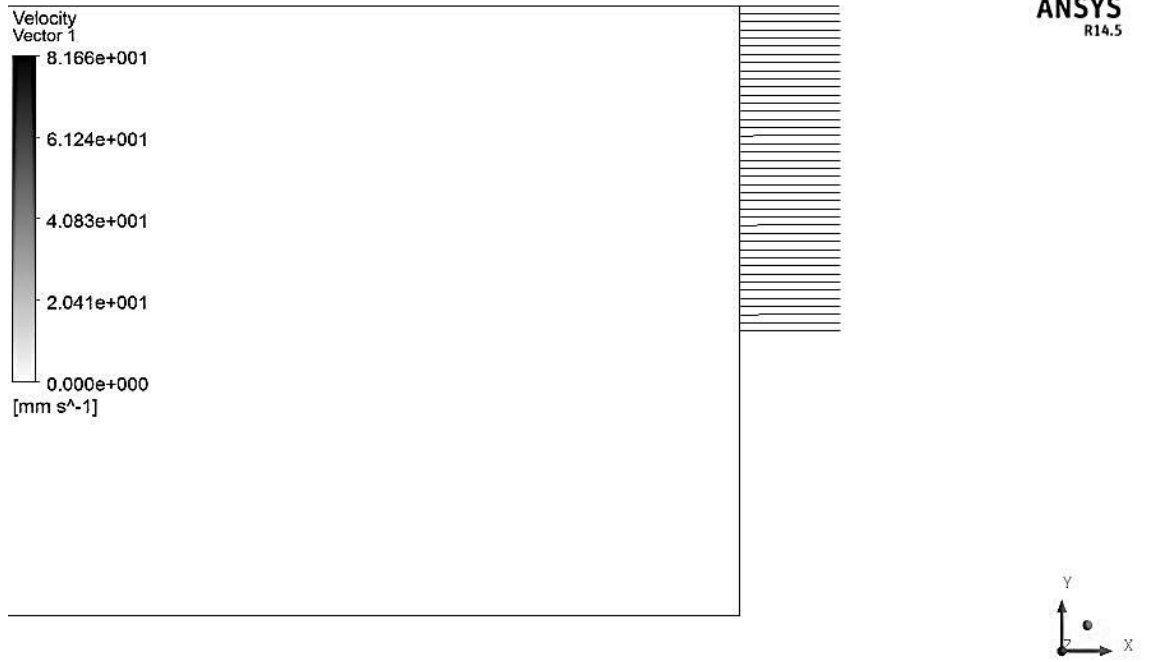
$$\omega = 2.9$$

olarak hesaplanmıştır.

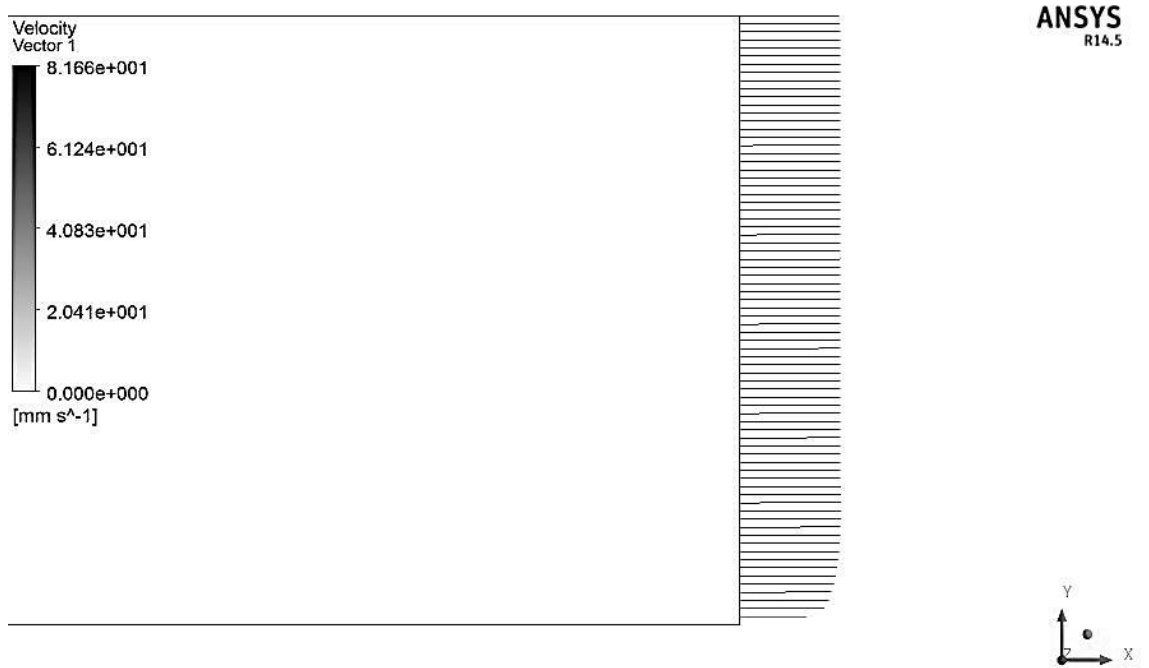
Şekil 4.39 den Şekil 4.48'a $Re_d=4000$ için boş kanalda elde edilen nümerik hız profilleri ve plaka üzerinde girişte uygulanacak hız profili gösterilmiştir.



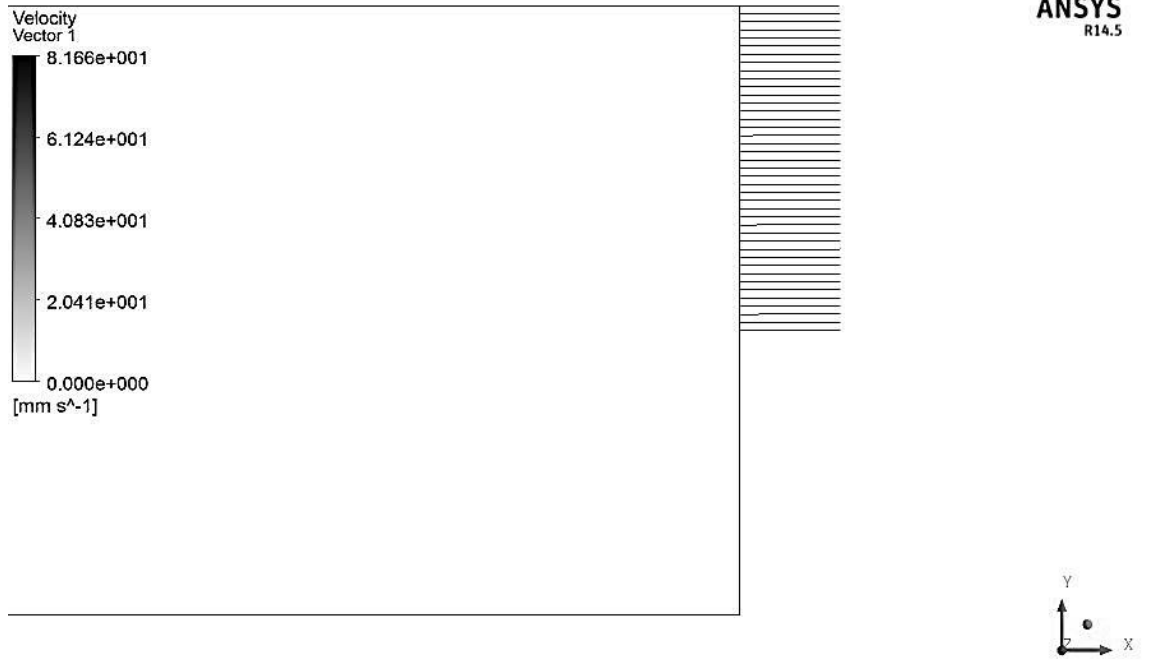
Şekil 4.39. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$)



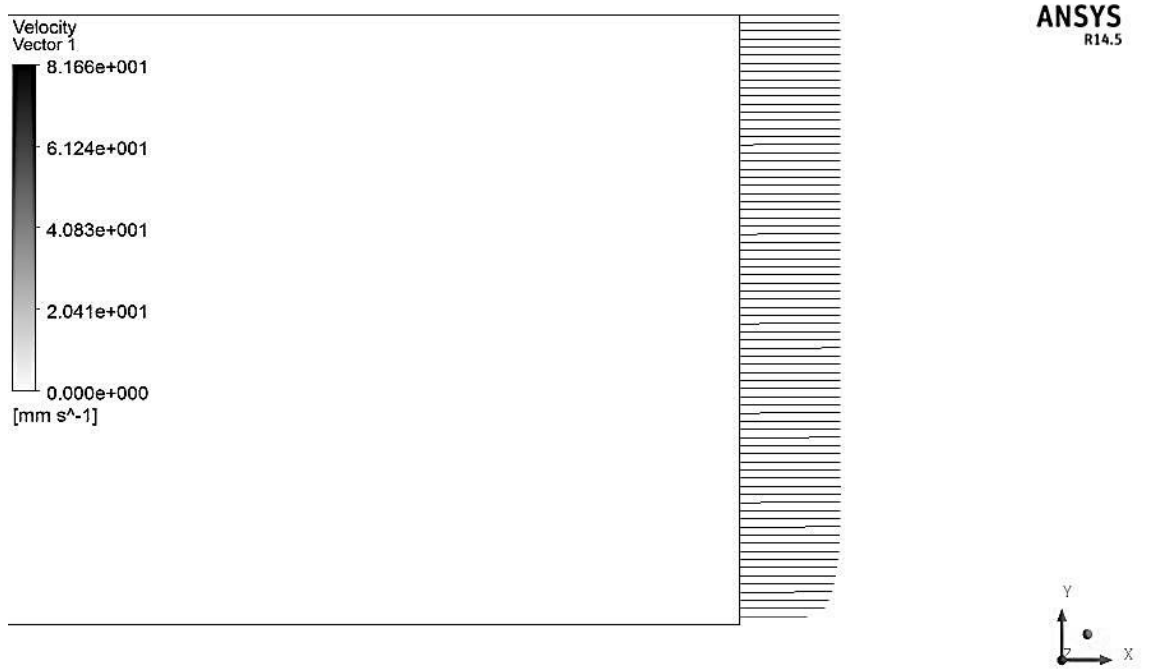
Şekil 4.40. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$)



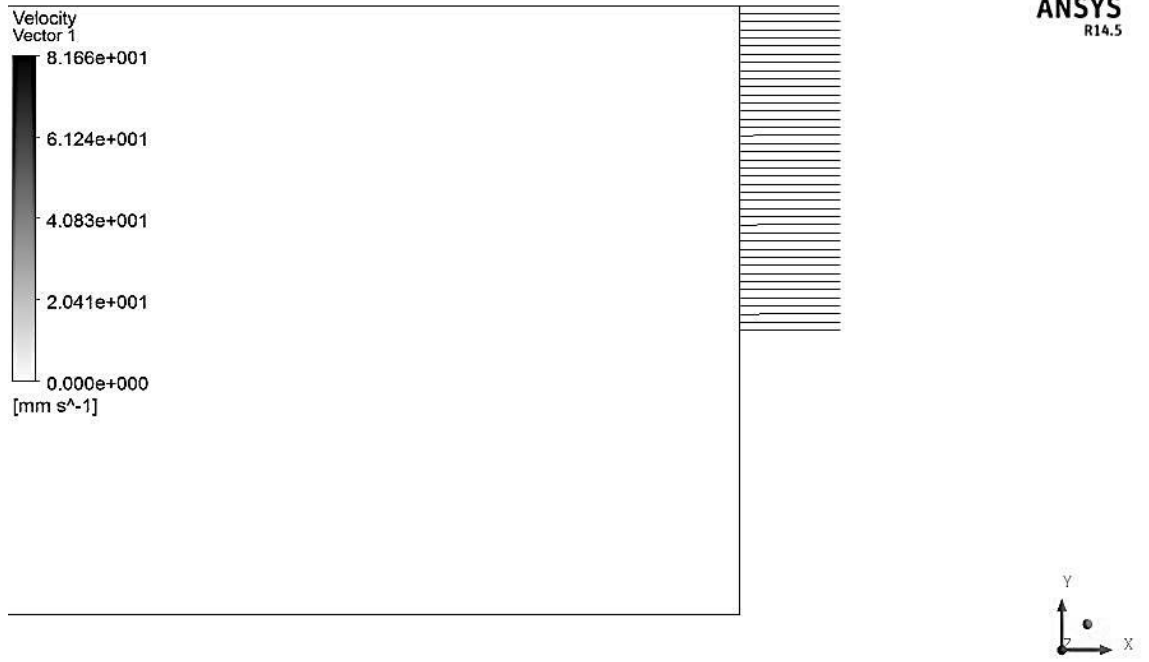
Şekil 4.41. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$)



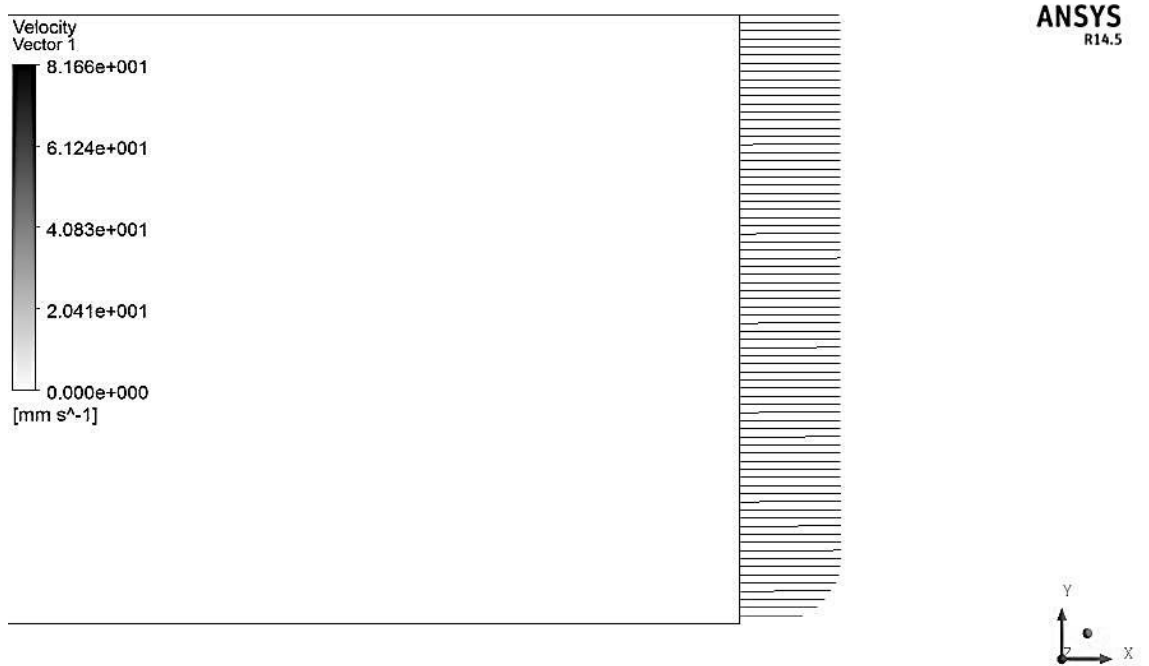
Şekil 4.42. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$)



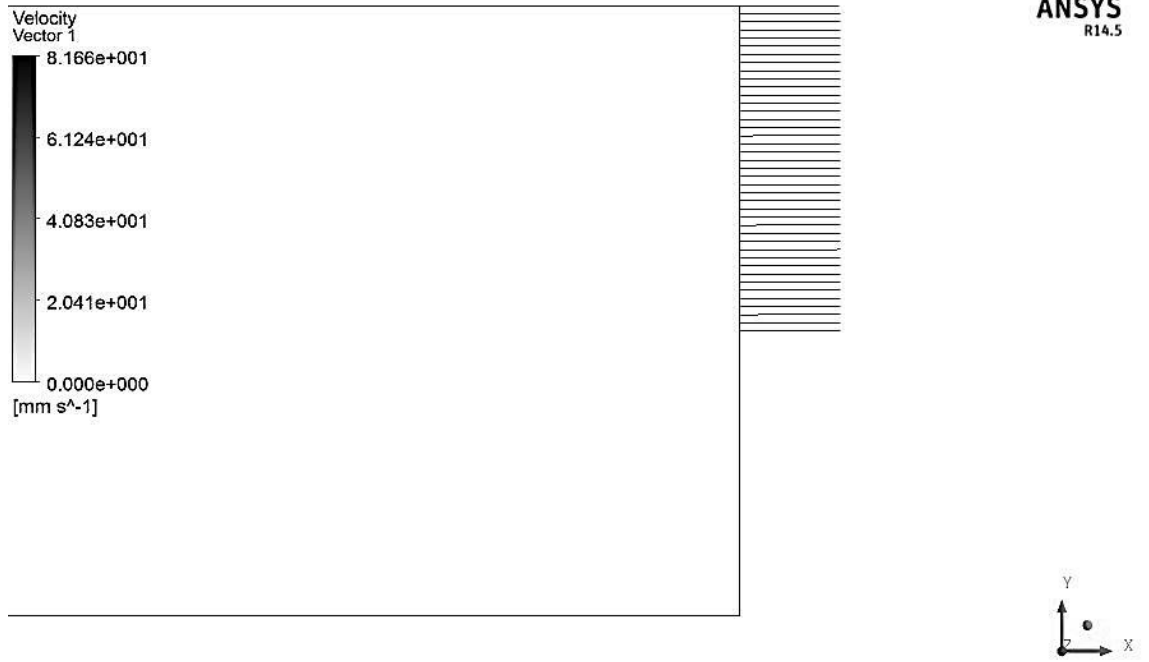
Şekil 4.43. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$)



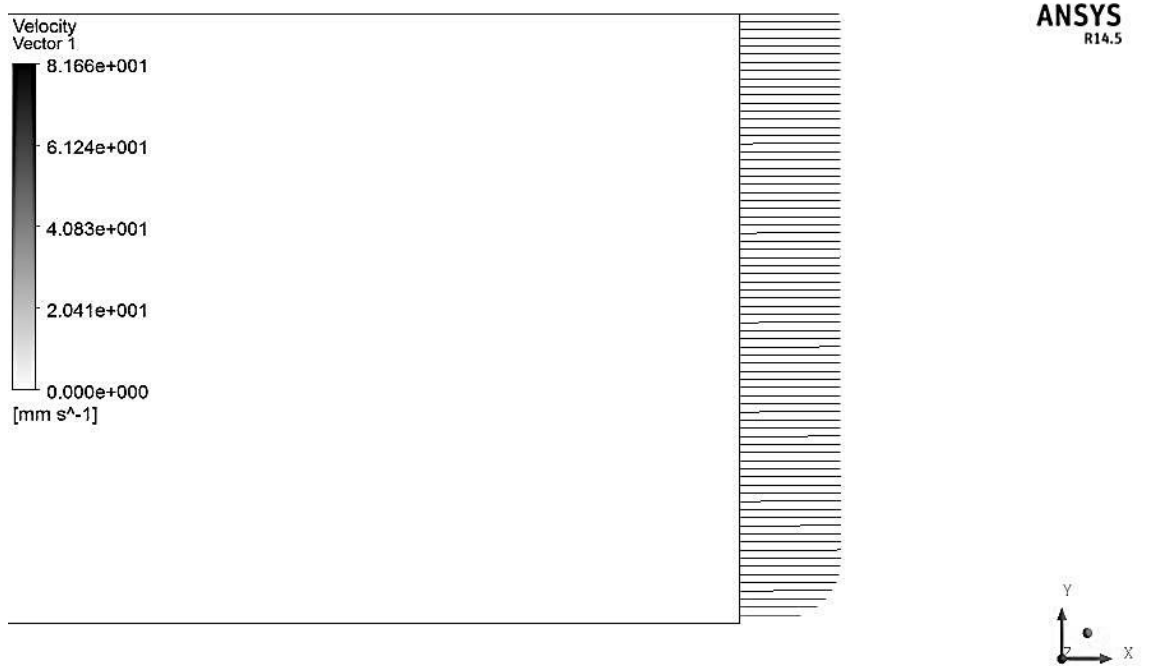
Şekil 4.44. Realizable $k\text{-}\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$)



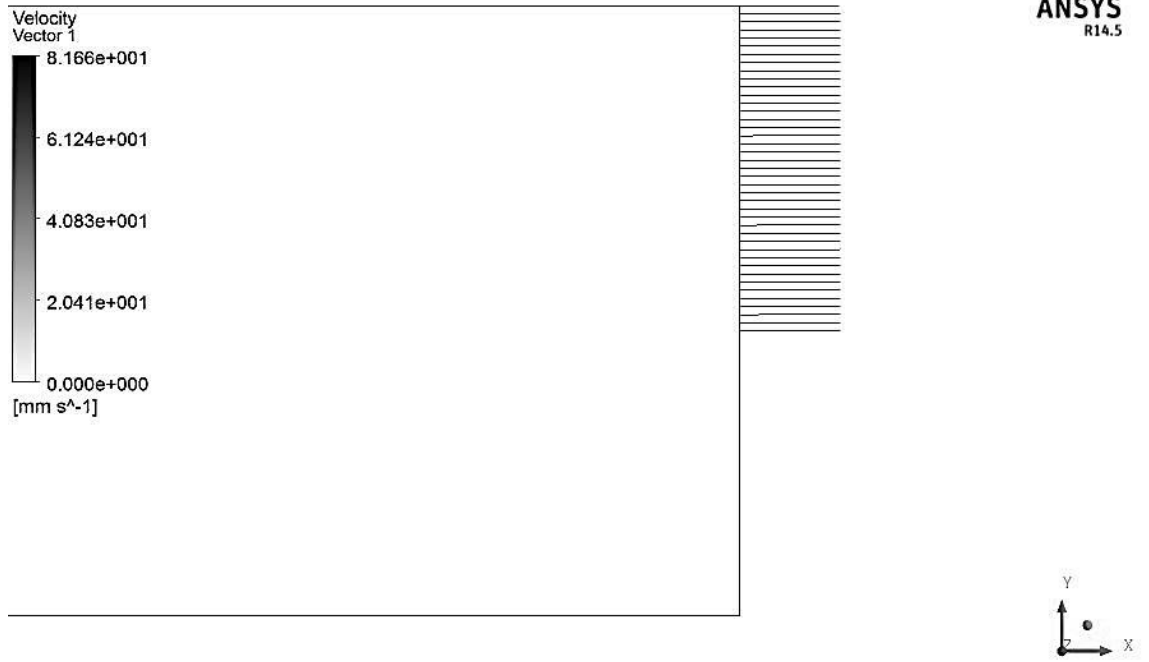
Şekil 4.45. Standart $k\text{-}\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$)



Şekil 4.46. Standart $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$)



Şekil 4.47. Sst $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=4000$)



Şekil 4.48. Sst k - ω çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=4000$)

$Re_d=9600$ için giriş hız şartı 0.192 m/s ve formül 8 ile hesaplanan k değeri;

$$k = 1.43 \times 10^{-4}$$

formül 9 ile hesaplanan ε değeri;

$$\varepsilon = 8.029 \times 10^{-5}$$

ve formül 10 ile hesaplanan ω değeri;

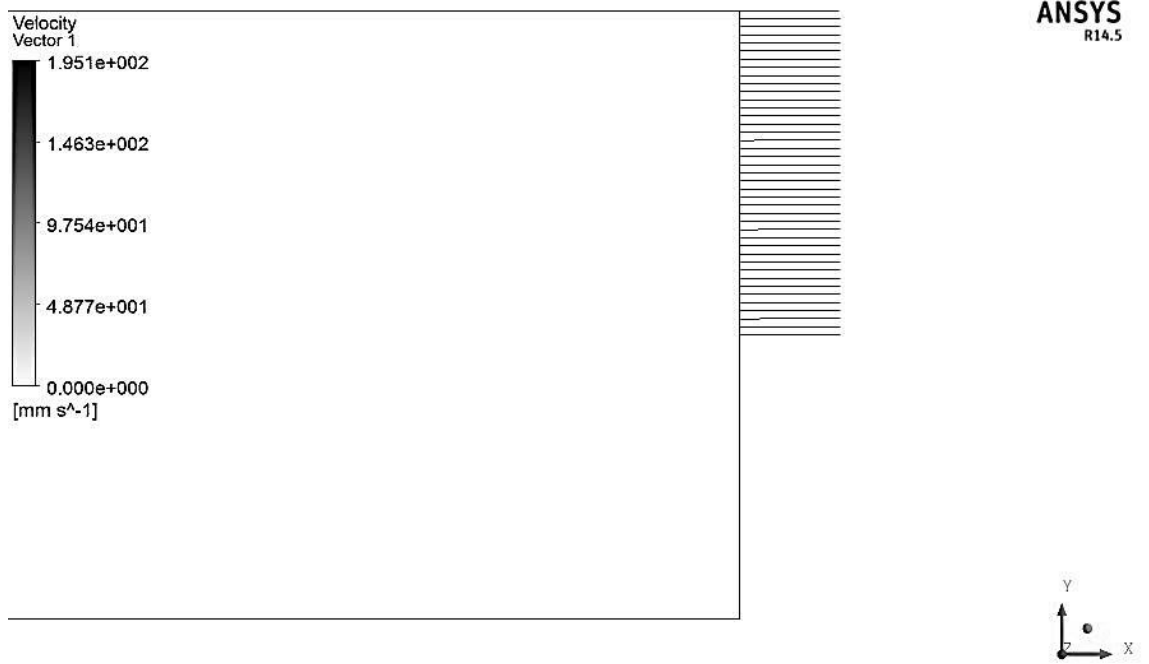
$$\omega = 6.238$$

olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.39 den Şekil 4.48'a $Re_d=9600$ için boş kanalda elde edilen nümerik hız profilleri ve plaka üzerinde girişte uygulanacak hız profili gösterilmiştir.



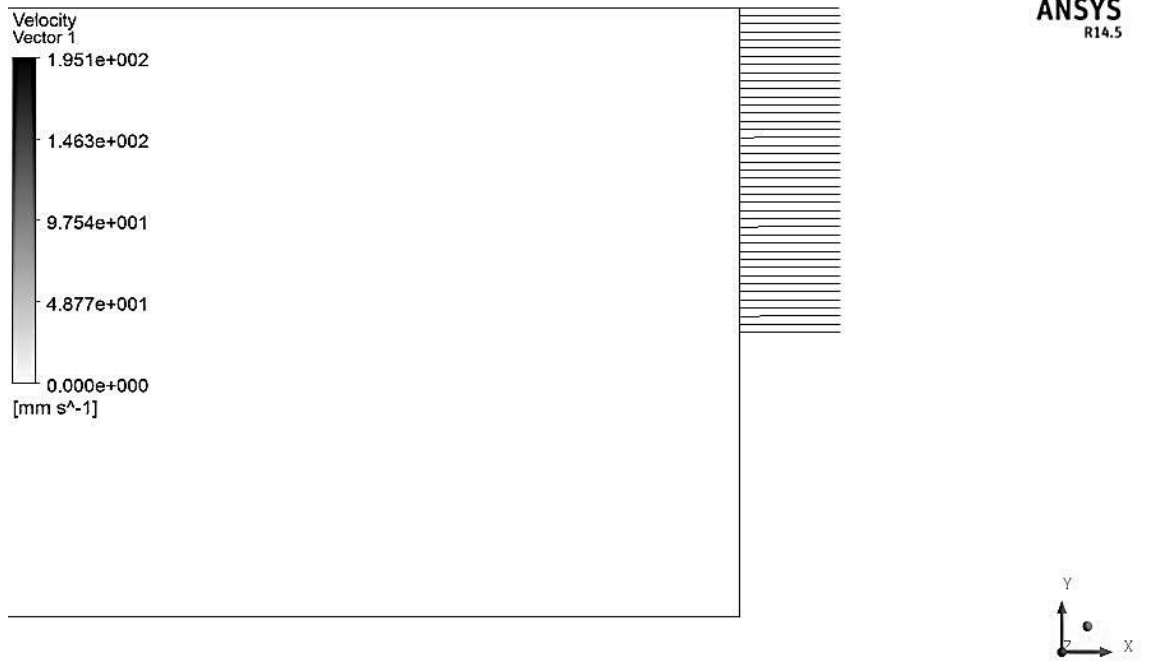
Şekil 4.49. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$)



Şekil 4.50. Standart $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$)



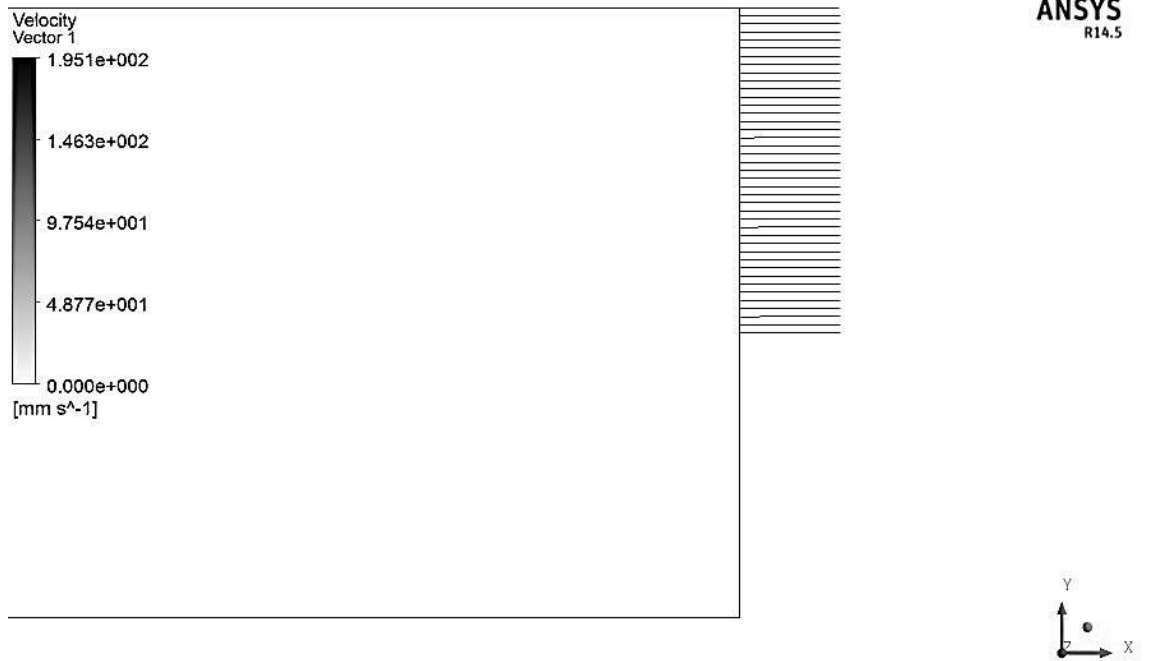
Şekil 4.51. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$)



Şekil 4.52. Rng $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$)



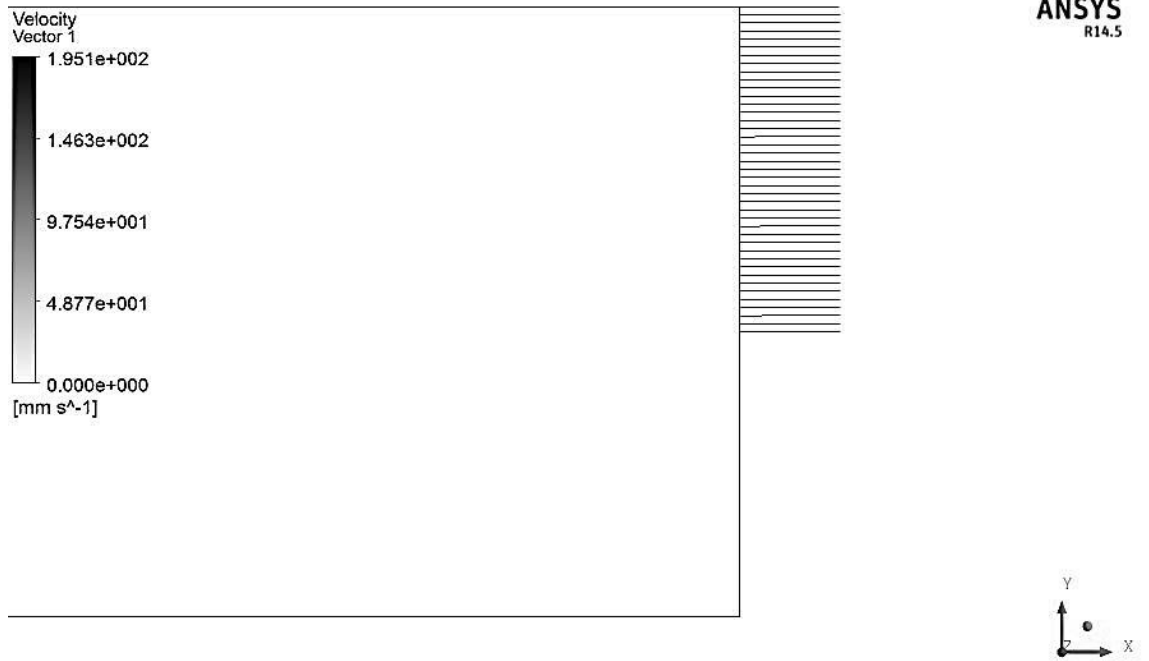
Şekil 4.53. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$)



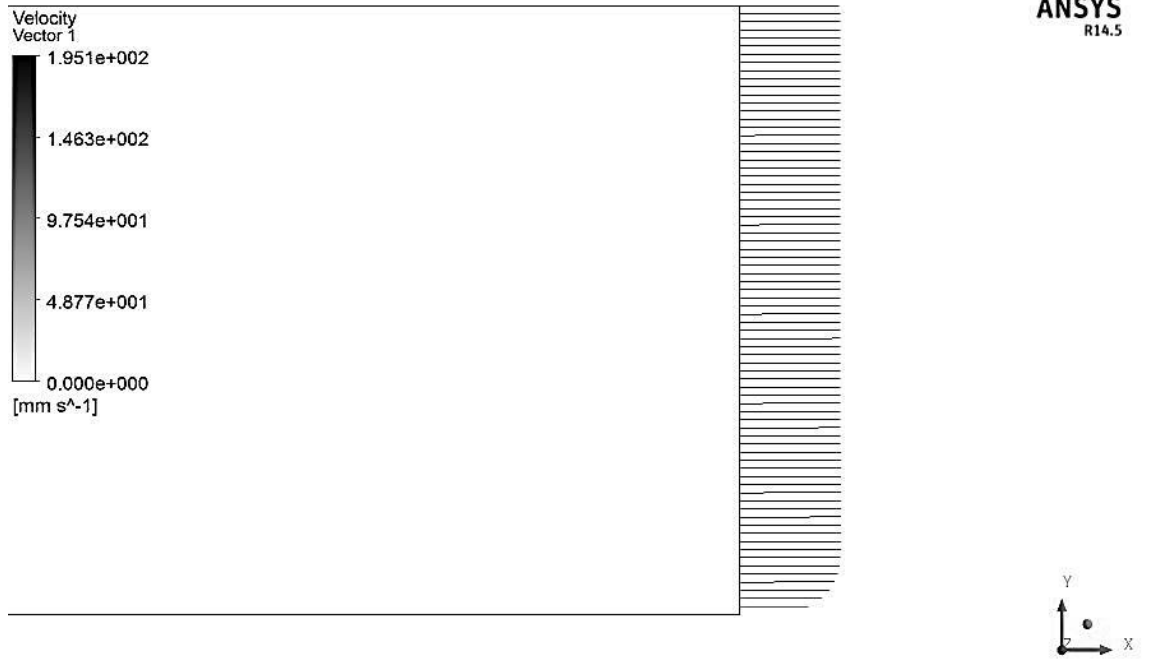
Şekil 4.54. Realizable $k-\varepsilon$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$)



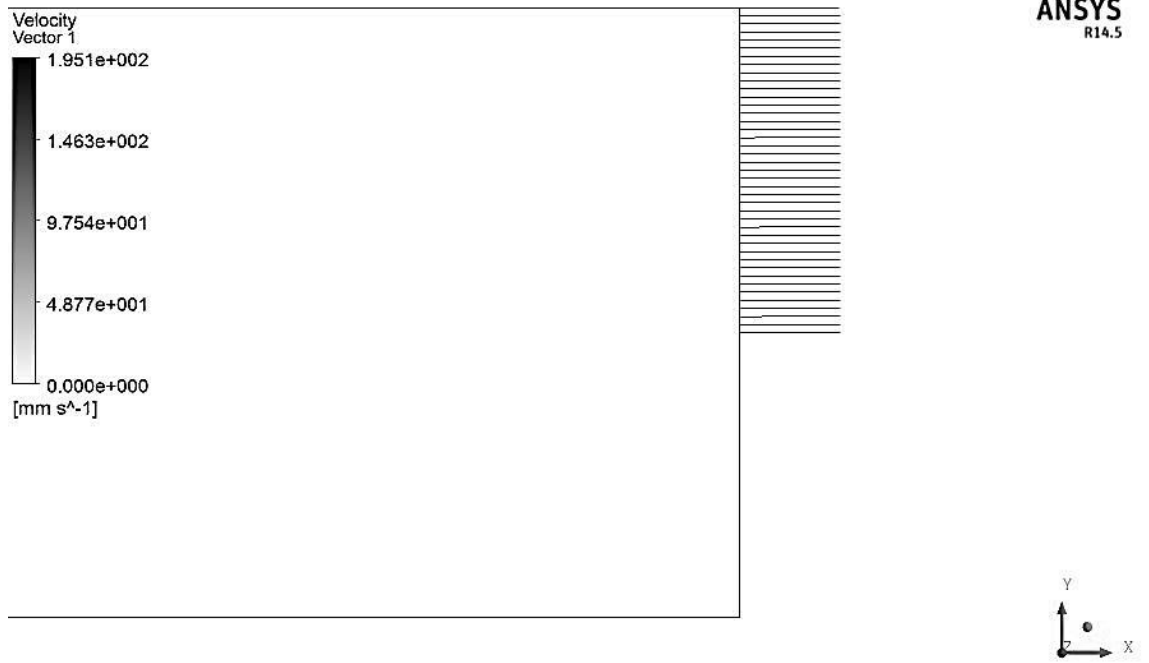
Şekil 4.55. Standart $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$)



Şekil 4.56. Standart $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$)



Şekil 4.57. Sst $k-\omega$ çalıştırılan boş kanalda hız profili ($Re_d=9600$)



Şekil 4.58. Sst $k-\omega$ çalıştırılan kanalda plaka üstündeki silindire uygulanan hız profili ($Re_d=9600$)

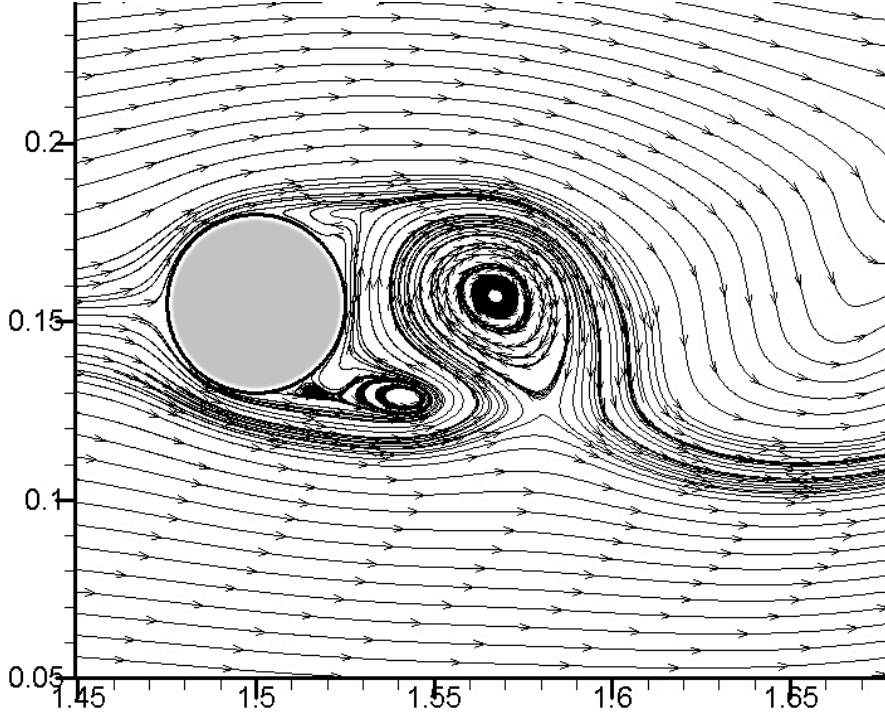
Farklı türbülans modellerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında niceleyici olarak “Hataların Karelerinin Ortalaması” (Mean Square Error, MSE),

$$MSE = \left(\frac{1}{N} \right) \cdot \sum_{n=1}^N \left[\frac{1}{(V_0)^2} \cdot \left[(u_n)^m - (u_n)^p \right]^2 \right] \quad (22)$$

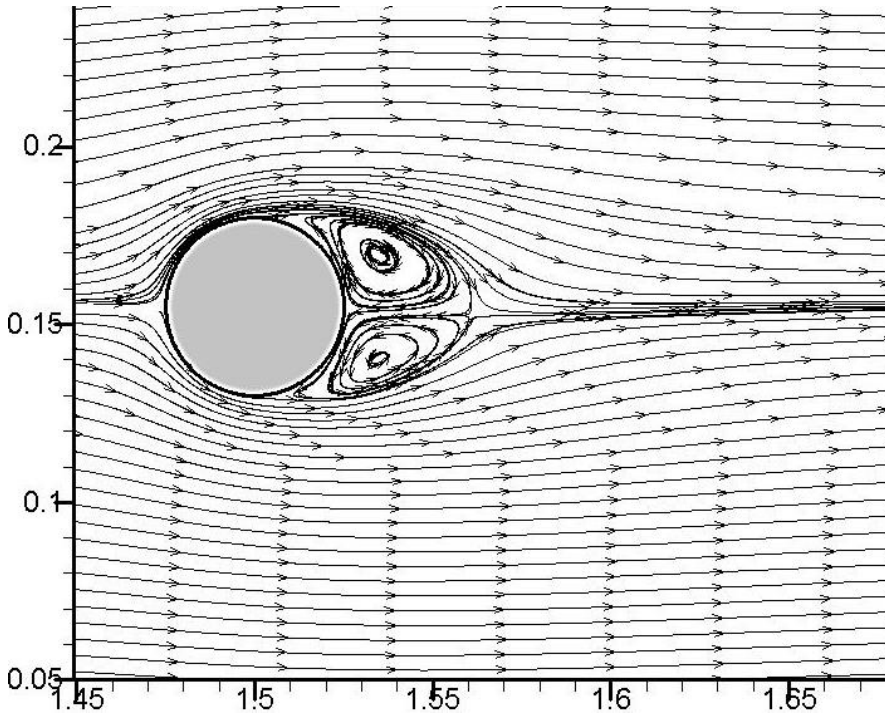
denklemini kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemdaki $(u_n)^m$ ölçülen, $(u_n)^p$ hesaplanan yatay hız bileşenleri, N, toplam veri sayısını ifade etmektedir. MSE değerleri silindir ile taban arasında kalan noktalardaki hız değerleri ile hesaplanmıştır.

$Re_d=750$ değeri için elde edilen farklı modellerde spoilersız silindir akım çizgisi görüntüleri Şekil 4.59 den Şekil 4.64 ya verilmiştir.

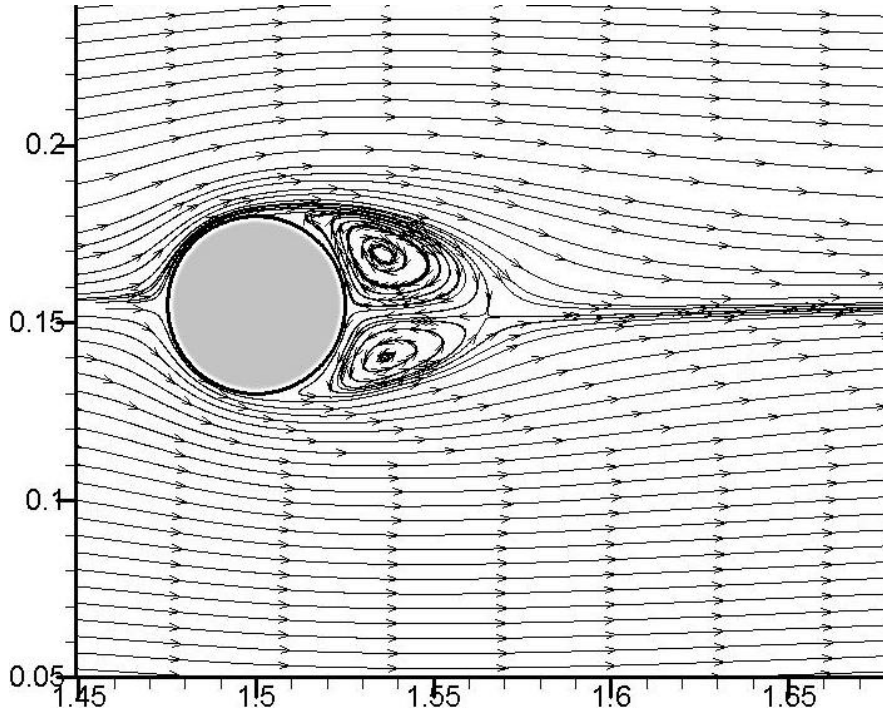
$Re_d=750$ değerinde Laminar spoilersız çalıştırılan silindir görüntüsünde silindire yakın bölgede tabanda küçük gelişen bir girdap ve devamında bir girdap daha oluşmuş ve diğer baskın girdap tarafından baskılanmaktadır. Standart $k-\varepsilon$ modelinde ise iki adet girdap oluşmuş ve birbirinin simetrisi bir hal almıştır. Rng $k-\varepsilon$ modelde de birbirinin simetrisi iki girdap oluştuğu görülmektedir. Realizable $k-\varepsilon$ modelde de benzer bir durum oluşmuştur. Standart $k-\omega$ modelde silindir üstüne yakın bölgede gelişmekte olan big girdap ve bu küçük girdabın diğer girdabı takip ettiği görülmektedir. Sst $k-\omega$ modelde ise silindir arkasında iki adet girdap oluştuğu görülmektedir. Deney verisine en yakın olan bu modelde deneyden farklı olarak silindir arkasında iki adet girdap görülmektedir. Ancak deney verisinde biri baskın olmak üzere üç girdap vardır. Silindir üstü akışlar periyodik akışlardır. Bu yüzden zamana bağlı olarak deney sonuçlarına en yakın model olan sst $k-\omega$ model zamana bağlı çözülmüş ve farklı zamanlarda anlık görüntüleri incelenmiştir.



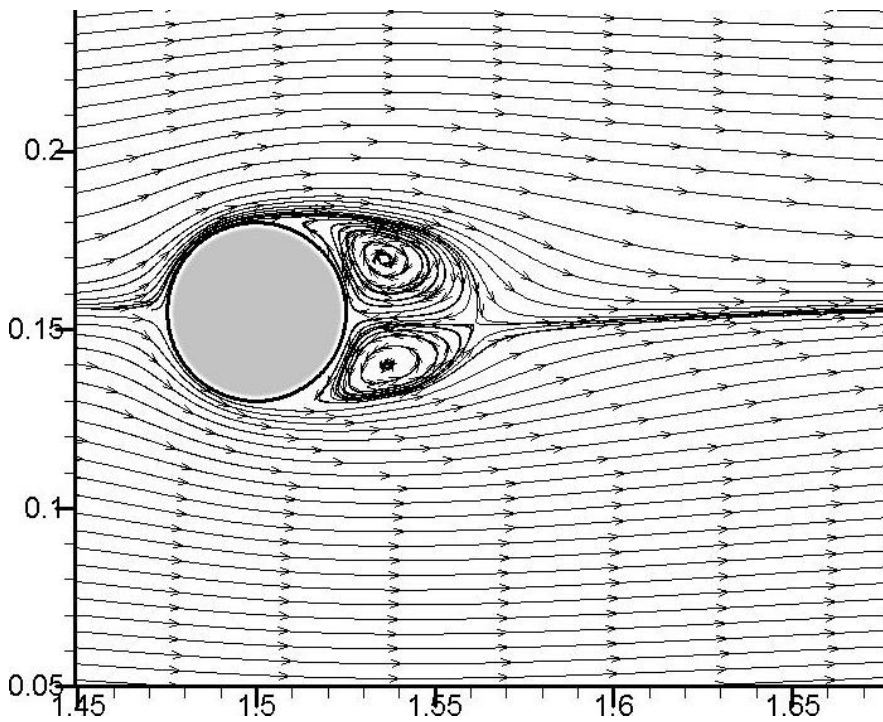
Şekil 4.59. Spoilersız silindir laminar model silindir arkası görüntü, MSE=0.15
($Re_d=750$)



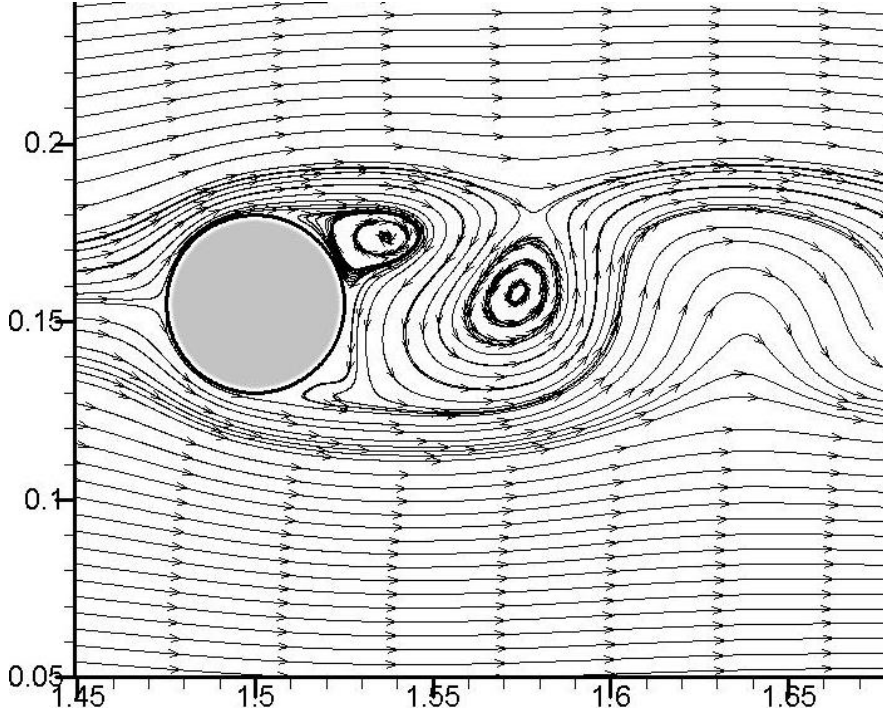
Şekil 4.60. Spoilersız silindir standart $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.087
($Re_d=750$)



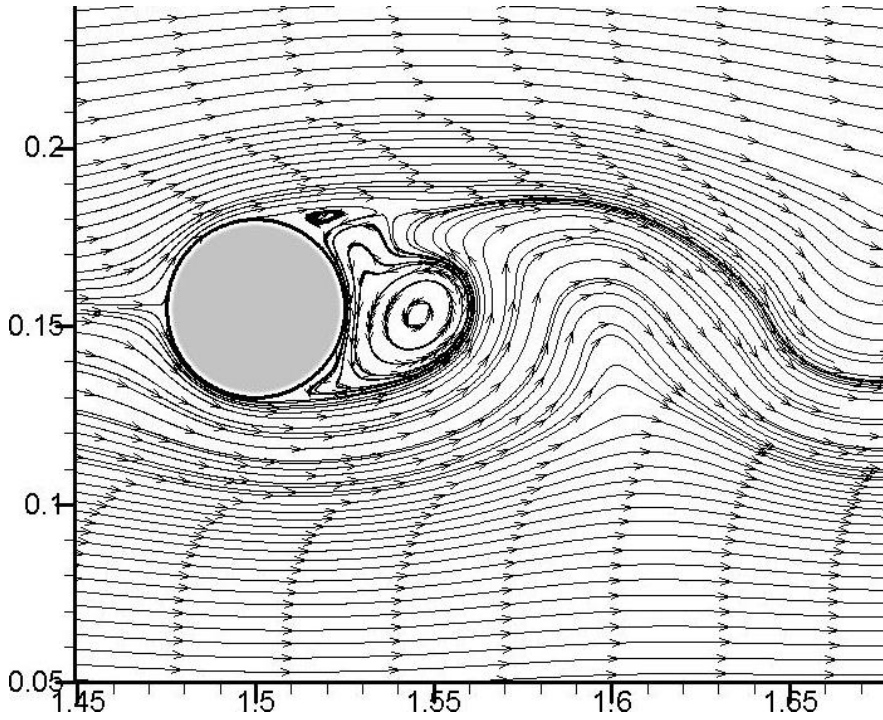
Şekil 4.61. Spoilersız silindir $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.094$
($Re_d=750$)



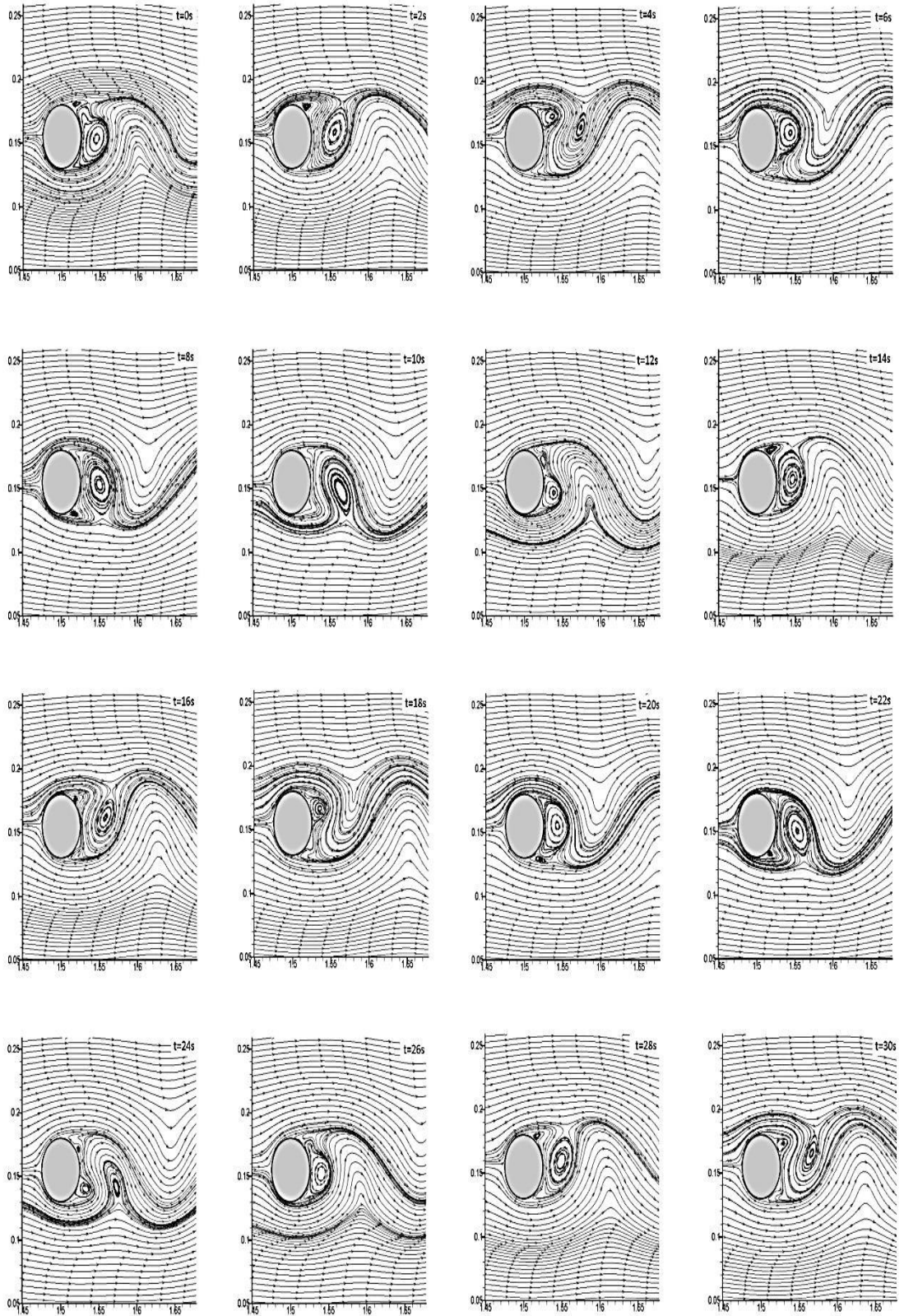
Şekil 4.62. Spoilersız silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.091$
($Re_d=750$)



Şekil 4.63. Spoilersız silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.177
($Re_d=750$)



Şekil 4.64. Spoilersız silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.03
($Re_d=750$)

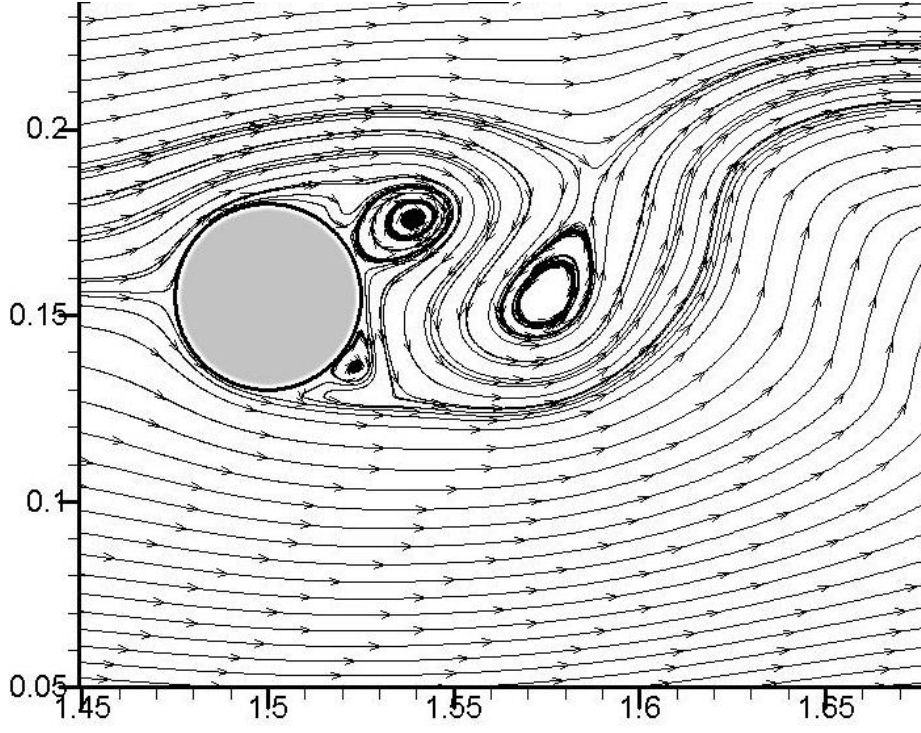


Şekil 4.65. $Re_d=750$ sst $k-\omega$ modeli spoilersüz silindir anlık görüntüleri (30s)

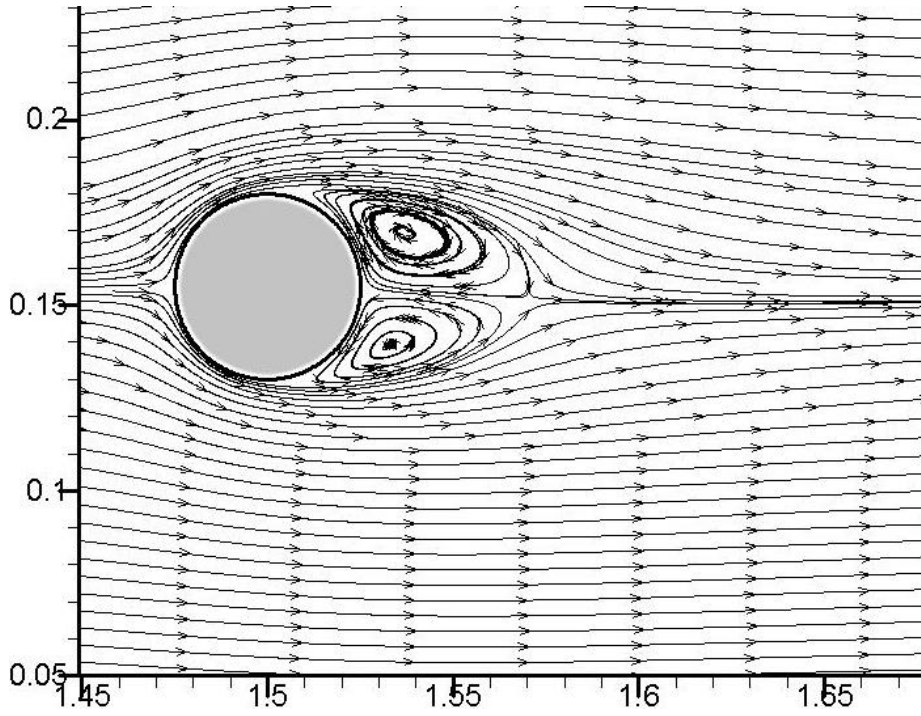
En iyi model olan $Re_d=750$ sst $k-\omega$ modeli için transient (zamana bağılı çözüm) yapılmıştır. Zamana bağılı çözüm için 30s çalıştırılmış ve alınan görüntüler Şekil 4.65 de verilmiştir. Bu çözüme göre silindir üstü akışın periyodik bir akış olduğu görülmektedir. Sıfırıncı saniyeden otuzuncu saniyeye görüntüler incelendiğinde sırasıyla silindirin altından ve üstünden periyodik girdaplar oluşmakta ve silindir arkasında karman girdap yolunu takip ederek kaybolmaktadır. Silindir önünde oluşan durma noktasının yeri zaman ve akım boyunca değişmemektedir.

$Re_d=1500$ için farklı türbülans modellerinde çalıştırılan spoilersuz silindir için akım görüntüleri Şekil 4.66 den Şekil 4.71 e verilmiştir.

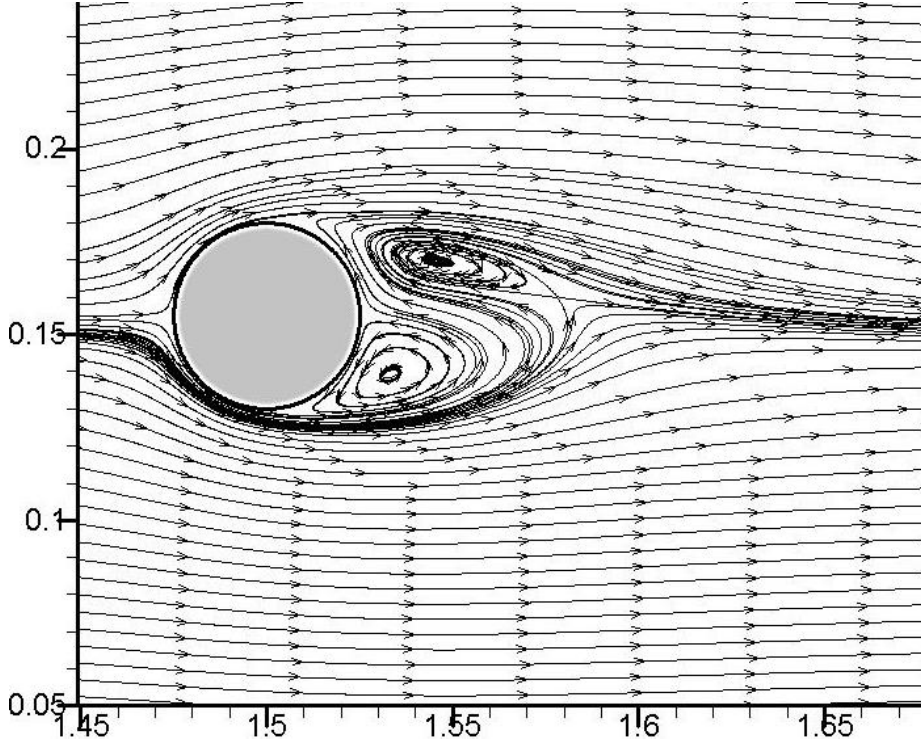
Laminar çalıştırılan modelde silindir arkasında üç farklı girdap meydana gelmiştir. Girdapların silindir arkasında oluşup akım yönünde ilerledikleri görülmektedir. Ayrıca girdapların birbirlerinin devamı olduğu ve periyodik olarak devam ettiği anlaşılmaktadır. Standart $k-\epsilon$ modelde ise silindir arkasında iki girdap meydana gelmiştir. Girdaplar simetrik ve eşit büyüklükte oluşmuştur. Rng $k-\epsilon$ modelde ise silindir arkasında yine iki girdap meydana gelmiş ancak tabandaki girdap düzenli haldeyken silindir tepesine yakın bölgede oluşan girdap düzensizleşmiştir. Realizable $k-\epsilon$ modelde de rng $k-\epsilon$ modele benzer bir görüntü oluşmuştur. İki girdap meydana gelmiş ve tabandaki girdap düzenliyken silindir tepesine yakın olan girdap düzensizdir. Standart $k-\omega$ modelde ise silindir arkasında üç farklı girdap meydana gelmiştir. Girdapların konumundan akışın periyodik olduğu anlaşılmaktadır. Silindir arkasında oluşan girdaplar koparak silindirden uzaklaşmakta ve karman girdap yolunu oluşturmaktadır. Silindirden oluşan girdaplar sönümlenmeye başlamıştır. Sst $k-\omega$ modelinde oluşan akım çizgileri incelendiğinde yine periyodik bir akış yapısı görülmektedir. Bu modelde silindir arkasında iki girdap oluşmuştur ve diğer bir girdabında silindirden uzaklaştıkça kaybolduğu görülmektedir. Modellerin deneye olan yakınlıklarının tespiti için silindir altında alınan noktalardaki yatay hızlar ile MSE değeri hesaplanmıştır. Bu değere göre $Re_d=1500$ değerinde modellerin hata payları; laminar model için 0.014, standart $k-\epsilon$ model için 0.037, rng $k-\epsilon$ model için 0.032, realizable $k-\epsilon$ model için 0.028, standart $k-\omega$ model için 0.046 ve sst $k-\omega$ model için 0.006122 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre hata oranının en az olduğu modelin sst $k-\omega$ modeli olduğu görülmektedir.



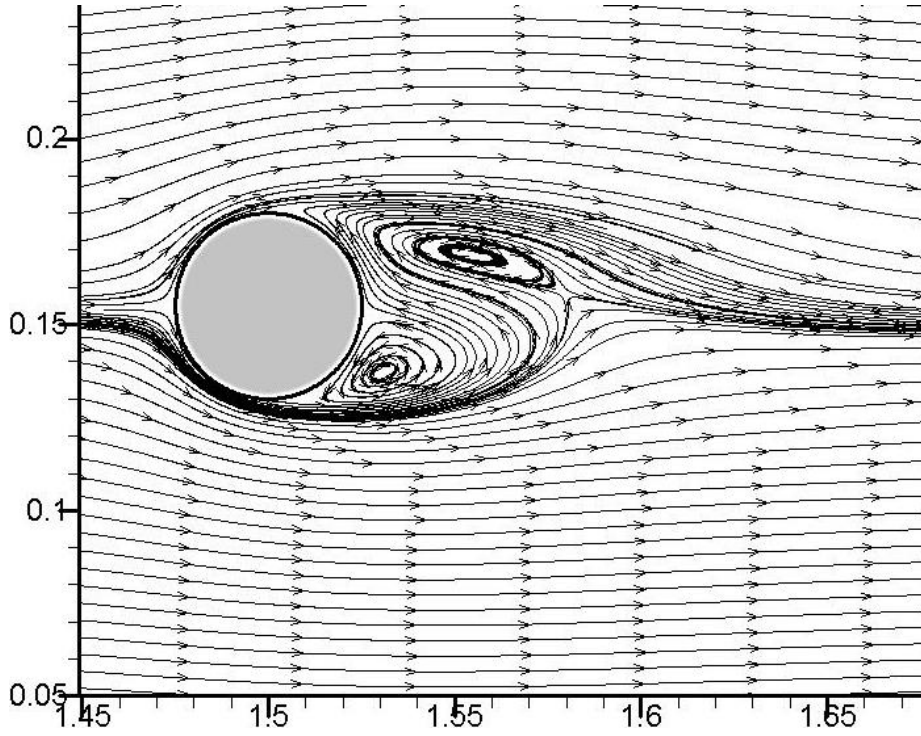
Şekil 4.66. Spoilersız silindir laminar model silindir arkası görüntü, MSE=0.014 ($Re_d=1500$)



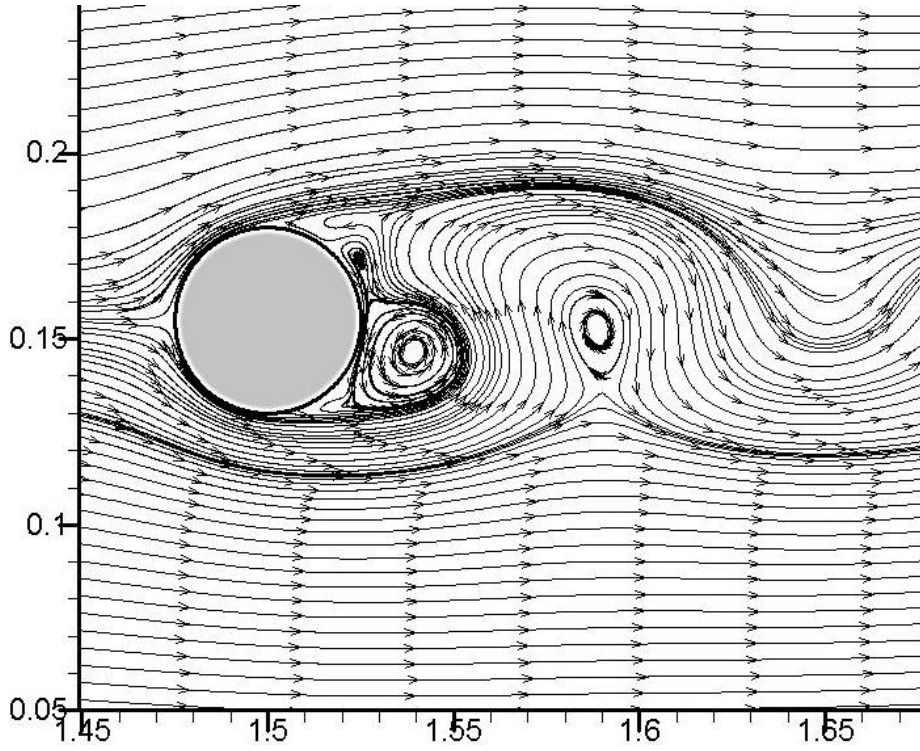
Şekil 4.67. Spoilersız silindir standart $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.037 ($Re_d=1500$)



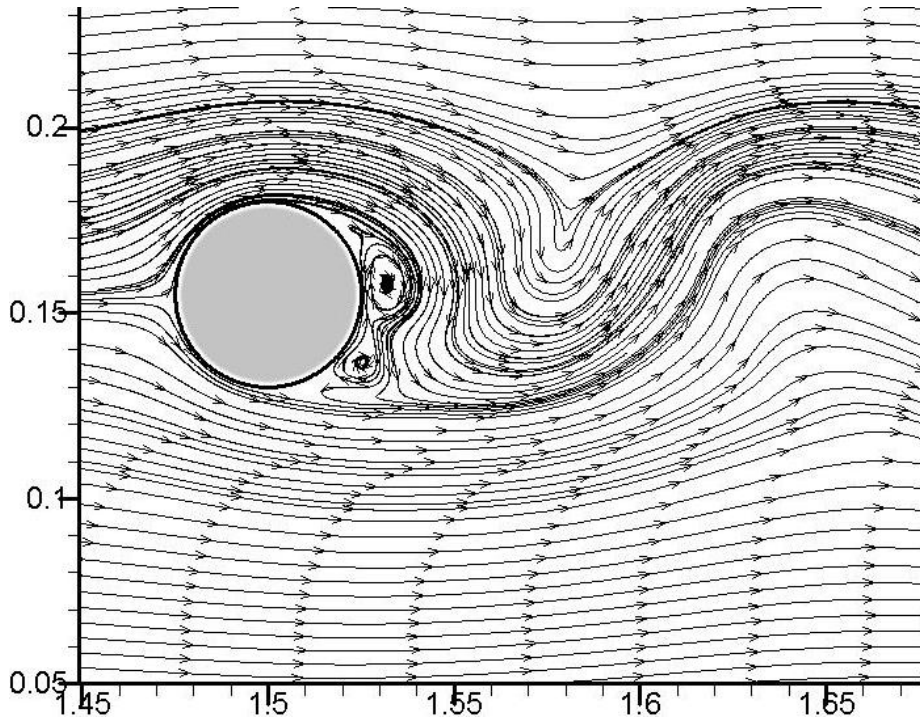
Şekil 4.68. Spoilersız silindir rng $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.032
($Re_d=1500$)



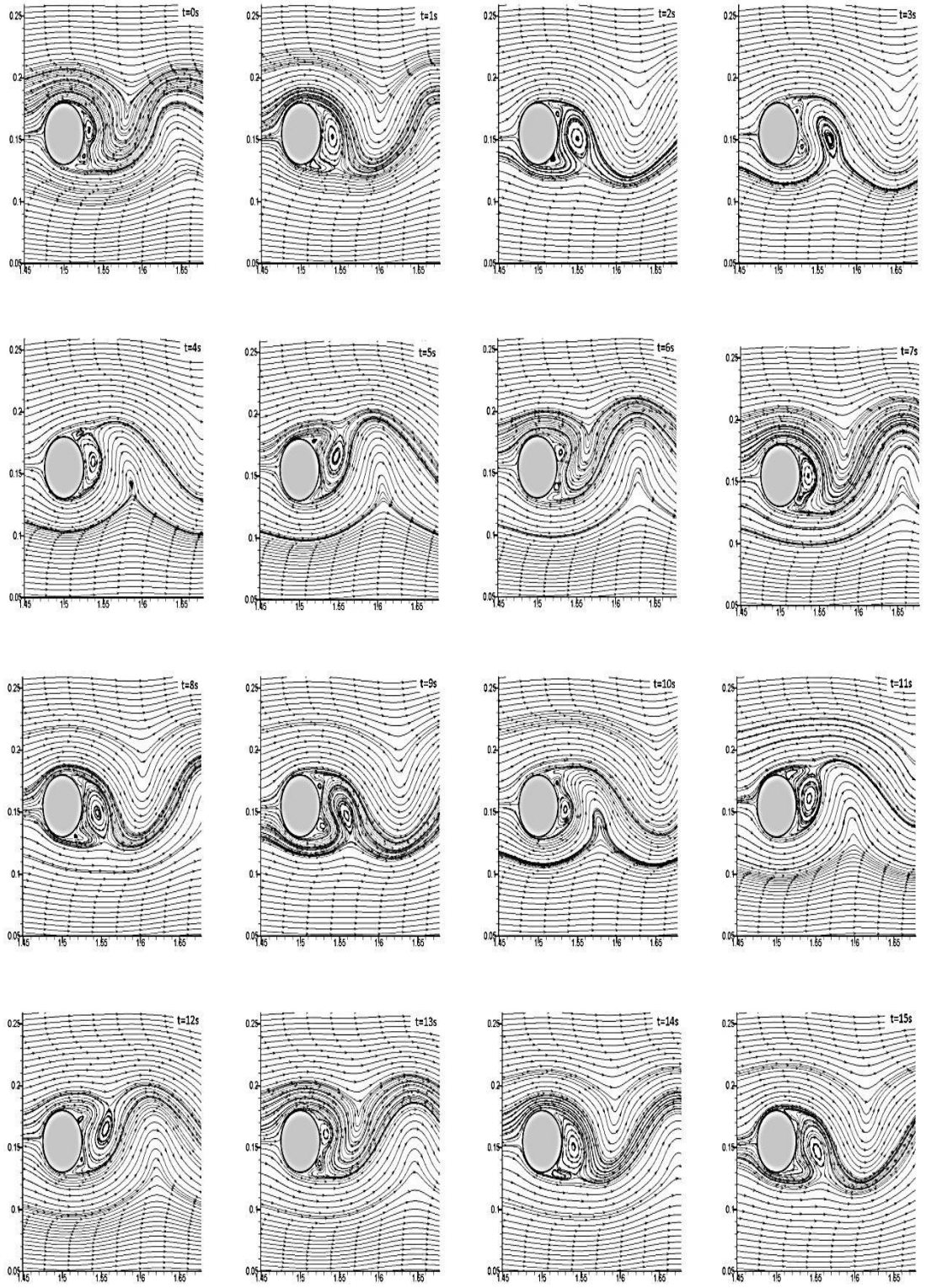
Şekil 4.69. Spoilersız silindir realizable $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.028
($Re_d=1500$)



Şekil 4.70. Spoilersız silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.046 ($Re_d=1500$)



Şekil 4.71. Spoilersız silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.006122 ($Re_d=1500$)

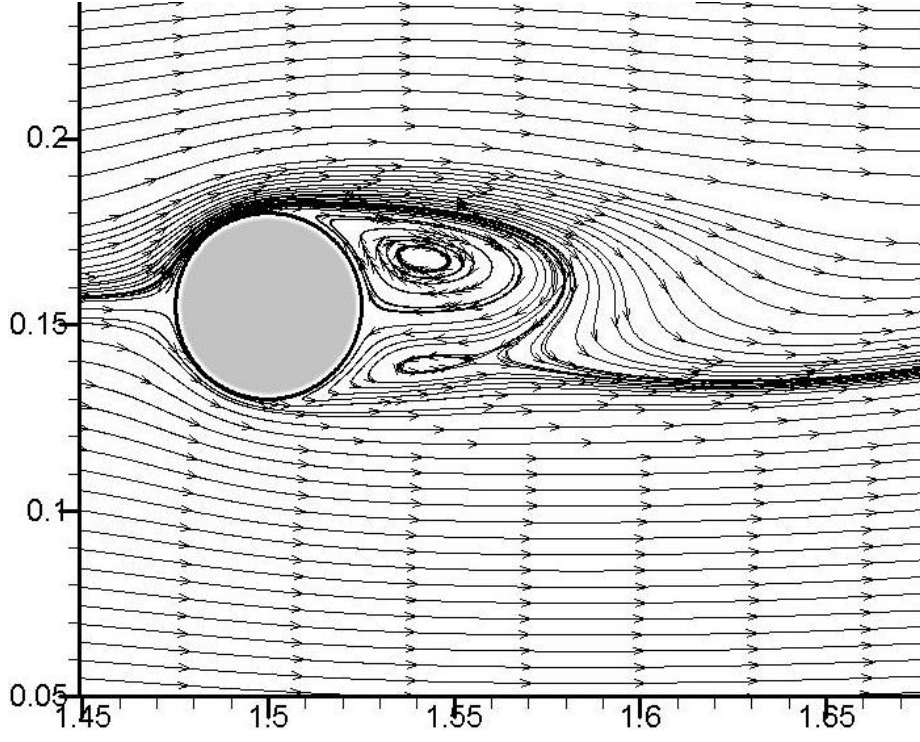


Şekil 4.72. $Re_d=1500$ sst $k-\omega$ modeli spoilersüz silindir anlık görüntüleri (15s)

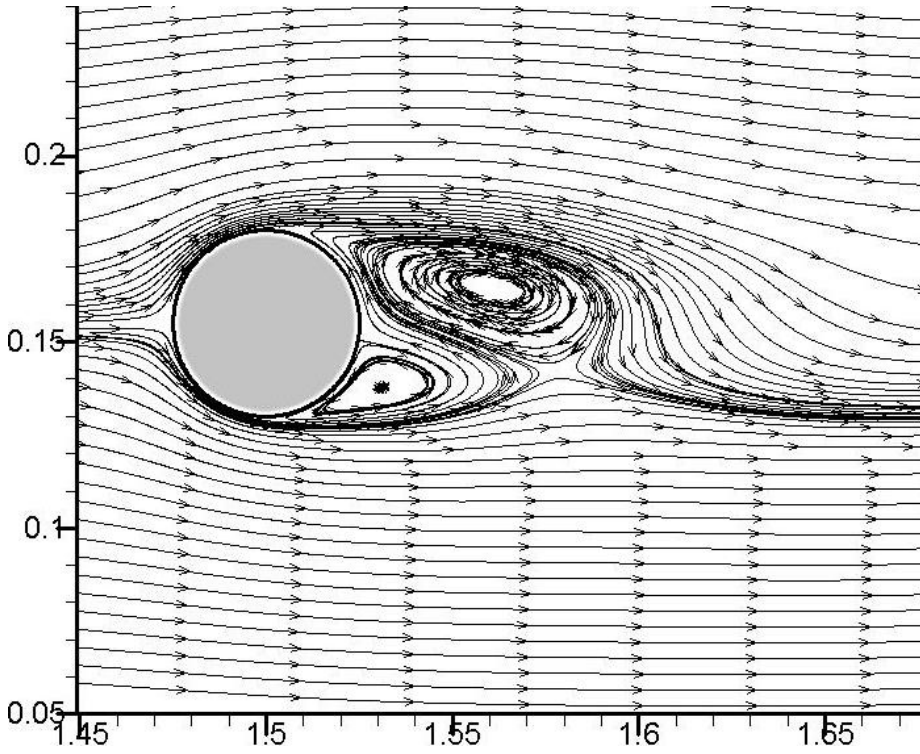
Hesaplanan MSE hata değerlerine göre deney modeline en yakın model $Re_d=1500$ değerinde sst $k-\omega$ olarak tespit edilip zamana bağlı çözüm yapılmıştır. 15s boyunca alınan anlık görüntüler Şekil 4.72 de verilmiştir. Zamana bağlı çözümde $Re_d=1500$ için de periyodik akış gözlemlenmiştir. Altıncı saniyeden sonra akım kendini tekrarlamıştır. Sırasıyla silindirin üst kısmından başlayarak oluşan girdap koparak yerini alttan başlayarak oluşan bir diğer girdaba bırakmıştır. Silindir arkasında karman girdap yolu olduğu gözlemlenmektedir.

$Re_d=4000$ değeri için akım çizgileri görüntüleri Şekil 4.73 den Şekil 4.77 a verilmiştir.

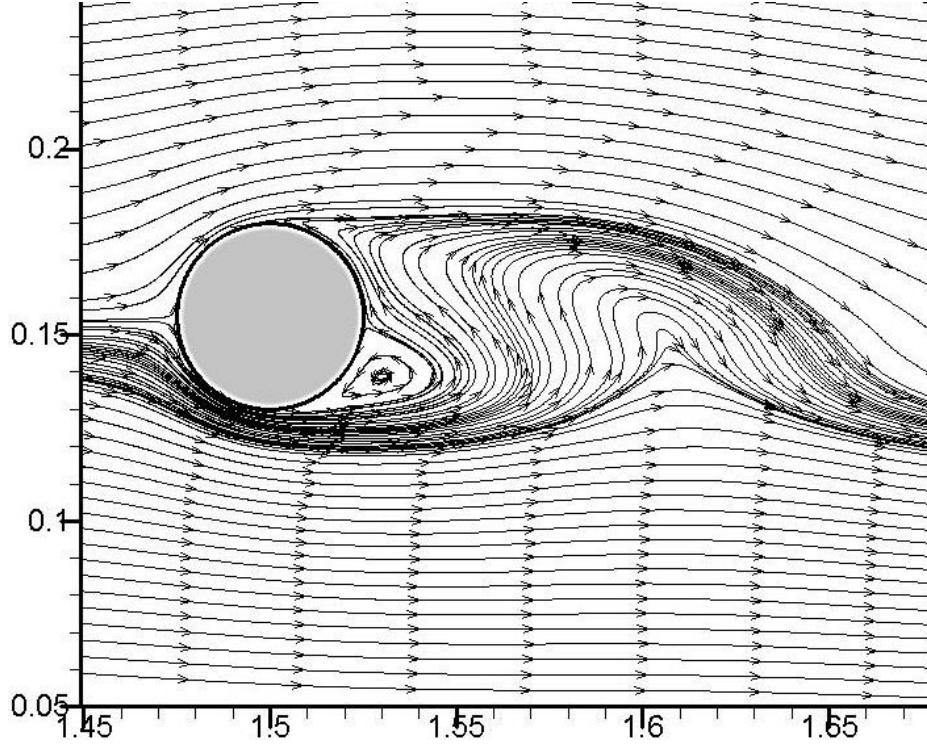
$Re_d=4000$ değerinde farklı türbülans modelleri denenmiştir. Farklı türbülans modellerinden elde edilen sonuçlar deney ile karşılaştırılarak hata hesaplanmış ve modelin deneye yakınlığı araştırılmıştır. Buna göre standart $k-\epsilon$ modelde silindir arkasında iki girdap meydana gelmiş ve üst tarafta oluşan girdap baskın halde oluşmuştur. Rng $k-\epsilon$ modelde de iki farklı girdap oluşmuş ve üst tarafta oluşan girdap baskın haldedir. Fakat standart $k-\epsilon$ modelle karşılaştırıldığında üst taraftaki girdap bu modelde daha geniş yayılmıştır. Realizable $k-\epsilon$ modelde ise silindir tabanına yakın bölgede bir girdap oluşmuştur. Bir diğer girdabında kaybolmakta olduğu görülmektedir. Standart $k-\omega$ modelde silindir arkasında iki girdap oluşmuş ve silindir tepesine yakın olan girdabın baskın olduğu görülmektedir. Silindir arkasında bir diğer girdabın kaybolmak üzere olduğu görülmektedir. Bu da periyodik bir akışın varlığını gösterir. Sst $k-\omega$ modelde tek bir adet girdap oluşmuştur. Modellerin hata payları incelendiğinde standart $k-\epsilon$ model için MSE, 0.006319, rng $k-\epsilon$ model için MSE, 0.007542, realizable $k-\epsilon$ model için MSE, 0.006467, standart $k-\omega$ model için MSE, 0.004083, sst $k-\omega$ model için MSE, 0.006049 olarak hesaplanmıştır. Bu hata paylarına göre en iyi model standart $k-\omega$ olarak görülmektedir. Ancak sst $k-\omega$ modelin hata payı standart $k-\omega$ modelin hata payına yakın ve diğer hız değerlerinde de sst $k-\omega$ modelin en iyi model çıkmasından dolayı bu iki model için anlık görüntüler alınarak zamana bağlı akım yapısı da incelenmiştir.



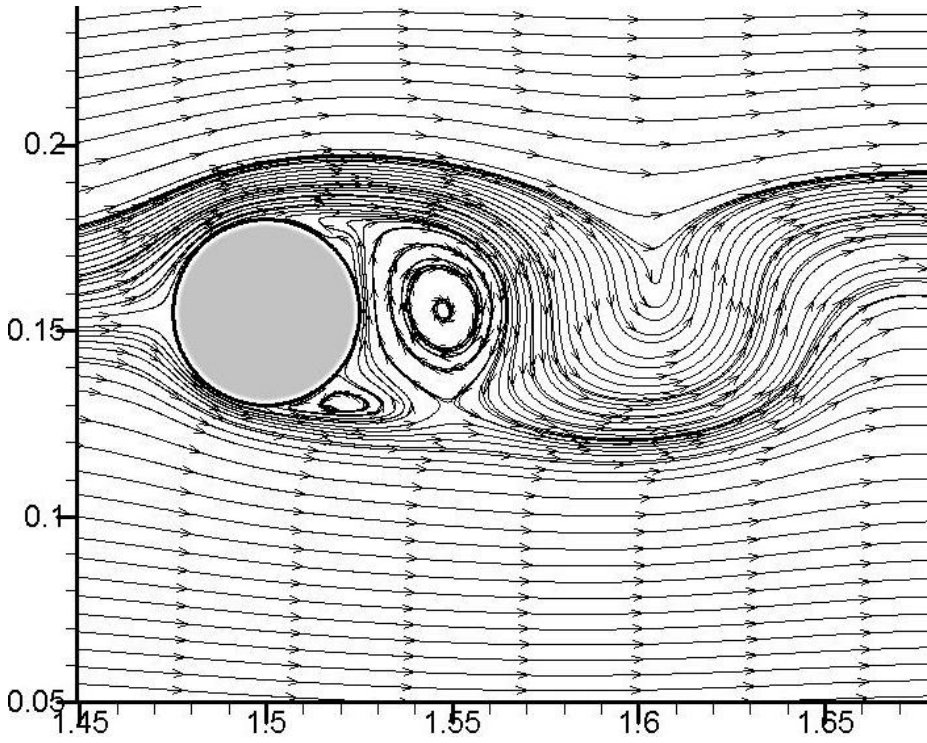
Şekil 4.73. Spoilersız silindir standart $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.006319$
($Re_d=4000$)



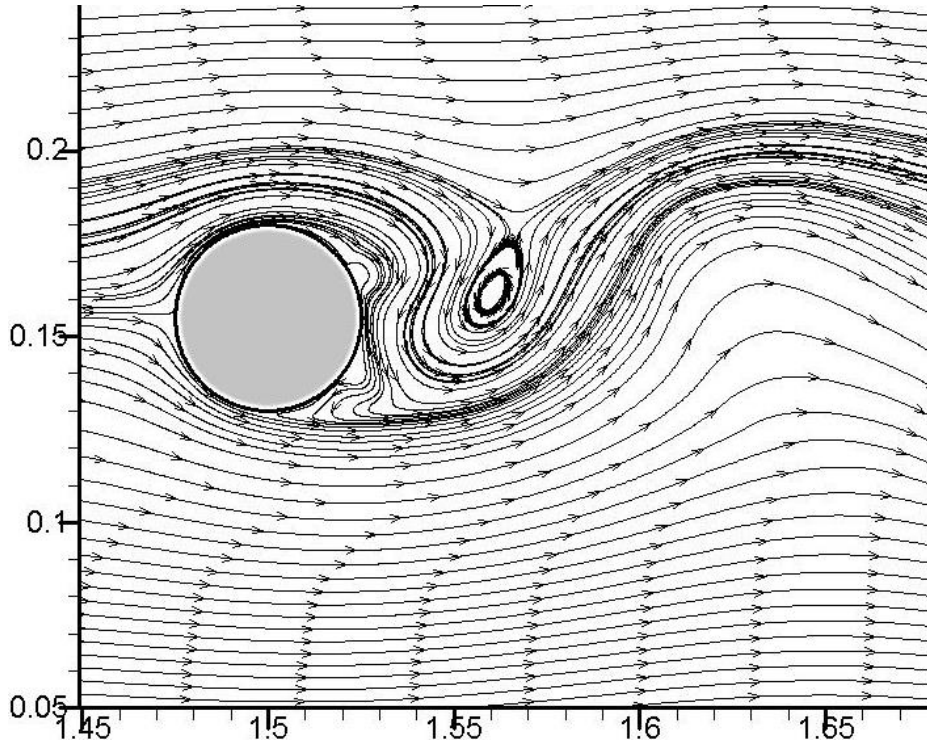
Şekil 4.74. Spoilersız silindir rng $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.007542$
($Re_d=4000$)



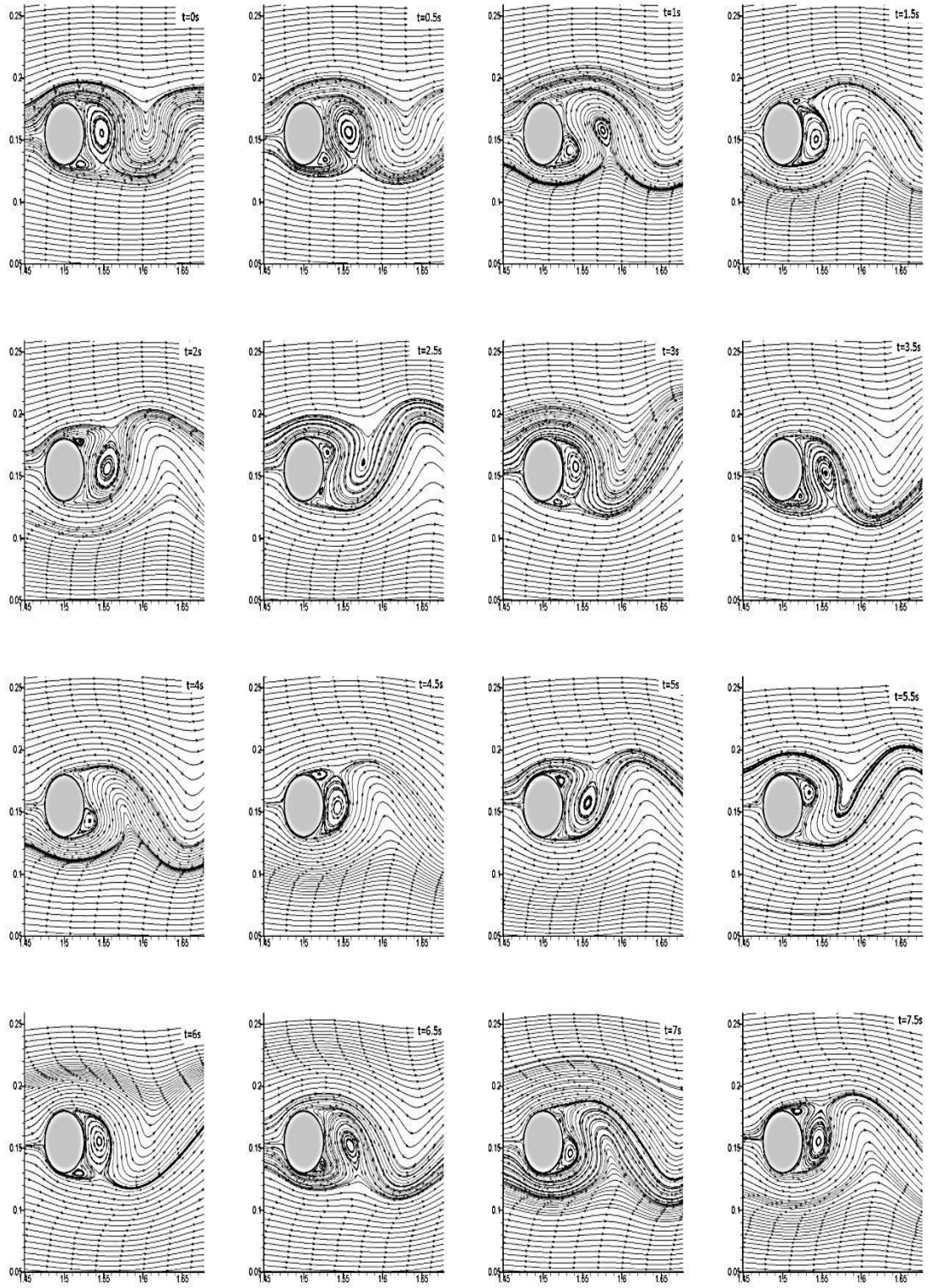
Şekil 4.75. Spoilersız silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.006467$ ($Re_d=4000$)



Şekil 4.76. Spoilersız silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.004083$ ($Re_d=4000$)



Şekil 4.77. Spoilersız silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.006049
($Re_d=4000$)



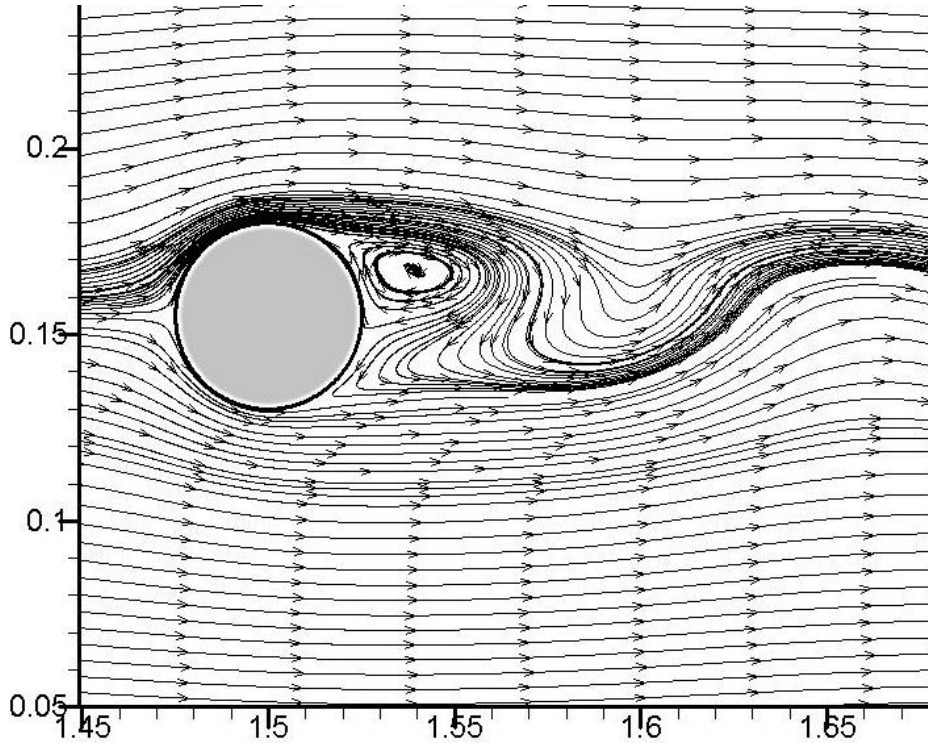
Şekil 4.78. $Re_d=4000$ standart $k-\omega$ modeli spoilersüz silindir anlık görüntüleri (7.5s)

$Re_d=4000$ değerinde en iyi model olarak seçilen standart $k-\epsilon$ modeli için anlık grntler alınmıştır. Akımın 7.5s içerisinde periyodiklik kazandığı gözlenmektedir. Sırası ile üstten ve alttan girdaplar oluşturan periyodik akış silindir arkasında karman girdap yolunu oluşturmuştur. Spoiler etkisi ile silindir altında akımın hızlandığı grlmektedir.

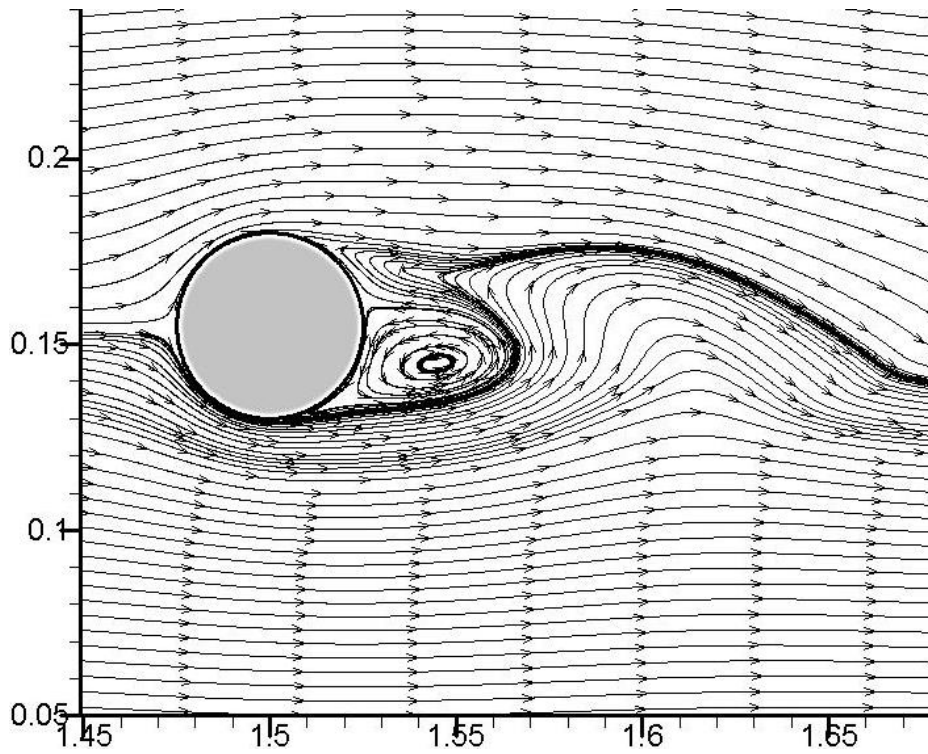
Spoilersiz silindir için $Re_d=9600$ hız değerinde farklı türbülans modellerinde alınan akım çizgileri görüntüleri şekil 4.79 den şekil 4.83 e verilmiştir.

$Re_d=9600$ hız değerinde standart $k-\epsilon$ türbülans modelinde silindirin st tarafına yakın tek bir girdap oluştuğu grlmektedir. Rng $k-\epsilon$ türbülans modelinde ise standart $k-\epsilon$ modelinin tam tersi bir görüntü ortaya çıkmış, girdap silindirin alt bölgesine yakın olarak oluşmuştur. Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelinde de diğer $k-\epsilon$ türbülans modellerine benzer bir sonuç ortaya çıkmıştır. Silindirin st tarafına yakın bir girdap oluşmuştur. Ancak silindirin altından oluşarak ilerleyen ve kaybolmak üzere olan bir girdap göze çarpmaktadır. Diğer girdabınsa silindirin üstünden oluşmaya başlaması akışın periyodik olduğunu göstermektedir. Standart $k-\omega$ türbülans modelinde silindir tabanında küçük ve silindir tepe noktasına yakın baskın bir girdap olmak üzere iki adet girdap oluşmuştur. Sst $k-\omega$ türbülans modeli de benzer bir görüntüye sahiptir ancak silindir tabanına yakın bölgede oluşan girdap standart $k-\omega$ modele göre daha küçüktür.

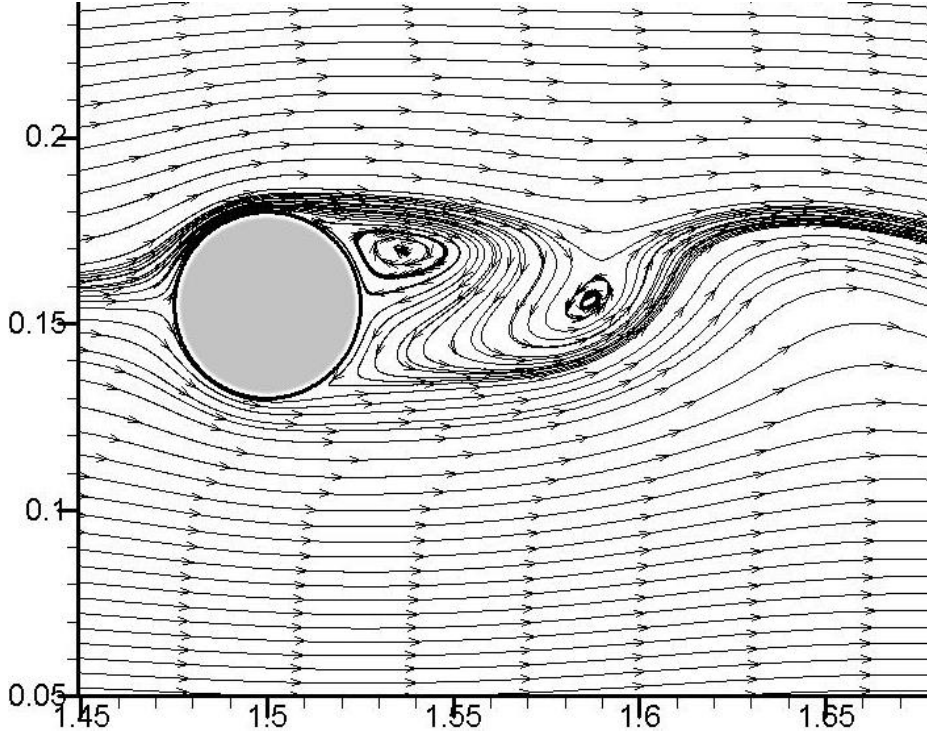
Farklı türbülans modellerinin deney ile uyumluluğunu kontrol etmek amacıyla türbülans modellerinin deneye olan hataları hesaplanmıştır. Buna göre standart $k-\epsilon$ türbülans modeli için MSE, 0.005977, rng $k-\epsilon$ türbülans modeli için MSE, 0.003507, realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli için MSE, 0.003189, standart $k-\omega$ türbülans modeli için MSE, 0.005977, sst $k-\omega$ türbülans modeli için MSE, 0.022 olarak hesaplanmıştır. Farklı hızlarda spoilersiz silindir için türbülans modelleri incelendiğinde $Re_d=4000$ altı hızlarda sst $k-\omega$ türbülans modeli daha iyi sonuç verirken $Re_d=4000$ ve üzeri hızlarda standart $k-\omega$ türbülans modeli daha iyi sonuç vermektedir.



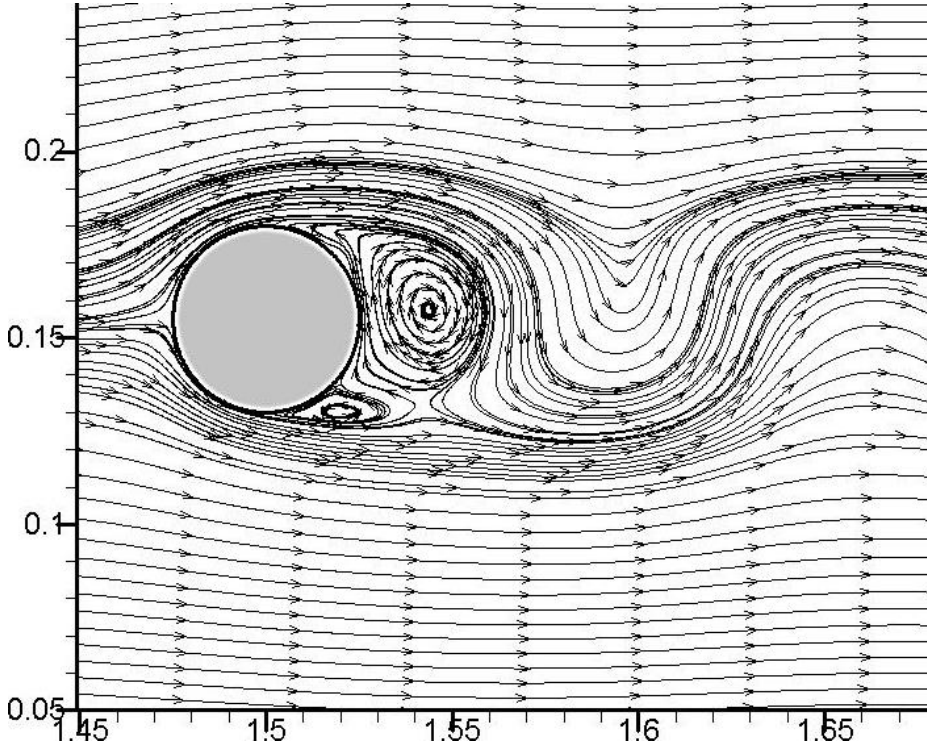
Şekil 4.79. Spoilersız silindir standart $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.005977$
($Re_d=9600$)



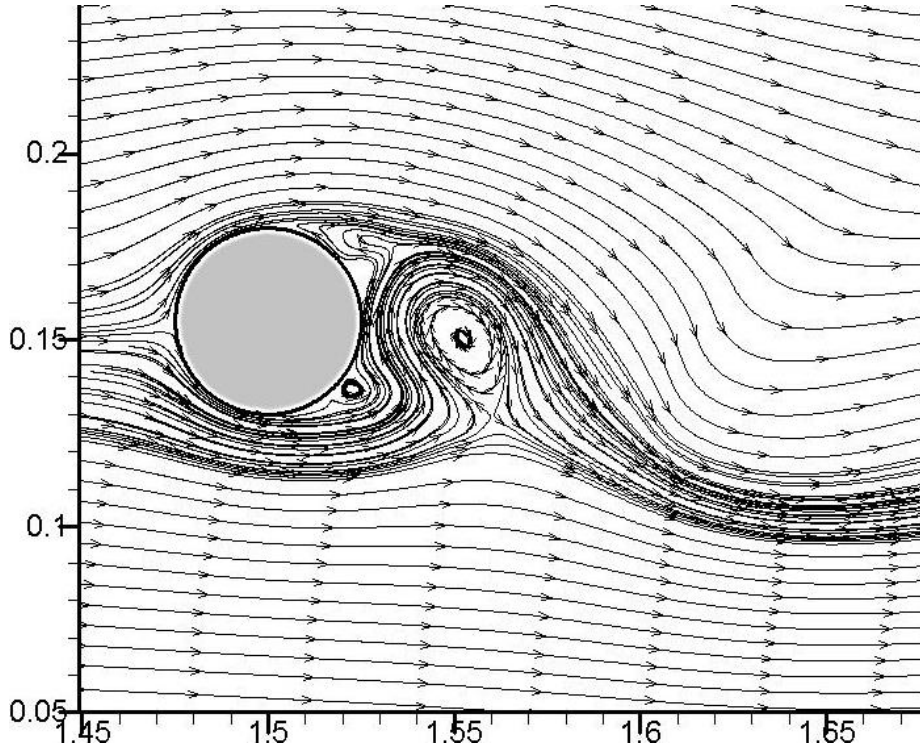
Şekil 4.80. Spoilersız silindir rng $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.003507$
($Re_d=9600$)



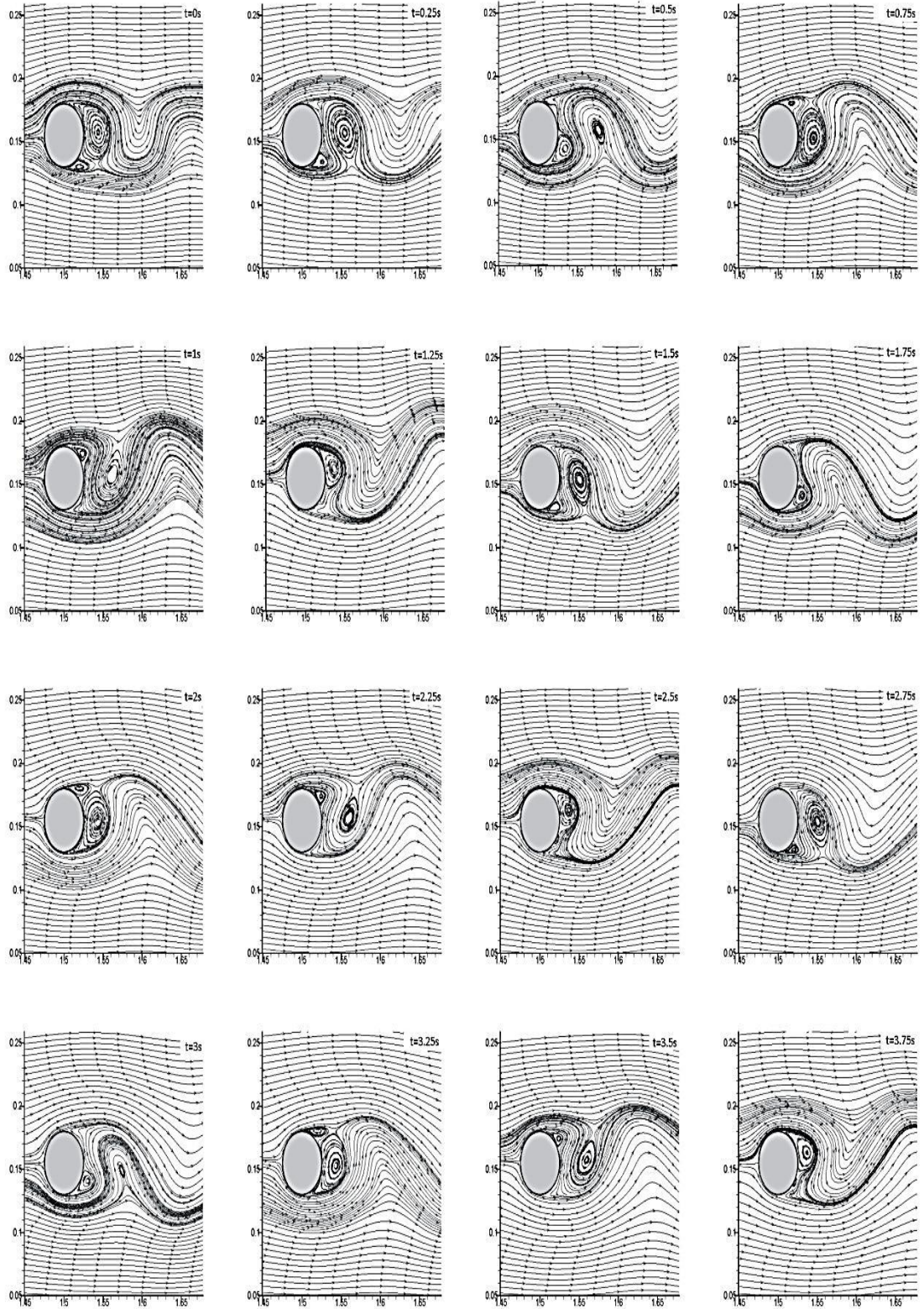
Şekil 4.81. Spoilersız silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.003189$ ($Re_d=9600$)



Şekil 4.82. Spoilersız silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.00258$ ($Re_d=9600$)



Şekil 4.83. Spoilersız silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.022
($Re_d=9600$)



Şekil 4.84. $Re_d=9600$ standart $k-\omega$ modeli spoilersüz silindir anlık görüntüleri (3.75s)

$Re_d=9600$ değerinde en iyi model olarak belirlenen standart $k-\omega$ modeli ortalama sonucun üzerine zamana bağlı olarak çalıştırılmış ve 3.75s de periyodiklik kazanmıştır. Girdaplar sırası ile silindirin st tarafından ve alt tarafından gelişerek karman yolunu oluşturmaktadırlar.

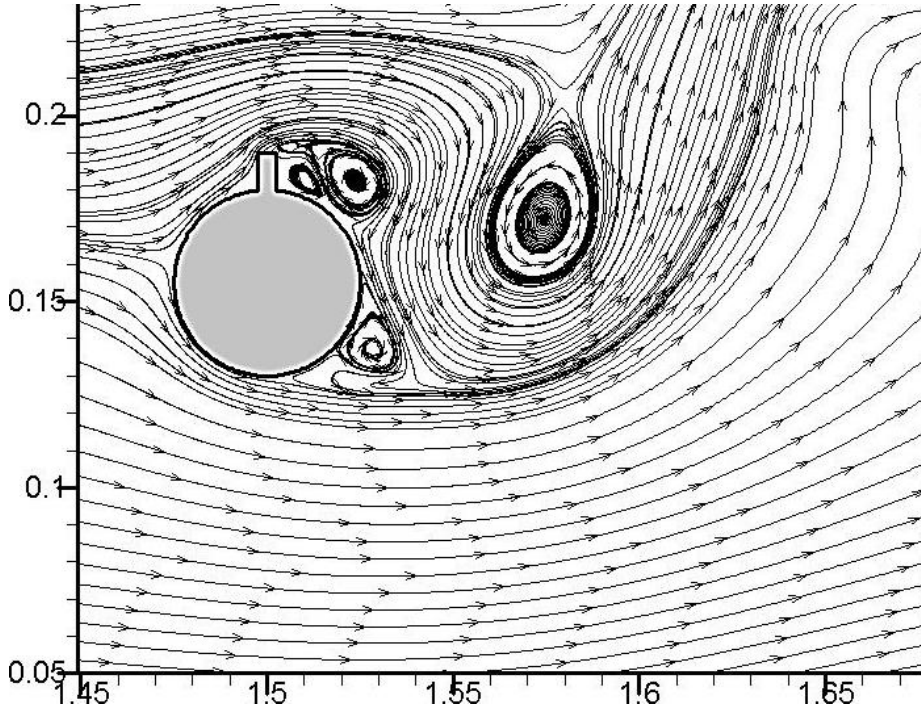
Spoilerli silindir için $Re_d=750-9600$ değerleri arasında farklı türbülans modelleri için çözümler yapılmıştır. Alınan sonuçlarda silindirin alt tarafında farklı noktalarda yatay hız değerleri alınmış ve bu hız değerleri deneyde karşılık gelen noktalardaki hız değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi Mean Square Error (hataların karelerinin ortalaması) (MSE) ile yapılmıştır. MSE formülü, formül 22 de verilmiştir.

$Re_d=750$ hız değeri için farklı türbülans modellerinde alınan spoilerli silindir ortalama görüntüleri şekil 4.84 dan şekil 4.90 ye verilmiştir.

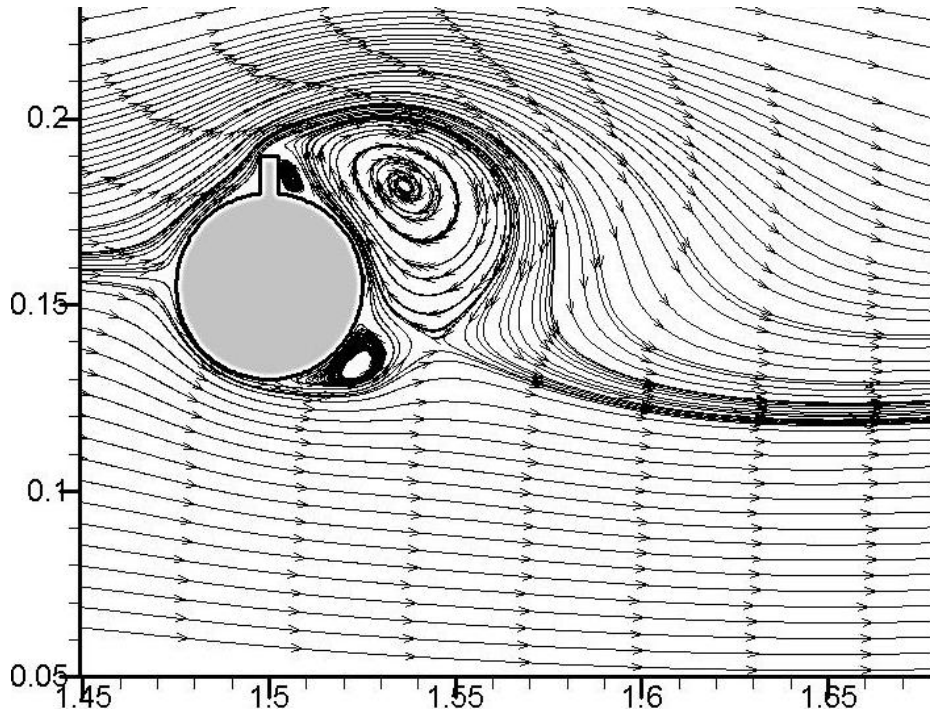
Laminer model için alınan görüntüde spoiler tabanını oyan bir girdapla birlikte biri baskın olmak üzere dört girdap grlmektedir. Standart $k-\epsilon$ modelde de yine spoiler tabanını oyan bir girdap grlmektedir. Biri baskın olmak üzere üç girdap oluşmuştur. Silindir tabanında laminer model benzeri bir girdap oluşmuştur. Rng $k-\epsilon$ modelde çok baskın bir girdap görülmemekle beraber spoiler tabanında diğer modellerde olduğu gibi bir girdap oluşmuştur. Aynı şekilde silindir tabanına yakın bölgede bir girdap daha vardır. Realizable $k-\epsilon$ model için alınan görüntü rng $k-\epsilon$ modele benzemektedir. Spoiler tabanında spoiler tabanını oyan bir girdapla birlikte silindir tabanına yakın bölgede bir girdap meydana gelmiştir. Standart $k-\omega$ modelde ise spoiler tabanını oyan girdabın etkisinin arttığı grlmektedir. Ayrıca spoiler köşesinin etkisiyle bir girdap daha meydana gelmiştir. silindir tabanına yakın bölgede bir girdap oluştuğu gözlenmektedir. Ayrıca silindirden uzak baskın bir girdap meydana gelmiştir. Sst $k-\omega$ model de alınan görüntü standart $k-\omega$ modele benzemektedir. Spoiler tabanında oluşan girdap etkisi diğer modellere göre daha fazladır. Spoiler köşesinin etkisiyle küçük bir girdap meydana gelmiştir. silindir tabanına yakın bölgede de bir girdap oluşmuş ayrıca silindir arkasında silindirden uzaklaşmakta olan bir girdap daha grlmektedir.

Farklı modellerde alınan bu grntler için MSE değeri hesaplanmış, laminer model için hesaplanan hata değeri MSE, 0.015, standart $k-\epsilon$ model için hesaplanan hata değeri MSE, 0.095, rng $k-\epsilon$ model için hesaplanan hata değeri MSE, 0.053, realizable

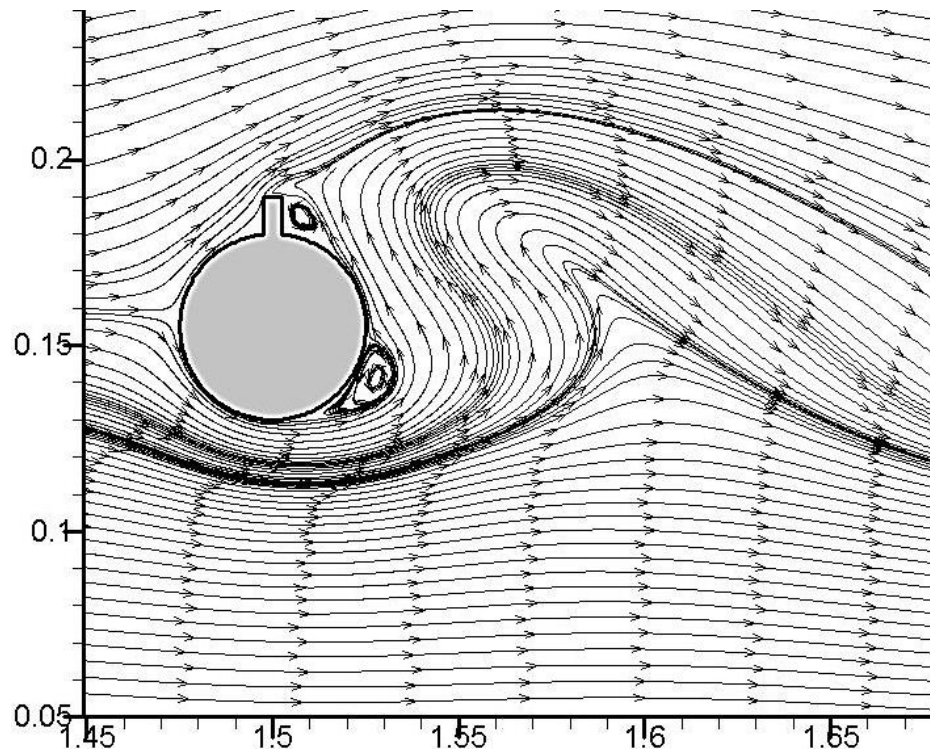
$k-\varepsilon$ model için hesaplanan hata değeri MSE, 0.031, standart $k-\omega$ modeli için hesaplanan hata değeri MSE, 0.015, sst $k-\omega$ türbülans modeli için hesaplanan hata değeri MSE, 0.016 olmuştur. Ancak laminar modelin akışın kuyruk yapısına bakıldığında bu modelin uyumsuz olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden $Re_d=750$ değeri için en uygun model standart $k-\omega$ olarak seçilmiştir.



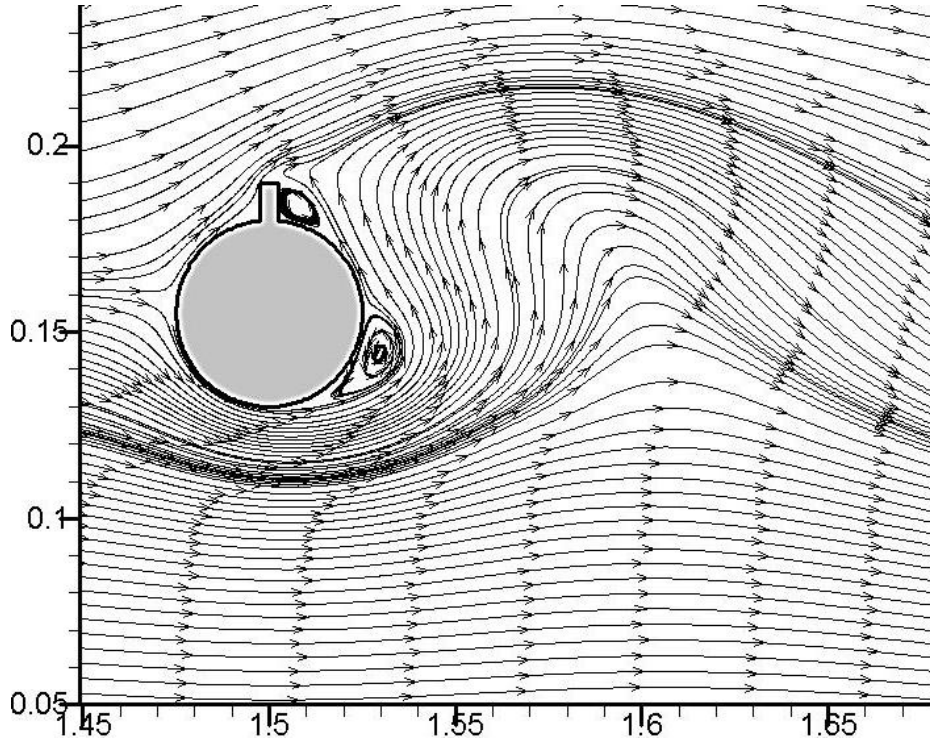
Şekil 4.85. Spoilerli silindir laminar model silindir arkası görüntü, MSE=0.015 ($Re_d=750$)



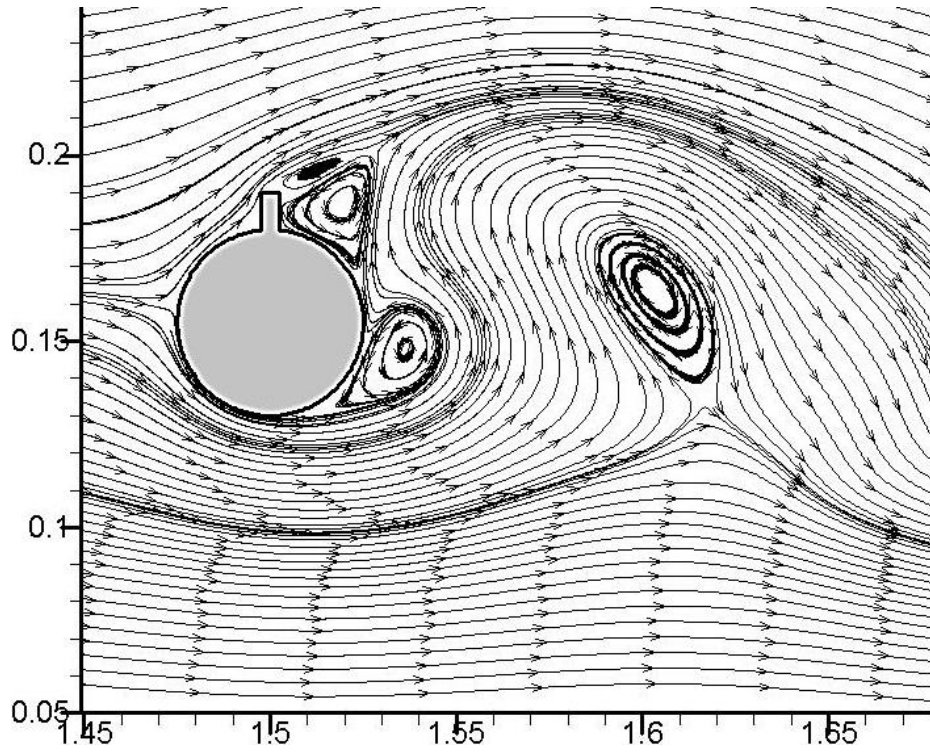
Şekil 4.86. Spoilerli silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.095$
($Re_d=750$)



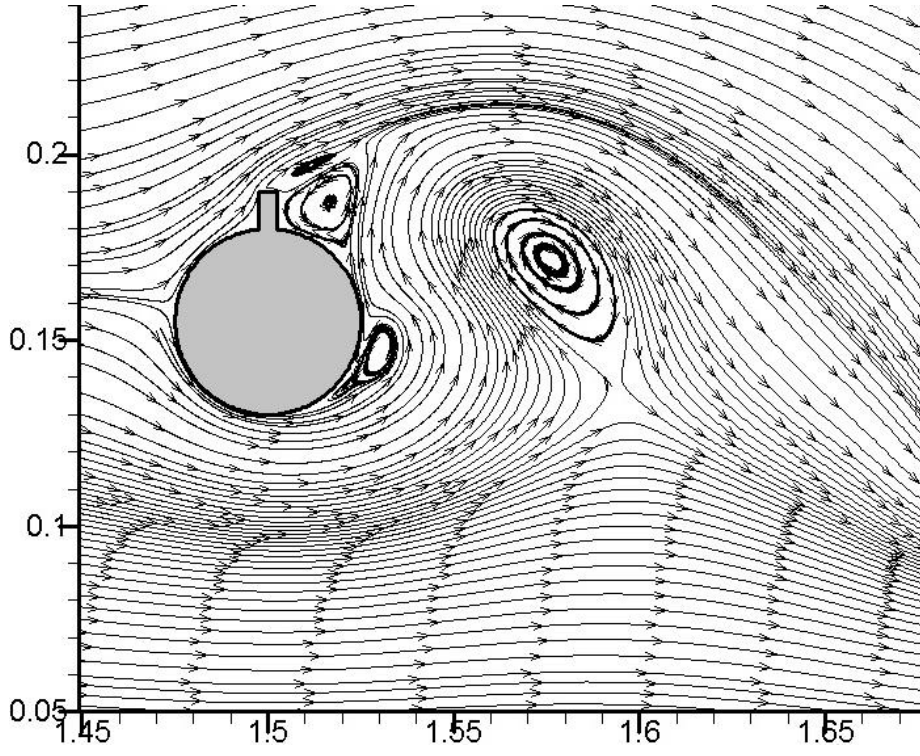
Şekil 4.87. Spoilerli silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.053$
($Re_d=750$)



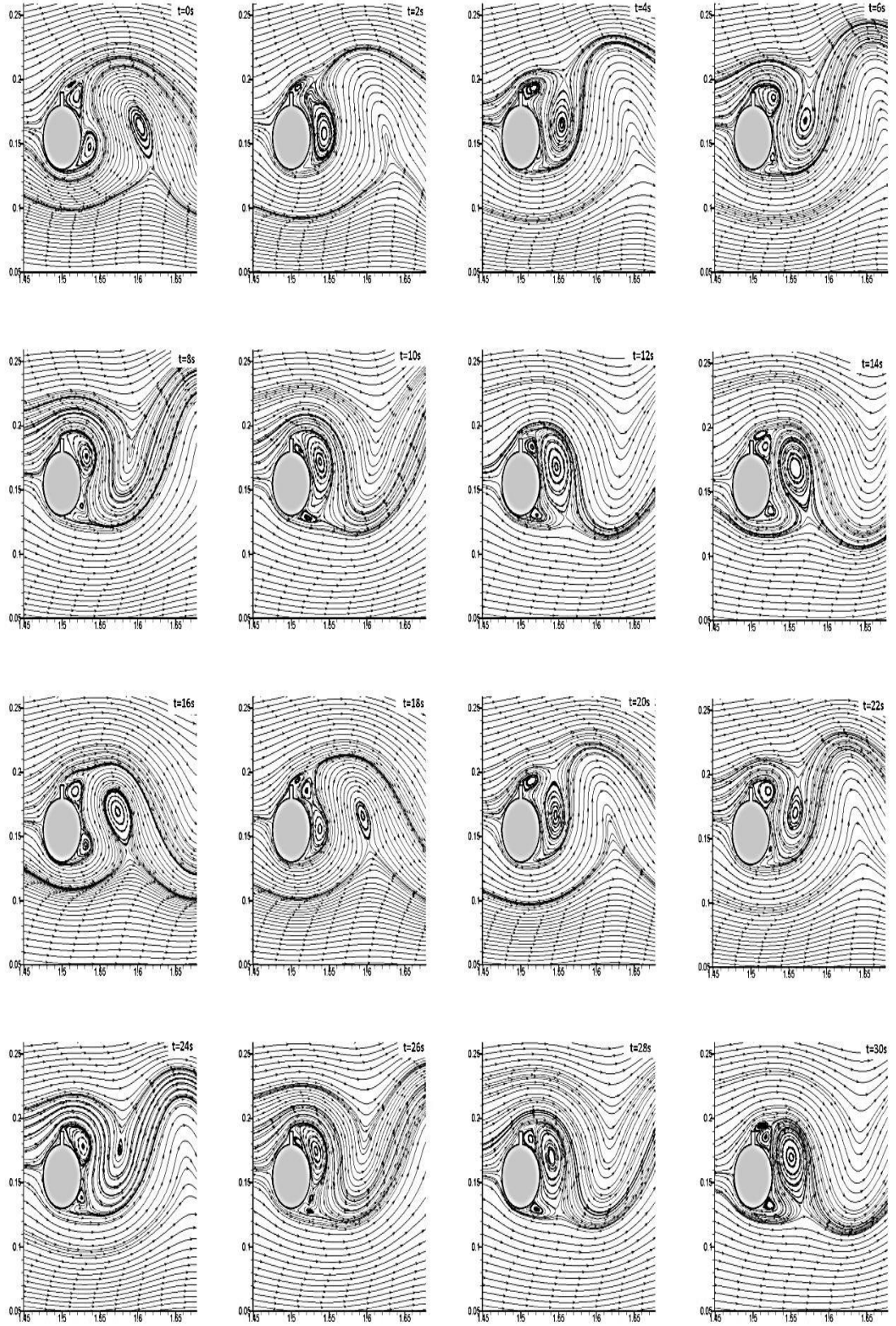
Şekil 4.88. Spoilerli silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.031$
($Re_d=750$)



Şekil 4.89. Spoilerli silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.015$
($Re_d=750$)



Şekil 4.90. Spoilerli silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.016$
 ($Re_d=750$)



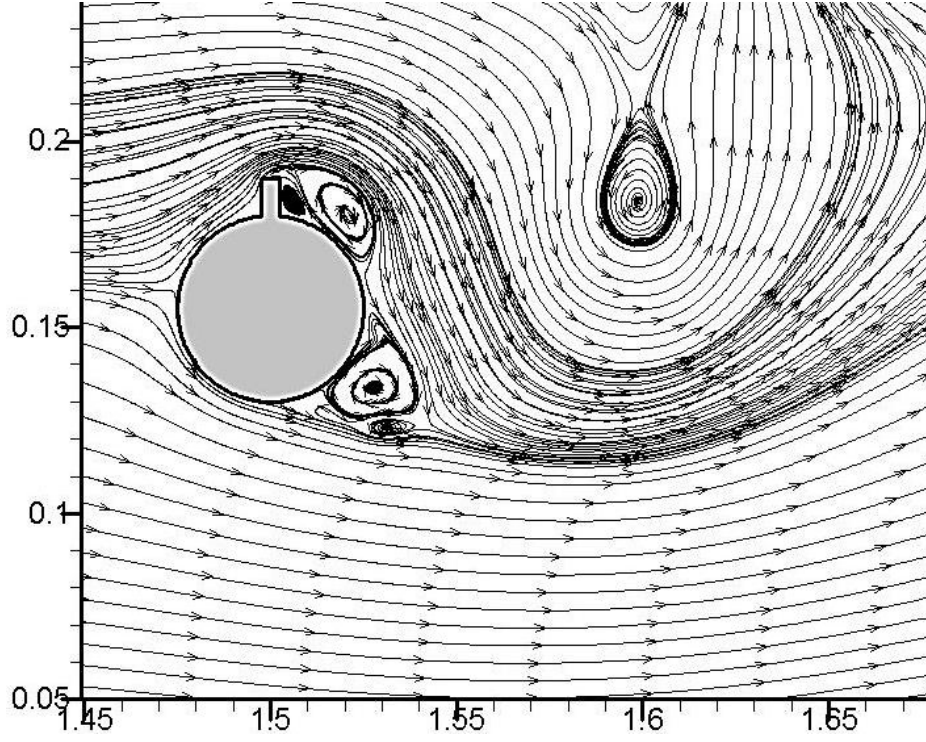
Şekil 4.91. $Re_d=750$ standart $k-\omega$ modeli spoilersüz silindır anlık görüntüleri (30s)

$Re_d=750$ değerinde en iyi model olarak seçilen standart $k-\omega$ model zamana bağlı olarak çözölmüş ve 30s ye kadar anlık görüntüler alınmıştır. Anlık görüntülerde sırasıyla silindir tabanından ve spoiler tabanından girdaplar oluştuğu ve oluşan girdapların silindir arkasında karman girdap yolunu oluşturarak kaybolduğu görölmektedir.

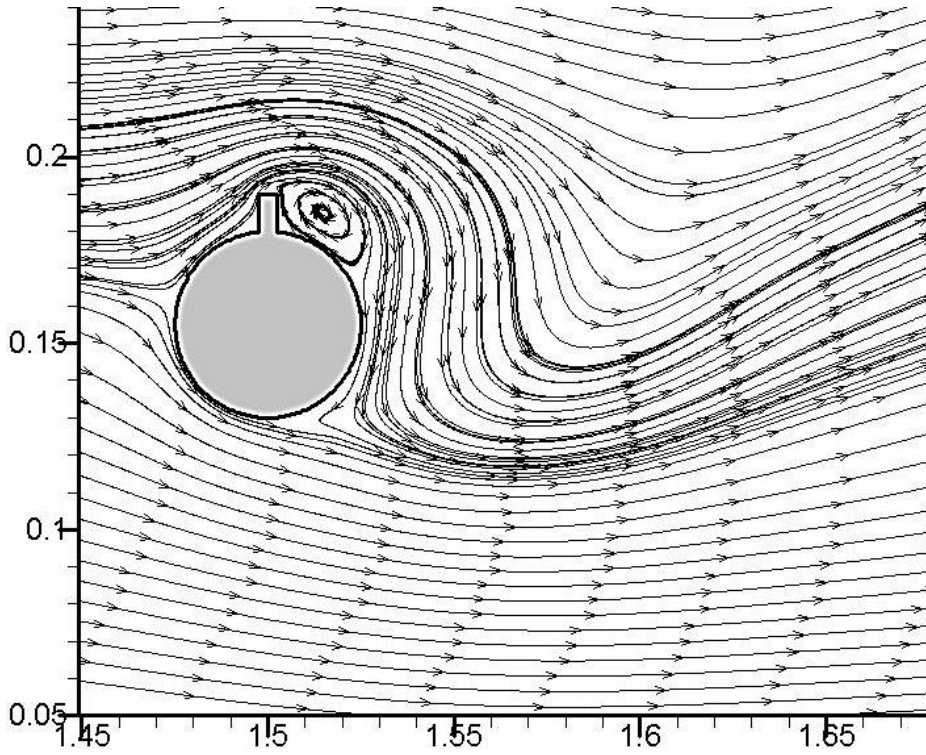
$Re_d=1500$ hız değeri için farklı türbölans modellerinde alınan spoilerli silindir ortalama görüntüleri Şekil 4.92 den Şekil 4.97 a verilmiştir.

$Re_d=1500$ değerinde alınan görüntülerde laminar modelde spoiler tabanını oyan bir girdapla birlikte silindir arkasına yakın bölgede dört farklı girdap görölmektedir. Silindirden uzaklaşmakta olan diğer iki girdap akışın periyodik bir akış olduğunu göstermektedir. Standart $k-\epsilon$ modelde ise sadece silindir tabanını oyan bir girdap meydana gelmiştir. Rng $k-\epsilon$ modelde ise spoiler tabanını oyan bir girdapla birlikte silindir tabanı ile silindir orta noktası arasında küçük bir girdap meydana gelmiştir. Realizable $k-\epsilon$ modelde ise spoiler uç noktasında bir girdap meydana gelmiş ve silindir arkasında bu ve diğer bir girdaptan sonra oluşan durma noktasından başlayarak bir yay şeklinde belirgin bir ayrılma bölgesi oluşturmuştur. Standart $k-\omega$ modelde spoiler uç noktasında bir girdap meydana gelmiştir ancak spoiler tabanında meydana gelen girdabın etkisiyle bastırılmıştır. Silindir tabanında ve silindirden uzaklaşmakta olan iki girdap daha oluşmuştur. Sst $k-\omega$ modelinde spoiler tabanında ve silindir tabanında birer girdap meydana gelmiştir. ayrıca silindir arkasında diğer girdaplara göre daha baskın bir girdap daha oluşmuştur.

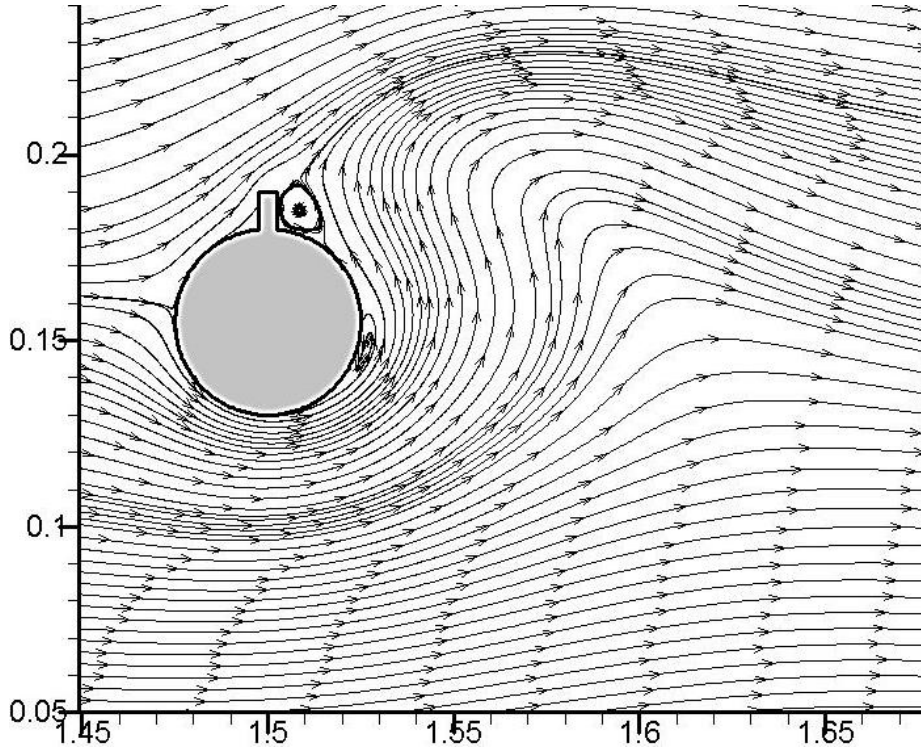
$Re_d=1500$ değerinde farklı türbölans modellerinden elde edilen MSE değerleri, laminar model için, 0.012, standart $k-\epsilon$ model için, 0.0023889, rng $k-\epsilon$ model için, 0.003907, realizable $k-\epsilon$ model için, 0.038, standart $k-\omega$ model için, 0.0007537, sst $k-\omega$ model için, 0.038 olarak hesaplanmıştır. Hata oranlarına göre $Re_d=1500$ hız değerinde en iyi modelin standart $k-\omega$ türbölans modeli olduğu görölmektedir.



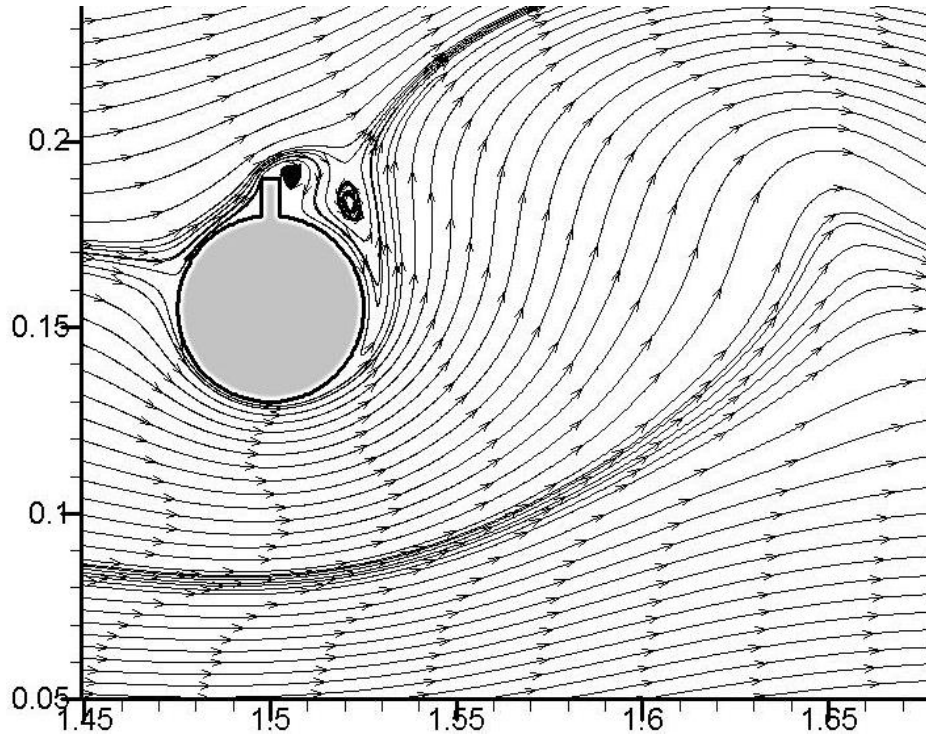
Şekil 4.92. Spoilerli silindir laminar model silindir arkası görüntü, $MSE=0.012$
($Re_d=1500$)



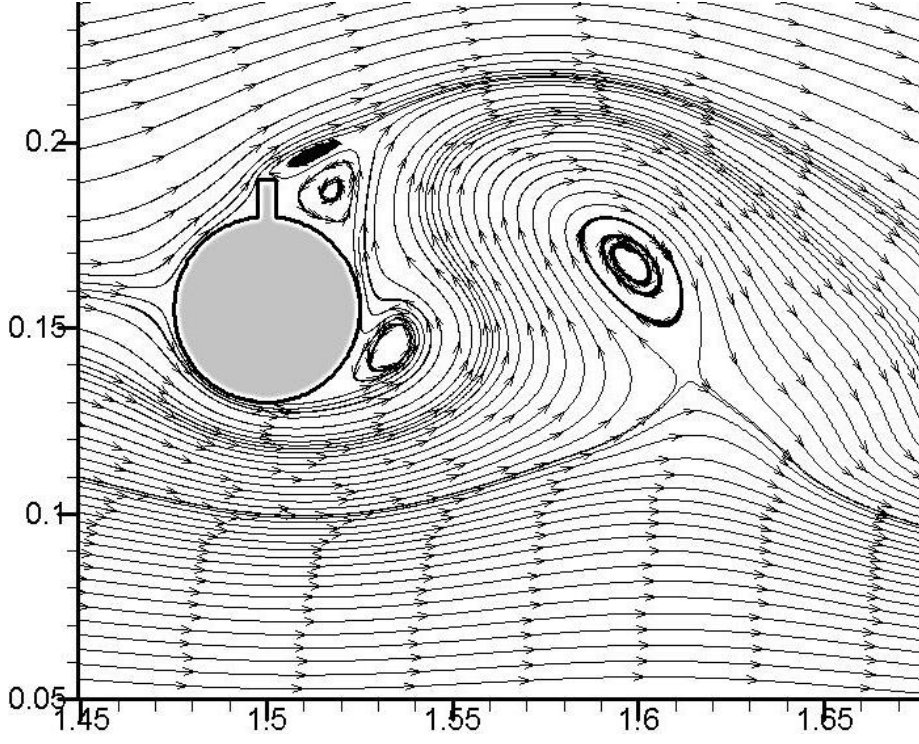
Şekil 4.93. Spoilerli silindir standart $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.002889$
($Re_d=1500$)



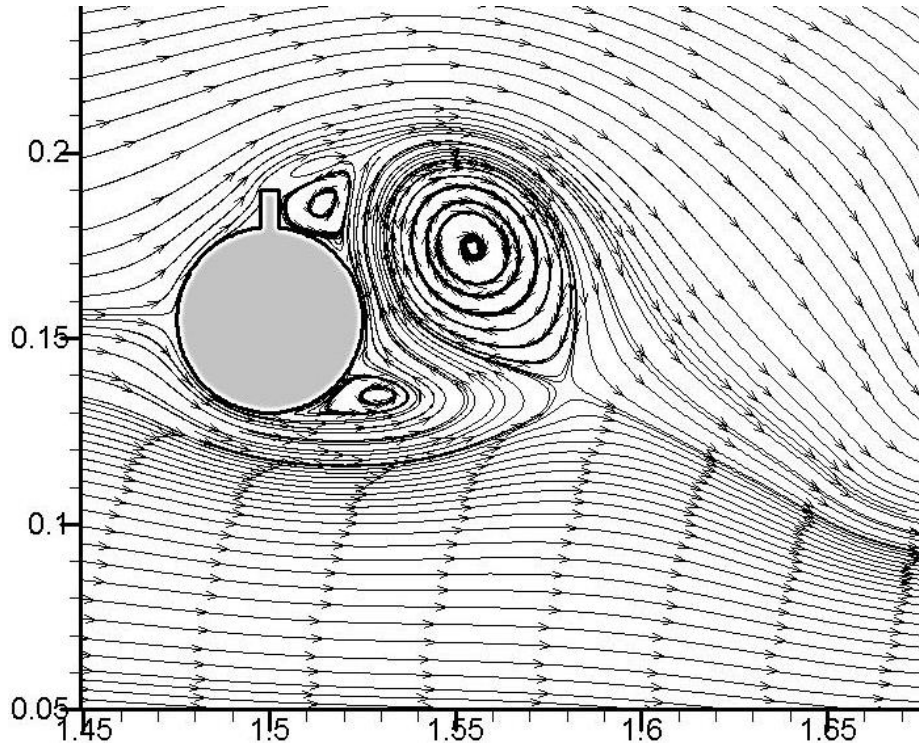
Şekil 4.94. Spoilerli silindir rng $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.003907$
($Re_d=1500$)



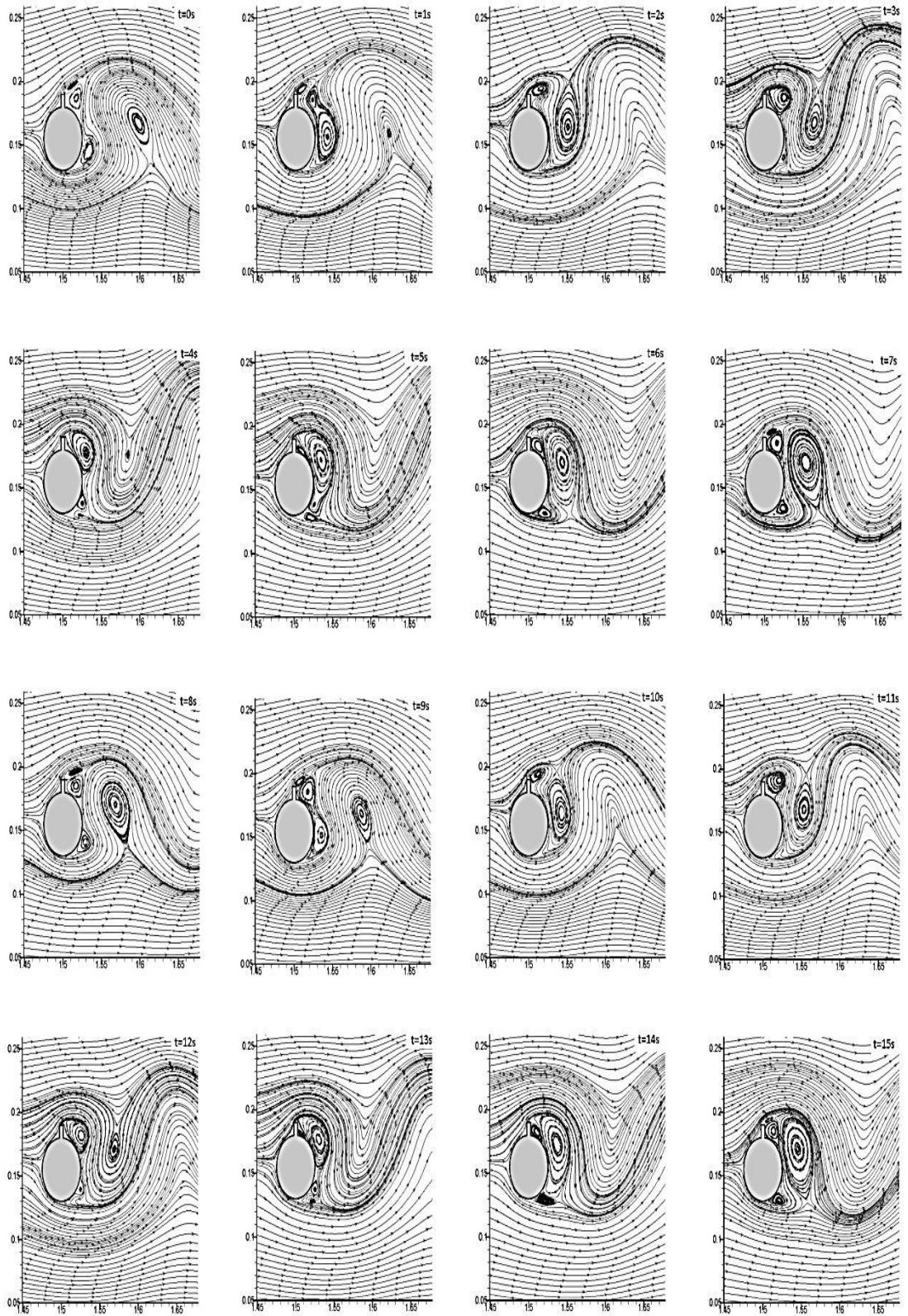
Şekil 4.95. Spoilerli silindir realizable $k-\epsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.038$
($Re_d=1500$)



Şekil 4.96. Spoilerli silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.0007537 ($Re_d=1500$)



Şekil 4.97. Spoilerli silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.038 ($Re_d=1500$)



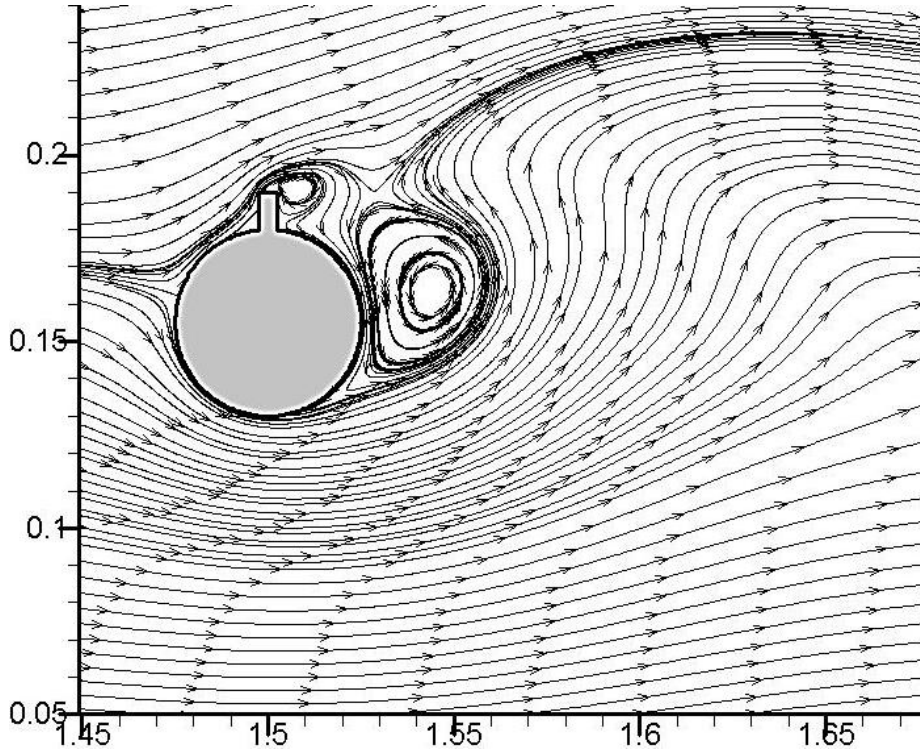
Şekil 4.98. $Re_d=1500$ standart $k-\omega$ modeli spoilersüz silindir anlık görüntüleri (15s)

$Re_d=1500$ hız değerinde en iyi çıkan standart $k-\omega$ modelinde zamana bağlı anlık görüntüler alınmıştır. 15. saniyede girdaplar birbirini tekrarlayarak periyodiklik kazanmıştır. Sırası ile silindir tabanı ve spoiler tabanından meydana gelen girdaplar silindir arkasında karman girdap yolunu oluşturmaktadır.

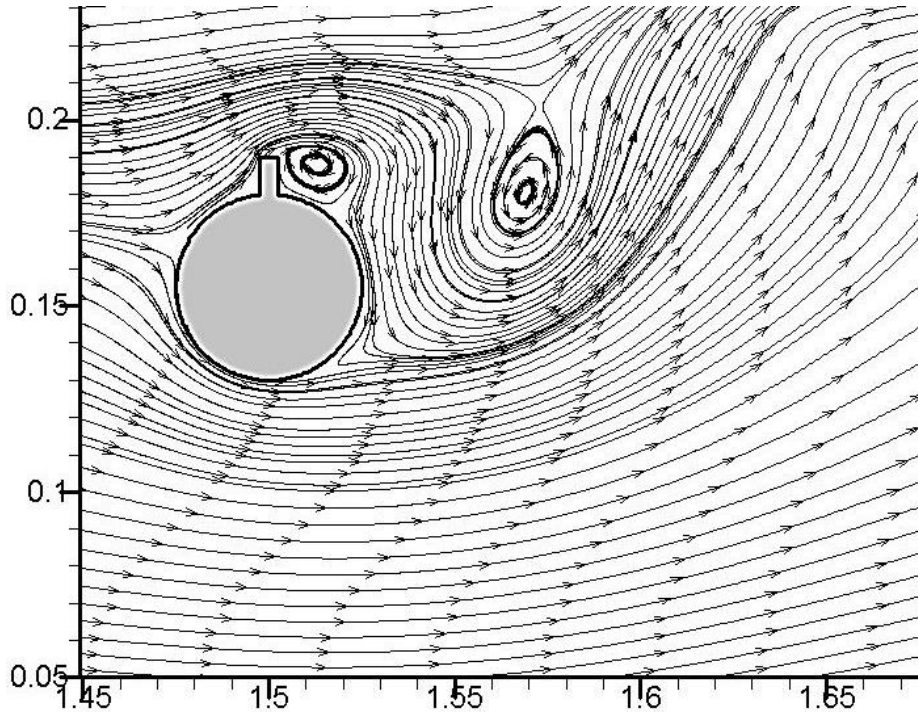
$Re_d=4000$ hız değerinde alınan farklı türbülans modellerinde spoilerli silindire ait ortalama görüntüler Şekil 4.99 den Şekil 4.103 e verilmiştir.

$Re_d=4000$ hız değerinde standart $k-\varepsilon$ model için alınan görüntüde spoiler tabanında ve silindir ortasına yakın olmak üzere iki girdap meydana gelmiştir. Bu iki girdabın oluşturduğu durma noktasından başlayarak yay şeklinde belirgin bir ayrılma çizgisi oluşmuştur. Rng $k-\varepsilon$ model için spoiler tabanında tabanı oyan ve silindir arkasında silindirden uzaklaşmakta ve baskın olan girdaplar meydana gelmiştir. Ayrıca silindir önünde oluşan durma noktasının spoiler'e doğru yaklaştığı görülmektedir. Realizable $k-\varepsilon$ modeli için spoiler'in köşe uç noktasına yakın küçük bir girdap ve silindir ortasına yakın baskın bir girdap meydana gelmiştir. Bu iki girdabın oluşturduğu durma noktasından başlayarak belirginleşen bir ayrılma çizgisi görülmektedir. Standart $k-\omega$ modeli için spoiler köşe uç noktasında oluşan küçük bir girdapla birlikte silindir ortasında oluşan baskın bir girdap görülmektedir. Bu iki girdabın oluşturduğu durma noktasından başlayarak oluşan bir ayrılma çizgisi görülmektedir. Sst $k-\omega$ modeli için spoiler köşe uç noktasında oluşan küçük bir girdapla birlikte silindir ortasına yakın baskın bir girdap görülmektedir. Baskın girdabın sınırından başlayarak bir ayrılma çizgisi oluşmuştur.

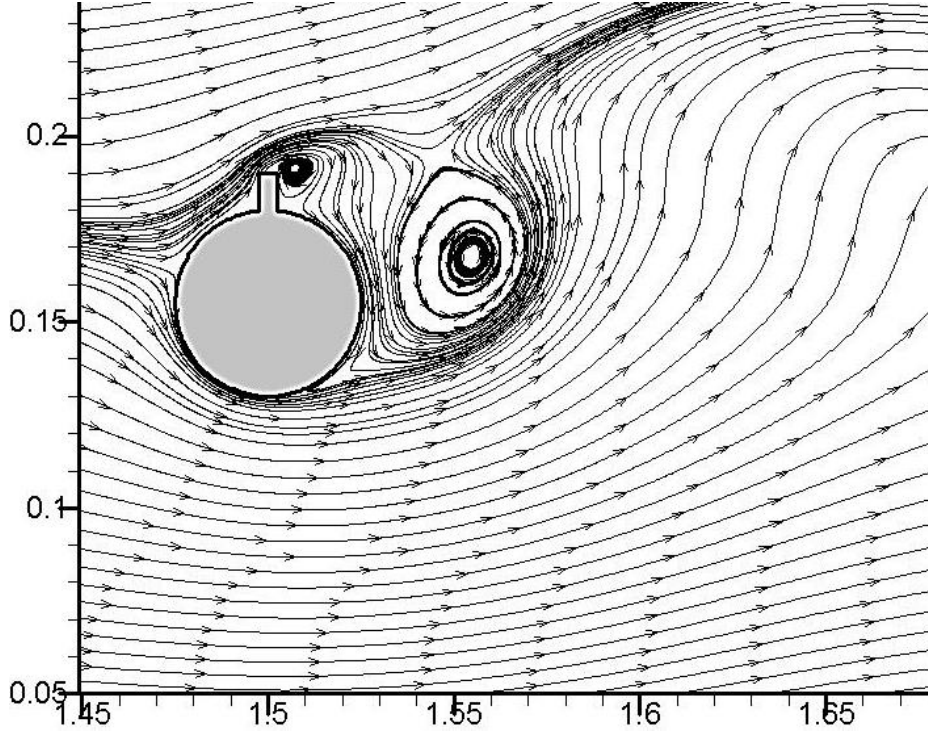
$Re_d=4000$ hız değeri için farklı modellerde hesaplanan MSE değerleri, standart $k-\varepsilon$ modeli için, 0.045, rng $k-\varepsilon$ modeli için, 0.054, realizable $k-\varepsilon$ modeli için, 0.055, standart $k-\omega$ modeli için, 0.041 ve sst $k-\omega$ modeli için 0.032 olarak hesaplanmış ve en az hatanın sst $k-\omega$ modelinde olduğu tesbit edilmiştir.



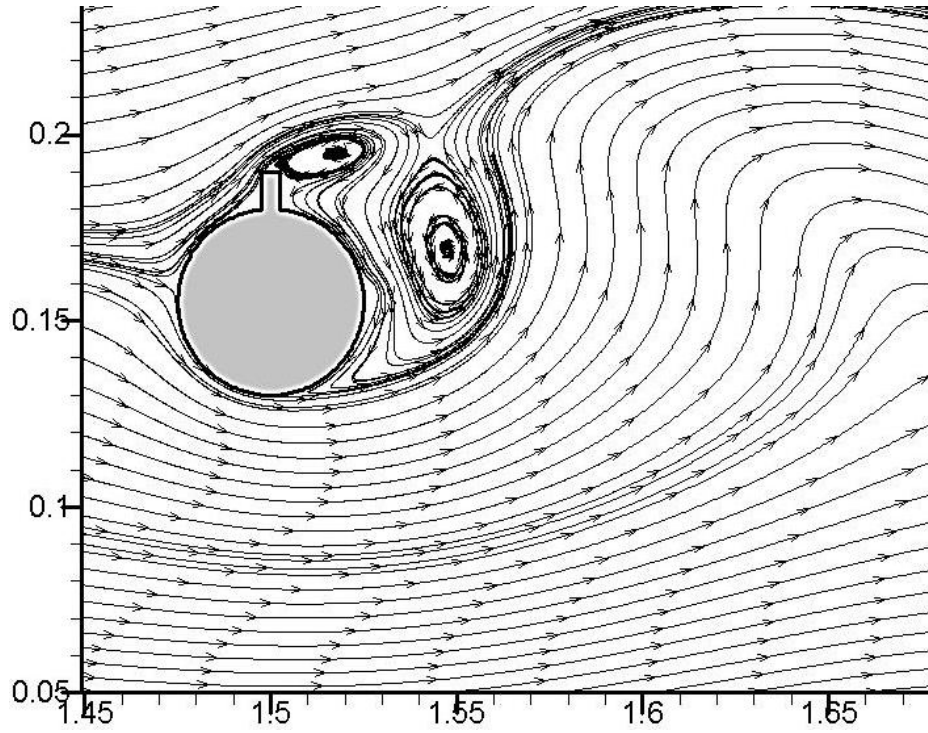
Şekil 4.99. Spoilerli silindir standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.045$ ($Re_d=4000$)



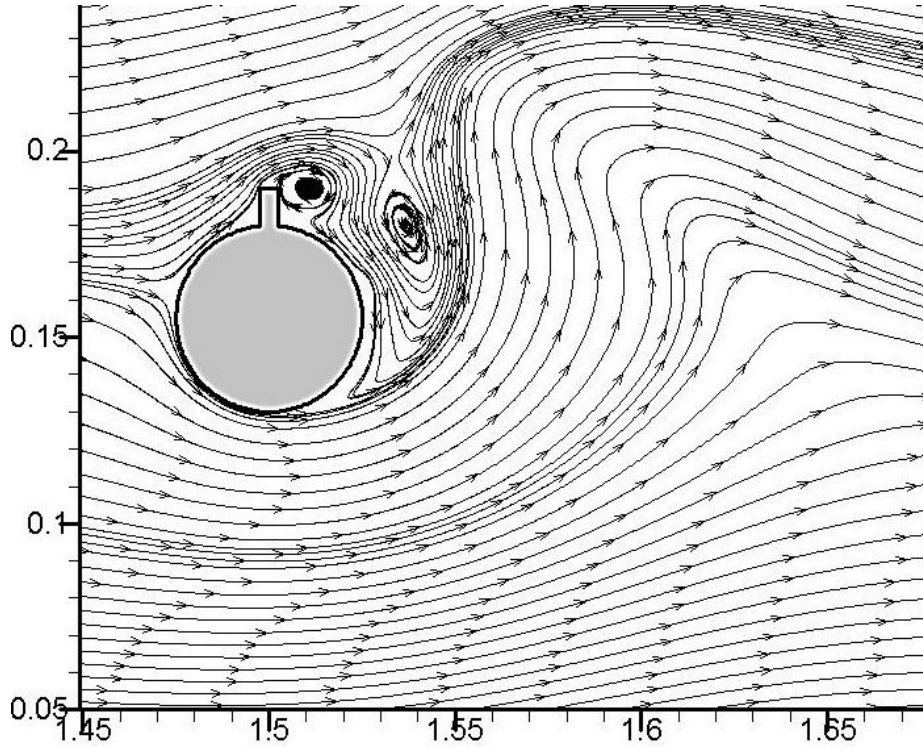
Şekil 4.100. Spoilerli silindir rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.054$ ($Re_d=4000$)



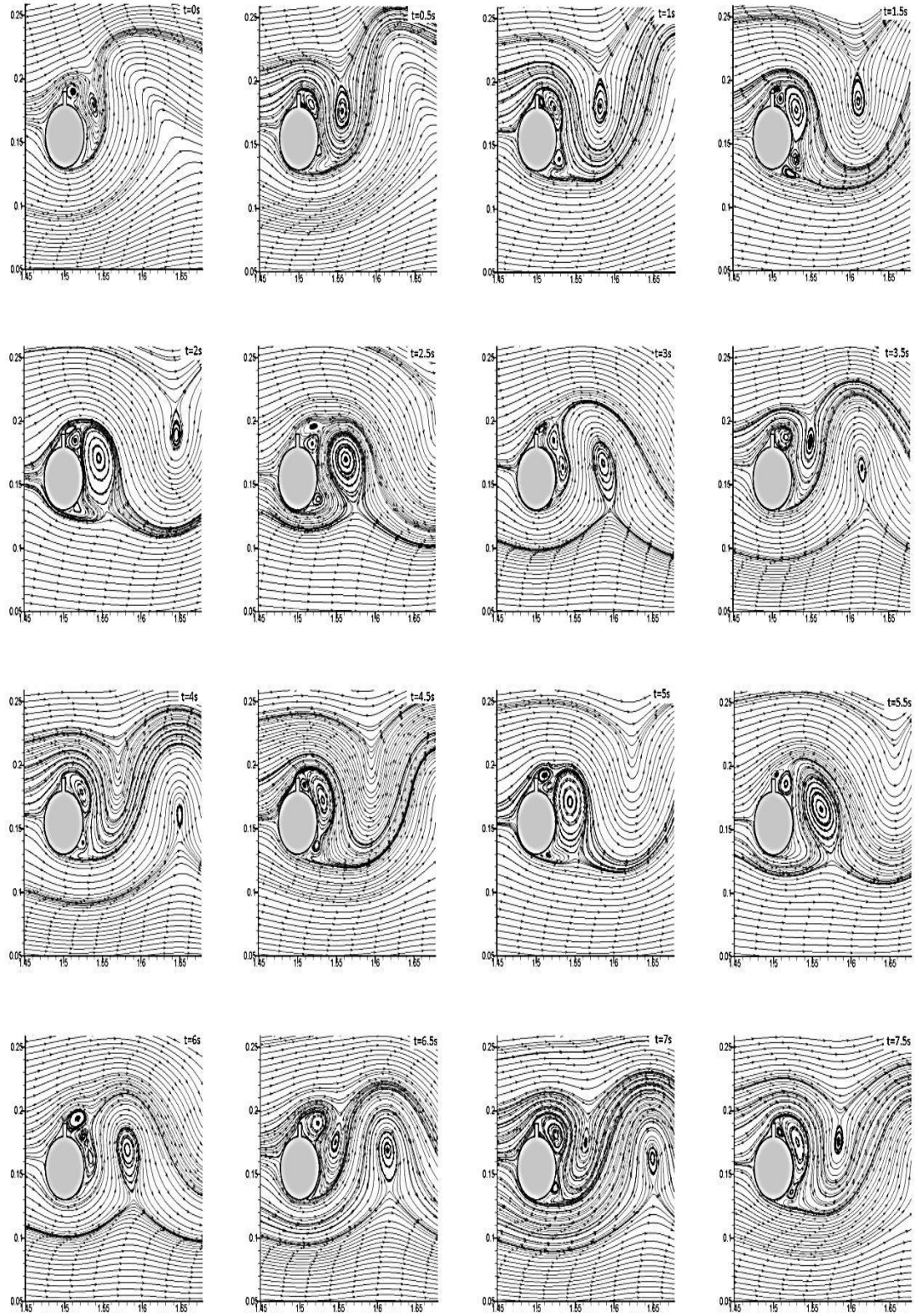
Şekil 4.101. Spoilerli silindir realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.055$
($Re_d=4000$)



Şekil 4.102. Spoilerli silindir standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.041$
($Re_d=4000$)



Şekil 4.103. Spoilerli silindir sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.032
($Re_d=4000$)



Şekil 4.104. $Re_d=4000$ sst $k-\omega$ modeli spoilersüz silindir anlık görüntüleri (7.5s)

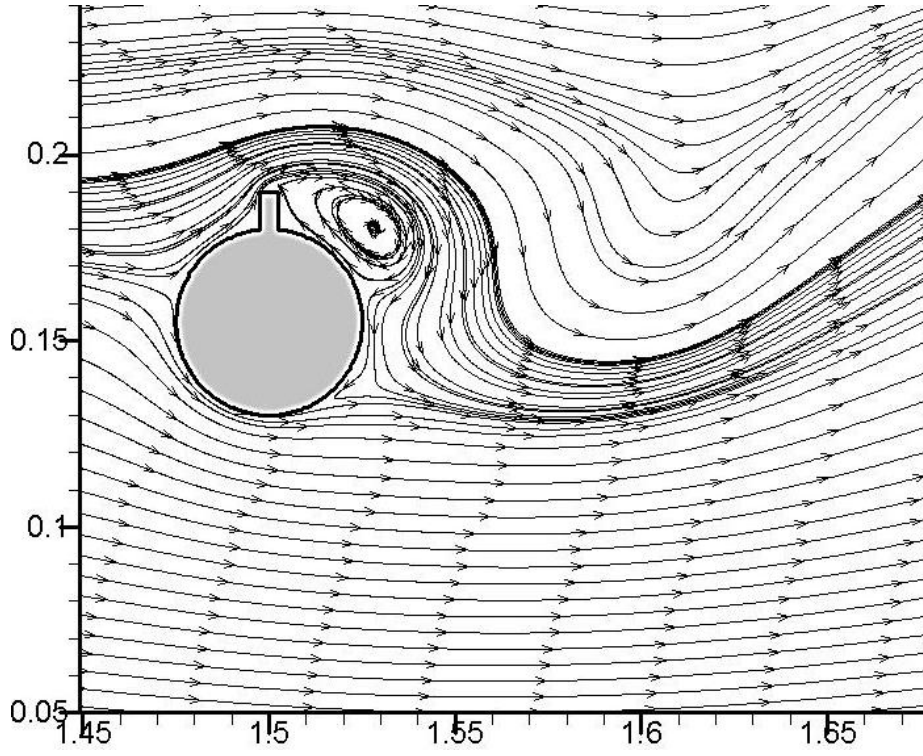
$Re_d=4000$ hız değerinde en iyi model olarak seçilen sst $k-\omega$ modeline ait zamana bağlı çözüm yapılmıştır. Alınan görüntülere göre sırası ile silindir tabanından ve spoiler tabanında girdaplar oluşarak silindir arkasında karman girdap yolunu oluşturmaktadır. Akışın periyodik olduğu görülmektedir. $Re_d=4000$ de 7.5s de akım kendini tekrarlamış ve periyodiklik kazanmıştır.

$Re_d=9600$ hız değerinde farklı türbülans modellerinde çözölen spoilerli silindire ait ortalama görüntöler Şekil 4.105 den Şekil 4.109'e verilmiştir.

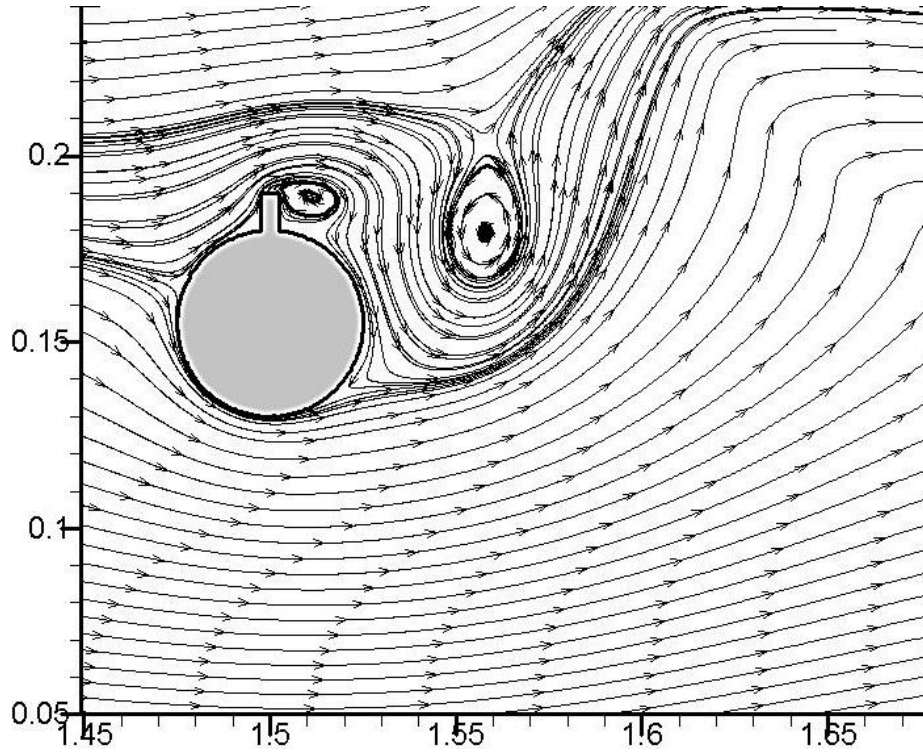
$Re_d=9600$ hız değerinde spoilerli silindir için çözölen türbülans modellerinde, standart $k-\epsilon$ model için spoiler tabanında büyük bir girdap oluşmuştur. Rng $k-\epsilon$ model için spoiler etrafında küçük ve silindirden uzaklaşmakta olan baskın bir girdap olmak üzere iki girdap meydana gelmiştir. Realizable $k-\epsilon$ model için alınan ortalama görüntüde ise spoiler etrafında oluşan baskın bir girdap ve silindir tabanına yakın küçük bir girdap oluşmuştur. Standart $k-\omega$ modelinde ise spoiler tabanında ve silindir tabanında olmak üzere iki küçük girdap meydana gelmiş ayrıca silindirden uzakta ve baskın bir girdap oluşmuştur. Sst $k-\omega$ modelinde ise spoiler üzerinde ve spoiler köşesine yakın küçük bir girdap, spoiler tabanında ve silindir tabanında oluşan birer küçük girdap ve silindir ortasına yakın oluşan baskın bir girdap görölmektedir.

$Re_d=9600$ değerinde farklı modellerde hesaplanan MSE değerleri, standart $k-\epsilon$ model için, 0.055, rng $k-\epsilon$ model için, 0.124, realizable $k-\epsilon$ model için, 0.027, standart $k-\omega$ model için, 0.012, sst $k-\omega$ model için, 0.002981 olarak hesaplanmıştır.

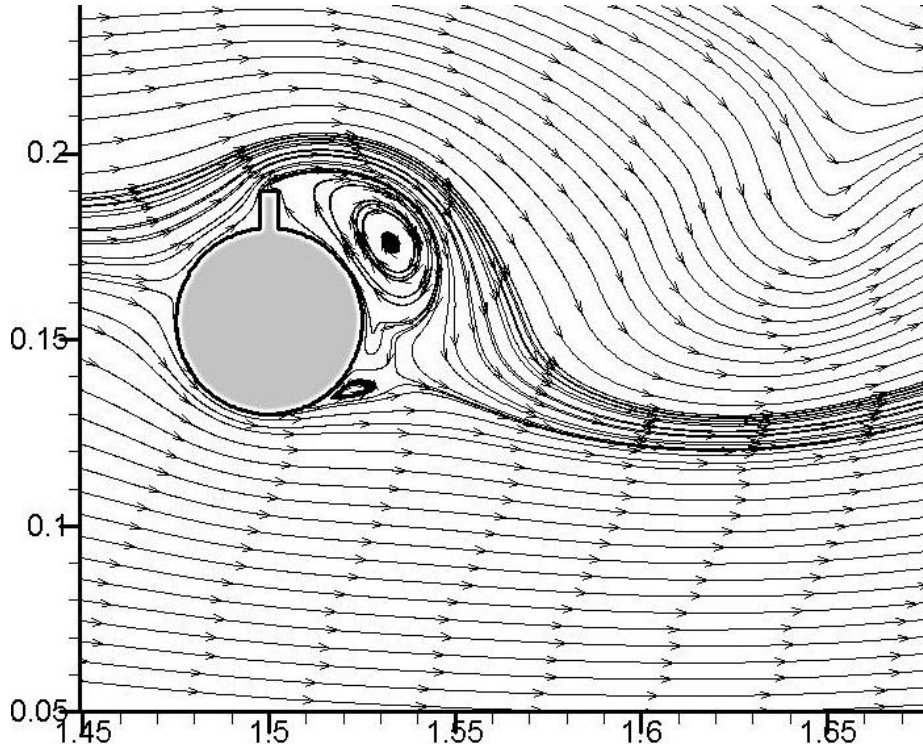
Hesaplanan hata değerlerine göre bu hız değerinde en uygun modelin sst $k-\omega$ modeli olduğu görölmektedir.



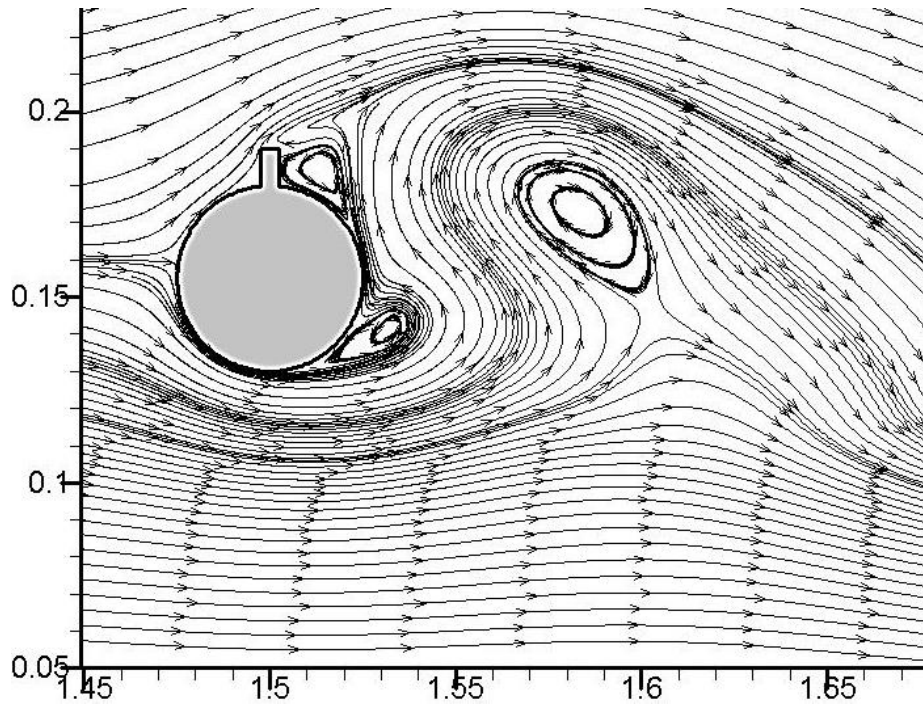
Şekil 4.105. Spoilerli standart $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.012$ ($Re_d=9600$)



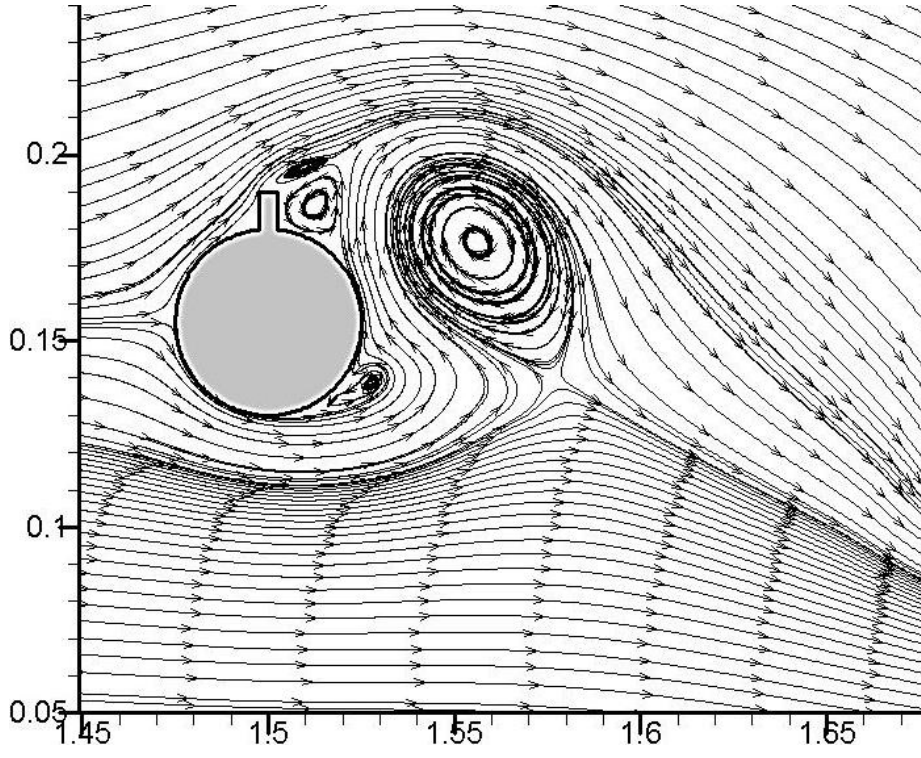
Şekil 4.106. Spoilerli rng $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, $MSE=0.124$ ($Re_d=9600$)



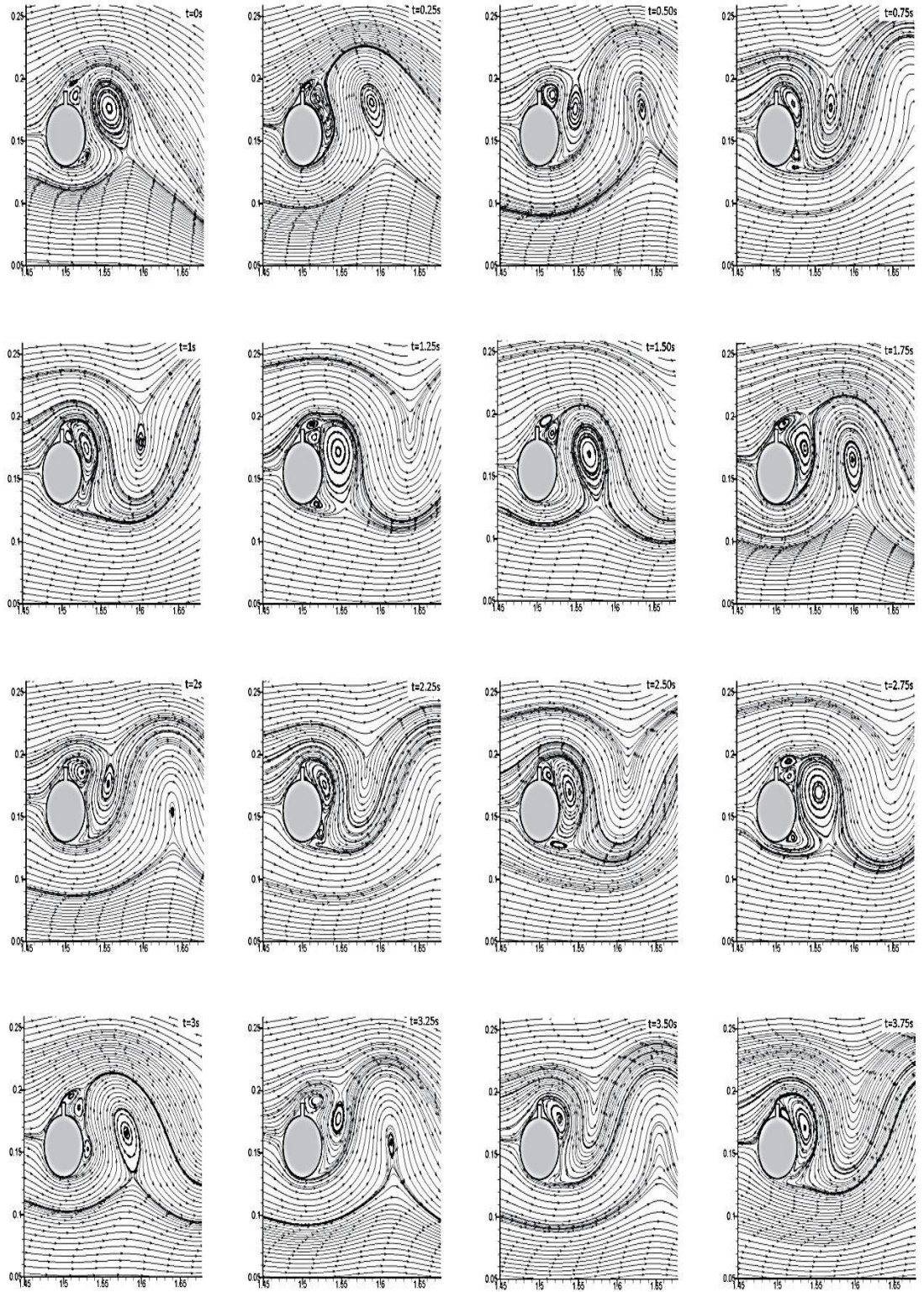
Şekil 4.107. Spoilerli realizable $k-\varepsilon$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.027
($Re_d=9600$)



Şekil 4.108. Spoilerli standart $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.012
($Re_d=9600$)



Şekil 4.109. Spoilerli sst $k-\omega$ model silindir arkası görüntü, MSE=0.002981 ($Re_d=9600$)



Şekil 4.110. $Re_d=9600$ sst $k-\omega$ modeli spoilersüz silindir anlık görüntüleri (3.75s)

$Re_d=9600$ değerinde en iyi model seçilen sst $k-\omega$ modeli zamana bağlı olarak çözölmüştür. 3.75s de akımın periyodiklik kazandığı görölmektedir. Sırası ile silindirin tabanından ve spoiler etrafından girdaplar gelişmektedir. Gelişen girdaplar karman girdap yolunu oluşturarak kaybolmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada spoilerli ve spoilersiz silindirler etrafında oluşan akış yapıları Reynolds sayısının 750-9600 değerleri arasında PIV tekniği kullanılarak detaylıca araştırılmıştır. Daha sonra Fluent 14.5 programı kullanılarak akış yapısı nümerik olarak da araştırılarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Spoiler'in silindirin üst kısmındaki girdapların baskınlığını arttırıp, alt kısmındaki girdapların etkisini azaltarak onları sönümleme yöntemiyle silindir tabanını kazma ve gömme yeteneği farklı Reynolds sayılarında ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, spoiler kullanımı ile, özellikle yüksek Reynolds sayılarında tabanı kazarak silindirin gömülebileceği belirlenmiştir.

Deneysel çalışmada, $Re_d=750$ değerinde incelenen akış bölgesinde silindir arkasında durma noktası oluşmamıştır. Ancak daha düşük Reynolds sayılarında taban aşınmaları yönünde ciddi ölçüde fayda sağlanabilmekle beraber, özellikle $Re_d=4000$ ve üstündeki değerlerinde spoiler arkasında kavitasyon etkileri de arttığından dolayı, spoiler'in geometrik yapısının kavitasyonu engelleyecek şekilde değiştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Deneysel çalışmada, artan Reynolds sayısı ile birlikte girdapların silindire doğru yaklaştığı görülmektedir. Spoilersiz silindirde $Re_d=750$ ve 1500 hızlarında girdap baskınlığı silindire doğru olurken spoilerli silindirde $Re_d=4000$ ve 9600 değerlerinde spoiler tarafındaki girdap baskınlığını yitirmiş ve diğer silindir tabanına yakın oluşan girdaba benzemiştir.

Nümerik çalışmada, $750 \leq Re_d < 4000$ hız değerlerinde spoilersiz yapı için yapılan nümerik çalışmada sst $k-\omega$ modelinin daha doğru sonuçlar verdiği $Re_d \geq 4000$ değerlerinde ise standart $k-\omega$ modelinin daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Nümerik çalışmada, $750 \leq Re_d < 4000$ hız değerlerinde spoilerli yapı için yapılan nümerik çalışmada standart $k-\omega$ modelinin daha doğru sonuçlar verdiği $Re_d \geq 4000$ değerlerinde ise sst $k-\omega$ modelinin daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

$k-\varepsilon$ türbülans modelinin silindir üstü akış problemleri için uygun olmayan bir türbülans modeli olduğu, ve $k-\omega$ türbülans modelinin daha iyi sonuçlar verdiği nümerik

Çalışma ile kanıtlanmıştır. Bu nedenle silindir üstü akış gibi kt cisimlerin incelendiği akış problemlerinde $k-\omega$ türbülans modelinin kullanılması öngörülmektedir.

Spoiler etkisi ile akışın kontrol edilebileceği deneysel ve nümerik verilerle ortaya konulmuştur. Spoiler'in silindir üzerine değişik şekillerde ve açılarda konulması tasarımcılar için önerilen bir çalışmadır.

Spoilerli silindirde $Re_d \geq 4000$ değerlerinde nümerik sonuçlara göre girdapların spoiler etrafında geliştiği gözlenmiştir. Anlık alınan sonuçlarda göstermektedir ki yüksek Reynolds sayılarında girdabın kontrolü açısından spoiler önem arz etmektedir. Silindir zerine farklı yerlere spoiler konulması tasarım ve akış kontrolü açısından tavsiye edilmektedir.

$G/D=2.6$ oranında spoiler'in silindir tepesine konulması sonuncu nümerik sonuçlara göre girdap etkisi yüzeye doğru olmuştur. Spoiler'in bu boşluk oranında silindirin tabanına konulmasının daha iyi sonuçlar verebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Öner, A.A., Kırkgöz M.S., **Düzenli akımda tabana yakın silindir yüzeyinde ve tabanda kayma gerilmesi dağılımlarının deneysel incelenmesi**, Ç. Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt.22, sayı.2, ISSN 1019- 1011, 2007

Akoz, M.S., **Investigation of vortical flow characteristics around a partially buried circular cylinder**, Ocean Engineering 52, S. 35-52, 2012

Priece, 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(2), S. 175-191, 2002

Akoz, M.S., Sahin, B., Akıllı, H., **Flow characteristic of the horizontal cylinder placed on the plane boundary**, Flow Measurement and Instrumentation 21, S. 476-487, 2010

Bearman, P.W., Zdravkovich, M.M., **Flow around a circular cylinder near a plane boundary**, Journal of Fluid Mechanics, 89:33–47, 1978

Zdravkovich M.M., **Intermittent flow separation from flat plate induced by a nearby circular cylinder**, In: **Proceeding of the 2nd international symposium on flow visualization**, S. 265–70, 1980

Testik, F.Y., Voropayev S.I., Fernando H.J.S., **Flow around a short horizontal bottom cylinder under steady and oscillatory flows**, Physics of Fluids, 17:047103–12, 2005

Adrian, R.J., **Particle-imaging techniques forexperimental fluid mechanics**, Annual Review of Fluid Mechanics, 23, S. 261-304, 1991

Westerweel, J., **Digital particle image velocimetry. Theory and Application**, Delft University Press, 1993

Rockwell, D., Magness, C., Towfighti, J., Akin, O. & Corcoran, T. **High image-density particle image velocimetry using laser scanning techniques**, Experiments in Fluids 14, S.181-192, 1993

ZOVATTO, L., Pedrizzetti, G., **Flow about a circular cylinder between parallel walls**, Journal of Fluid Mechanics, 440, 1-25, (2001).

TANEDA, S., **Experimental investigation of vortex Streets**, Journal of Physical Society of Japan., 20: 1714-1721, (1965).

ÖNER, A. A., **Dairesel kesitli yatay elemanlar etrafındaki akımın deneysel incelenmesi**, (Doktora Tezi), Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

ONER, A. A., M. S., Kırkgoz, M. S., Akoz, **Interaction of a current with a circular cylinder near a rigid bed**, Ocean Engineering, 35, 1492-1504, (2008).

KIRKGOZ, M. S., **Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow**, Journal of Hydraulic Engineering, 115(11), 1543-1561, (1989).

HULSBERGEN, C. H., **Spoilers for stimulated self-burial of submarine pipelines**, Offshore Technology Conference, OTC 5339, pp: 441-444, (1986).

HIWADA, M., Mabuchi, I., Kumada, M., Iwakoshi, H., **Effect of turbulent boundary layer thickness on the flow characteristics around a circular cylinder near a plane surface**, Trans. Jap. Soc. Mech. Engg., 5216: 2566-74, (1986).

CHIEW, Y. M., **Effect of spoilers on scour at submarine pipelines**, J. Hydraul. Eng., ASCE 118 (9), 1311-1317, (1992).

SUMER, B. M., Truelsen, C., Sichmann, T., Fredsoe, J., **Onset of scour below pipelines and self-burial**, Coastal Engineering, (2001).

Öztürk, N.A., 2006. **Investigation of flow characteristics in heat exchangers of various geometries**. PhD. Thesis. Cukurova University, Inst. Of Natural and Applied Sciences, Adana

Arat, H.T., 2010. **İki plaka arasına yerleştirilmiş elips silindir üzerindeki akış yapısının deneysel incelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay

ANSYS FLUENT 14.5 User's Guide, 2013.

Fluent Incorporated FLUENT User's Guide Version 6.1, 1998.

BAŞARAN, T., **Akışkanlar Mekaniği ders notları**, İzmir, 2007

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveri ile bana destek olan yol gösteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. N. Adil ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında değerli görüş katkı ve bilgilerini esirgemeyen TÜBİTAK projesi ile alınan program ve bilgisayarları kullanmamı sağlayan ve destek olan sayın hocam Doç. Dr. Azize AKÇAYOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca benden değerli bilgilerini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Ahmet YAPICI'ya ve tezin oluşumunda emeği geçen Arş. Grv. H. Turan ARAT'a ve Makina Mühendisi Salih Çelik'e teşekkürlerimi sunarım.

Ağ yapısı oluşturma sırasında bilgilerini benden esirgemeyen ağ yapısı konusunda deneyimli Makina Mühendisi Celal NAZLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezin hazırlanmasında uykusuz gecelerimde manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme ve Dr. Şerife DÜLGER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Antalya’da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Korkuteli Pansiyonlu İlk Öğretim okulunda, lise öğrenimimi Korkuteli Anadolu Lisesinde, Antalya’nın Korkuteli ilçesinde tamamladım. 2006 yılında girdiğim Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden, 2010 yılında Makine Mühendisi unvanıyla mezun oldum. Aynı yıl Mustafa Kemal Üniversitesinde Yüksek Lisans öğrenimime başladım. Yüksek lisans Öğrenimim süresince iki sene özel sektörde çalıştıktan sonra 2012 yılında 111M726 nolu TÜBİTAK projesinde burslu proje asistanı olarak çalışmaya başladım.