

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GRUP EĞİK SİLİNDİRLERİN MANSABINDA
AKIM VE TÜRBÜLANS YAPILARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren TANDOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Programı

AĞUSTOS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GRUP EĞİK SİLİNDİRLERİN MANSABINDA
AKIM VE TÜRBÜLANS YAPILARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Eren TANDOĞAN
(501131507)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Veysel Şadan Özgür Kırca

AĞUSTOS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131507 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Eren TANDOĞAN** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Grup Eğik Silindirlerin Mansabında Akım Ve Türbülans Yapılarının İncelenmesi** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Veysel Şadan Özgür KIRCA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Oral YAĞCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Burak AYDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Ağustos 2015**
Savunma Tarihi : **5 Ağustos 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bana kendisiyle çalışma fırsatı vererek yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, deneyimlerini sabırla paylaşmaktan sıkılmayan değerli tez danışmanım Doç. Dr. Veysel Şadan Özgür Kırca'ya, Hidrolik ve Su Kaynakları Programı'yla tanışmama sebep olarak burada bulunmamda büyük payı olan Doç. Dr. Oral Yağcı'ya, deneysel çalışma verilerini benimle paylaşarak bu tezin hazırlanmasında emeği geçen Öğr. Gör. Dr. Nilay Elginöz ve Araş. Gör. Taylan Bağcı'ya, bu süreci beraber paylaştığımız arkadaşım Dorukhan Kellecioğlu'na, bütün öğretim hayatım boyunca yanımda olup zor zamanlarımda beni neşelendiren nişanlım Elif Şengül'e, bana sürekli destek olarak rahat bir çalışma ortamı sağlayan aileme teşekkürü borç bilirim.

Ağustos 2015

Eren TANDOĞAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Konunun Kapsamı	1
2. TEORİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Genel Bilgiler	3
2.2 Tekil Silindir Etrafında Akım	5
2.3 Çevri Kopmaları	6
2.4 Grup Silindirler Etrafında Akım	7
2.5 Katı Madde Hareketi	13
3. YÖNTEM.....	15
3.1 Deney Kanalı ve Fiziksel Model	15
3.2 Ölçüm Yöntemi ve Enstrümantasyon	18
3.3 Deney Prosedürü	19
3.3.1 Verilerin filtrelmesi	20
3.3.2 Hesap yöntemi.....	21
4. BULGULAR	23
4.1 Zamansal Ortalama Hız Dağılımı	23
4.2 Eksenel Türbülans Yoğunlukları.....	30
4.3 Reynolds Kayma Gerilmeleri	43
4.4 Türbülans Kinetik Enerjisi	52
4.5 Enerji Spektrumları	59
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	67
5.1 Eğilmenin Etkisi	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

A	: Akımın kesit alanı
B	: Kanal genişliği
C_D	: Sürüklenme katsayısı
D	: Silindir çapı
d	: Sediment tanelerinin büyüklüğü
f	: Frekans
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Silindir boyu
L	: Kanal uzunluğu
Q	: Akım debisi
P	: Islak çevre
R	: Hidrolik yarıçap
Re	: Reynolds sayısı
SS	: Su seviyesi
Su	: u hızının spektral enerjisi
t	: Zaman
U	: Akım hızı
U₀	: Bozulmamış akım hızı
$\bar{u}$	: Ortalama akım hızı
u'	: Dalgalanma hızı
α	: Silindirlerin kanal tabanı ile yaptığı açı
ρ	: Suyun özgül kütlesi
τ	: Ortalama sınır kayma gerilmesi
ν	: Kinematik viskozite

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Deney çizelgesi.....	17
------------------------------------	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: u_i hızının zaman serisi (Sumer, 2010).	3
Şekil 2.2 : Silindir etrafında akış rejimleri (Sümer ve Fredsoe, 2002).	6
Şekil 2.3 : A ve B çevrintilerinin oluşarak sınır tabakasından ayrılması (Sümer ve Fredsoe, 2002).....	7
Şekil 2.4 : Grup silindir mansabında akım yapılarının şematik gösterimi (Takemura ve Tanaka, 2007).....	8
Şekil 2.5 : Li ve Shen tarafından uygulanan kombinasyonlar (Li ve Shen, 1973).	8
Şekil 2.6 : Yatay düzlemdeki Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'w'$): (a) Pinus Pinea. (b)Thuja Orientalis. (c)Cupressus Macrocarpa (Yağcı ve diğ, 2010).	10
Şekil 2.7 : Düşey düzlemdeki Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'v'$): (a)Pinus Pinea. (b)Thuja Orientalis. (c)Cupressus Macrocarpa (Yağcı ve diğ, 2010).	10
Şekil 2.8 : Cupressus Macrocarpa bitkisinin akım yönünde zamansal ortalama hız dağılım grafiği: (a)Bitkinin dik durumu. (b)Bitkinin akım tarafından şekillendirilmesi durumu (Yağcı ve diğ, 2010).	11
Şekil 2.9 : Dik formdaki Cupressus Macrocarpa bitkisinin akıma dik doğrultudaki zamansal ortalama hız bileşeni dağılımı (Yağcı ve diğ, 2010).	11
Şekil 2.10 : Akım doğrultusunda zamansal ortalama hızın dağılım grafiği: (a)G/D=0.0 (L/D=1.0). (b)G/D=0.0 (L/D=1.0). (c) G/D=1.0 (L/D=3.0). (d) G/D=1.0 (L/D=3.0) (Tanaka ve Yagisawa, 2010).	12
Şekil 3.1 : Deney kanalı ve ölçüm noktalarının krokisi.....	15
Şekil 3.2 : Deney kanalı ve pompaların krokisi.....	16
Şekil 3.3 : Deneyde kullanılan grup eğik silindirlerin plan görünüşü.	17
Şekil 3.4 : Deneylerde kullanılan kanal ve grup eğik silindirler.	18
Şekil 3.5 : (a)Silindirlerin mansabında ADV ile veri alınan noktalar ve mesafeleri, (b) ölçüm alınan bir kesitin detaylı olarak gösterimi.	19
Şekil 4.1 : Q_3 debisi ve $\alpha=90^0$ (dik bitki durumu) durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	24
Şekil 4.2 : Q_3 debisi ve $\alpha=75^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	24
Şekil 4.3 : Q_3 debisi ve $\alpha=60^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	24
Şekil 4.4 : Q_3 debisi ve $\alpha=45^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	25
Şekil 4.5 : Q_2 debisi ve $\alpha=90^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	26
Şekil 4.6 : Q_2 debisi ve $\alpha=75^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	26
Şekil 4.7 : Q_2 debisi ve $\alpha=60^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	27
Şekil 4.8 : Q_2 debisi ve $\alpha=45^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	27
Şekil 4.9 : Q_1 debisi ve $\alpha=90^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	27
Şekil 4.10 : Q_1 debisi ve $\alpha=75^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	28

Şekil 4.11 : Q_1 debisi ve $\alpha=60^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	28
Şekil 4.12 : Q_1 debisi ve $\alpha=45^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.	28
Şekil 4.13 : Farklı debi değerlerine ait SNR-Zaman grafiği.	29
Şekil 4.14 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ dik silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ Reynolds normal gerilme dağılımı.	30
Şekil 4.15 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ dik silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	30
Şekil 4.16 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ dik silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	31
Şekil 4.17 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	31
Şekil 4.18 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	31
Şekil 4.19 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	32
Şekil 4.20 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	32
Şekil 4.21 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	32
Şekil 4.22 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	33
Şekil 4.23 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	33
Şekil 4.24 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	33
Şekil 4.25 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	34
Şekil 4.26 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	34
Şekil 4.27 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	35
Şekil 4.28 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	35
Şekil 4.29 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	35
Şekil 4.30 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	36
Şekil 4.31 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	36
Şekil 4.32 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	36
Şekil 4.33 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	37
Şekil 4.34 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	37
Şekil 4.35 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	37

Şekil 4.36 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	38
Şekil 4.37 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	38
Şekil 4.38 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	39
Şekil 4.39 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	39
Şekil 4.40 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	39
Şekil 4.41 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	40
Şekil 4.42 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	40
Şekil 4.43 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	40
Şekil 4.44 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $u'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	41
Şekil 4.45 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için y yönünde $v'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	41
Şekil 4.46 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için z yönünde $w'2U0$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	41
Şekil 4.47 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için akım yönünde ($u'2U0$) boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	42
Şekil 4.48 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için y yönünde ($v'2U0$) boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	42
Şekil 4.49 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için z yönünde ($w'2U0$) boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.	42
Şekil 4.50 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ dik silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'v'$).....	44
Şekil 4.51 : $Q_2 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ dik silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'w'$).....	44
Şekil 4.52 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'v'$).....	44
Şekil 4.53 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'w'$).....	45
Şekil 4.54 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'v'$).....	45
Şekil 4.55 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'w'$).....	45
Şekil 4.56 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'v'$).....	46
Şekil 4.57 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'w'$).....	46
Şekil 4.58 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'v'$).....	46
Şekil 4.59 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'w'$).....	47
Şekil 4.60 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'v'$).....	47

Şekil 4.61 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'w'$) .	47
Şekil 4.62 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'v'$) .	48
Şekil 4.63 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'w'$) .	48
Şekil 4.64 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'v'$) .	48
Şekil 4.65 : $Q_1 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'w'$) .	49
Şekil 4.66 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'v'$) .	49
Şekil 4.67 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'w'$) .	49
Şekil 4.68 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'v'$) .	50
Şekil 4.69 : $Q_1 = 20.5$ l/s s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'w'$) .	50
Şekil 4.70 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'v'$) .	50
Şekil 4.71 : $Q_1 = 20.5$ l/s s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'w'$) .	51
Şekil 4.72 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'v'$) .	51
Şekil 4.73 : $Q_1 = 20.5$ l/s s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho u'w'$) .	51
Şekil 4.74 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	53
Şekil 4.75 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	53
Şekil 4.76 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	54
Şekil 4.77 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	54
Şekil 4.78 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	55
Şekil 4.79 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	55
Şekil 4.80 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	56
Şekil 4.81 : $Q_2 = 40.83$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	56
Şekil 4.82 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	57
Şekil 4.83 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	57
Şekil 4.84 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi .	58

Şekil 4.85 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 45^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.	58
Şekil 4.86 : Enerji spektrumunun genel gösterimi (Sumer, 2013)	59
Şekil 4.87 : Spektrum grafiklerinin elde edildiği noktalar	60
Şekil 4.88 : Q_3 debisinde kanal tabanından 2 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	61
Şekil 4.89 : Q_3 debisinde kanal tabanından 10 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	61
Şekil 4.90 : Q_3 debisinde kanal tabanından 20 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	62
Şekil 4.91 : Q_2 debisinde kanal tabanından 2 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	62
Şekil 4.92 : Q_2 debisinde kanal tabanından 10 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	63
Şekil 4.93 : Q_2 debisinde kanal tabanından 20 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	63
Şekil 4.94 : Q_1 debisinde kanal tabanından 2 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	64
Şekil 4.95 : Q_1 debisinde kanal tabanından 10 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	64
Şekil 4.96 : Q_1 debisinde kanal tabanından 20 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu: (a)Suu. (b)Svv. (c)Sww.....	65

GRUP EĞİK SİLİNDİRLERİN MANSABINDA AKIM VE TÜRBÜLANS YAPILARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Nehirler, hidrolojik, morfolojik ve biyolojik etkiler altında oldukça hassas ekolojik dengelere sahiptir. Bitkiler bu dengenin en önemli bileşenlerinden biridir. Akarsu bitkileri ekolojik çeşitliliğin yanında şev stabilitesi, sediment taşınımı gibi morfolojik karakteristikler üzerinde de etkilidir. Artan nüfus ve gelişen sanayi neticesinde içme suyu temini, enerji üretimi, taşkın kontrolü, ulaşım vb. sebeplerden dolayı nehir ekosistemleri yoğun insan müdahalesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı nehir ekosistemlerini ve hidrodinamiğini daha iyi anlayarak, yapılacak bu suni müdahalelerin doğal yollarla yapılmaya çalışılması son yıllarda sıkça gündeme gelmektedir. Bu amaçla akarsu bitkilerinin akım ve türbülans yapıları ve dolayısıyla sediment taşınımı ile şev stabilitesi, hakkında daha fazla bilgi edinmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada grup eğik silindirlerin mansabında akım ve türbülans karakteristiklerini incelemek amacıyla $Q_1=20.5$ l/s, $Q_2=40.8$ l/s ve $Q_3=56.8$ l/s olmak üzere 3 farklı debide, ve silindirlerin kanal tabanı ile 90° (dik silindir durumu), 75° , 45° ve 60° olmak üzere 4 farklı açı yaptığı toplam 12 adet deney yapılmıştır. Deneyler 0.5 m x 1.0 m ebatlarında, 1 cm yüksekliğinde tahta bir plaka üzerine Şekil 3.3'de görüldüğü gibi konumlandırılan 1 cm çapında rijit silindirler ile yapılmıştır. Deneyde kullanılan kanal $L=18$ m uzunluğunda $B=0.5$ m genişliğinde ve 0.5 m yüksekliğindedir. Yan duvarları camdan, tabanı ise pürüzsüz beton yüzey olarak imal edilmiştir. Bu deneyler sonucunda silindirlerin mansabında zamansal ortalama hız dağılımı, Reynolds normal ve kayma gerilmeleri, türbülans kinetik enerji dağılımları ve enerji spektrumları elde edilmiştir. Deneyler sonucunda akım yönünde zamansal ortalama hızların dağılım paterninin debi ile net bir bağılılığı gözlenmemiştir. Zamansal ortalama hız dağılımının daha çok silindirlerin eğiklik durumlarına göre değiştiği gözlemlenmiştir. Dik silindir ve 75° durumlarında kesitte hız dağılımı yüzeye yakın bölümde yüksek olmasına rağmen, kanal tabanında düşük hızdadır. Silindirlerin kanal tabanı ile yaptığı açı azalarak 60° ve 45° 'ye ulaştığıdaysa bu durumun tersine dönerek kanal tabanındaki hız bileşenin artıp, yüzeye yakın bölümdeki hızın azaldığı görülmüştür. Reynolds normal gerilmeleri akım

doğrultusunda(x eksen) ve yanal doğrultuda (y eksen) boyunca yüksek olmasına rağmen, düşey doğrultuda (z ekseninde) ise belirleyici değildir. Reynolds kayma gerilmelerinin, x-y düzleminde, x-z düzlemine göre çevri kopmaları sebebiyle daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Eğiklik arttıkça Reynolds kayma gerilmeleri azalmaktadır. Bunun sebebinin silindirler eğildikçe daha hidrodinamik bir forma ulaşmaları olduğu düşünülmektedir.

TURBULENCE AND FLOW STRUCTURES AT DOWNSTREAM OF A INCLINED GROUP CYLINDER

SUMMARY

Rivers are ecologically fragile balanced formations based on morphological and biological effects. Vegetation is one of the most important components of this fragile balance. Aquatic vegetation has an impact on bank stability, sediment transport and morphological characteristics beside the ecological diversity. River ecosystems are faced with human based impacts for energy generation, water supply or flood control depending on highly increasing population and developing industry. Nowadays, exchanging these artificial impacts with natural arrangements by understanding the river ecosystem and river dynamics is a hot topic. For this purpose there are dozens of researches in the field of the effects of vegetations on flow, turbulence structures and sediment transportation.

In this research, 12 experiments conducted with 4 different erection angles of group cylinders as 90^0 (vertical), 75^0 , 45^0 and 60^0 and 3 different discharges ($Q_1=20.5$ l/s, $Q_2=40.83$ l/s and $Q_3=56.8$ l/s) for each condition. Experiments performed with rigid cylinders that positioned on a wooden plate ($0.5 \times 1.0 \times 0.1$ m) in a channel which has $L=18$ m in longitudinal length, $B=0.5$ m width and 0.5 m depth. Cylinders are 1 cm diameter, and enough long to reach up to water surface as emergent vegetation. Cylinders placed to wooden plate as a 5 cm square network, and a cylinder at the middle of the each square. Side walls and bed of the channel are constructed of glass and smooth concrete, respectively.

Measurements are taken by the acoustic doppler velocimeter (ADV) produced by the NORTEK company. ADV take measurements and collect data by the sound wave's magnitude and frequency. There is 4 different probe placed middle of the Vectrino. 1 probe for x and y axes, and 2 probe for w axis placed at the middle of the body.

Data collected by the ADV are processed and visualized by the Matlab programming language developed by MathWorks. Time averaged velocity distribution, normalized Reynolds stresses, turbulence kinetic energy and energy spectra graphics are plotted and filtered by Matlab.

Because of the discontinuities and unexpected wave reflections at channel, disturbance at the data may occur. These kind of discontinuities causes spikes and noises in the ADV data. Datas collected from experiments are filtered by 3D phase space filtering method which developed by Mori.

According to these experiments, time averaged velocity distribution, normalized Reynolds stresses, turbulence kinetic energy and energy spectra have been computed. As a result of experiments, it is concluded that the distribution of time averaged velocity component does not depend on discharge.

Time average velocity component mostly depends on the angle of the cylinder groups. In the case of vertical and $\alpha=75^\circ$ positions, velocity has lower values close to bed and it is getting increased by the distance from the wall. For the position of $\alpha=45^\circ$ and $\alpha=60^\circ$, because of the inclination of cylinders, velocity component close the bed increases and surface part decreases.

Reynolds normal stresses is dominant through the x and z axis compared to y axis for all the experiments. Because of the vortex shedding effect in x axis, v' speed increases with u' speed. In a symmetrical open channel flow, w' speed is expected to be zero.

Reynolds shear stress values decreases when the erection angle of cylinder groups decreases because of the modified hydrodynamic form of the cylinders. It is observed that $-\rho\overline{u'v'}$ reynolds shear stress is higher than $-\rho\overline{u'w'}$ in all the erection angles. It is tought to derived from vortex shedding at x-z plane.

Turbulence kinetic energy is total kinetic energy of fluctation velocities in a flow. Turbulence kinetic energy represents the magnitude of turbulence in a flow. It is observed that maximum values of turbulence kinetic energy are approximately same within different angles of cylinders in same discharge values. At $\alpha=90^\circ$ angle, turbulence kinetic energy distribution is uniform in a cross section of channel. The angle of erection decreases, turbulence kinetic energy become dense at surface and dilute at channel base.

Energy spectrum is energy distrubition in the range of frequency. Energy spectra have been computed for 3 different discharge values and 4 different erection angles of cylinders. Energy spectra plotted from 2, 10 and 20 cm distance from channel bottom at upstream and downstream of group cylinders. It is observed that at large scale of

turbulence, energy level is higher at streamwise velocity component. It is observed that at the large scale of turbulence, if the angle of erection decreases, energy density also decreases. It is thought that causes by the cylinders reaches the better hydrodynamic form when erection angle decreases. At small scale of turbulence, energy distribution approximate for all erection angles.

Sediment transport is mainly depends on turbulence kinetic energy. Turbulence kinetic energy which produced from cylinder group will be decreased through downstream of cylinder group. Sediment capacity of flow will be decrease suddenly. As a result of that sediment deposition zone is expected at 2-2.5 h distance behind the cylinder group.. If the erection angle of cylinders increases, turbulence kinetic energy increases at the channel base. These situation causes longer deposition zone at the downstream of the cylinder group.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Konunun Kapsamı

Akarsular gerek sahip oldukları ekolojik çeşitlilik, gerekse görsel ve işlevsel faydalarından dolayı insanlar için vazgeçilmezdir. Özellikle medeniyetlerin gelişerek nehir kenarlarında büyük kentlerin oluşmaya başlamasından sonra akarsulara taşkın kontrolü, içme ve sulama suyu temini, enerji üretimi, ulaşım vb. sebeplerle insan müdahalesi önemli boyutlara ulaşmıştır. Örneğin taşkınları önlemek için akarsu kesitlerinin pürüzsüz olarak tasarlanması, insan müdahalesiyle akarsu yatağından yatak ve şev bitkilerinin arındırılması gibi müdahaleler yaygın olarak uygulanmıştır. Bu uygulamaların neticesinde akarsu ekosistemini olumsuz etkileyen sonuçlar gözlemlenmiştir. Günümüzde yapılan çalışmalar neticesinde akarsu sisteminin bütün bileşenlerinin birbiri ile etkileşim halinde olarak birbirini şekillendirdiği, farklı fiziksel ve biyolojik etmenlerin bir arada bulunarak nehrin kendine özgü karakteristik yapısını oluşturduğu bilinmektedir. Böylece akarsuların hidrolojik, morfolojik ve biyolojik olarak incelenerek, nehrin karakteristik yapısıyla uyumlu bir şekilde doğal müdahalelerde bulunulması günümüzde tercih edilmeye başlanmıştır.

Akarsu bitkileri akım rejimini kontrol altında tutmak için doğal bir yöntem olarak kullanılabilmektedir. Bitkiler akıma karşı direnç göstererek akım içerisinde çalkantılar ve çevrintiler oluşturur. Bitkiler bu sayede akarsuyun sediment taşınımını, oyulma ve birikme gibi karakteristik özelliklerini, şev stabilitesini ve dolayısıyla akarsu kesitini etkileyerek akarsu morfolojisi üzerinde belirleyici olabilmektedir. Akım-bitki etkileşimi bitkinin konumu, cinsi, batıklık durumu, eğikliği, yoğunluğu ve rijitliği gibi pek çok özelliğine göre değişiklik göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı açık kanalda yüksek yoğunluklu olarak grup halinde konumlandırılan eğik silindirlerin mansabında oluşan akım ve türbölans yapılarının silindirlerin eğiklik durumlarına göre değişimlerinin incelenmesidir. Zira akarsu yataklarındaki bitkiler sıklıkla eğik olarak bulunurlar. Tezin kapsamı dahilinde işlenerek değerlendirilen veriler, İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda 2009 senesinde yapılan bir deneysel çalışma sonucunda elde edilmiştir.

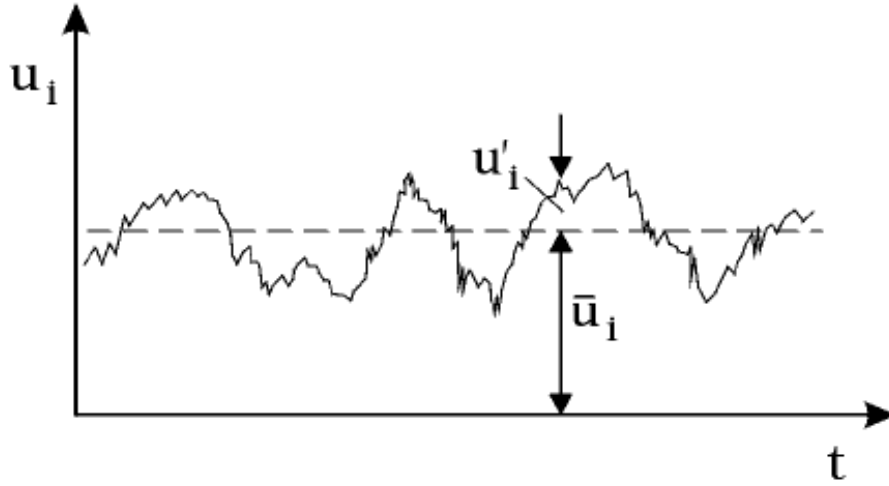
2. TEORİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Genel Bilgiler

Bir türbülanslı akımdaki belirli bir ekseninde hız bileşeninin ortalaması,

$$\bar{u}_i = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u_i dt \quad (2.1)$$

ifadesi ile hesaplanır. Denklemden t_0 rastgele bir zamanı, u_i hızın anlık (enstantane) bileşenini, T ise zamansal ortalamanın hesaplanacağı görece uzun bir zaman aralığını ifade etmektedir.



Şekil 2.1: u_i hızının zaman serisi (Sumer, 2013).

Türbülanslı açık kanal akımlarında serbest yüzeyde sınır koşullarından dolayı kayma gerilmelerinin olmadığı, tabanda yani cidar yakınında ise kayma gerilmesinin sabit ve cidar kayma gerilmesine eşit bir şekilde maksimum değere ulaştığı gözlemlenir. Bu kayma gerilmesi değerine taban kayma gerilmesi(wall shear stress), cidar yakınında oluşan bu tabakaya ise sabit gerilme tabakası(constant stress layer) adı verilir.

Cilalı cidar üzerindeki türbülanslı akımlarda kayma gerilmesinin enkesitteki dağılımında üç farklı tabaka gözlemlenir. Birincisi kanal tabanının çok yakınında oluşan, akışkanın viskozitesinden kaynaklı kayma gerilmelerinin baskın olduğu viskoz alt tabaka(viscous sublayer), ikincisi türbülans ve viskoz gerilmelerin birlikte etkin olduğu geçiş tabakası (buffer layer), üçüncüsü ise türbülans kaynaklı kayma gerilmelerinin baskın olduğu logaritmik tabakadır (logarithmic layer).

Kesitteki kayma gerilmesi

$$\tau = \mu \frac{du}{dz} + (-\rho \overline{u'w'}) \quad (2.2)$$

denklemini ile ifade edilir. Denklem 2.2'nin ilk terimi olan

$$\mu \frac{du}{dz} \quad (2.3)$$

İfadesi akışkanın viskozitesinden kaynaklanan kayma gerilmesini ifade eder.

Denklem 2.2'nin ikinci terimi olan

$$-\rho \overline{u'w'} \quad (2.4)$$

ise akımın türbülansından dolayı oluşan kayma gerilmesini(Reynolds kayma Gerilmesi) ifade eder. Türbülans bir açık kanal akımında cidardaki sürtünme(kayma gerilmesi) ve oluşan hız gradyanı sonucu ortaya çıkar(üretilir). Ancak akım içerisinde bulunan engeller (ızgaralar, silindirler, vb.) etrafında meydana gelen instabilite ve ayrılma dolayısıyla da oldukça yoğun türbülans üretilmektedir. Silindirik engeller için bu çevrintilerin kopması/saçıntıları (vortex shedding) sonucu önemli ölçüde türbülans kayma gerilmesi ortaya çıkmaktadır. Akım alanında farklı düzlemlerde oluşan türbülans kayma gerilmeleri Reynolds kayma gerilmesi tensörünü oluşturur. Reynolds kayma gerilmesi tensörü

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \begin{bmatrix} -\rho \overline{u'^2} & -\rho \overline{u'v'} & -\rho \overline{u'w'} \\ -\rho \overline{v'u'} & -\rho \overline{v'^2} & -\rho \overline{v'w'} \\ -\rho \overline{w'u'} & -\rho \overline{w'v'} & -\rho \overline{w'^2} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilmektedir. Reynolds normal gerilmeleri bu tensörün diyagonalinde yer alan $-\rho \overline{u'^2}$, $-\rho \overline{v'^2}$ ve $-\rho \overline{w'^2}$; Reynolds kayma gerilmeleri ise $-\rho \overline{u'v'}$, $-\rho \overline{u'w'}$ ve $-\rho \overline{v'w'}$ terimleriyle ifade edilir. Reynolds gerilmeleri kendi eksenindeki momentum transferiyle doğrudan ilişkidir. Üiform açık kanal akımında y eksenini(yanal eksen) doğrultusunda akım doğrultusu hız bileşeni gradyanı olmadığı için $-\rho \overline{u'v'}$, y-z düzleminde ise ortalama akım sıfır olduğundan dolayı $-\rho \overline{v'w'}$ gerilmeleri sıfır olur. Böylelikle Reynolds gerilme tensörü diyagonal ve simetrik hale gelir.

2.2 Tekil Silindir Etrafında Akım

Bir silindir etrafındaki akım rejimini belirleyen Reynolds sayısı:

$$Re = \frac{DU}{\nu} \quad (2.6)$$

ifadesi ile gösterilir. Denklem 2.6'da D silindir çapını, U akımın hızını, ν ise kinematik viskoziteyi ifade eder.

Reynolds sayısının çok küçük değerlerinde silindir arkasında ayrılma gözlenmez. Hız arttıkça öncelikle silindir arkasında ayrılma izi oluşmaya başlar. Hızın daha fazla artmasıyla beraber ters basınç gradyanının etkisiyle silindir arkasında çevri kopmaları oluşur. Ayrılma izi ilk olarak Reynolds sayısı 5'e ulaştığında gözlemlenir. $5 < Re < 40$ aralığında silindirin arkasında simetrik çevrintiler oluşur (Şekil 2.2). Bu çevrintilerin uzunlukları Reynolds sayısının artmasıyla artar. (Batchelor, 1967).

Reynolds sayısı arttıkça çevrilerin stabilitesi bozularak çevri saçıntılarına sebep olur. Çevri saçıntıları çevri caddesini oluşturur. $40 < Re < 200$ aralığında, çevri caddesi laminardır (Williamson, 1989).

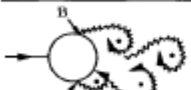
$200 < Re < 300$ aralığında silindir etrafında türbülans görülür (Bloor, 1964).

$300 < Re < 3 \times 10^5$ aralığında sınır tabakasının laminar olmasına karşın, ayrılma izindeki çevrintiler tamamen türbülanslıdır. Bu rejime kritik altı rejim adı verilir.

$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$ aralığında sınır tabakası ayrılma noktasında türbülanslı olur. Sınır tabakasının bir tarafı türbülanslı iken diğer tarafı laminar akım rejimine sahip olur. Bu duruma Kritik akım rejimi adı verilir.

$3.5 \times 10^5 < Re < 1.5 \times 10^6$ aralığında sınır tabakasında ayrılma tamamen türbülanslıdır. Fakat sınır tabakasının bir tarafında türbülans tam gelişmemiştir.

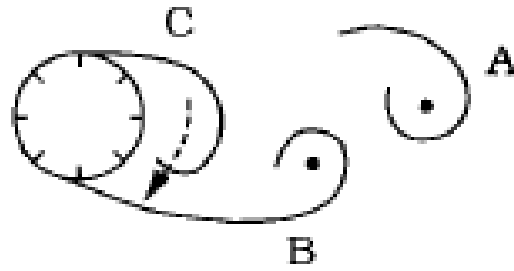
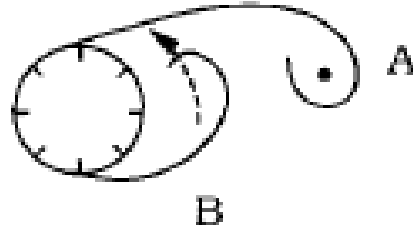
Reynolds sayısı 1.5×10^6 değerine yaklaştığında silindirin bir yüzündeki sınır tabakası tamamen türbülanslı iken, diğer tarafı kısmen türbülanslı, kısmen laminardır. Bu akış rejimine üst-geçiş akış rejimi adı verilir. Bu rejim Reynolds sayısı 4.5×10^6 değerine ulaşıncaya kadar devam eder. Reynolds sayısı 4.5×10^6 değerini aştığında ise akım tamamen türbülanslı hale gelmiş olur. Bu akış rejimine ise kritik geçiş akım rejimi (transcritical flow) adı verilir (Sumer ve Fredsoe, 2006).

	No separation. Creeping flow	$Re < 5$
	A fixed pair of symmetric vortices	$5 < Re < 40$
	Laminar vortex street	$40 < Re < 200$
	Transition to turbulence in the wake	$200 < Re < 300$
	Wake completely turbulent. A: Laminar boundary layer separation	$300 < Re < 3 \times 10^5$ Subcritical
	A: Laminar boundary layer separation B: Turbulent boundary layer separation; but boundary layer laminar	$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$ Critical (Lower transition)
	B: Turbulent boundary layer separation; the boundary layer partly laminar partly turbulent	$3.5 \times 10^5 < Re < 1.5 \times 10^6$ Supercritical
	C: Boundary layer com- pletely turbulent at one side	$1.5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$ Upper transition
	C: Boundary layer comple- tely turbulent at two sides	$4 \times 10^6 < Re$ Transcritical

Şekil 2.2 : Silindir etrafında akış rejimleri (Sümer ve Fredsoe, 2002).

2.3 Çevri Kopmaları

Tekil bir silindir eleman etrafında Reynolds sayısı $Re > 40$ koşuluna ulaştığı zaman, ters basınç gradyanı etkisiyle silindir yüzeyindeki sınır tabakasında ayrılmalar oluşur (Şekil 2.3). Bu ayrılmalar silindirin bir tarafında diğerine göre daha güçlüdür. Silindirin bir yüzeyinde oluşan çevrinti (A çevrintisi) yeterince güçlendiği zaman, diğer yüzeydeki B çevrintisini oluşturur. Yeni oluşan çevrinti ise gelişerek, kendisini oluşturan A çevrintisinin sınır tabakasından ayrılmasına sebep olur. A çevrintisinin sınır tabakasından ayrıldığı yerde B çevrintisinin kopmasına yol açacak olan yeni bir C çevrintisini oluşturur (Sumer ve Fredsoe, 2002). Çevri kopmaları sonucunda oluşan iz bölgesi yapısı Von Karman çevrinti caddesi olarak adlandırılır.



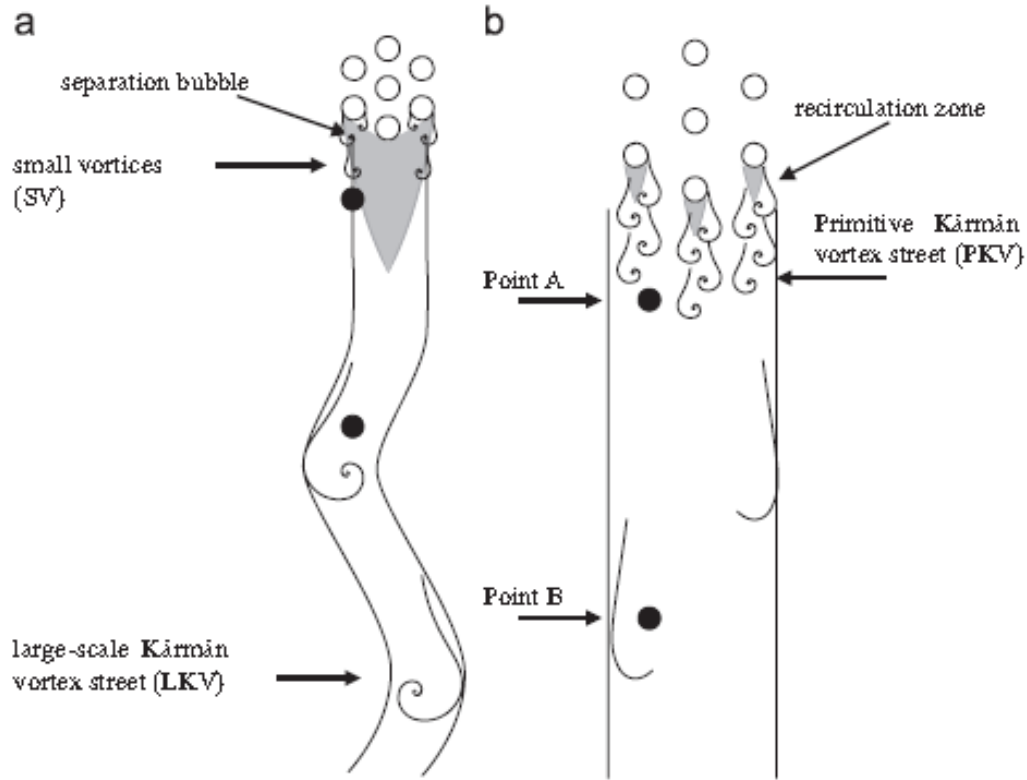
Şekil 2.3 : A ve B çevrintilerinin oluşarak sınır tabakasından ayrılması (Sumer ve Fredsoe, 2002).

2.4 Grup Silindirler Etrafında Akım

Grup silindirler doğal ortamdaki bitki topluluklarına benzedikleri için deneysel çalışmalarda bitki modeli olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Silindirler grup olarak diğer silindirlerle bir arada bulunduklarında akım alanında tekil silindirlere göre değişiklikler görülür.

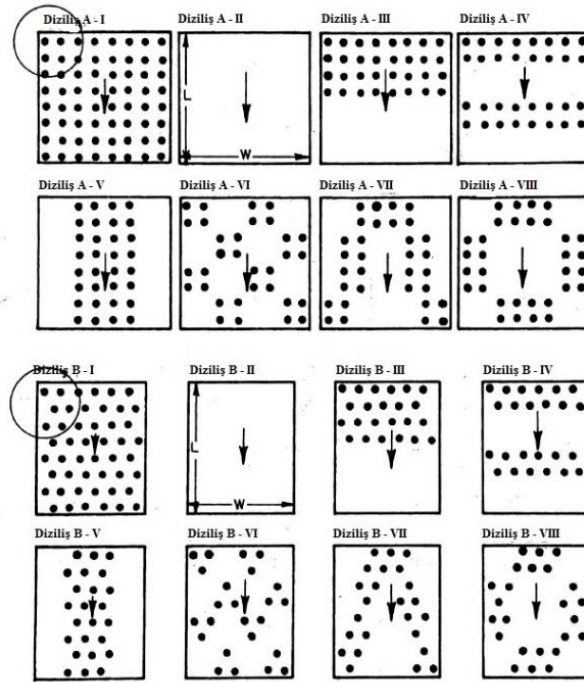
Nepf (1999) yaptığı çalışmalarda seyrek bitki grubunda yoğun bitki topluluğuna göre daha yoğun türbülans üretildiğini gözlemlemiştir. Bunun sebebi olarak da yoğun bitki topluluklarında yoğunluk sebebiyle kesitsel ortalama hızda meydana gelen azalmayı işaret etmektedir (Nepf, 1999).

Takemura ve Tanaka (2007) üniform akımda grup silindirlerin yoğunluğuna bağlı olarak farklı çevri caddelerinin oluştuğunu gözlemlemiştir. Silindirlerin seyrek olarak konumlandığı durumda mansapta oluşan Kârmân çevri caddesinin tam gelişmediğini, silindirlerin yoğun olarak konumlandığı durumda yapının tekil silindir gibi davranarak Şekil 2.4’de görüldüğü gibi geniş ölçekli Kârmân çevri caddesi oluşturduğunu ortaya koymuşlardır (Takemura ve Tanaka, 2007).



Şekil 2.4 : Grup silindir mansabında akım yapılarının şematik gösterimi (Takemura ve Tanaka, 2007).

Li ve Shen tarafından (1973) yapılan çalışmalarda aynı çaptaki silindir grubu farklı kombinasyonlarla konumlandırılarak Şekil 2.5’deki gibi modellenmiştir.



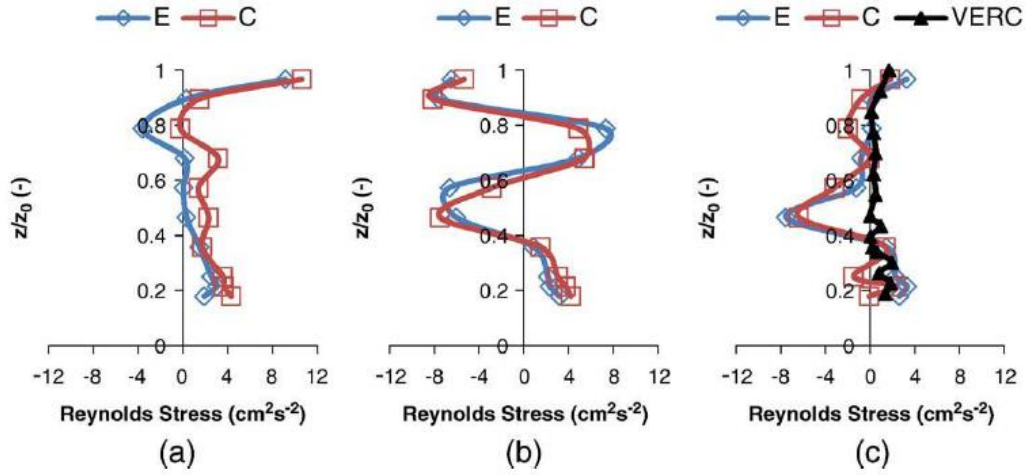
Şekil 2.5 : Bitkilerin diziliş şekillerine göre debi değişimini ifade eden kombinasyonlar (Li ve Shen, 1973).

Bitkilerin diziliş şekillerine göre debilerin değişimi gözle görülür derecede farklılaşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre çapraz dizilişlerde suyun çıkış debisinde daha fazla azalma olmaktadır. Sediment taşınımını en fazla azaltan dizilişin Şekil 2.5’de de verilen altıncı diziliş olduğu ifade edilmektedir (Li ve Shen, 1973).

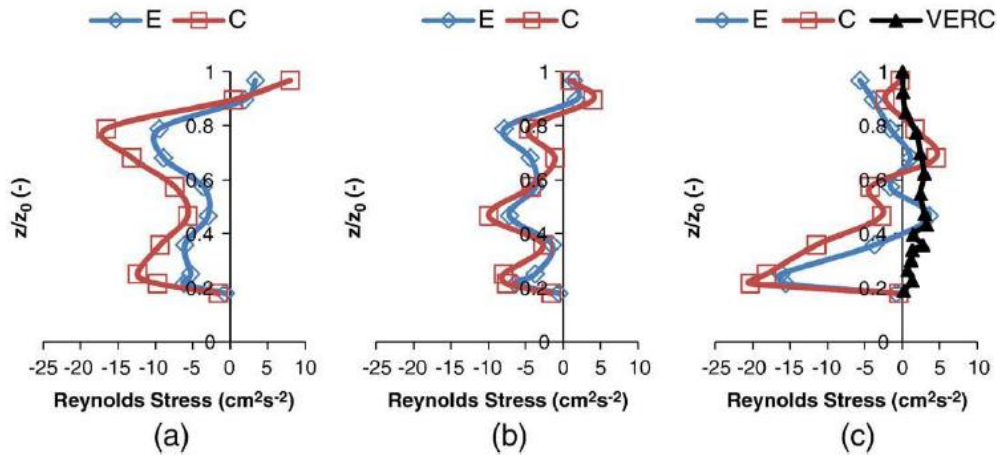
Liu ve diğ. (2010) rijit silindirlerin akım karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, iki tabakalı rijit bitki modeli kullanılmıştır. Uzun ve kısa silindirlerin doğrultusunda tabanda hızın yavaş olduğu, deriliğin azalmasıyla beraber hızın kademeli olarak arttığı gözlenmiştir. Silindirler arasında yükseklik farkı azaldığı zaman ise sabit hız bölgesinin olduğu görülmüştür. Bu bölgenin oluşma sebebinin ise karışım tabakası (mixing layer) tarafından oluşturulan bütünsel yapılar (coherent structure) olduğu düşünülmektedir. (Liu ve diğ, 2010)

Yağcı ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada değişik formdaki doğal nehir tipi bitkilerin türbülans ve kinetik enerji karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemek üzere 3 farklı bitki kullanılmıştır. Bunlar *Pinus Pinea* (tip 1), *Thuja Orientalis* (tip 2) ve *Cupressus Macrocarpa* (tip 3) bitkileridir. *Cupressus Macrocarpa* bitkisinin dik ve eğik durumlarına göre zamansal ortalama hız dağılımları incelenmiştir. Aynı zamanda her bitki türü için yatay ve düşey Reynolds kayma gerilmeleri incelenmiştir.

Yağcı ve diğ.’nin (2010) çalışmalarındaki sonuçların verildiği Şekil 2.6 ve Şekil 2.7 incelendiği zaman bitkilerin dik veya yatık durumlarında belirgin farklar gözlemlenebilmektedir. Bunun yanında yatay düzlemdeki Reynolds kayma gerilmelerinin bitki etrafındaki hız dağılımı sebebiyle genellikle yatay kayma gerilmelerinden yüksek olduğu gözlenmiştir. E: bitkilerin dik olduğu durumu; C: bitkilerin eğilmiş durumda olduğunu; VECR: bitkinin eşit hacimdeki rijit silindir durumunu ifade eder.

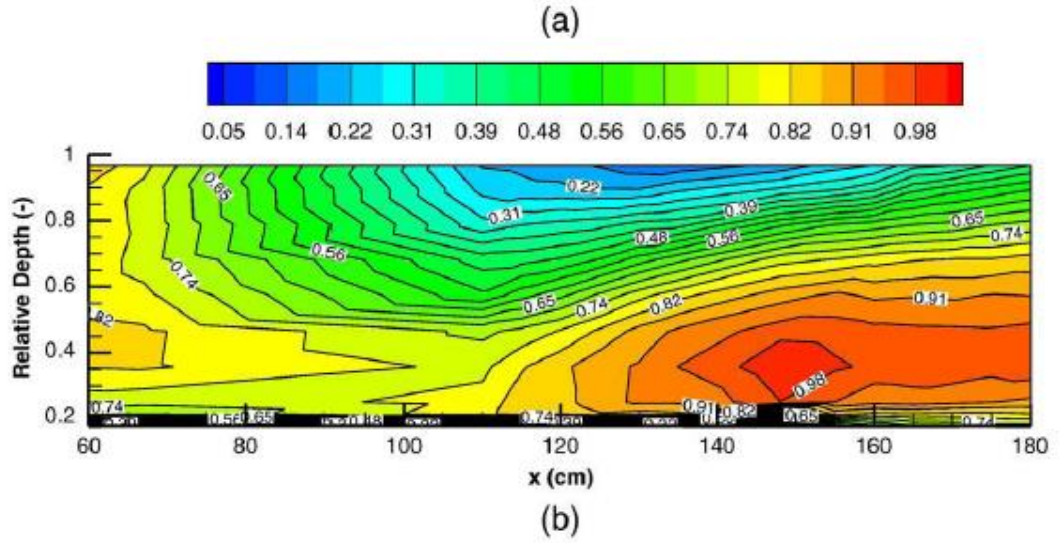
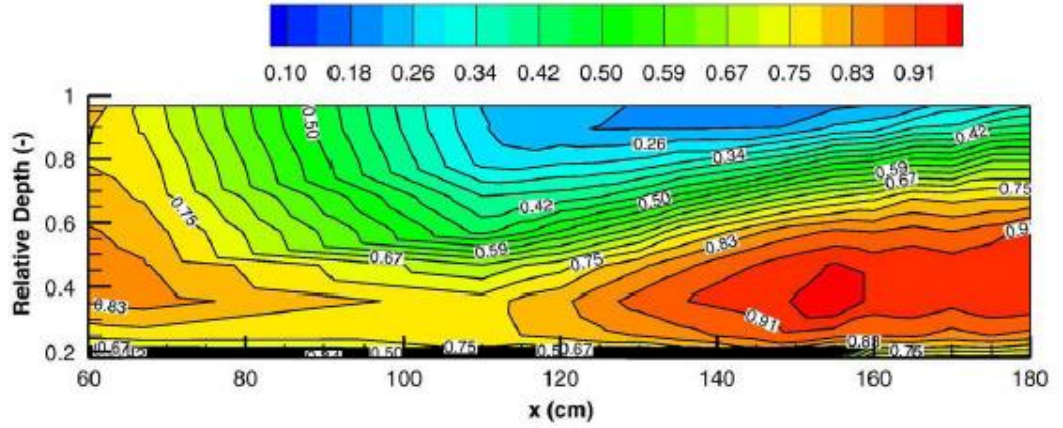


Şekil 2.6 : Yatay düzlemdeki Reynolds kayma gerilmeleri ($-\overline{pu'w'}$): (a)*Pinus Pinea*. (b)*Thuja Orientalis*. (c)*Cupressus Macrocarpa* (Yagci ve diğ, 2010).

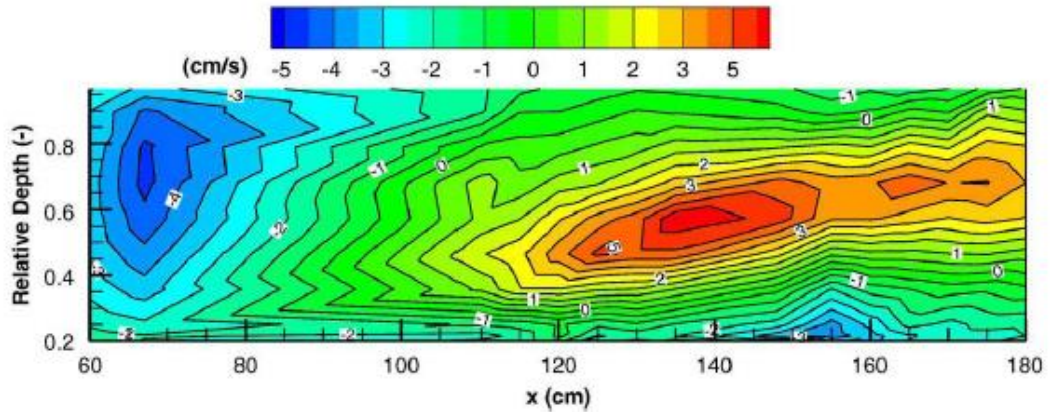


Şekil 2.7 : Düşey düzlemdeki Reynolds kayma gerilmeleri ($-\overline{pu'v'}$): (a)*Pinus Pinea*. (b)*Thuja Orientalis*. (c)*Cupressus Macrocarpa* (Yagci ve diğ, 2010).

Cupressus Macrocarpa bitkisinin dik ve eğik durumları için zamansal ortalama hız profilleri elde edilerek eş büyüklük eğrileri elde edilmiştir. Bitkinin akım yönünde zamansal ortalama hız bileşeni incelendiği (Şekil 2.8 (a)) zaman dik ve yatık durumlar için de bir ölü bölge olduğu görülmektedir. Bu ölü bölge bitkinin hemen arkasında olmayıp yaklaşık 60 cm akım yönünde ileride ve yüzeye yakın oluşmuştur. Şekil 2.9'da ise *Cupressus Macrocarpa* bitkisinin zamansal ortalama hız dağılımının dikey bileşeni incelendiği zaman, ölü bölge ile yüksek hızlara ulaşılan bölge arasında momentum transferine bağlı olarak yüksek düşey hız bileşeni görülmüştür (Yagci ve diğ, 2010).



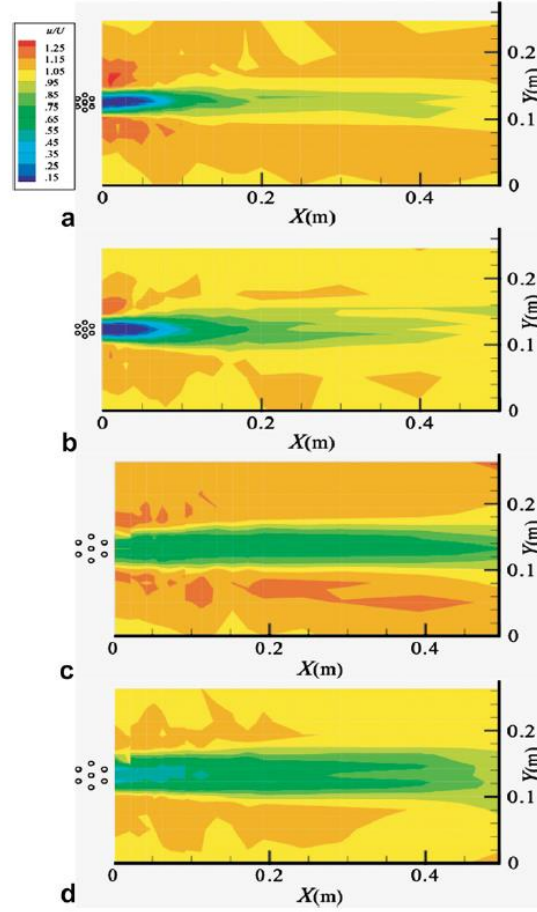
Şekil 2.8 : *Cupressus Macrocarpa* bitkisinin akım yönünde zamansal ortalama hız dağılım grafiği: (a)Bitkinin dik durumu. (b)Bitkinin akım tarafından şekillendiği durum (Yagci ve diğ, 2010).



Şekil 2.9 : Dik formdaki *Cupressus Macrocarpa* bitkisinin akıma dik doğrultudaki zamansal ortalama hız bileşeni dağılımı (Yagci ve diğ, 2010).

Tanaka ve Yagisawa (2010) grup silindirlerin etrafındaki akım yapıları ve sedimentasyon karakteristiklerinin, silindirlerin yoğunluğu, sayısı ve yüksekliğine göre değişimlerini incelemek amacıyla çalışma yapmıştır. Bu çalışmada akım doğrultusunda silindirlerin arasındaki açıklık mesafesi(G) ile silindir çapı(D) oranı;

G/D , silindirlerin merkezleri arasındaki mesafe (L) ile silindir çapı oranı (L/D) ve silindirlerin yüksekliğinin (h) su derinliğine (H) oranı (h/H) değiştirilerek bu değişikliklerin akım ve sedimentasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 2.10 : Akım doğrultusunda zamansal ortalama hızın dağılım grafiği: (a) $G/D=0.0$ ($L/D=1.0$). (b) $G/D=0.0$ ($L/D=1.0$). (c) $G/D=1.0$ ($L/D=3.0$). (d) $G/D=1.0$ ($L/D=3.0$) (Tanaka ve Yagisawa, 2010).

Şekil 2.10’da silindirlerin seyrek ve yoğun olarak bulunduğu durumlarda silindir mansabında akım doğrultusunda zamansal ortalama hız dağılım grafiği görülmektedir. Şekilde (a) $G/D=0.0$ ($L/D=1.0$) bitkinin su seviyesinin üzerine çıktığı durum, (b) $G/D=0.0$ ($L/D=1.0$) bitkinin su seviyesi altında kaldığı durum, (c) $G/D=1.0$ ($L/D=3.0$) bitkinin su seviyesinin üzerine çıktığı durum, (d) $G/D=1.0$ ($L/D=3.0$) bitkinin su seviyesi altında kaldığı durumu ifade etmektedir. Silindirlerin seyrek olarak konumlandığı durumda mansapta oluşan Kârmân çevri caddesinin tam gelişmediğini, silindirlerin yoğun olarak konumlandığı durumda yapının tekil silindir gibi davranarak Şekil 2.10 (b) ve (d)’de görüldüğü gibi geniş ölçekli Kârmân çevri caddesi oluşturduğu görülmüştür. Bu durumun bitkinin su altında veya yüzeyde olduğu durumlardan bağımsız olarak silindir grubunun yoğunluğuyla ilişkili olduğu görülmüştür.

Akım ortamında herhangi bir elemanın akıma karşı boyutsuz direnci sürüklenme katsayısı(drag coefficient) ile ifade edilir. Sürüklenme katsayısı $\bar{C}_D$

$$C_D = \frac{2F}{\rho AU_0^2} \quad (2.7)$$

ifadesi ile gösterilir. Sürüklenme katsayısının düşük olması elemanın akım ortamında daha az direnç gösterdiğini, yani daha hidrodinamik formda olduğunu ifade eder.

Tanaka ve Yagisawa (2010) silindirlerin etrafındaki akım karakteristiklerinin ve sürüklenme katsayısının ($\bar{C}_D$) değişiminin görelî su derinliği(h/H) ve silindirler arasındaki görelî mesafeye (G/D) göre değişim gösterdiğini bildirmektedir. Sürüklenme katsayısının başlıca belirleyicisinin akımdaki silindir sayısı olduğu ve silindirlerin su yüzeyine kadar uzandığı durumlarda sürüklenme katsayısının daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Tanaka ve Yagisawa, 2010).

2.5 Katı Madde Hareketi

Katı madde hareketi akarsu sistemlerinde canlıların beslenmesi ve bitkilenme üzerinde direk etkilidir. Bitkilenmenin fazla olduğu bölgelerde, organik ve besleyici özelliği olan ince sediment birikiminin fazla olduğu görülür (Clarke ve Wharton, 2001). Aşınma bölgeleri daha az besleyici madde bulundurduğundan dolayı bitki gelişimi için uygun değildir (Corenblit ve diğ, 2007). Buna karşın akarsulardaki birikme bölgeleri ise organik madde ve bitki tohumlarının toplandığı bölgeler olduğundan dolayı bitki gelişimi için oldukça uygundur (Gurnell ve diğ, 2001).

Özellikle TKE'nin yüksek olduğu bölgelerde kesitteki ortalama hız dağılımından bağımsız olarak katı madde birikiminde azalma görülür (Ortiz ve diğ, 2013). Zira cıdar dışı bir etken tarafından yaratılan türbülansın hem askıda katı madde miktarını hem de taban malzemesi debisini önemli ölçüde arttırıcı etkisi bulunmaktadır (Sumer ve diğ, 2003). Aynı zamanda sediment taşınımının taban kayma gerilmesi tarafından şekillendirildiği de bilinmektedir (Bos ve diğ, 2007). Silindirler etrafında taban kayma gerilmesi kritik kayma gerilmesinin üzerine çıktığı bölgelerde tabanda oyulmalar oluşur. Akım silindir etkisinden kurtularak kayma gerilmesi kritik kayma gerilmesinin altına düştüğünde malzemenin yığılması beklenir.

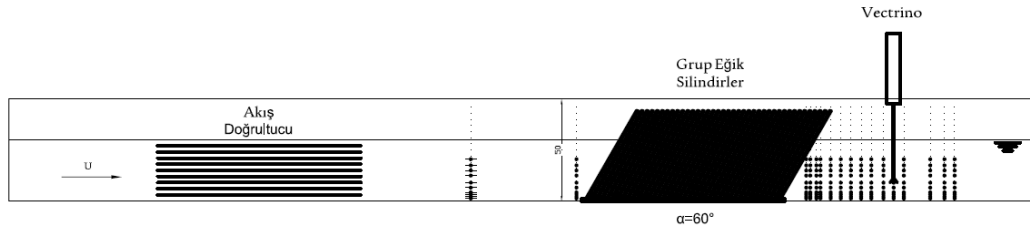
Hodoğlu, 2013’de tekil bitki elemanları etrafında yerel oyulma desenleri ve akım kinematiğini incelemek amacıyla gerçekleştirdiği çalışmalarda tekil silindilerin membasında bitkilere göre daha büyük oyulma çukurunun oluştuğunu gözlemlemiştir. Bu duruma aşağı yönlü düşey akışından dolayı oluşan atnalı çevrintilerinin sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca eğik bitkilerin aldığı hidrodinamik formun yukarı yönlü akım oluşturduğunu ve bu yukarı yönlü akımın aşağı yönlü akıma ters bir etki yaratarak atnalı çevrintilerinin şiddetini azalttığını ve bu sebeple bitkilerin membasında daha küçük oyulma çukurunun oluşacağını not etmiştir (Hodoğlu, 2013).

3. YÖNTEM

3.1 Deney Kanalı ve Fiziksel Model

Deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan kanal 18m uzunluğunda, 0.5m genişliğinde ve 0.5m derinliğindedir. Kanal kenarları çelik profiller ile desteklenmiş camdan imal edilmiştir, kanal tabanı ise pürüzsüz beton kaplamadır.

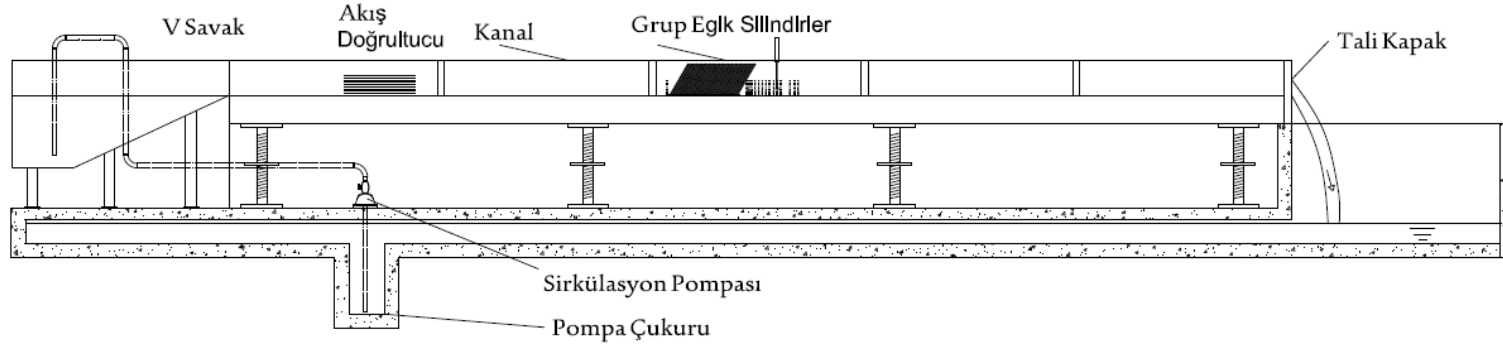
Kanal, 2.5 kW gücündeki kendi sirkülasyon pompası ile hemen altındaki su deposunda bulunan suyu baş tarafına pompalamakta, daha sonra bu su kanalın diğer ucunda tekrar su deposuna boşalmaktadır. Kanala aktarılabilecek olan su öncelikle baş tarafındaki dinlenme haznesinde toplanmaktadır. Dinlenme haznesine dökülen su buradan kanala doğru hareket etmektedir. Akımda çalkantıları engellemek amacıyla kanalın başlangıç noktası yakınına akım doğrultucular konumlandırılmıştır.



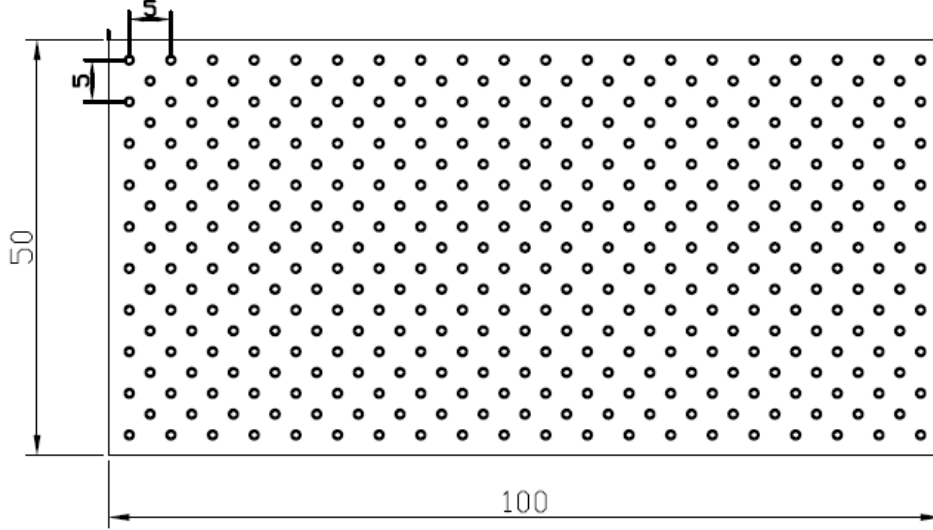
Şekil 3.1 : Deney kanalı ve ölçüm noktalarının krokisi.

Kanalda su derinliğini sabit tutmak amacıyla kanalın sonunda bir tali kapak kullanılmıştır. Kanaldaki akış debisi kanalın başına yerleştirilen bir V (üçgen) savakla ayarlanmıştır. Kanalda su seviyesi mansapta konumlandırılan limnimetre ile takip edilerek 30 cm olarak sabit tutulmuştur.

Grup eğik silindirler, kapakta oluşacak akımdan etkilenmeyecek şekilde, grup silindirlerin bitiş noktası kapaktan 8.5 m uzakta olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu nokta ADV ile yapılan hız ölçümleriyle tespit edilmiştir.



Şekil 3.2 : Deney kanalı ve pompaların krokisi (Ölçüler mm cinsindendir).



Şekil 3.3 : Deneyde kullanılan grup eğik silindirlerin plan görünüşü (Ölçüler cm cinsinden verilmiştir).

Deneyde bitki modeli olarak $D=1\text{ cm}$ çapında, h (silindir uzunluğu) $>30\text{ cm}$ olacak şekilde rijit silindirlerden oluşan bir silindir grubu kullanılmıştır. Silindirler plastikten imal edilmiş ve 1 cm yüksekliğinde, 1 m uzunluğunda ve 0.5 m genişliğinde ahşap bir plaka üzerine sabitlenmiştir. Silindirler ahşap levhaya 5 'er cm kare ağı oluşturacak şekilde 4 'er adet ve karenin ağırlık merkezinde 1 'er adet olacak şekilde, şaşırtmalı olarak yerleştirilmiştir. Silindirler tabanla 90° , 75° , 45° ve 60° açı yapacak şekilde 4 farklı eğimde kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan deneylerin konfigürasyonları ve adetleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Deney çizelgesi.

Açı	Debi	Silindir Reynolds Sayısı	Ölçüm Alınan Nokta Sayısı	Su Derinliği	Kesitsel Ortalama Hız
$\alpha(^{\circ})$	$Q(\text{lt/s})$	(Re)	(Adet)	(cm)	$U_0(\text{cm/s})$
90	$Q_1=20.50$	1367	169	30	13.69
75			169	30	
60			160	30	
45			140	30	
90	$Q_2=40.83$	2720	169	30	27.22
75			170	30	
60			170	30	
45			140	30	
90	$Q_3=56.80$	3786	169	30	37.85
75			170	30	
60			170	30	
45			140	30	



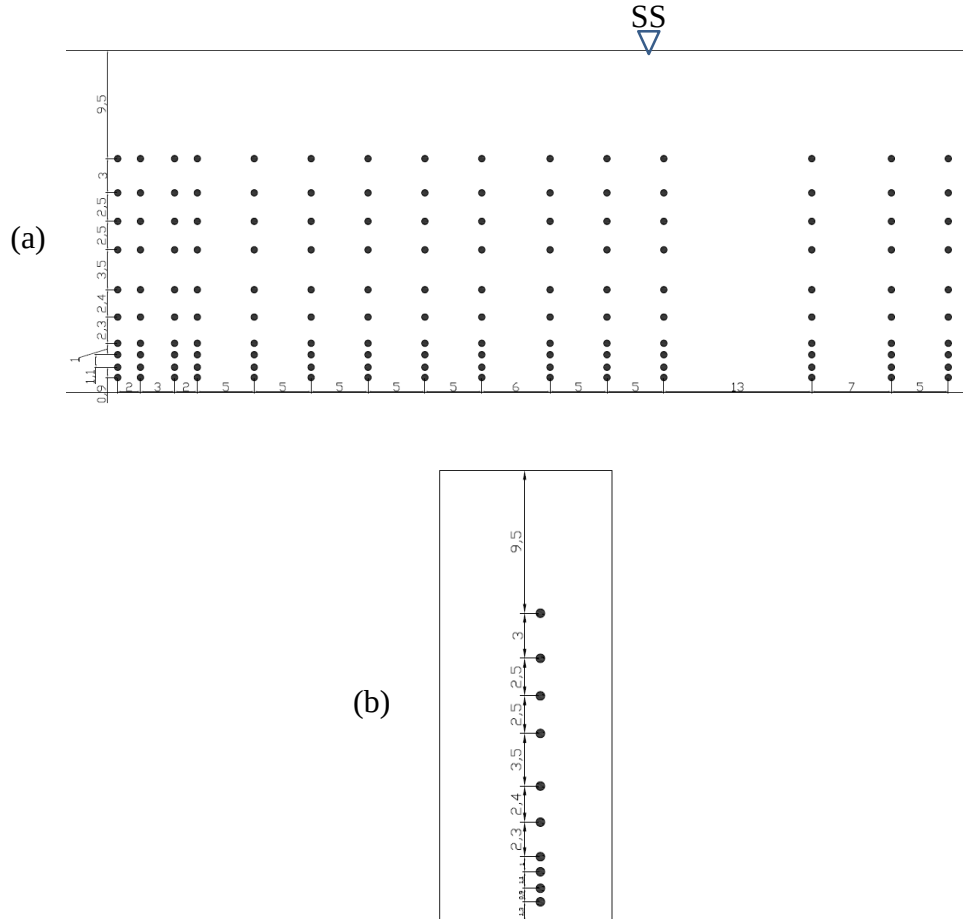
Şekil 3.4 : Deneylerde kullanılan kanal ve grup eğik silindirler.

3.2 Ölçüm Yöntemi ve Enstrümantasyon

Deneyler süresince kanaldaki akım hızı NORTEK firması tarafından üretilen Vectrino adlı akustik hız ölçer cihaz ile yapılmıştır. Vectrino, Doppler etkisi ile ölçüm yapmaktadır. Yolladığı ses dalgalarının geri dönüşlerini inceleyerek, ses seviyesi ve frekansındaki değişikliklere göre hız verisi elde etmektedir. Vectrino’da 4 farklı alıcı bulunmaktadır. Alıcılar, ortada bulunan verici ile 30^0 açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Alıcıların 1 adedi x ekseninde, 1 adedi y ekseninde ve 2 adedi z ekseninde kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Vectrino, bu şekilde 3 boyutlu hız verisini bir zaman serisi olarak elde etmektedir (Vectrino User Guide, 2004).

3.3 Deney Prosedürü

Deneyler süresince grup eğik silindirlerin membasında 2, mansabında ise 15 farklı bölgede olmak üzere toplam 17 farklı kesitten, her kesitte 10 farklı noktada hız profili ölçümü yapılmıştır. Silindirlerin eğik olarak kullanıldığı bazı deneylerde bitki yoğunluğu sebebiyle silindir grubunun hemen ardındaki birkaç noktadan ölçüm alınamamıştır. Silindirlerin yoğunluğunun fazla olması sebebiyle silindir grubunun arasından da herhangi bir akış verisi alınamamıştır. Dolayısıyla çalışmada daha ziyade silindir grubunun mansabındaki akım üzerinde durulmuştur. ADV sensörünün minimum 6.5 cm su derinliğinde ölçüm alabilmesinden dolayı su yüzeyine en yakın ölçüm noktası olarak 9.5 cm derinlikte ölçüm alınmıştır. Tabana en yakın ölçüm ise tabana 1.3 cm uzaklıktadır. Ölçüm noktaları Şekil 3.5’de gösterilmiştir. ADV’nin pozisyonunun 3 ekseninde de ayarlanabilmesi için kanal üzerine bir travers sistemi kurulmuştur.



Şekil 3.5 : Silindirlerin mansabında ADV ile veri alınan noktalar ve mesafeleri: (a)Noktaların mansapta genel görünüşü. (b)Ölçüm alınan bir kesitin detaylı olarak gösterimi.

ADV'den 200 Hz örnekleme frekansında veri alınmıştır. Her bir ölçümün süresi, alınacak verilerin akım ve türbülans karakteristiklerini yeterli miktarda yansıtması sağlanacak şekilde 75 s olarak belirlenmiştir.

Grup silindirler kanal tabanına 90^0 (dik silindir durumu), 75^0 , 60^0 ve 45^0 olacak şekilde 4 farklı açıyla yerleştirilmiştir. Her bir eğiklik durumu için $Q_1=20.5$ l/s, $Q_2=40.83$ l/s ve $Q_3=56.8$ l/s olmak üzere 3'er farklı debi kullanılmıştır. Bu debilerin tekabül ettiği ortalama akım hızları (U_0) sırasıyla 14 cm/s, 27 cm/s ve 38 cm/s olarak ortaya çıkmaktadır. Her bir durum için silindir ,Reynolds sayıları ise 1367, 2720 ve 3786 olmaktadır. Bütün bu 12 deney süresince su derinliği 30cm olarak sabit tutulmaya çalışılsa da bitki modelinden dolayı oluşan kabarmalar sebebiyle birkaç cm mertebesini aşmayan farklılıklar oluşabilmektedir.

3.3.1 Verilerin filtrelenmesi

ADV kullanımı hız verilerinin alınması konusunda büyük kolaylıklar sağlıyor olsa da, akış sırasında sudaki hava kabarcıkları, ses sinyali yansımaları gibi süreksizliklerden kaynaklı olarak hız verilerinde bozulmalar görülebilmektedir. Bu süreksizlikler, hızın ADV tarafından çok yüksek olarak algılanmasına ve/veya ölçülen sinyaldeki çalkantıların aşırı artmasına sebep olabilmektedir. Hız verisindeki gerçekte var olmayan bu ani değişikliklere sıçrama (spike), sıçramaların veri içerisinde bulunmasına ise gürültü (noise) adı verilir. Veri içerisindeki bu sıçramalar akımın türbülans bileşenleriyle karıştırılabileceği için tutarlı sonuçlar elde edebilmek amacıyla bu sıçramaların filtrelenmesi gerekmektedir. Veri içerisinde bulunan sıçramaların filtrelenmesi amacıyla Fourier alçak geçiş filtresi (low-pass), hareketli ortalama ve ivme eşiği (acceleration threshold) gibi çeşitli filtreleme metotları geliştirilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen veriler 3 Boyutlu faz uzayı metodu kullanılarak filtrelenmiştir. Bu filtre, yüksek verimi ve ampirik katsayılar bulundurmaması sebebiyle tercih edilmiştir. 3 boyutlu faz uzayı metodu filtresi ilk olarak 2002 senesinde Goring ve Nikora tarafından 2 boyutlu olarak geliştirilmiştir. Daha sonra 2003 senesinde Wahl ve 2005 senesinde Mori tarafından geliştirilerek bugünkü 3 boyutlu halini almıştır. 3 boyutlu faz uzayı metodunda, hızın 1. ve 2. derece türevlerini kullanılır. Hız, hızın 1. ve 2. derece türevleri arasında kolerasyon kurarak eğik bir elipsoid elde edilir. Bu elipsoidin dışarısında kalan noktalar elimine edilerek sıçramalar yok olana kadar bu döngü tekrarlanır (Mori ve diğ, 2007).

3.3.2 Hesap yöntemi

Verilerin işlenerek görselleştirilmesinde MathWorks firması tarafından geliştirilen Matlab programı kullanılmıştır. ADV tarafından elde edilen hız verileri yukarıda bahsedildiği üzere 3 boyutlu faz uzayı metodu ile filtrelenmiştir. Filtre edilerek sıçramalardan arındırılan verilerden hız bileşenlerinin zamansal ortalamaları elde edilmiş ve kullanılmıştır. Sırasıyla x, y ve z eksenlerine ait olan u , v ve w hız bileşenlerinden bu hız bileşenlerinin zamansal ortalama hızları olan $\bar{u}$, $\bar{v}$ ve $\bar{w}$ hızları elde edilmiştir. Aynı şekilde x, y ve z eksenlerine ait hızların çalkantı bileşenleri olan u' , v' ve w' ile çalkantıların standart sapmaları da elde edilmiştir.

Grup silindirlerin mansabından kesit boyunca alınan ADV ölçümünden kesitsel ortalama hız U_0 ,

$$U_0 = \frac{1}{h} \int_1^{N-1} (z_{n+1} - z_n) \left(\frac{\bar{u}_{n+1} + \bar{u}_n}{2} \right) \quad (3.1)$$

ifadesi ile elde edilmiştir. Burada N profilde hız ölçümü yapılan nokta sayısını, u_n o noktadaki zamansal ortalama hızı, z_n ise ölçüm noktasının tabandan mesafesini göstermektedir. Limnimetre seviyesi mansapta 30 cm değerinde sabit tutulduğundan ve membadaki kabarmalar dikkate alınmadığından dolayı kesitsel ortalama hız değeri mansapta hesaplanmıştır.

Akım doğrultusundaki $\bar{u}$, zamansal ortalama hızı ile düşey doğrultudaki $\bar{v}$ hızlarının bileşkesinin konturları(eş hız eğrileri) elde edilerek süperpoze edilmiştir. Bu şekilde grup silindirlerin mansabındaki hız değişikliklerinin kolaylıkla gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

Bir sonraki aşamada çalkantı bileşenlerinden Reynolds normal ve kayma gerilmeleri elde edilmiştir. Ayrıca

$$k = \frac{1}{2} \rho (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (3.2)$$

ifadesi ile her ölçüm noktasında türbülans kinetik enerjisi(TKE) elde edilerek, hız konturlarına benzer şekilde konuma bağlı türbülans kinetik enerjisi dağılımı çizdirilmiştir.

Türbölans kinetik enerjisine farklı eksenlerdeki hız bileşenlerinin katkılarını gözlemleyebilmek amacıyla $\overline{u'^2}$, $\overline{v'^2}$ ve $\overline{w'^2}$ Reynolds normal ve $\overline{u'v'}$ ile $\overline{u'w'}$ kayma gerilme dağılım konturları çizilmiştir. Reynolds gerilmeleri U_0 kesitsel ortalama hız ile, k türbölans kinetik enerjisi kesitsel ortalama hızın karesi (U_0^2) ile, x (yatay mesafe) ve y (tabandan ölçülen mesafe) ise su derinliği (h) ile boyutsuzlaştırılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Zamansal Ortalama Hız Dağılımı

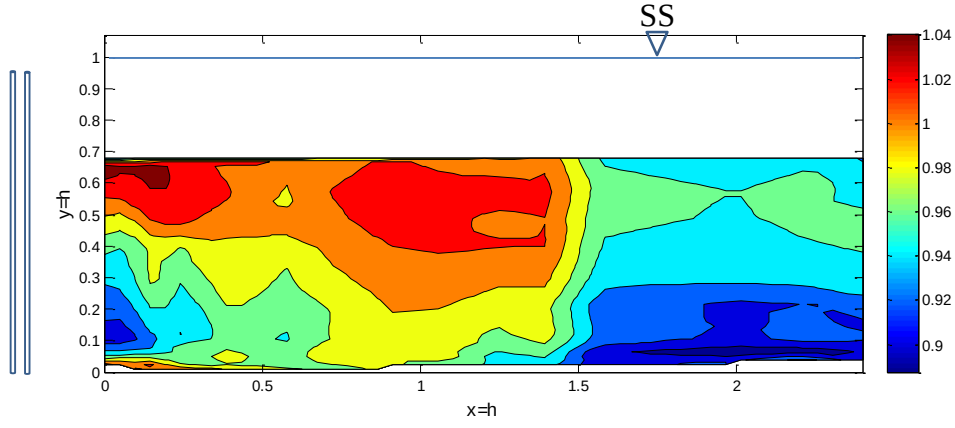
Grup silindirlerin mansabında zamansal ortalama hız dağılımları incelendiğinde silindirlerin bittiği noktada akım yönünde hızın bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebi silindirlerin arasında kesitin daralmasının neden olduğu akım büzülmesi ve silindirlerin etrafında oluşan çevrinti kopmalarıdır. Dik silindir durumunda Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi akım doğrultusundaki hız taban yakınında daha düşük iken yüzeye yaklaştıkça artmaktadır. Bu dağılım, bir açık kanal akımında beklenecek hız profili ile uyumludur. Bununla birlikte hız profilinin kesitteki değişiminin çok yüksek farklılıklar ortaya çıkarmadığı ve düşey boyunca genel itibarı ile üniform olduğu görülmektedir.

Silindirlerin $\alpha=75^0$ olduğu durumda dik silindir durumuna benzer bir hız profili görülmektedir. Kanal tabanı yakınında kesitsel ortalama hızın yüzeye oranla daha düşük olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.2). Benzer bir sonuç Yağcı ve diğ. (2010) tarafından da bildirilmektedir.

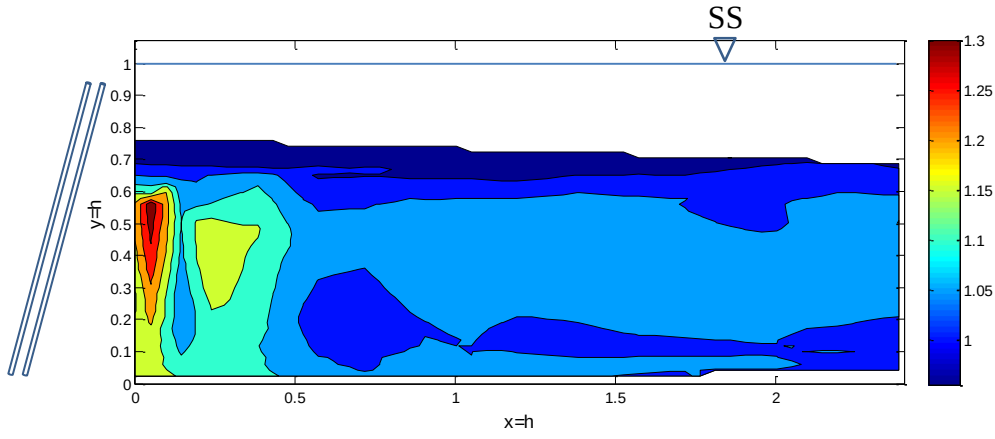
Silindirlerin eğikliğinin $\alpha=60^0$ ye kadar artması durumunda ise kesitsel ortalama hız profilinin değişmeye başladığı görülmektedir. Dik silindir durumu ve $\alpha=75^0$ durumunda görüldüğünden farklı olarak kanal tabanında kesitsel ortalama hızın arttığı gözlemlenmiştir. Hız profilinin kesit boyunca değişiminin ise silindirlerin açısına yaklaşık olarak paralel bir hal aldığı görülmektedir. Ortalama hız dağılımının kanal tabanında daha yüksek olma sebebinin, kanal tabanındaki akımın eğiklik sebebiyle yüzeye göre silindir etkisinden daha önce çıkması olarak düşünülmektedir (Şekil 4.3).

Silindirlerin eğikliği $\alpha=45^0$ olduğunda ise $\alpha=60^0$ ’deki kesitsel ortalama hız dağılımı grafiğine oldukça benzer sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Hız profilinin kesit boyunca değişiminin (eş hız eğrilerinin) $\alpha=60^0$ ’de gözlenenenden farklı olarak silindir eğikliğine paralel durumda olmadığı, fakat hız dağılım paterninde eğikliğin bulunduğu görülmektedir. Kanal tabanında akım yönündeki ortalama hızın yüzey akımına göre belirgin derecede yüksek olduğu Şekil 4.4’de açıkça görülmektedir.

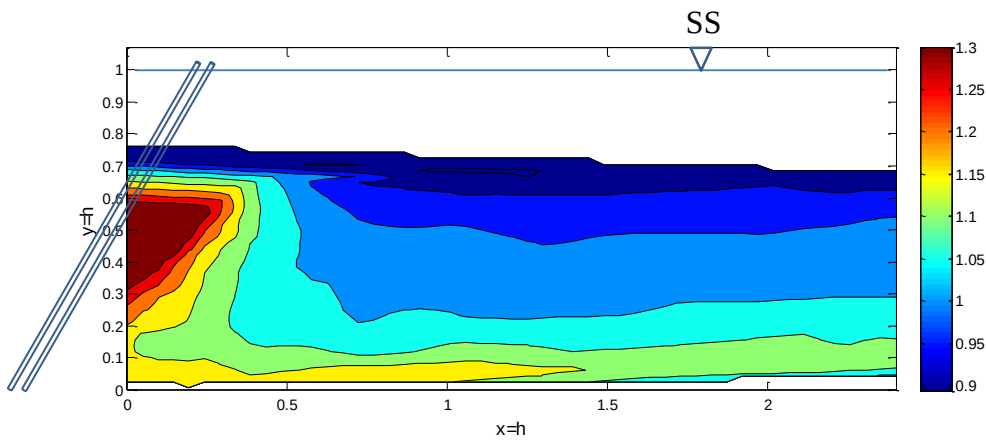
$Q_3=56.8$ l/s debisinde bütün eğiklik durumları için maksimum zamansal ortalama hız değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.



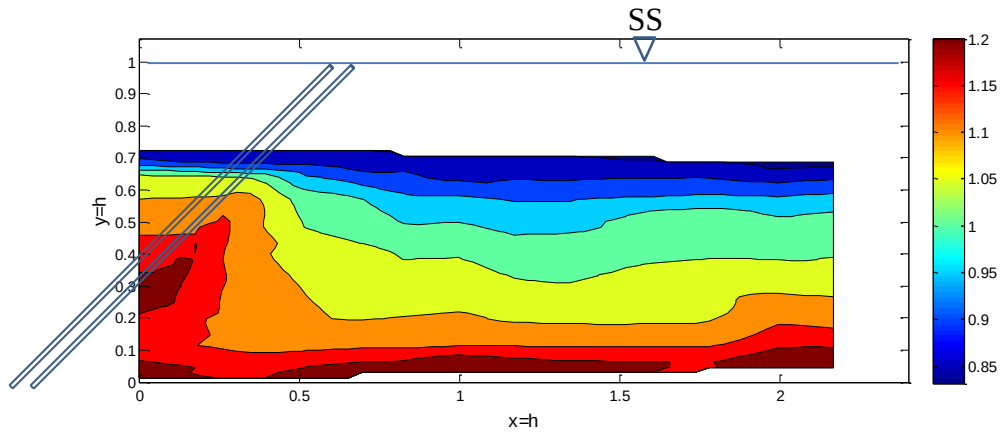
Şekil 4.1 : Q_3 debisi ve $\alpha=90^0$ (dik bitki durumu) durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



Şekil 4.2 : Q_3 debisi ve $\alpha=75^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



Şekil 4.3 : Q_3 debisi ve $\alpha=60^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



Şekil 4.4 : Q_3 debisi ve $\alpha=45^0$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.

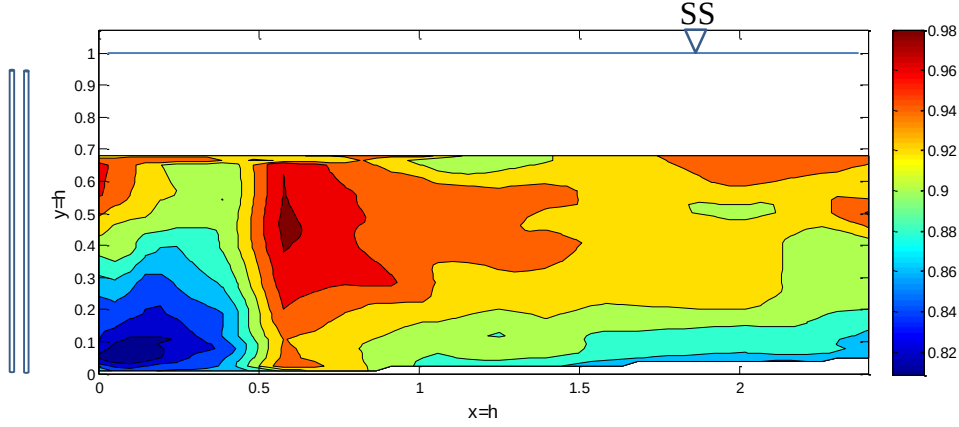
$Q_2=40.83$ l/s debisi için zamansal ortalama hız dağılımları incelendiğinde $\alpha=90^0$ (dik bitki) durumunda Q_3 debisine benzer sonuçlar gözlemlenmektedir. Tabanda akım doğrultusunda ortalama hız büyüklüğü yüzeye göre daha düşük olsa da büyüklüklerin birbirine oldukça yakın olduğu Şekil 4.5'te görülmektedir. Kesit eş hız eğrilerinin düşey ile geliştiği görülmektedir.

$\alpha=75^0$ durumu Q₂ debisinde incelendiğinde, kesitte zamansal ortalama hız dağılımının silindirlere paralel olduğu görülmektedir. Silindirlerin dik durumunda olduğu gibi $\alpha=75^0$ durumunda da tabanda hız dağılımının yüzeye göre düşük olduğu Şekil 4.6'da görülmektedir.

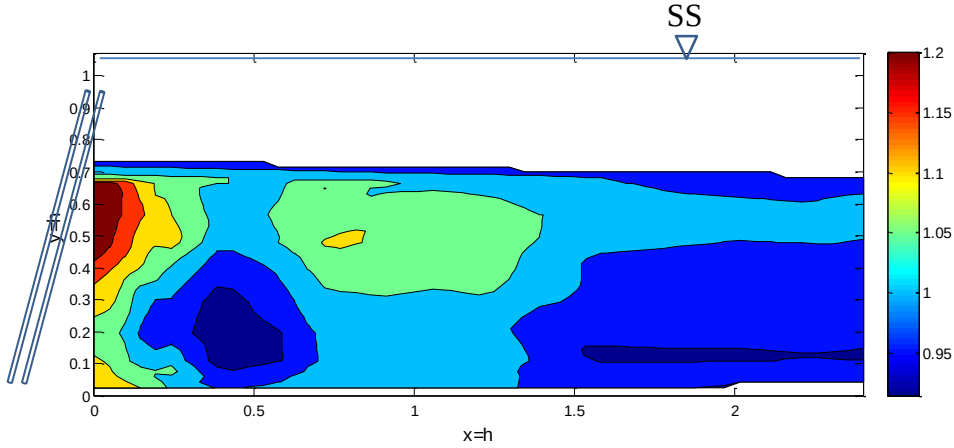
Q₂ debisinde de Q₃ debisine benzeyen hız profilleri ortaya çıkmaktadır. Q₂ debisinde silindirlerin tabanla $\alpha=60^0$ ve $\alpha=45^0$ açısı yaptığı durumda kanal tabanında akım yönünde ortalama hız büyüklükleri artmaktadır. Fakat $\alpha=90^0$ (dik silindir) ve $\alpha=75^0$ durumlarında Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki gibi bu durumun aksine kanal yüzeyine yakın bölgelerde hızın yüksek, kanal tabanında ise hızın düşük olduğu görülmektedir. Q₂ debisinde de Q₃ debisine benzer şekilde silindirlerin tabanla $\alpha=60^0$ ve $\alpha=45^0$ açısı yaptığı durumlarda hız profili silindirlere paralel şekilde eğim kazanmaktadır. Bu durum Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de görülmektedir.

$Q_1=20.5$ l/s debisine ait zamansal ortalama hız dağılımı grafikleri incelendiğinde Q_2 ve Q_3 debilerine benzer bir profil ortaya çıkar. Şekil 4.9’da Q_1 debisinin dik silindir durumunda kesitsel ortalama hız dağılımına bakıldığı zaman ADV’nin zaman serisinde oluşan sıçrantılardan dolayı düzgün bir dağılım oluşmadığı görülmektedir. Bu sebeple bu grafiğin belirleyici olduğu söylenemez. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de

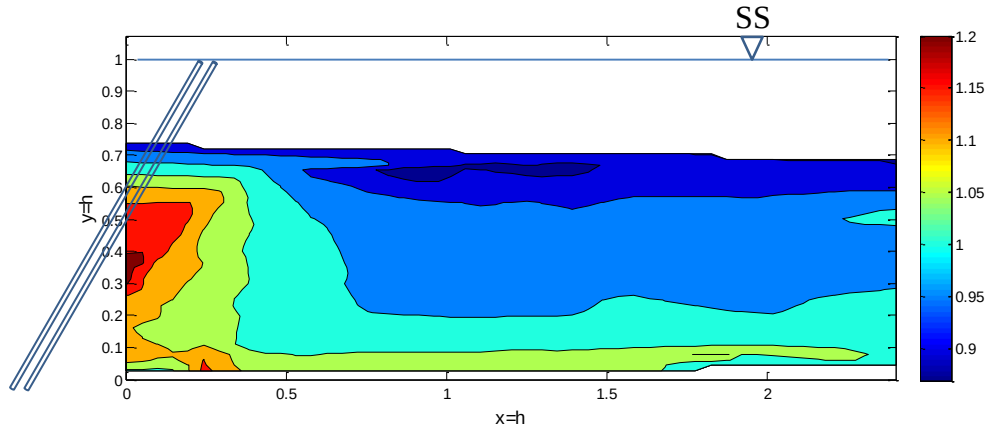
silindirlerin tabanla $\alpha=60^\circ$ ve $\alpha=45^\circ$ açısı yaptığı durumlarda hız profili silindirlere paralel şekilde eğim kazanmaktadır. Ayrıca tabanda hız değeri artarken yüzeye yakın bölgede hızın azaldığı görülür. Q_1 debisinde kesitsel ortalama akım hızının oldukça düşük olması sebebiyle ADV ölçümleri diğer debi değerlerindeki göre daha düşük kalitede ortaya çıkmıştır. Bunun temel nedeni, düşük hızlarda Doppler kayması etkisinin azalmasıdır.



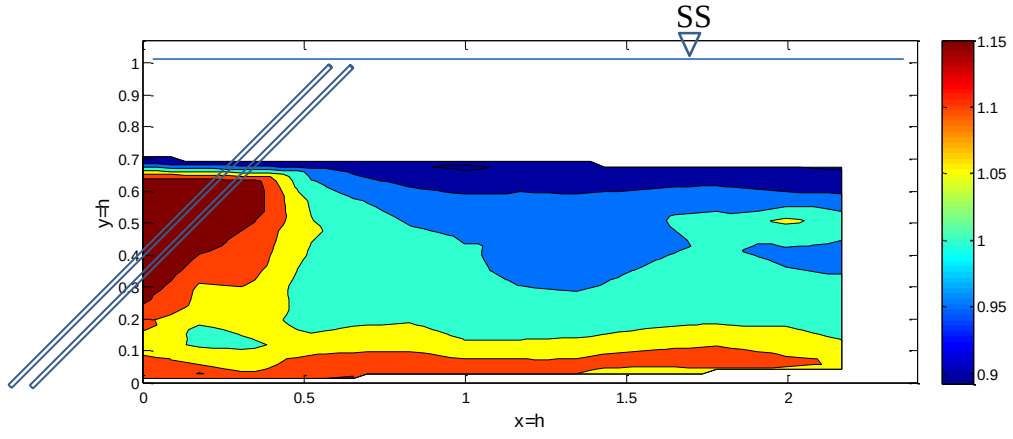
Şekil 4.5 : Q_2 debisi ve $\alpha=90^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



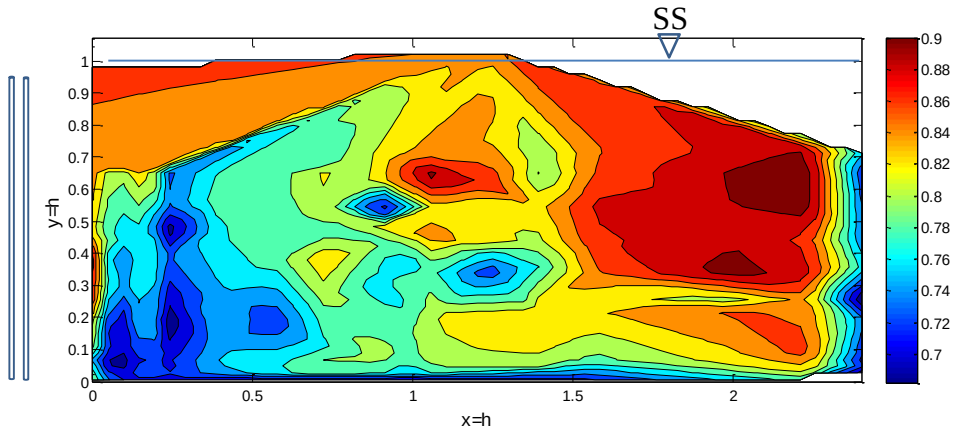
Şekil 4.6 : Q_2 debisi ve $\alpha=75^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



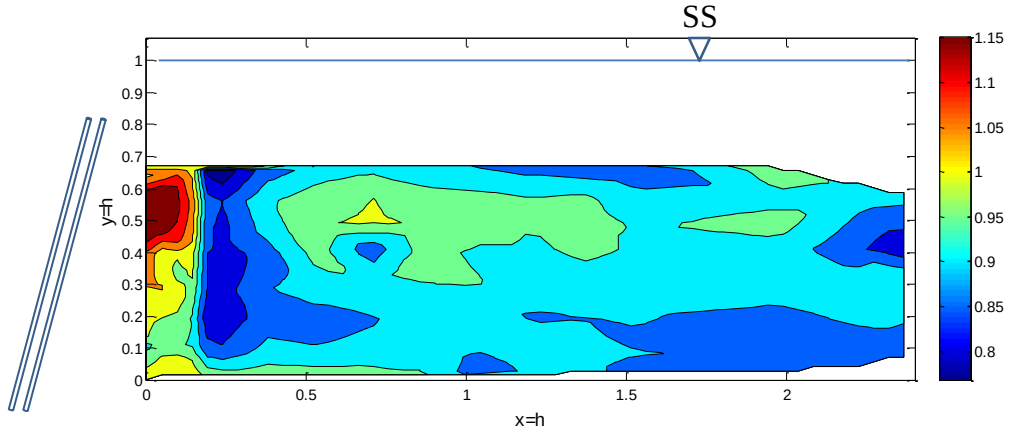
Şekil 4.7 : Q_2 debisi ve $\alpha=60^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



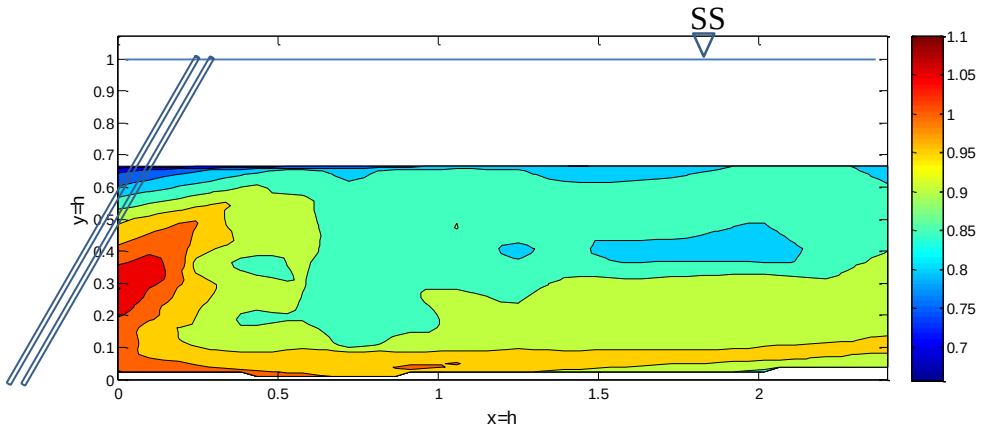
Şekil 4.8 : Q_2 debisi ve $\alpha=45^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



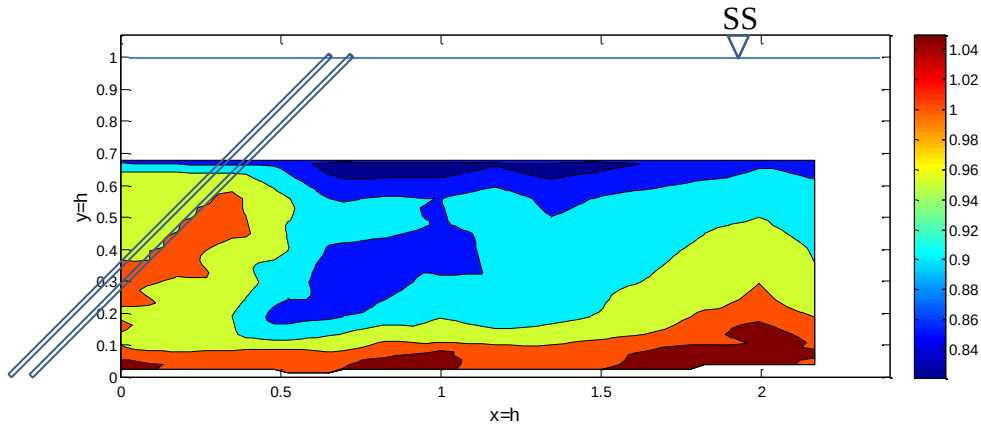
Şekil 4.9 : Q_1 debisi ve $\alpha=90^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



Şekil 4.10 : Q_1 debisi ve $\alpha=75^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



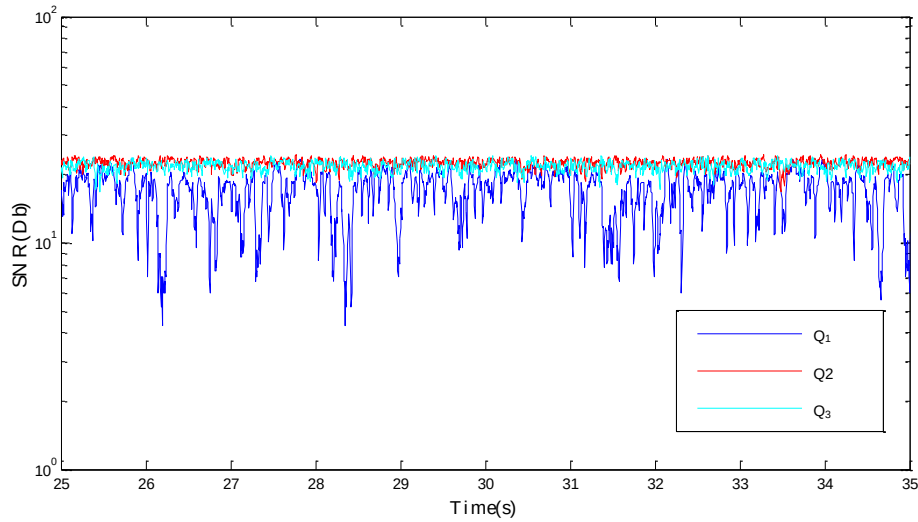
Şekil 4.11 : Q_1 debisi ve $\alpha=60^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.



Şekil 4.12 : Q_1 debisi ve $\alpha=45^\circ$ durumunda boyutsuz zamansal ortalama hız dağılımları.

Bitkili bölgenin hemen çıkışında hız ölçümlerinin yapıldığı mesafelerin de dahil olduğu bölgede, bitkilerin akımda yarattığı dirençten dolayı su seviyesinde bir miktar alçalma gözlenmiştir. Bu alçalma belli bir mesafe sonra kuyruk suyu akım derinliğine yaklaşmaktadır. Bu alçalma silindirlerin hemen çıkışında kesitte boyutsuz hız dağılımının 1'in bir miktar üzerine çıkmasına katkı sağlamaktadır. Su yüzeyine yakın bölgelerde ise ADV verisi alınmadığından dolayı hız profilinde düşüş görülse de bu gerçeğe uygun bir veri değildir.

Q_1 debisi ve $\alpha=90^\circ$ durumunda ise $y/h=0.7$ değerinin üzerinde ADV ölçümü olmamasına rağmen değerler görülmektedir. Bu durum ADV verisindeki bozukluktan kaynaklanmaktadır. Q_1 debisi ve $\alpha=90^\circ$ durumunda zamansal ortalama hız grafiğindeki bu durum eksenel türbülans yoğunluğu, reynolds kayma gerilmesi ve türbülans kinetik enerjisi grafiklerinden de kaynaklanmaktadır. Grafiğin yansıttığı sonuçlar gerçeği göstermemektedir.

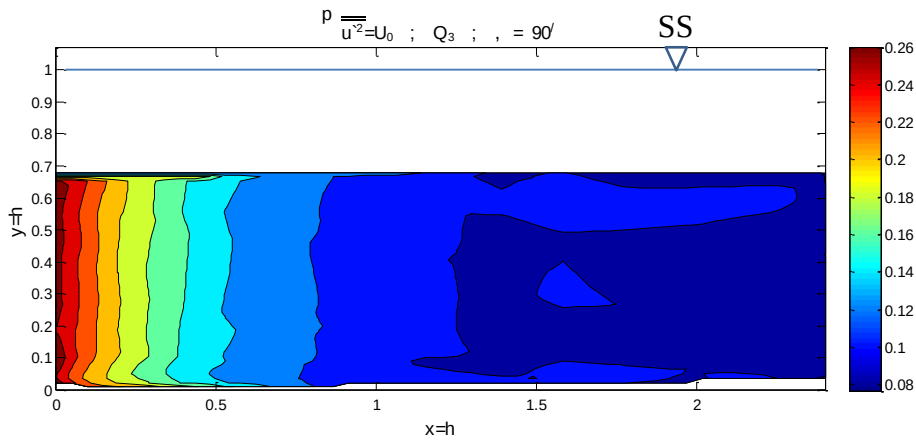


Şekil 4.13 : Farklı debi değerlerine ait SNR-Zaman grafiği.

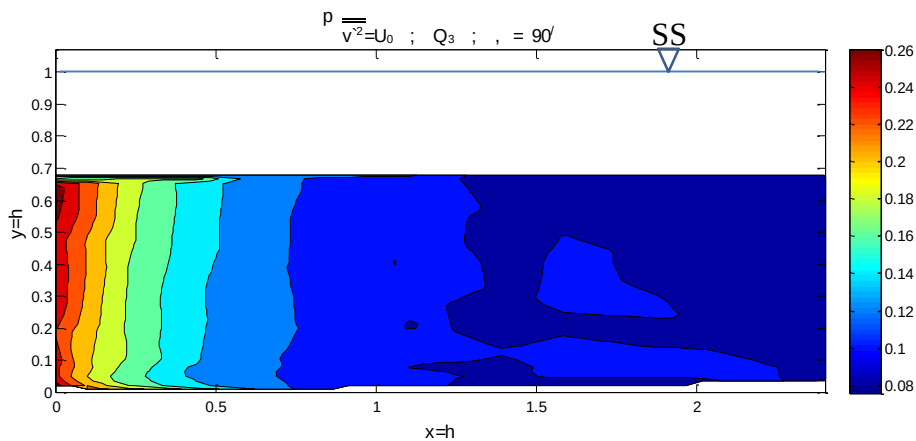
Şekil 4.13'de üç farklı debi değerinin SNR(signal to noise ratio) değerlerine ait grafikler görülmektedir. SNR, alınan sinyalin gürültüye oranı olarak tanımlanır . SNR değeri veri olarak alınan sinyalin kalitesini ifade etmektedir. SNR değerinin yüksek olması alınan veri içerisinde daha az sıçrıntı verisi olduğunu gösterir. Şekil 4.13'de Q_1 debisine ait SNR değerinin Q_2 ve Q_3 debilerinden belirgin bir şekilde düşük olduğu görülmektedir. Bu durum düşük debiden kaynaklanan akımdaki iz maddelerinin azalmasını ve veri grubunda oluşan sıçramaları ifade etmektedir.

4.2 Eksenel Türbülans Yoğunlukları

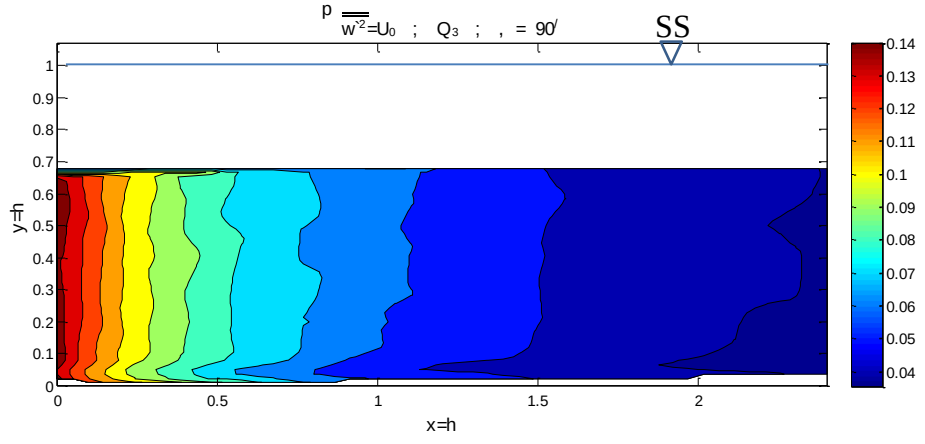
Eksenel türbülans yoğunlukları(Reynolds normal gerilmeleri), x, y ve z eksenlerindeki çalkantı hızlarının türbülans kinetik enerjisi üzerindeki katkılarını ifade etmektedir. Dik bitki durumunda eş yoğunluk eğrileri kanal tabanına dik doğrultuda iken, silindirlerin eğikliği arttıkça yoğunluğun silindirlere paralel hale geldiği gözlemlenmiştir. $\frac{\sqrt{u'^2}}{U_0}$ ve $\frac{\sqrt{v'^2}}{U_0}$ ifadelerinin maksimum değerleri 0.3 ile 0.4 arasında değişmekte iken $\frac{\sqrt{w'^2}}{U_0}$ ifadesinin maksimum değeri 0.18- 2 arasındadır. Eksenel türbülans yoğunlukları, çalkantı hızlarının kareleriyle orantılı olduğu için, w' çalkantı hızının türbülans kinetik enerjisine katkısı u' ve v' çalkantı hızlarının $1/4$ 'ü kadardır.



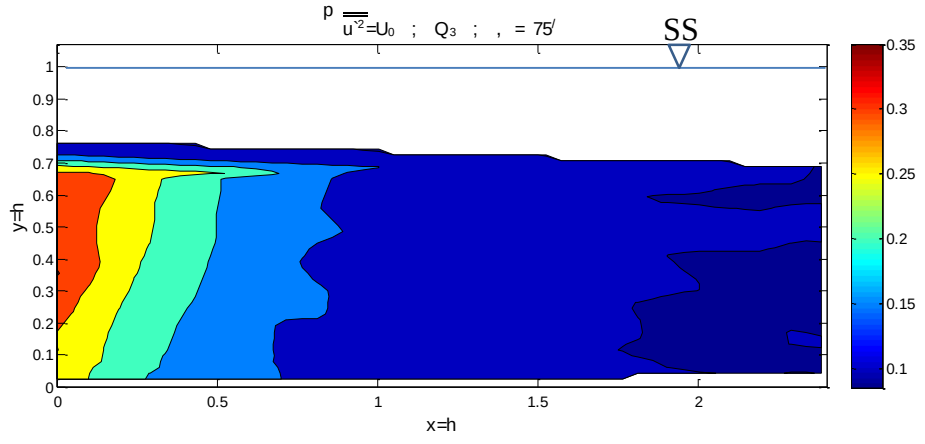
Şekil 4.14 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ dik silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{U_0}$ Reynolds normal gerilme dağılımı.



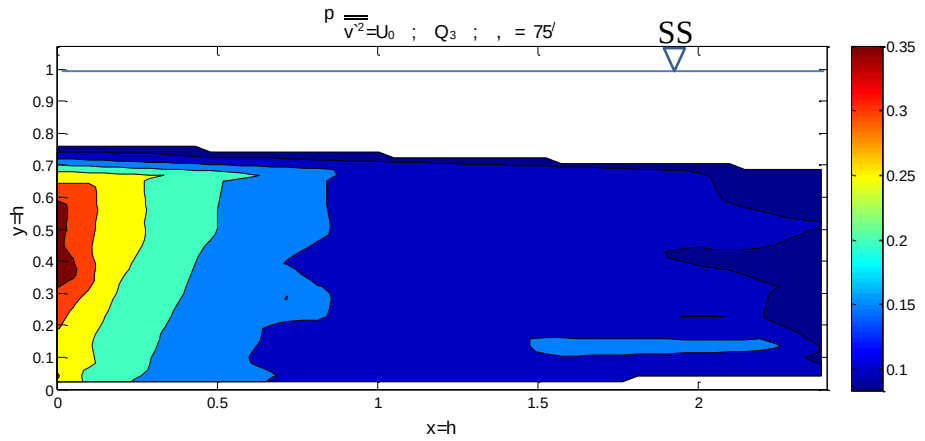
Şekil 4.15 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ dik silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



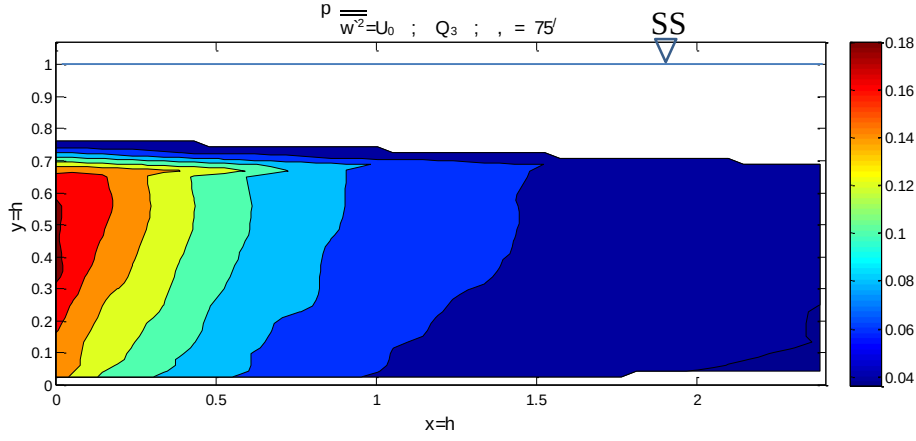
Şekil 4.16 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ dik silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



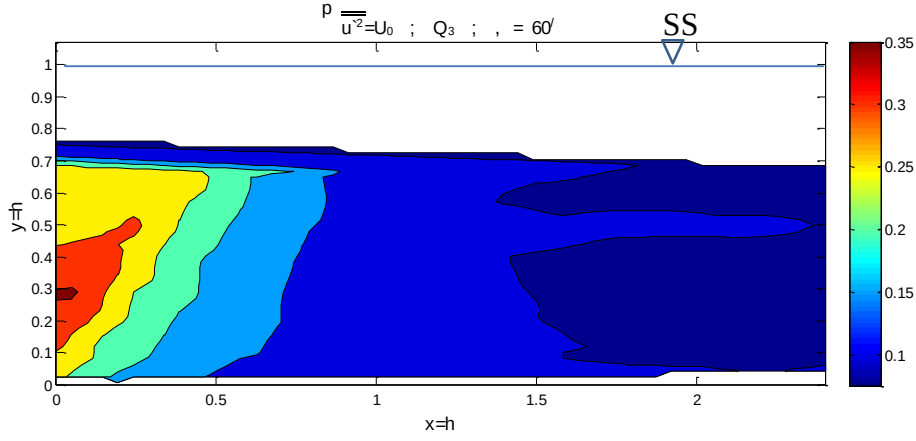
Şekil 4.17 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



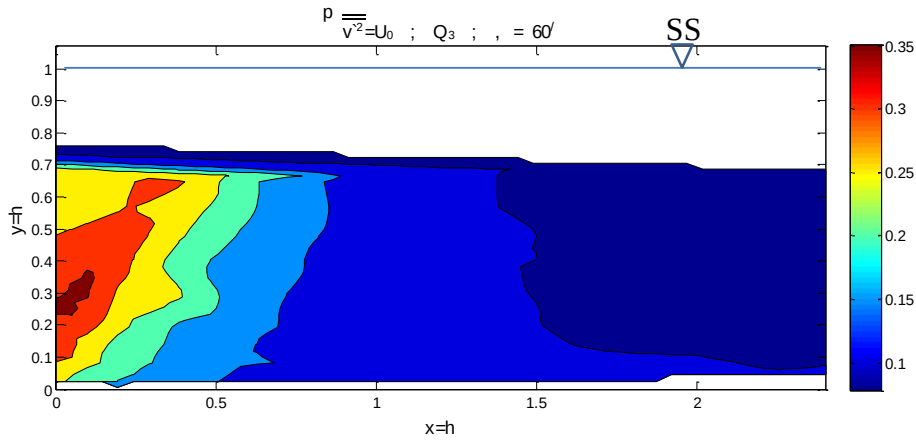
Şekil 4.18 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



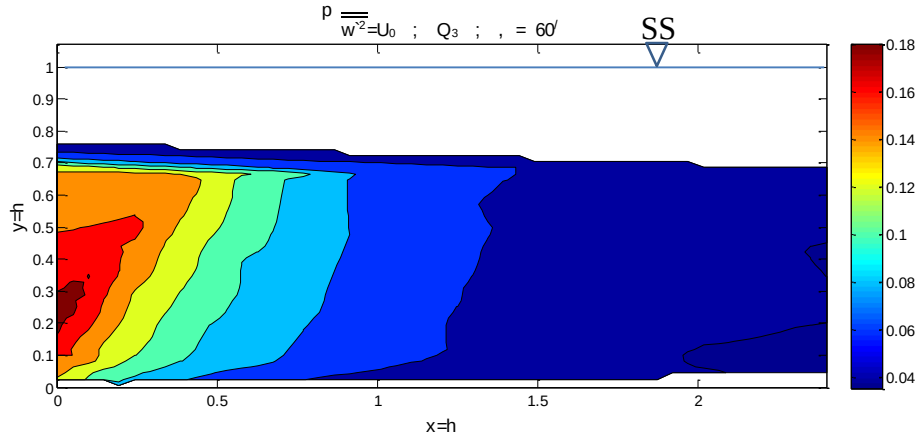
Şekil 4.19 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



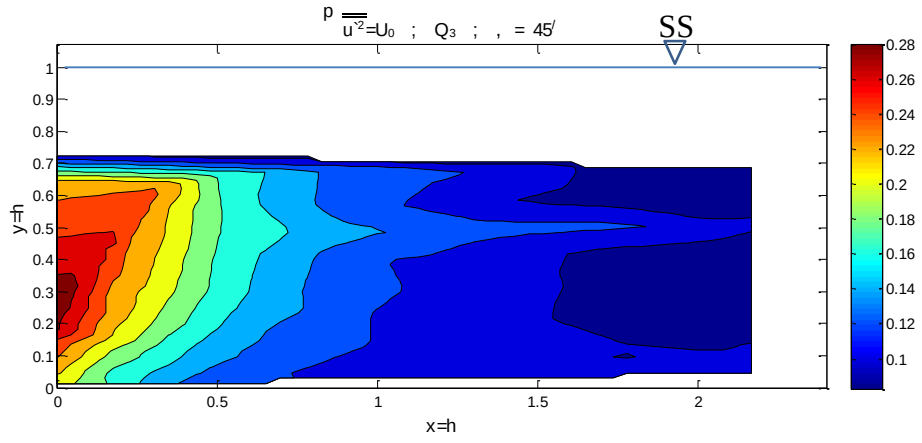
Şekil 4.20 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



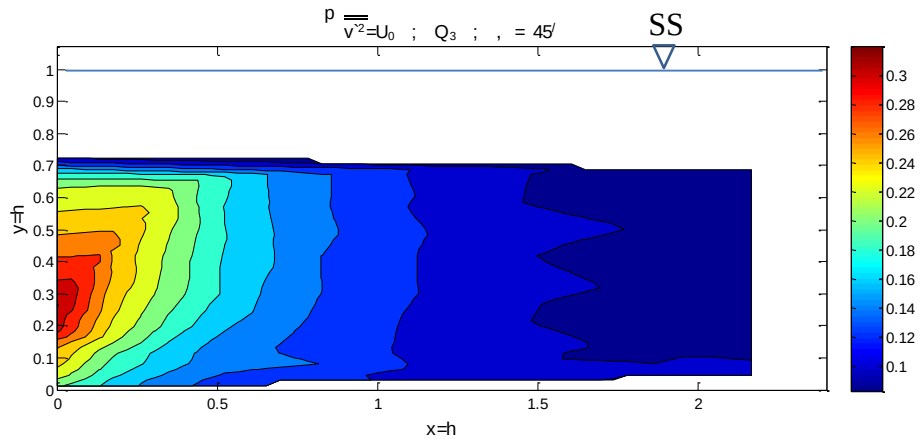
Şekil 4.21 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



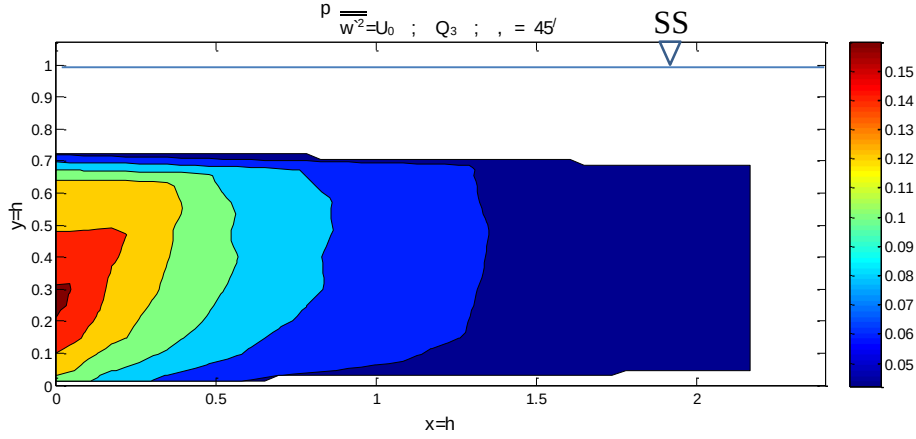
Şekil 4.22 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



Şekil 4.23 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.

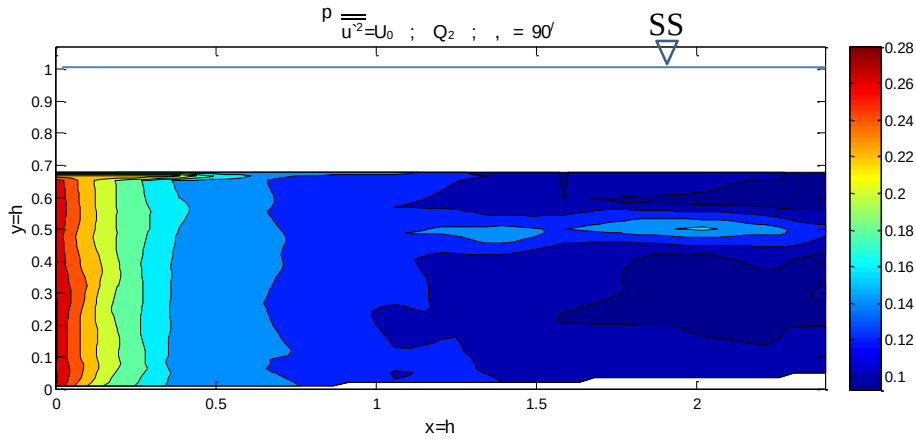


Şekil 4.24 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.

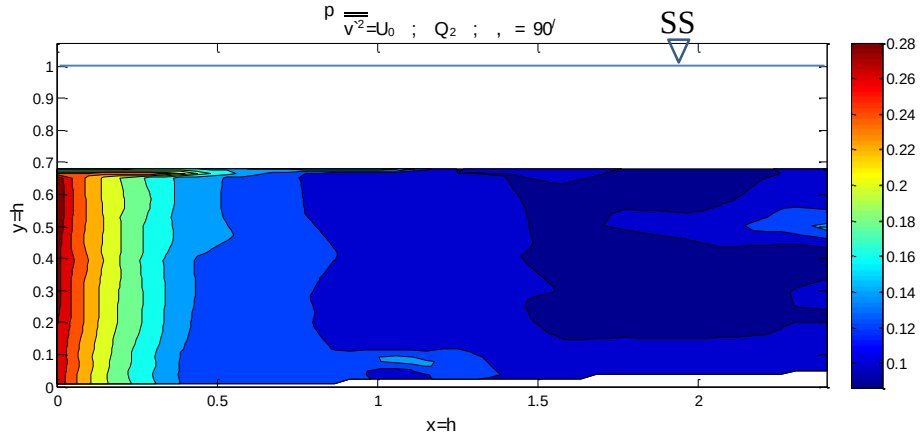


Şekil 4.25 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.

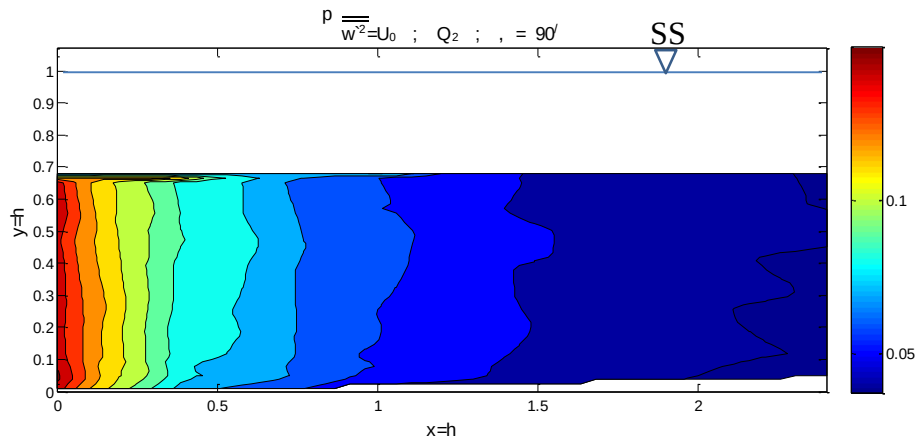
Q_2 debisinde de Q_3 debisindeki durum söz konusudur. x ve y eksenlerindeki Reynolds normal gerilmelerini ifade eden $\frac{\sqrt{u'^2}}{U_0}$ ve $\frac{\sqrt{v'^2}}{U_0}$ terimlerinin değeri, z eksenindeki Reynolds normal gerilmesini ifade eden $\frac{\sqrt{w'^2}}{U_0}$ teriminin değerinin 2 katı büyüklüktedir. Silindirlerin eğikliği arttıkça eş gerilme eğrileri silindirlere paralel hale gelerek kanal tabanında azalmaktadır. Bu sonuç da türbülans üretiminin cıdardan ziyade silindirler tarafından gerçekleştirildiğini işaret etmektedir.



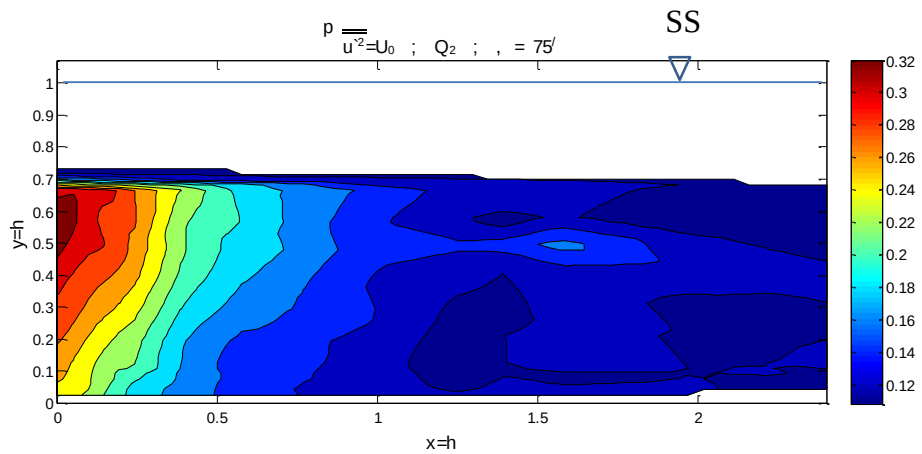
Şekil 4.26 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



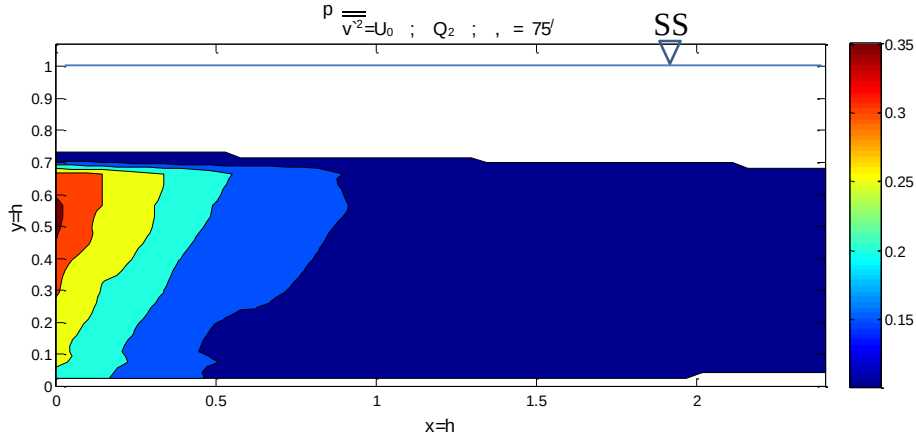
Şekil 4.27 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



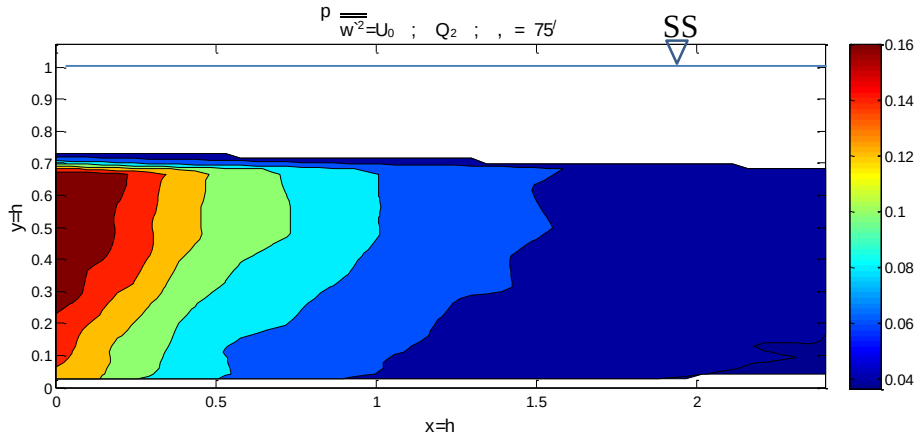
Şekil 4.28 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



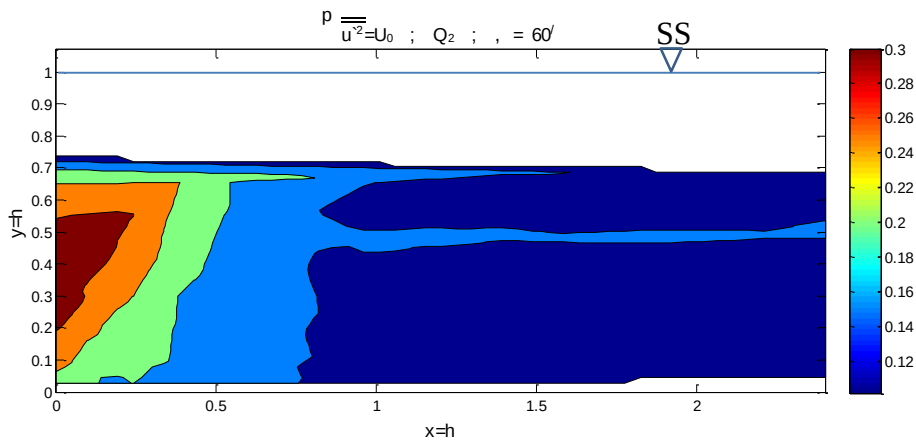
Şekil 4.29 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



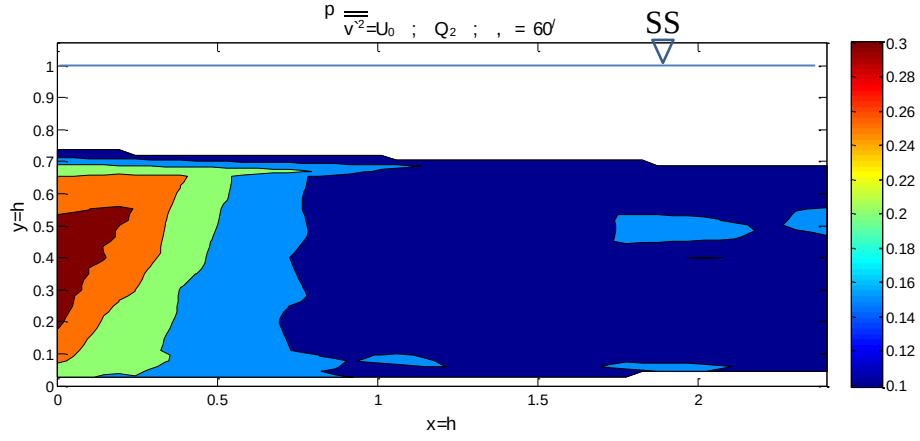
Şekil 4.30 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



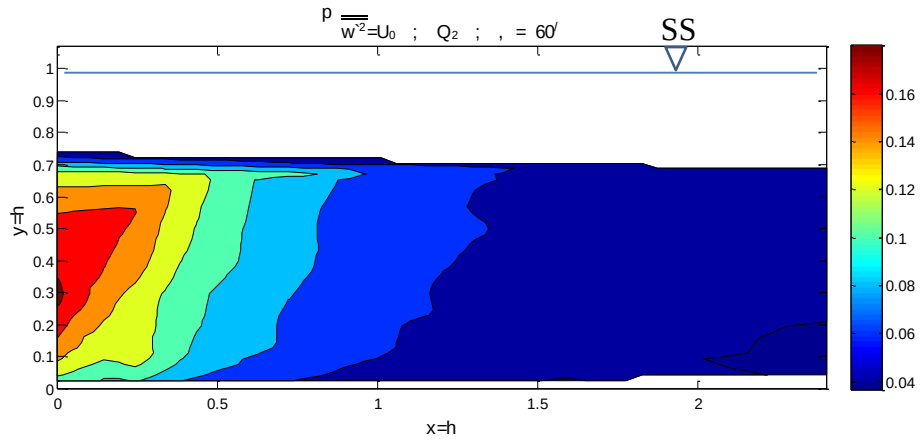
Şekil 4.31 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



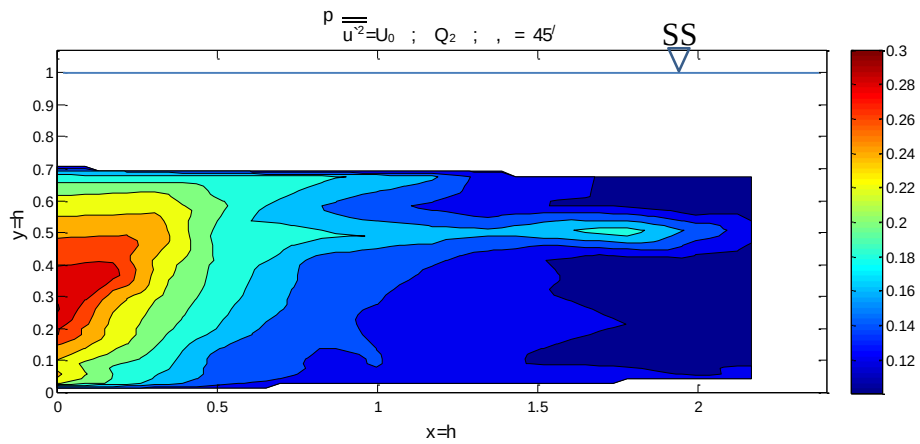
Şekil 4.32 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



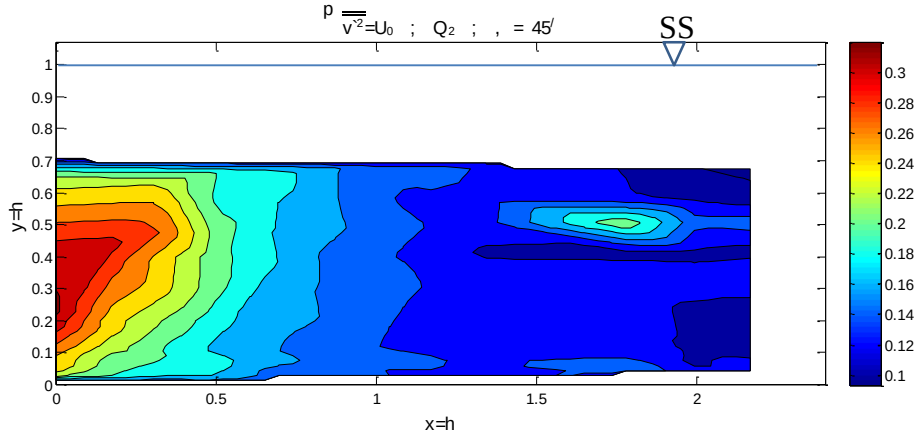
Şekil 4.33 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



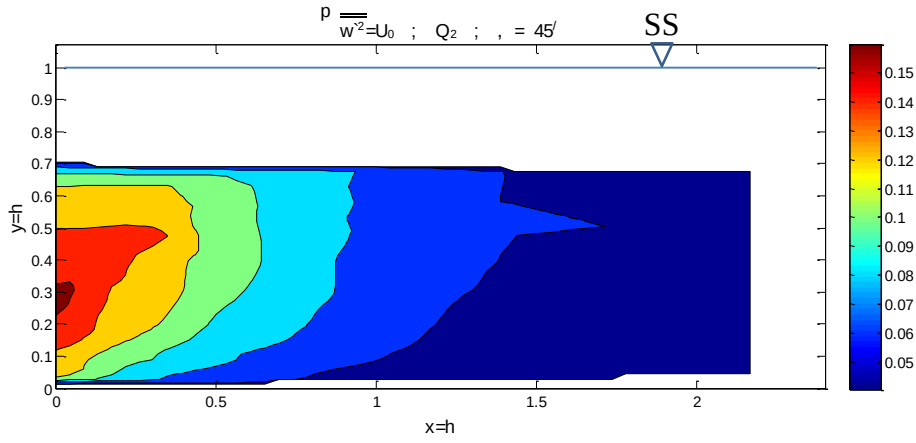
Şekil 4.34 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



Şekil 4.35 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.

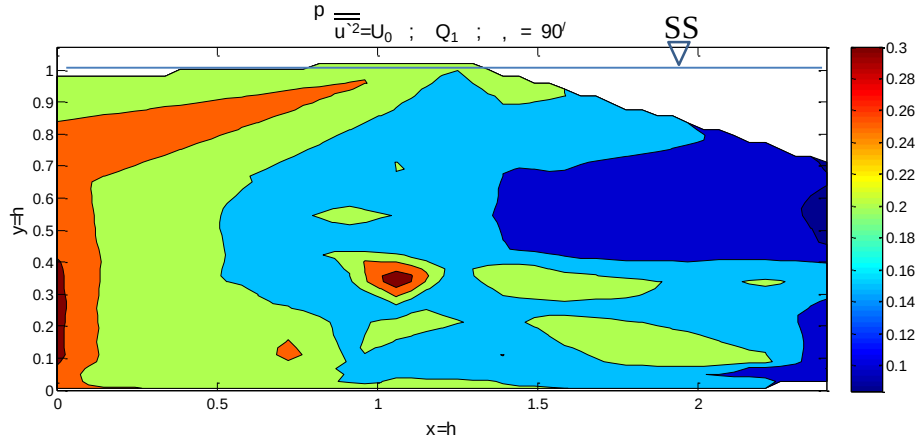


Şekil 4.36 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.

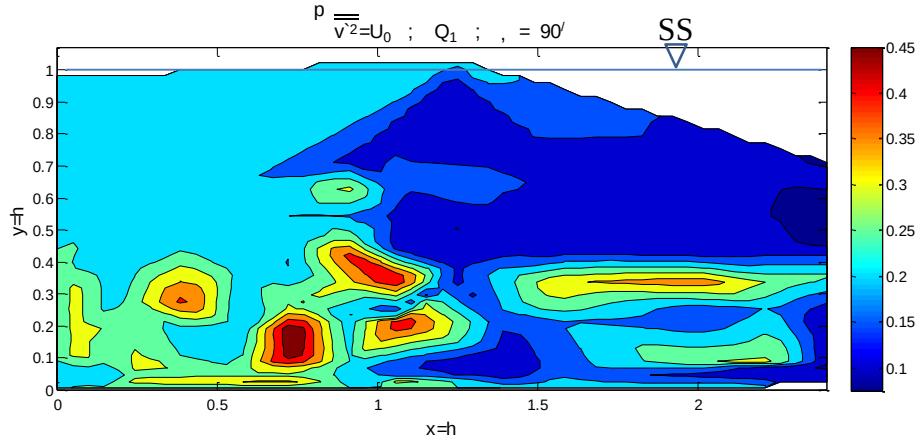


Şekil 4.37 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.

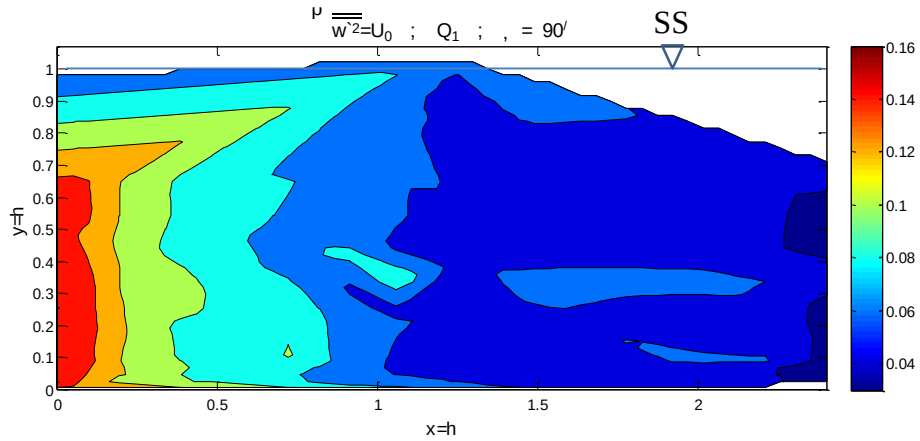
$Q_1=20.5$ l/s debide yapılan deney grubunda da Q_3 ve Q_2 debilerinde gözlemlendiği gibi türbülans kinetik enerjisinde hızların u' ve v' çalkantı bileşenleri baskındır. ADV cihazının düşük hızlarda çalışması, Doppler etkisinin ve akımdaki iz maddelerin azalmasına ve veri grubunda sıçramalar oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'de açıkça görülmektedir.



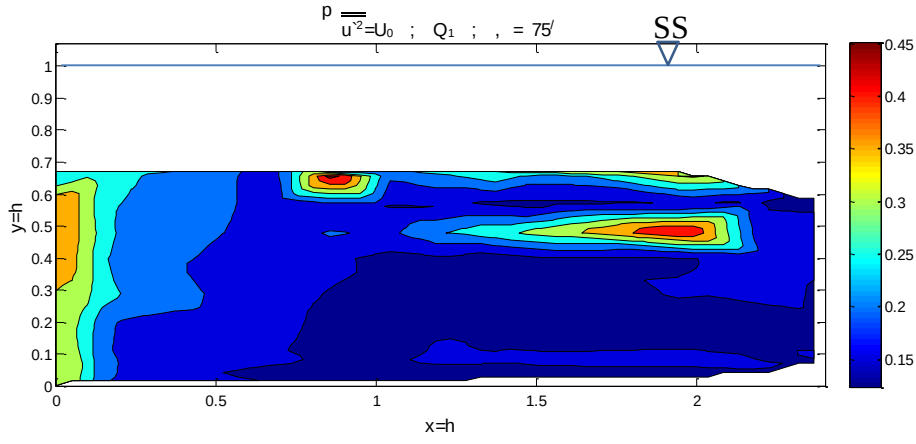
Şekil 4.38 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



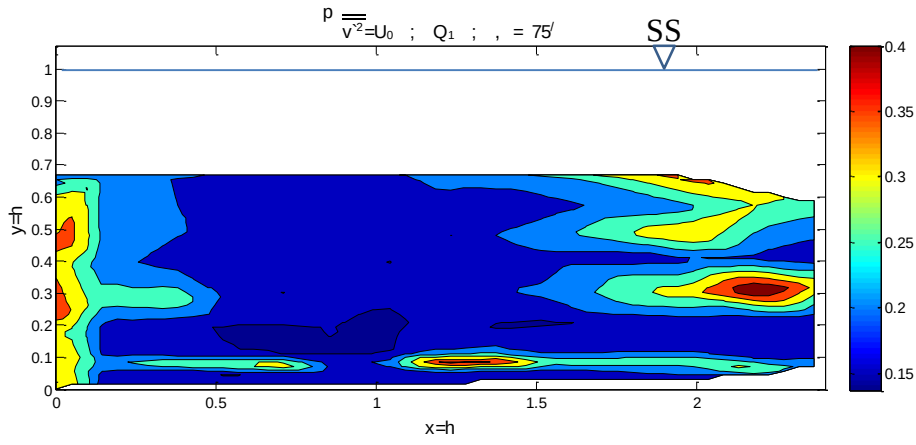
Şekil 4.39 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



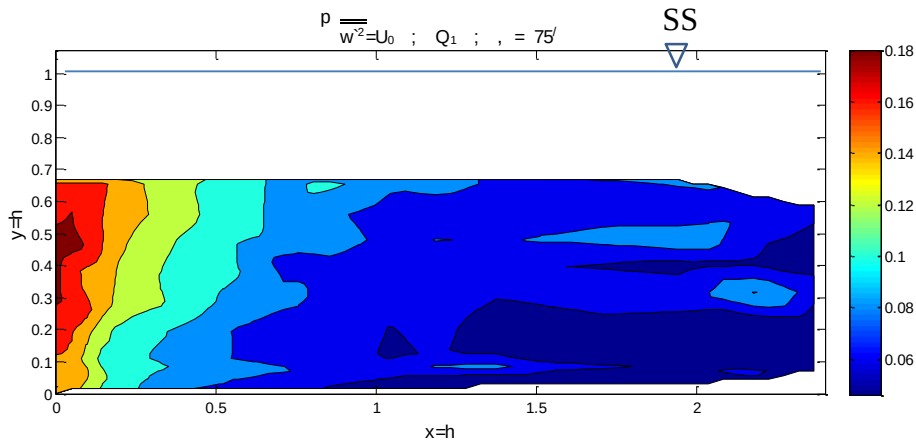
Şekil 4.40 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



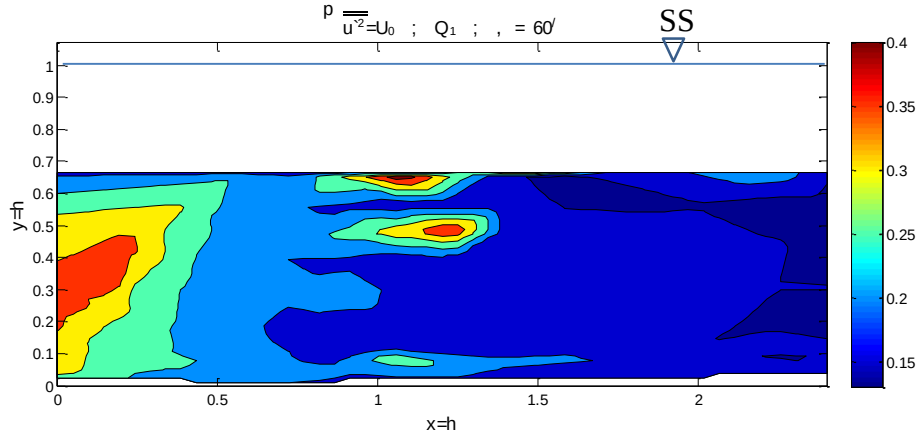
Şekil 4.41 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



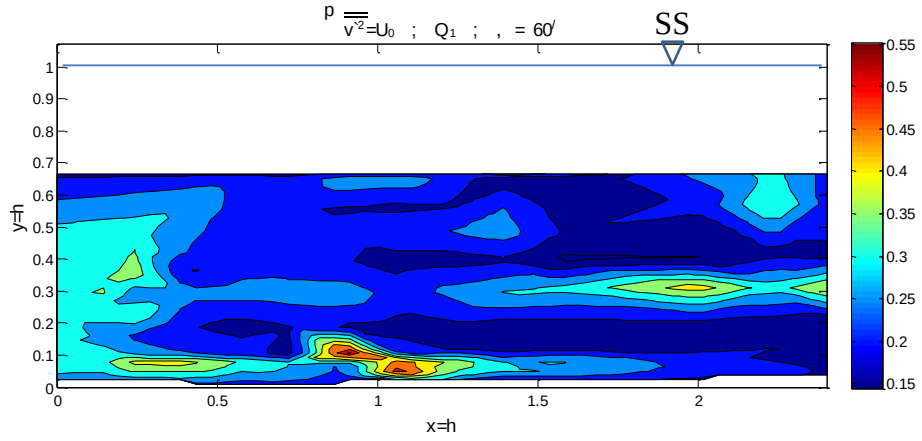
Şekil 4.42 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



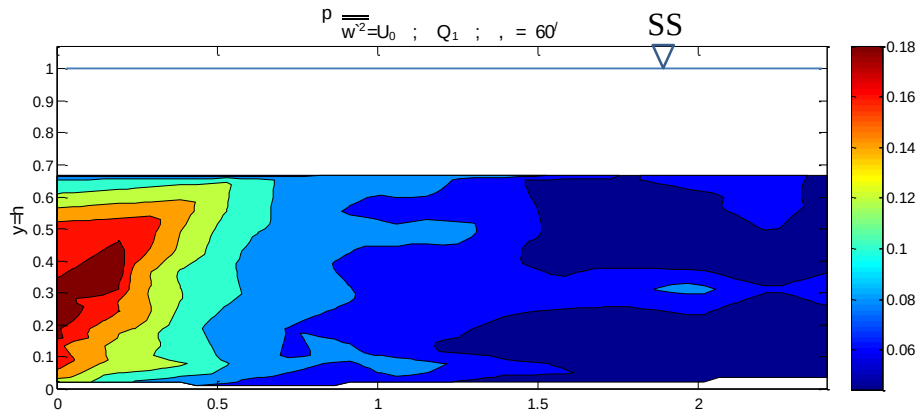
Şekil 4.43 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{U_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



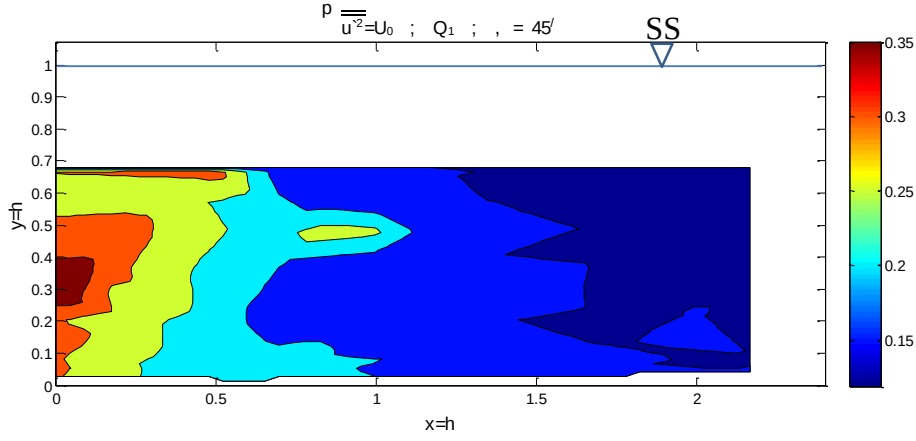
Şekil 4.44 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=60^0$ silindir durumu için akım yönünde $\frac{\sqrt{u'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



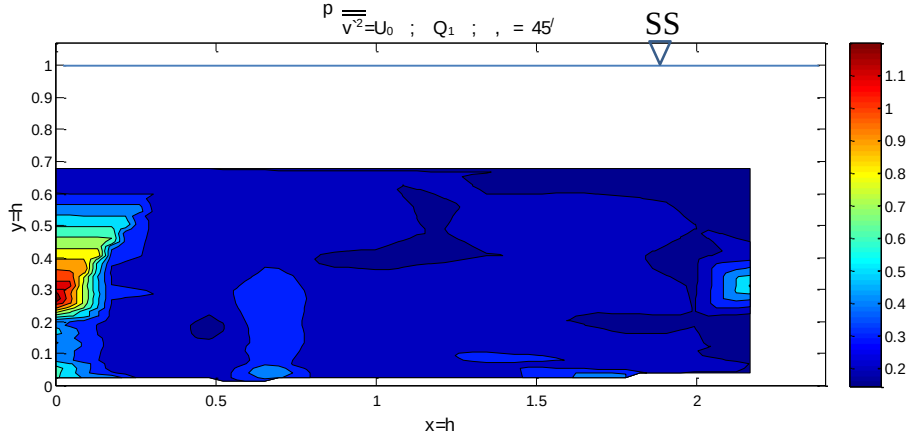
Şekil 4.45 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=60^0$ silindir durumu için y yönünde $\frac{\sqrt{v'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



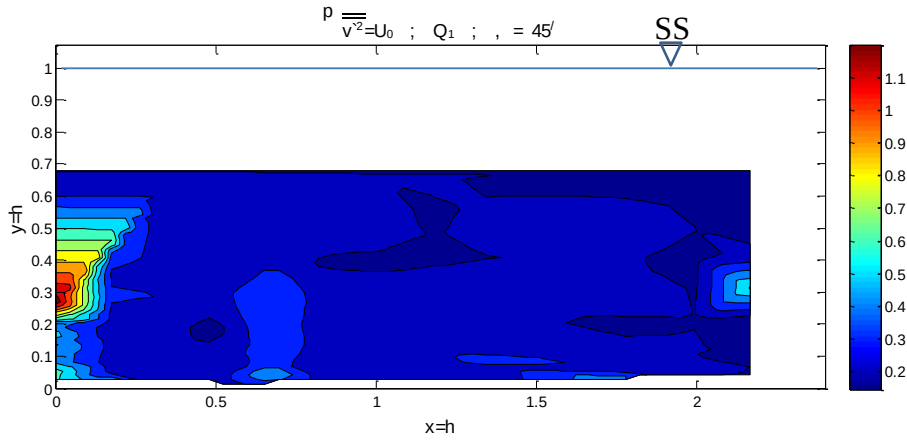
Şekil 4.46 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=60^0$ silindir durumu için z yönünde $\frac{\sqrt{w'^2}}{u_0}$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



Şekil 4.47 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için akım yönünde $(\frac{\sqrt{u'^2}}{u_0})$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



Şekil 4.48 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için y yönünde $(\frac{\sqrt{v'^2}}{u_0})$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.



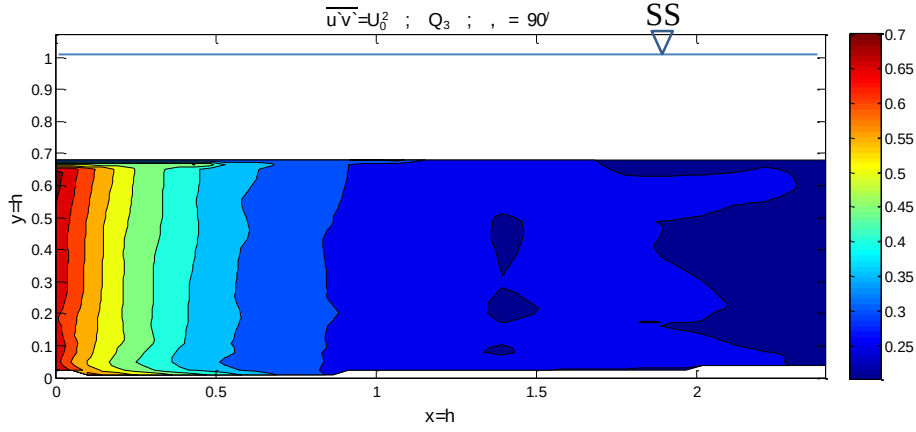
Şekil 4.49 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için z yönünde $(\frac{\sqrt{w'^2}}{u_0})$ boyutsuz Reynolds normal gerilme dağılımı.

4.3 Reynolds Kayma Gerilmeleri

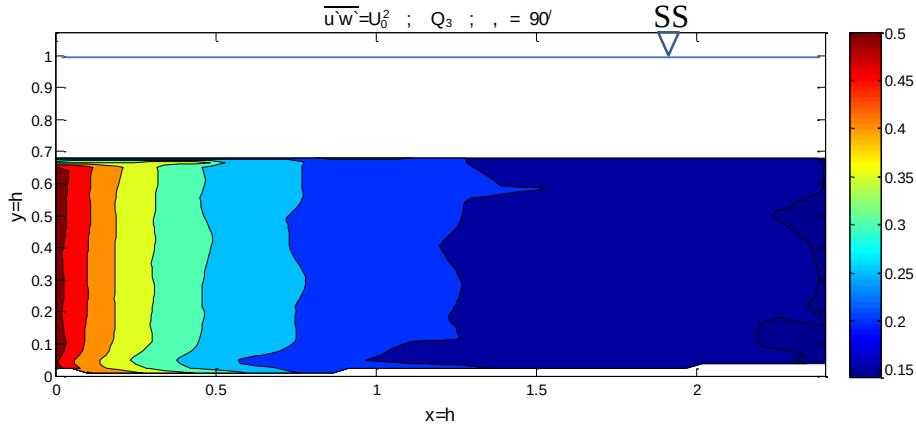
Reynolds kayma gerilmeleri denklem 2.5'te belirtildiği gibi, akım alanında pürüzlülük, engeller, süreksizlikler vb. Sebeplerle, hızın çalkantı bileşenlerinin birbirleri ile korelasyonlarından kaynaklanan kayma gerilmeleridir. X-y düzleminde oluşan Reynolds kayma gerilmesi $-\rho \overline{u'v'}$, x-z ekseninde oluşan Reynolds kayma gerilmesi ise $-\rho \overline{u'w'}$ terimiyle ifade edilir. Bu terimlerden ilki yalnızca silindirlerin varlığı dolayısıyla, ikincisi ise silindirlerin ve tabandaki kayma gerilmelerinin etkisi ile ortaya çıkmaktadır.

Q₃ debisinde Reynolds kayma gerilmelerinin eş dağılım eğrilerinin, zamansal ortalama hız dağılımı ve Reynolds normal gerilmelerde olduğu gibi silindirlerin eğikliğine göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. Q₃ debisinde silindirlerin tabanla yaptığı açı azaldıkça, yani silindirlerin eğiklikleri arttıkça Reynolds kayma gerilmelerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu duruma silindirlerin eğildikçe daha hidrodinamik bir forma ulaşmasının ve eğiklik arttıkça çevri kopmalarında meydana gelebilecek muhtemel azalmaların sebep olduğu düşünülmektedir. Tüm açı değerleri için yapılan deneylerde, kanal tabanına paralel düzlemdeki kayma gerilmelerinin $(-\rho \overline{u'v'})$ dik düzlemdeki kayma gerilmesine göre $(-\rho \overline{u'w'})$ daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu duruma x-y düzleminde silindirlerin varlığı nedeniyle oluşan düzensiz ve yüksek hız gradyanları ile çevri kopmalarının sebep olduğu düşünülmektedir. Zira yukarıda bahsedildiği gibi açık kanal akımında kanal ortası itibarı ile bu yatay düzlemde herhangi bir türbülans kayma gerilmesi oluşması beklenmez.

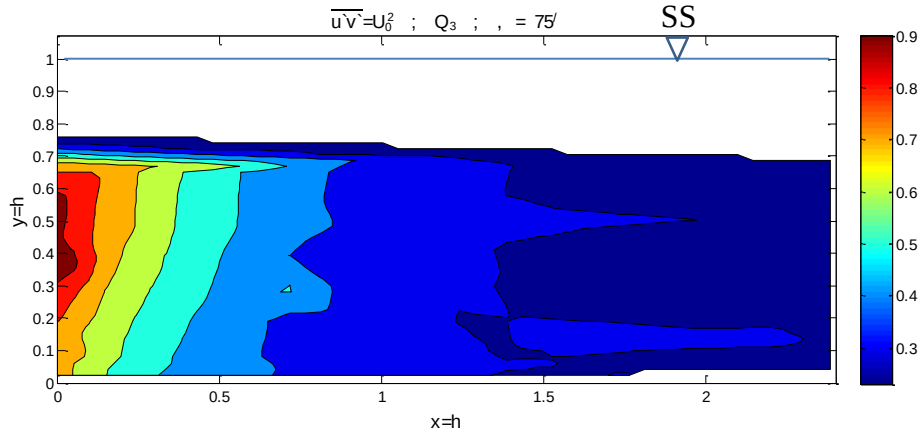
Bütün debi durumlarında grafikler incelendiği zaman, tabanda Reynolds kayma gerilmelerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun tabanda silindirlerin mesnetlendiği bölgelerdeki homojen dağılımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Silindirler sebebiyle üretilen çevrintilerin, homojen dağılım sebebiyle birbirini sonümleyerek daha düşük kayma gerilmesi oluşturabilmektedir. Üst bölgelerde ise silindirlerin akıma bağlı olarak bazı bölgelerde yığılması ve titreşimleri sonucu daha yüksek kayma gerilmelerinin üretildiği düşünülmektedir.



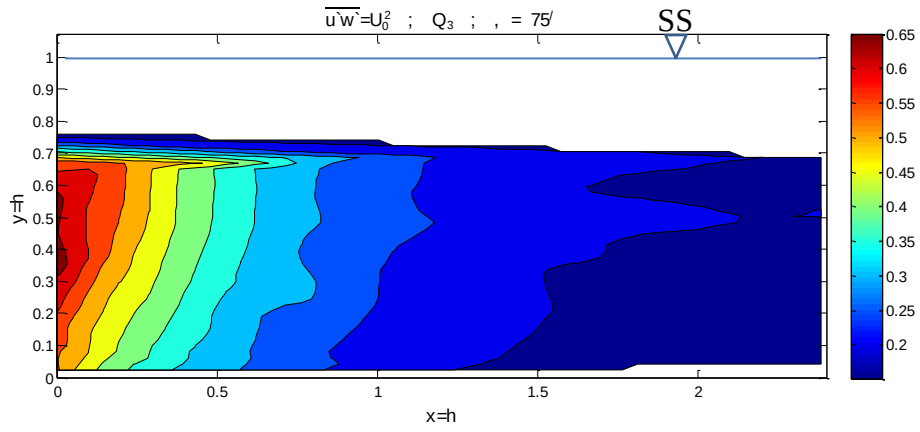
Şekil 4.50 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ dik silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



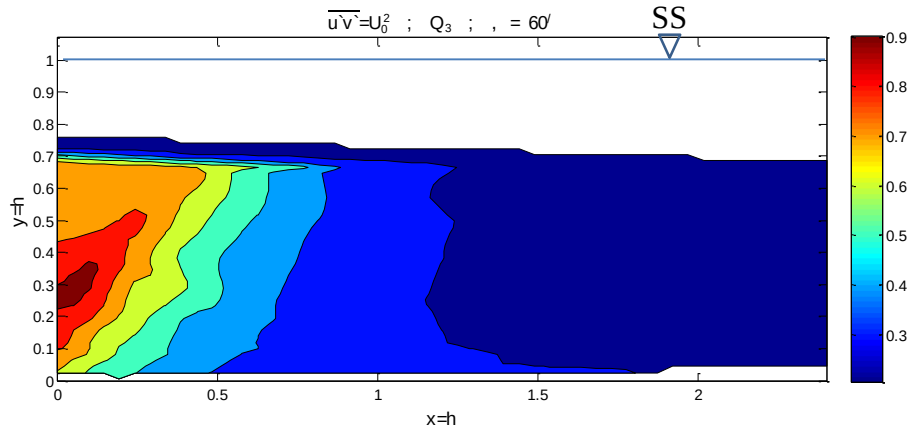
Şekil 4.51 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ dik silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).



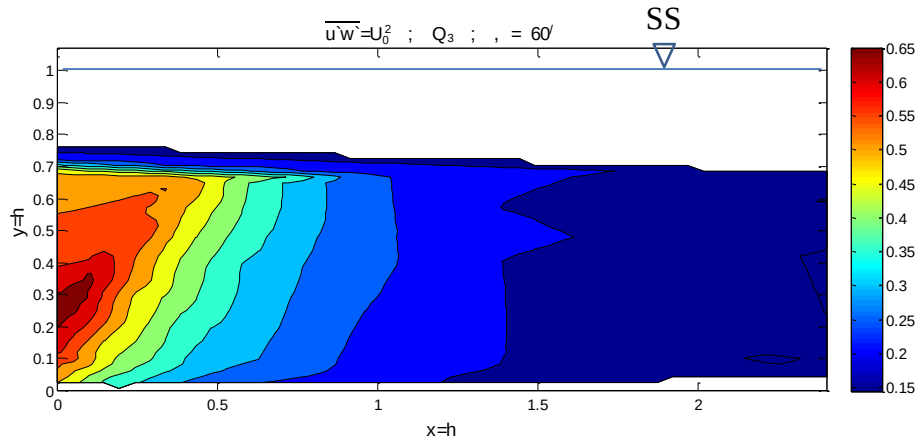
Şekil 4.52 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



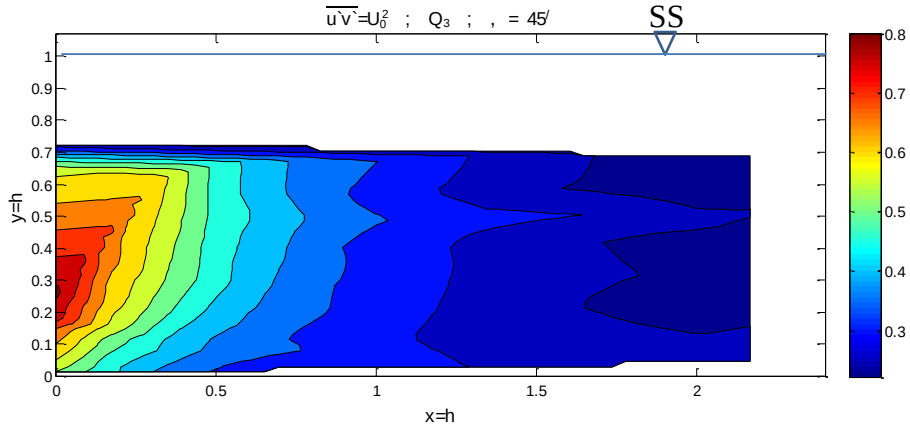
Şekil 4.53 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho \overline{u'w'}$).



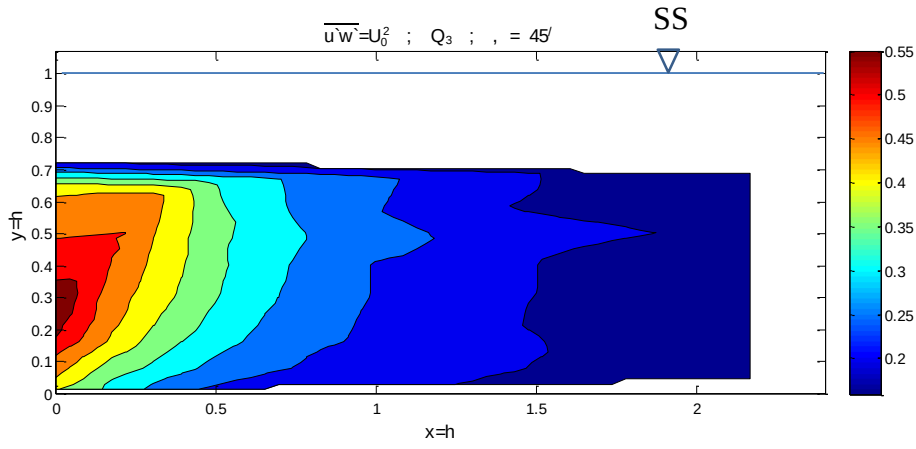
Şekil 4.54 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho \overline{u'v'}$).



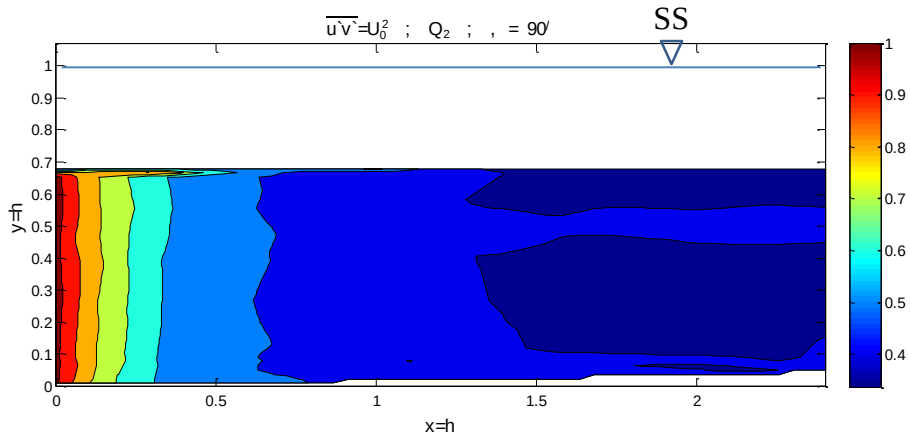
Şekil 4.55 : $Q_3 = 56.8$ l/s debisinde $\alpha = 60^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri ($-\rho \overline{u'w'}$).



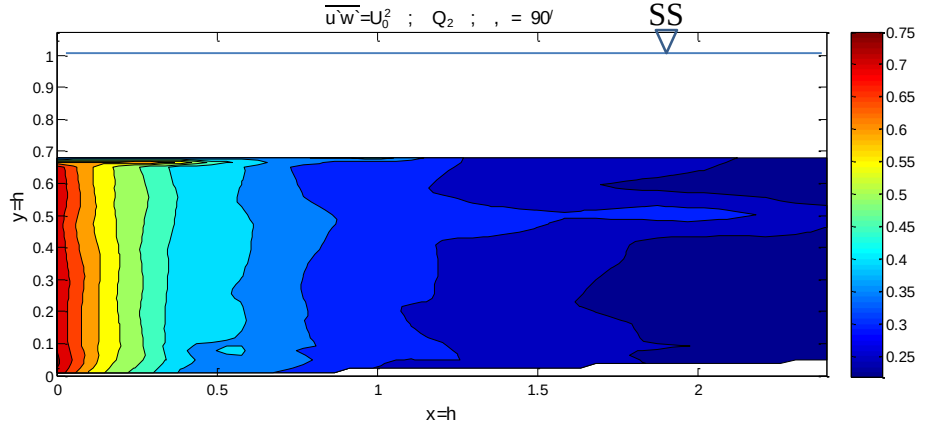
Şekil 4.56 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'v'$).



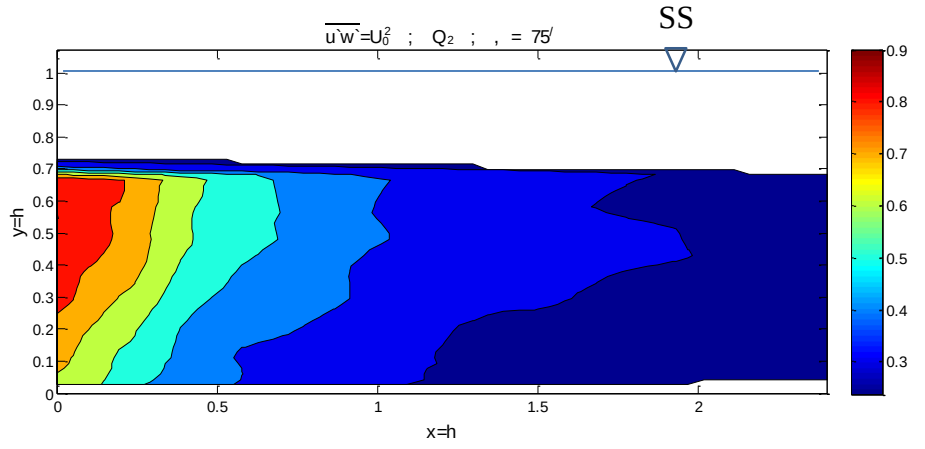
Şekil 4.57 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'w'$).



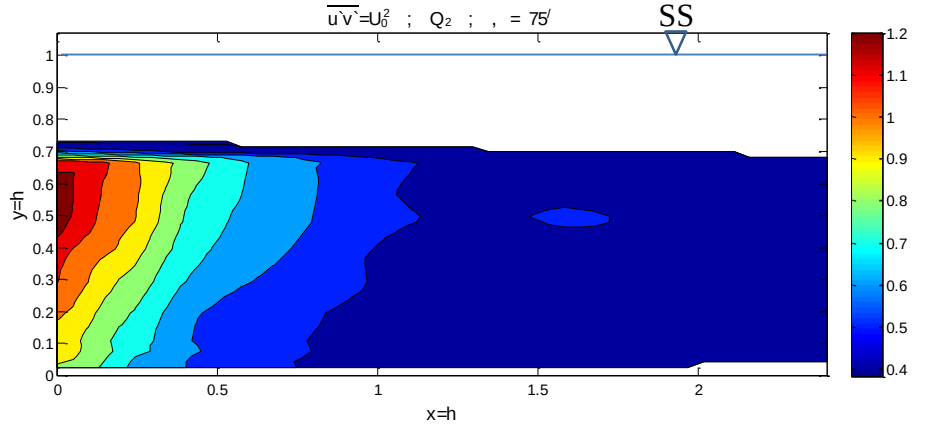
Şekil 4.58 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho u'v'$).



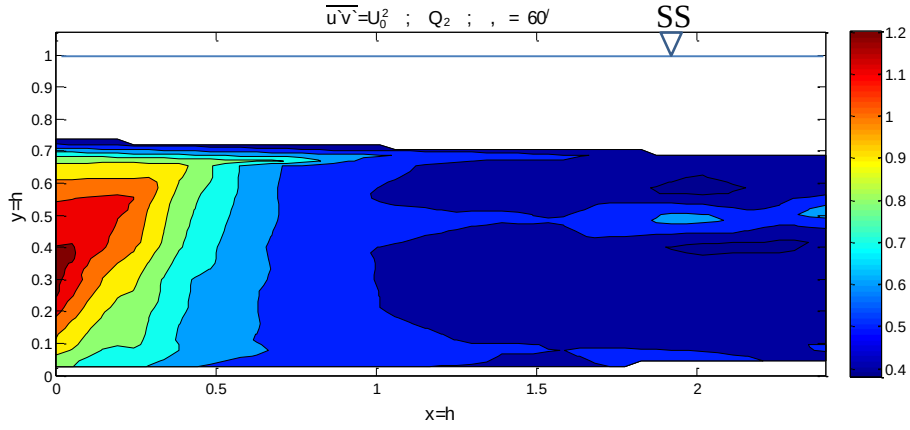
Şekil 4.59 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).



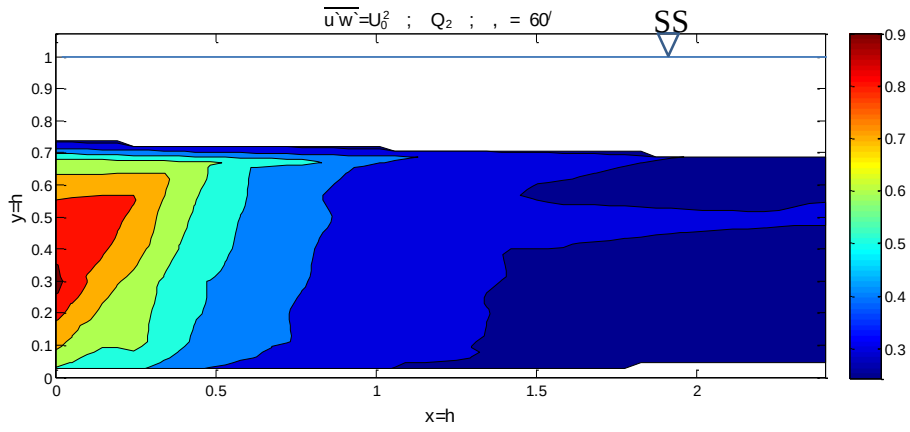
Şekil 4.60 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



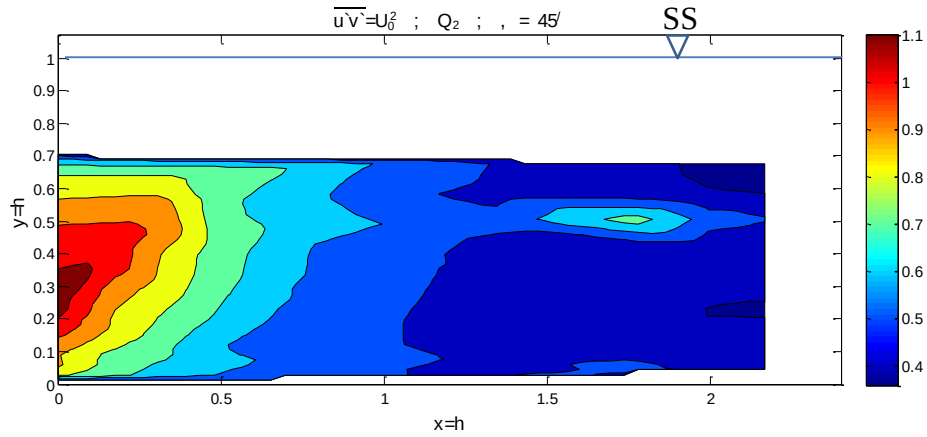
Şekil 4.61 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).



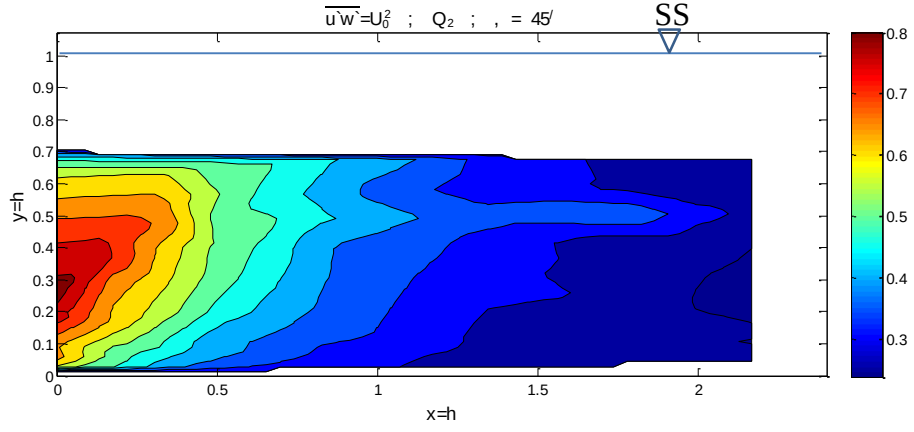
Şekil 4.62 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



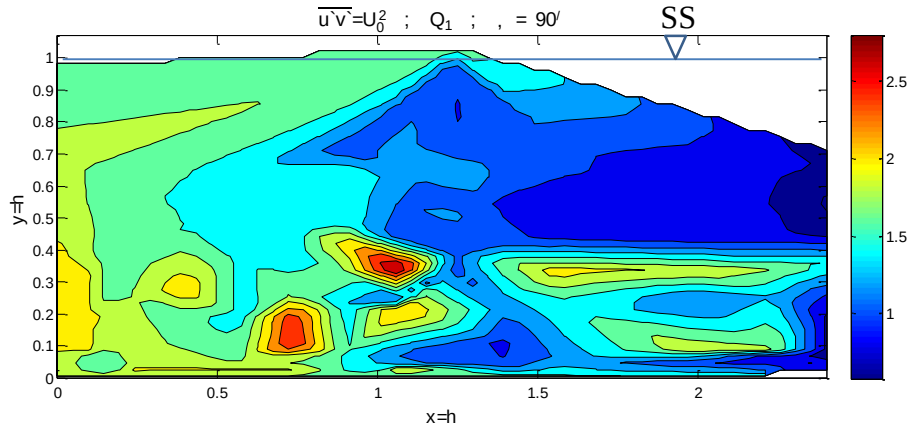
Şekil 4.63 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).



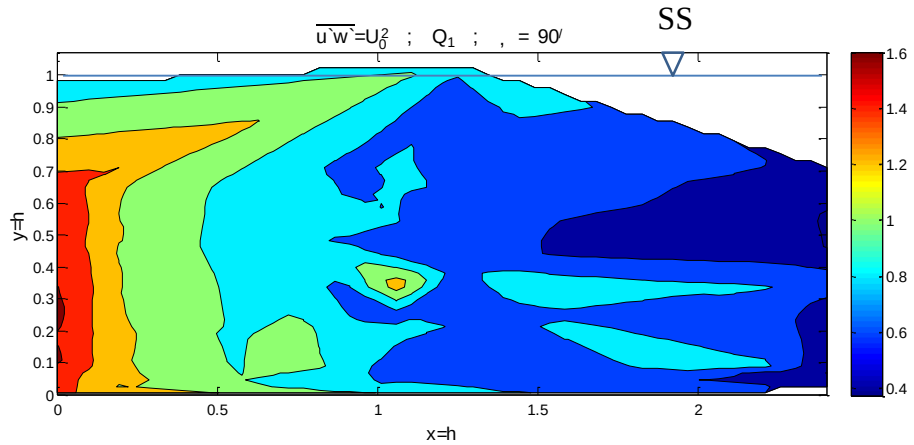
Şekil 4.64 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



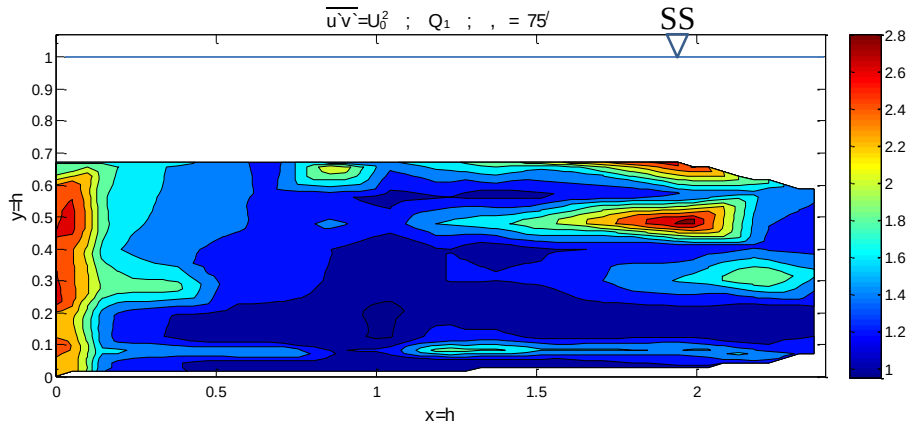
Şekil 4.65 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).



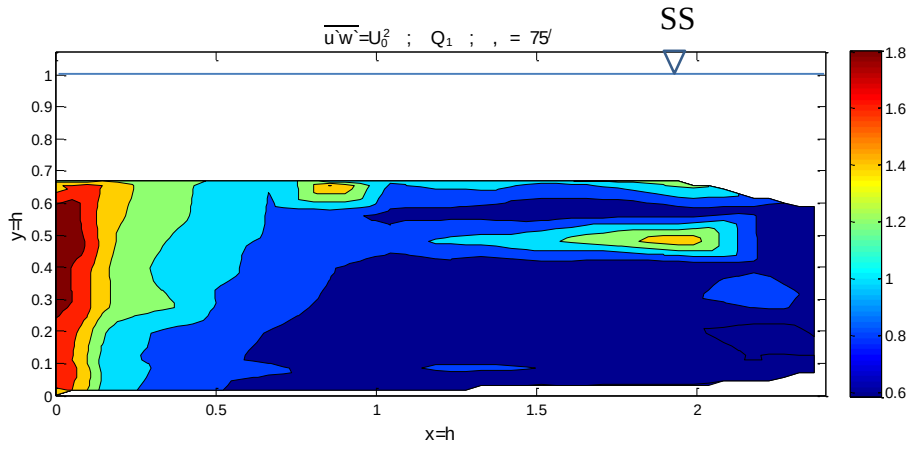
Şekil 4.66 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



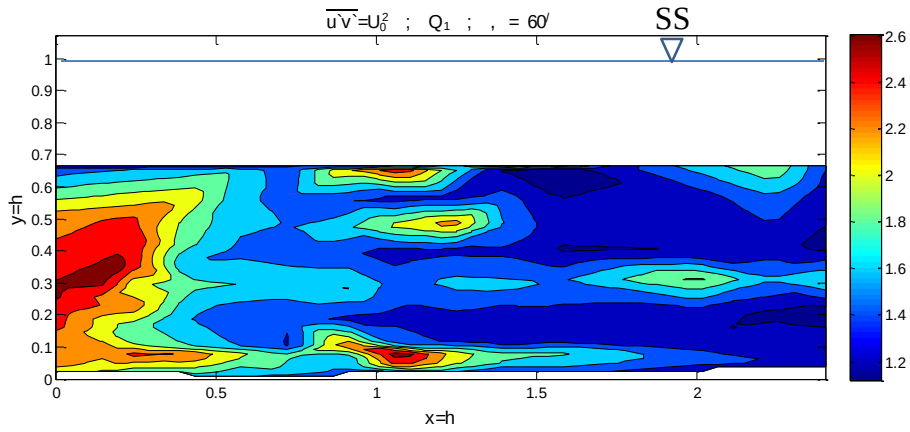
Şekil 4.67 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).



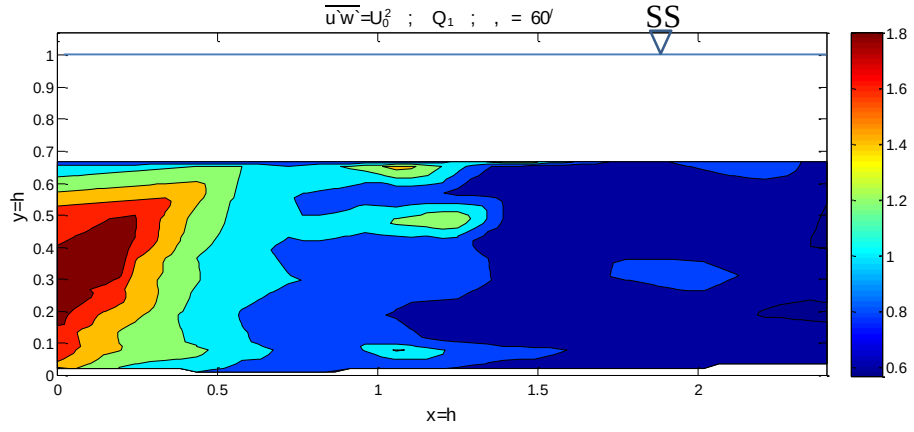
Şekil 4.68 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



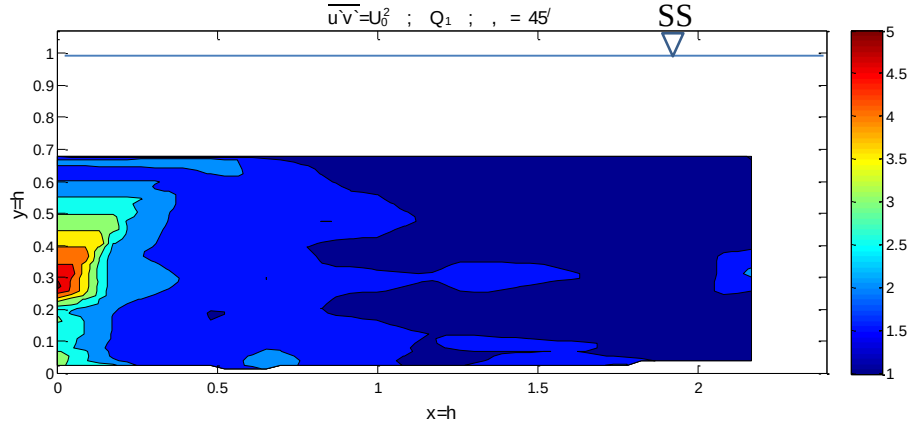
Şekil 4.69 : $Q_1=20.5$ l/s s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).



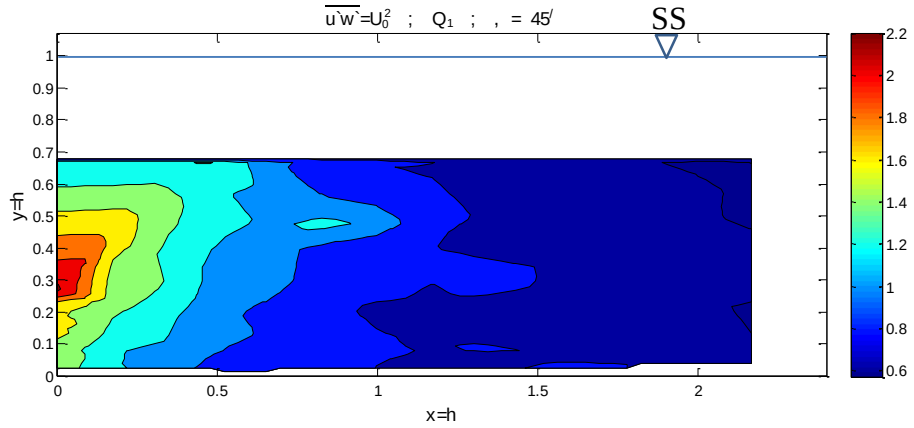
Şekil 4.70 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



Şekil 4.71 : $Q_1=20.5$ l/s s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).



Şekil 4.72 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için x-y düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'v'}$).



Şekil 4.73 : $Q_1=20.5$ l/s s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için x-z düzleminde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri($-\rho \overline{u'w'}$).

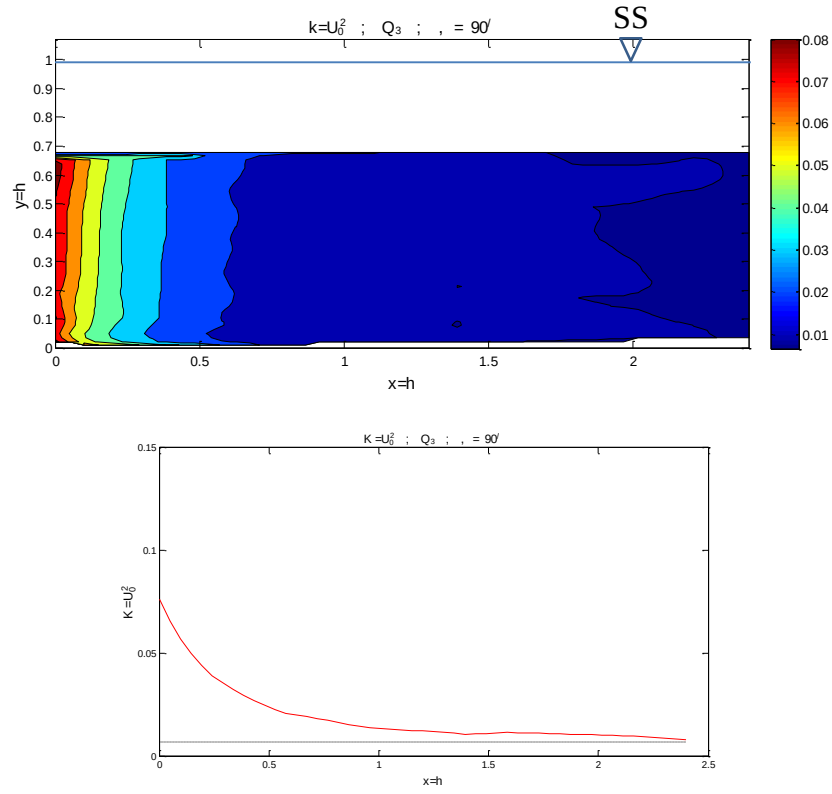
4.4 Türbülans Kinetik Enerjisi

Türbülans kinetik enerjisi hızın çalkantı bileşenlerinin kinetik enerjilerinin toplamıdır. Türbülans kinetik enerjisi akımın türbülans büyüklüğünü ifade etmek için kullanılan terimdir. Dik silindir durumunda türbülans kinetik enerji dağılımının kesit boyunca üniform olduğu gözlemlenmiştir. Silindirlerin eğiklikleri arttıkça türbülans kinetik enerjisinin kanal tabanında azalarak yüzeyde yoğunlaştığı görülmektedir.

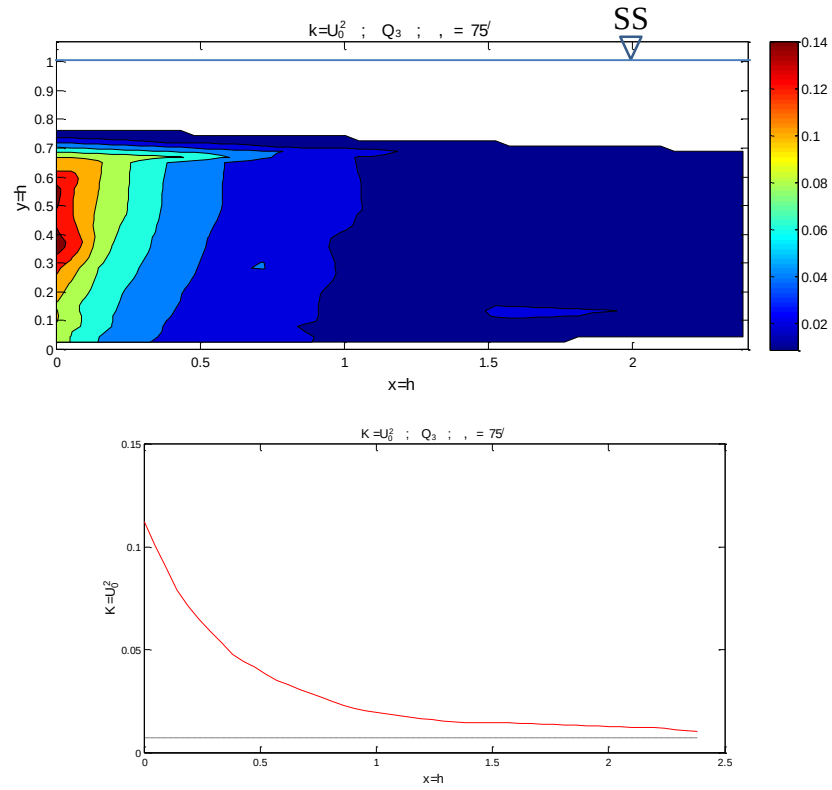
Q_3 debisinde türbülans kinetik enerjisinin dağılımı Şekil 4.74, Şekil 4.75, Şekil 4.76 ve Şekil 4.77’de gösterilmiştir. Bütün eğim durumlarında türbülans kinetik enerjilerinin maksimum değerleri birbirine oldukça yakındır. Bu durum diğer debilerde de söz konusu olduğu için, silindirlerin taban ile yaptığı açılarla, akımın türbülans kinetik enerjisinin büyüklüğü arasında ilk bakışta doğrudan bir ilişki ortaya çıkmamıştır. Fakat silindirlerin tabanla yaptığı açı, türbülans kinetik enerjisinin grup silindirlerin mansabındaki dağılımı açısından belirleyici bir unsurdur. Silindirlerin eğiklikleri arttıkça eş türbülans kinetik enerjisi çizgilerinde de eğilmeler gözlemlenmektedir. Buna karşılık enerjinin mertebesinde büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir.

Deneylerde kullanılan en düşük debi olan Q_1 debisinde düşük hızdan kaynaklı olarak ADV okumalarında hatalar görülmektedir. Bu nedenle Şekil 4.82, Şekil 4.83, Şekil 4.84 ve Şekil 4.85’de sunulan Q_1 debisi için türbülans kinetik enerji dağılımları diğer iki debi değerinde verilen dağılımlar kadar net değildir.

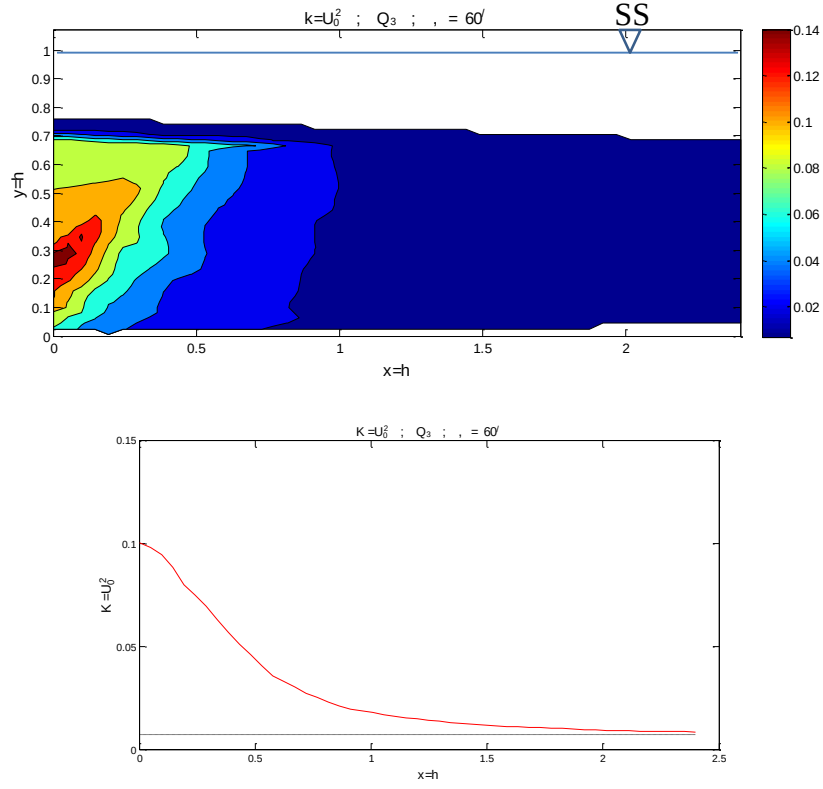
Türbülans kinetik enerjisinin alansal dağılımının yanında kesitsel ortalama türbülans kinetik enerjisinin (K) mesafeyle değişimi de sunulmuş, bu şekilde silindirler tarafından üretilen türbülansın silindir grubunun mansabında nasıl sönümlendiği de ortaya konmuştur. Bu şekillerdeki kesikli çizgi, kesitsel ortalama TKE’nin silindirlerin bulunmadığı (bozulmamış) akım durumundaki seviyesini göstermektedir. Bu grafiklerde de farklı silindir eğimleri için ortaya çıkan türbülans kinetik enerjisi değerlerinde bazı farklılıklar gözlemlenmektedir. Silindirler 75° eğime geldiğinde, 90° durumuna göre türbülans kinetik enerjisinde küçük bir miktar artma görülmekte; ancak silindirler eğildikçe türbülans kinetik enerjisi azalmaktadır. Nitekim 45° durumunda diğer açılara nispetle en küçük türbülans kinetik enerjisi ortaya çıkmaktadır.



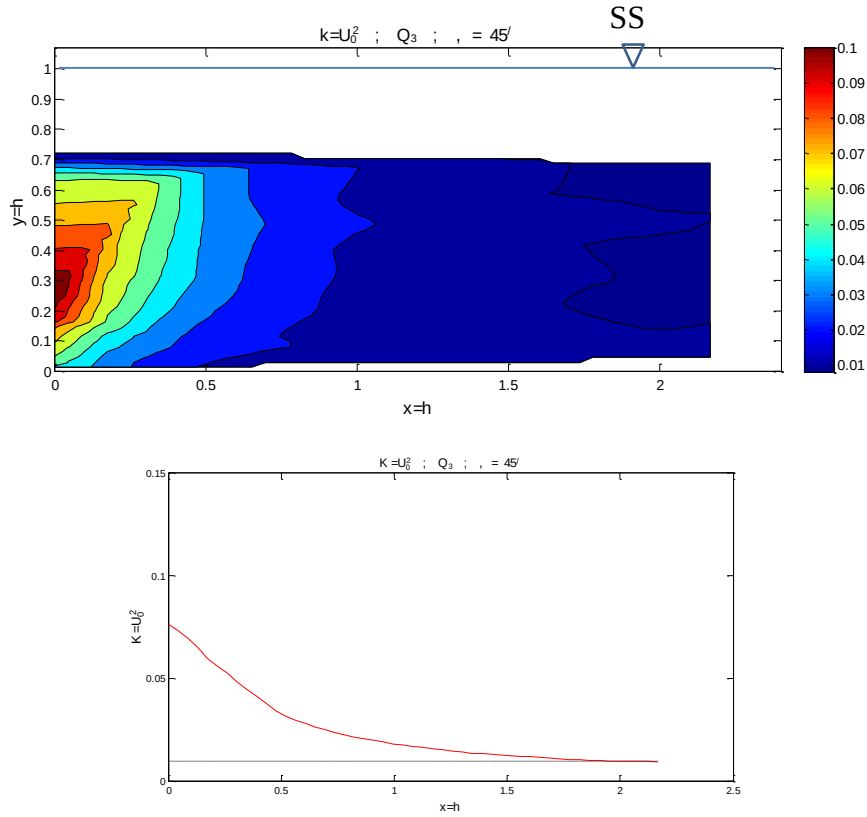
Şekil 4.74 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=90^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



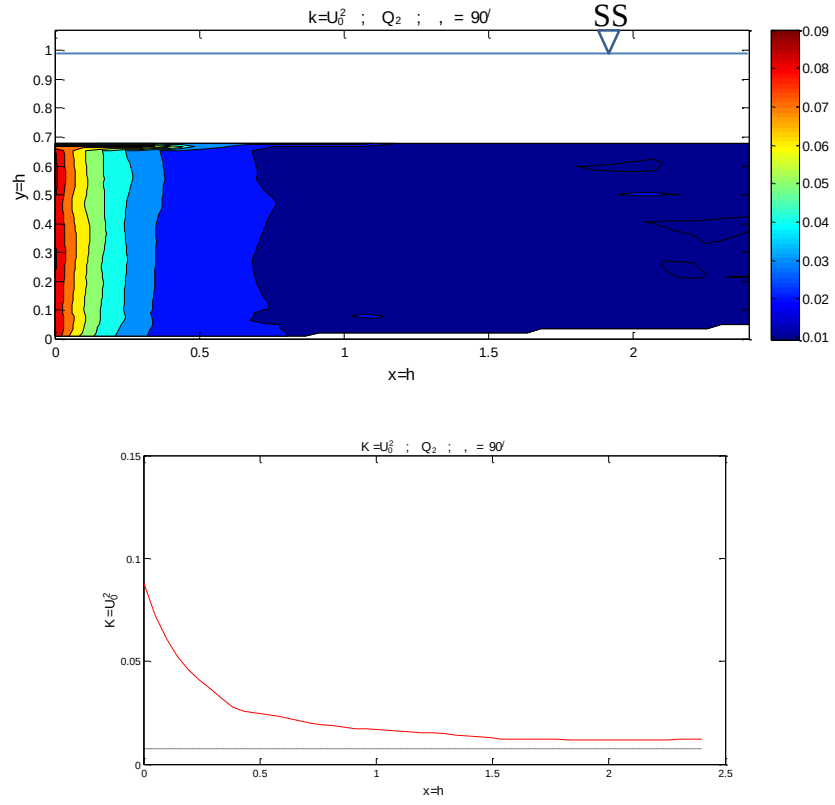
Şekil 4.75 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=75^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



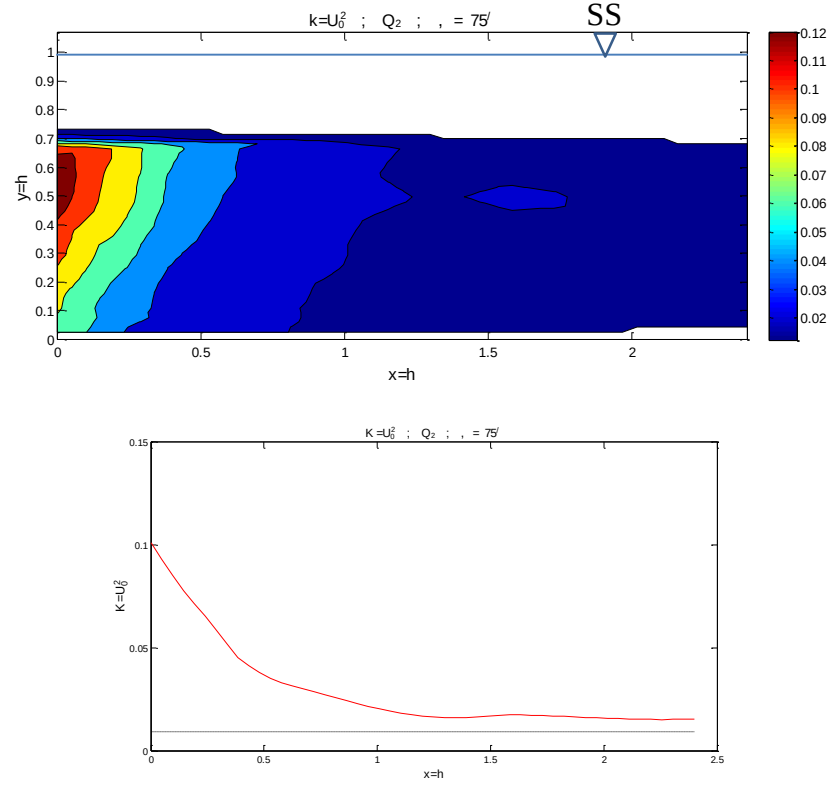
Şekil 4.76 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



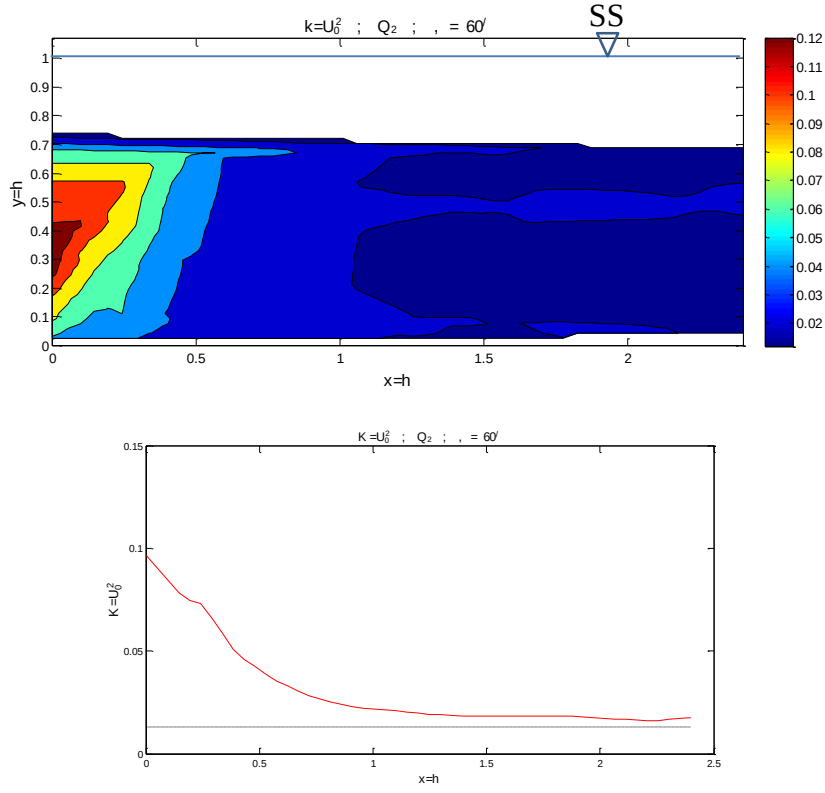
Şekil 4.77 : $Q_3=56.8$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



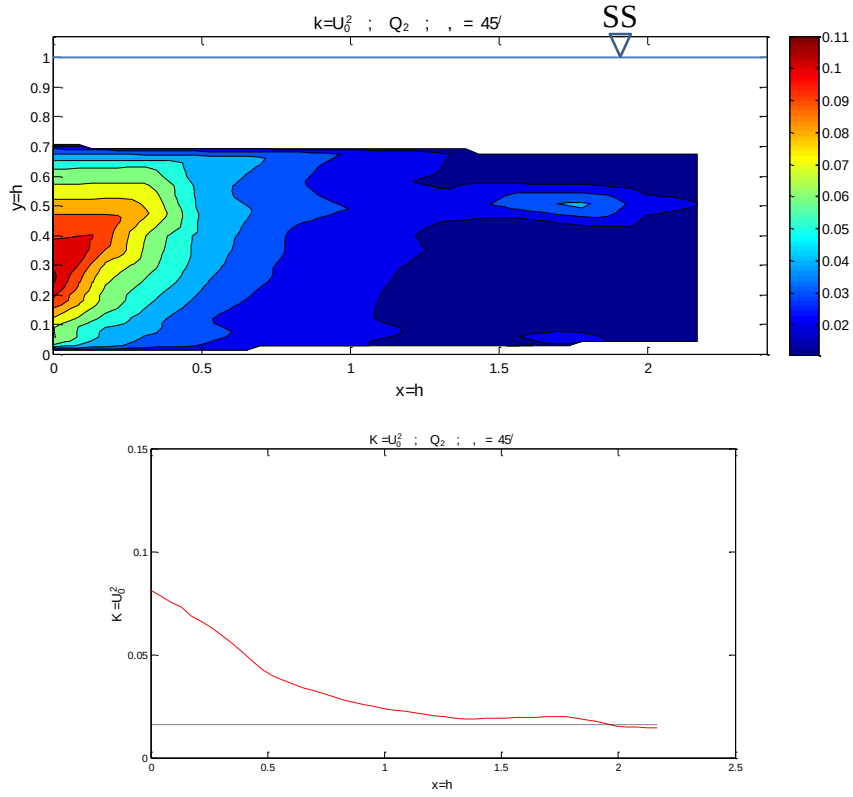
Şekil 4.78 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=90^0$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



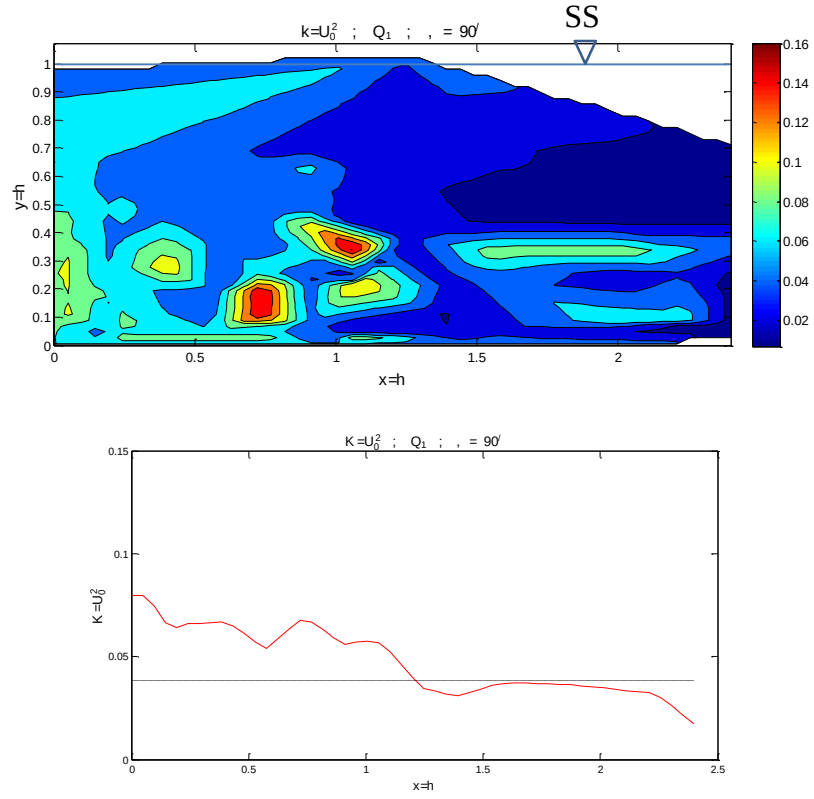
Şekil 4.79 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=75^0$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



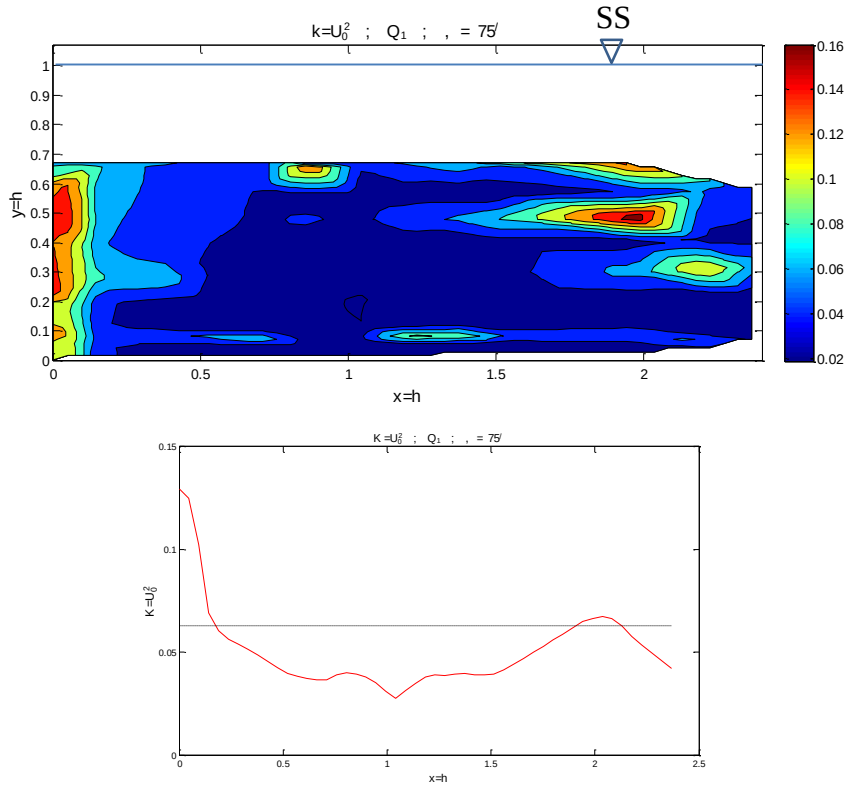
Şekil 4.80 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



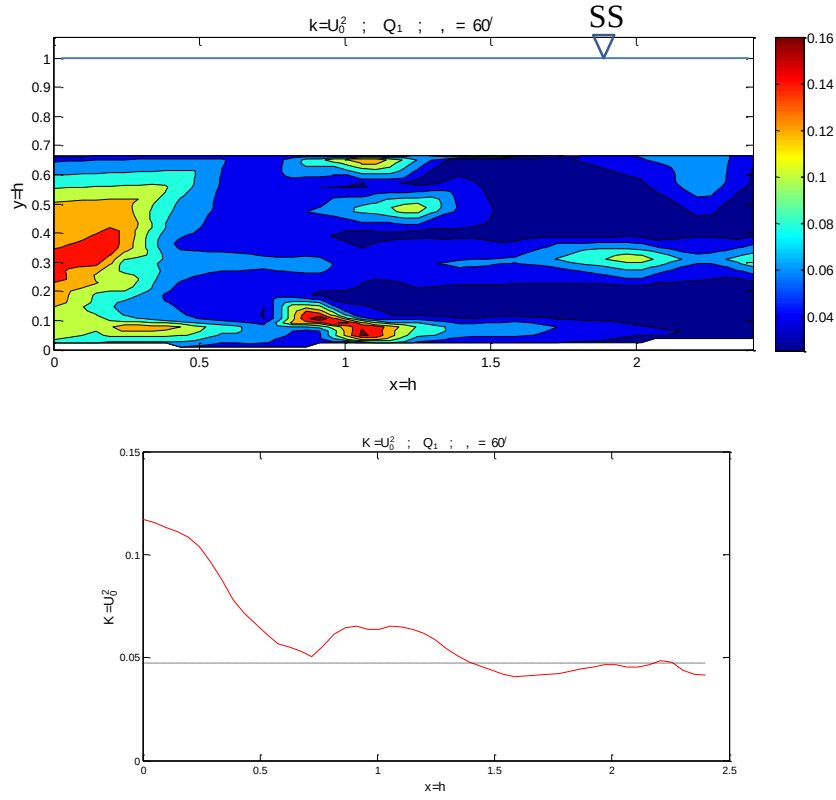
Şekil 4.81 : $Q_2=40.83$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



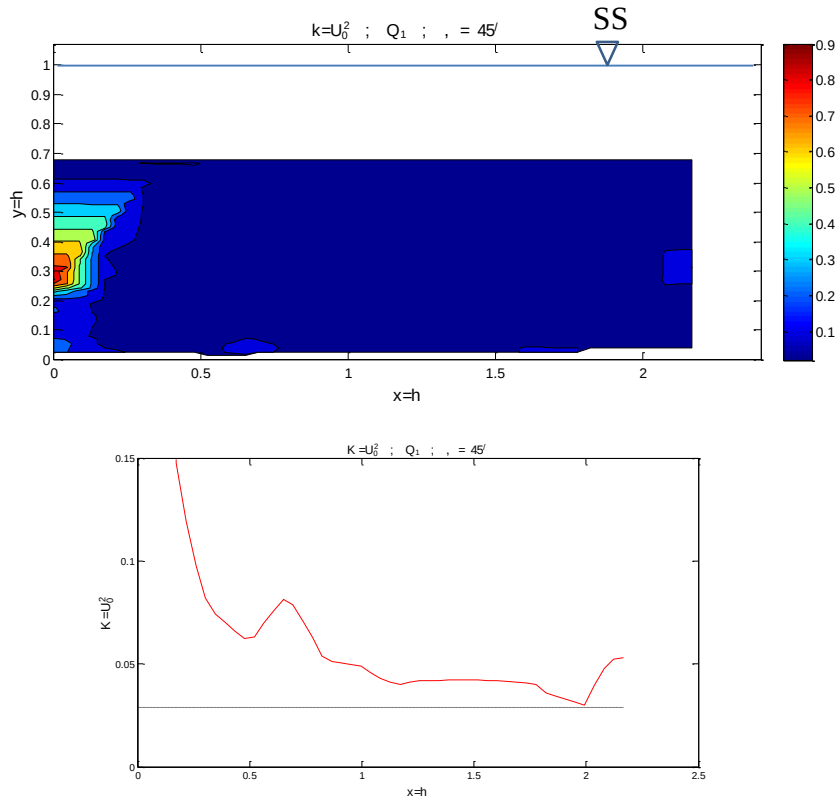
Şekil 4.82 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 90^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



Şekil 4.83 : $Q_1 = 20.5$ l/s debisinde $\alpha = 75^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



Şekil 4.84 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=60^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.



Şekil 4.85 : $Q_1=20.5$ l/s debisinde $\alpha=45^\circ$ silindir durumu için türbülans kinetik enerjisi dağılımı ve mesafeye göre değişimi.

4.5 Enerji Spektrumları

Türbülanslı akımlarda enerji transferi büyük çevrintilerin dağılıp küçülmesiyle gerçekleşir. Stabil bir yapıya sahip olmayan büyük çevrintiler daha stabil bir yapıya ulaşmak için dağılırlar. Dağılan büyük çevrintilerin oluşturduğu daha küçük çevrintiler küçülmeye devam eder. Bu bölgeye atalet aralığı (inertial subrange) adı verilir. Bu bölgede enerji spektrumu viskoziteden bağımsızdır. Enerji spektrumu

$$E(k) = v^2 \eta \theta(\eta k) \quad (4.1)$$

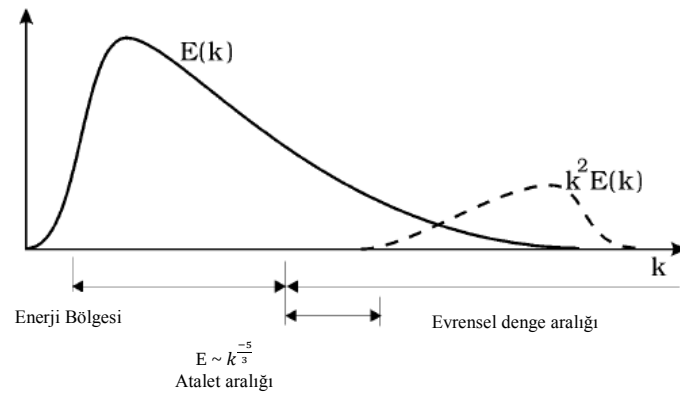
eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikte v karakteristik hızı, η karakteristik uzunluk, θ ise (ηk) 'nin boyutsuz fonksiyonunu ifade eder. Atalet aralığında enerji spektrumu viskoziteden bağımsız olduğu için denklem 4.1

$$\theta(\eta k) = \text{sabit} \times (\eta k)^{-\frac{5}{3}} \quad (4.2)$$

halini alır. Denklem 4.2 denklem 4.1'de yerine konulursa $-5/3$ kanunu olarak bilinen aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$E(k) = \text{Sabit} \times \varepsilon^{\frac{2}{3}} k^{-\frac{5}{3}} \quad (4.3)$$

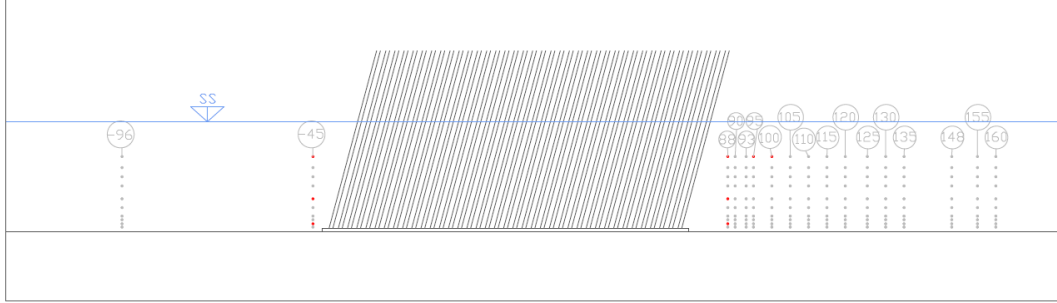
Çevrintiler atalet aralığında akışkanın viskozitesi ile sönümlenecek ölçeğe gelene kadar küçülmeye devam eder, bu noktaya ulaşıldığında ise enerji üretimi ile sönümlenmesi arasında denge durumuna ulaşılır (Şekil 4.86).



Şekil 4.86 : Enerji spektrumunun genel gösterimi (Sumer, 2013).

Q_1 , Q_2 ve Q_3 debileri için, silindir grubunun çıkışında spektrum eğrileri elde edilmiştir. Spektrum eğrileri tabandan 2, 10 ve 20 cm yukarısı için elde edilmiştir. Eğrilerin elde

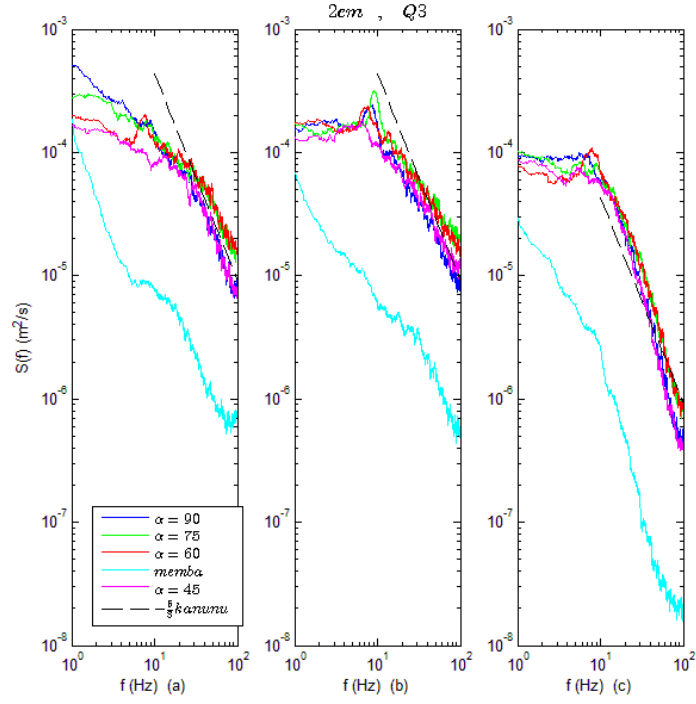
edildiği noktalar Şekil 4.87’de kırmızı renk ile belirtilmiştir. Şekilde aynı zamanda ADV ile ölçüm alınan kesitlerin silindirlerin başlangıç noktasına olan uzaklıkları gösterilmiştir.



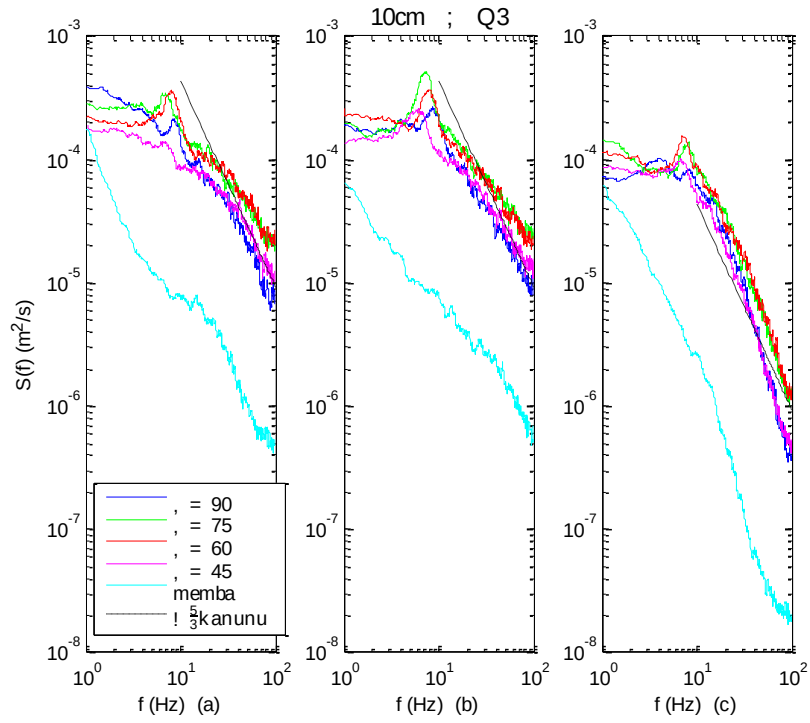
Şekil 4.87 : Spektrum grafiklerinin elde edildiği noktalar(kırmızı ile belitilen).

Q_3 debisinde farklı açılarda konumlandırılmış silindirlerin enerji spektrumları incelendiği zaman akım doğrultusundaki hız bileşeninin büyük ölçeklerde daha yüksek enerji seviyesine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.88 (a)). Büyük ölçeklerde silindirlerin eğiklikleri arttıkça enerji yoğunluğunun azaldığı, küçük ölçeklerde ise enerji yoğunluklarının birbirine yakın bir şekilde takip ettiği ve $\alpha=60^\circ$ ve $\alpha=75^\circ$ açı durumlarında enerji yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Büyük ölçeklerdeki eğikliğin artmasıyla azalan enerji yoğunluğuna, silindirlerin daha hidrodinamik forma ulaşmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.88 (b), Şekil 4.89 (b) ve Şekil 4.90 (b) incelendiğinde 10 Hz frekansında enerji yoğunluğunun pik yaptığı gözlemlenmiştir. Bu enerji yoğunluğunun sebebinin x-y düzleminde gerçekleşen çevri kopmaları ve çevri kopmalarının silindirler üzerinde oluşturduğu titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

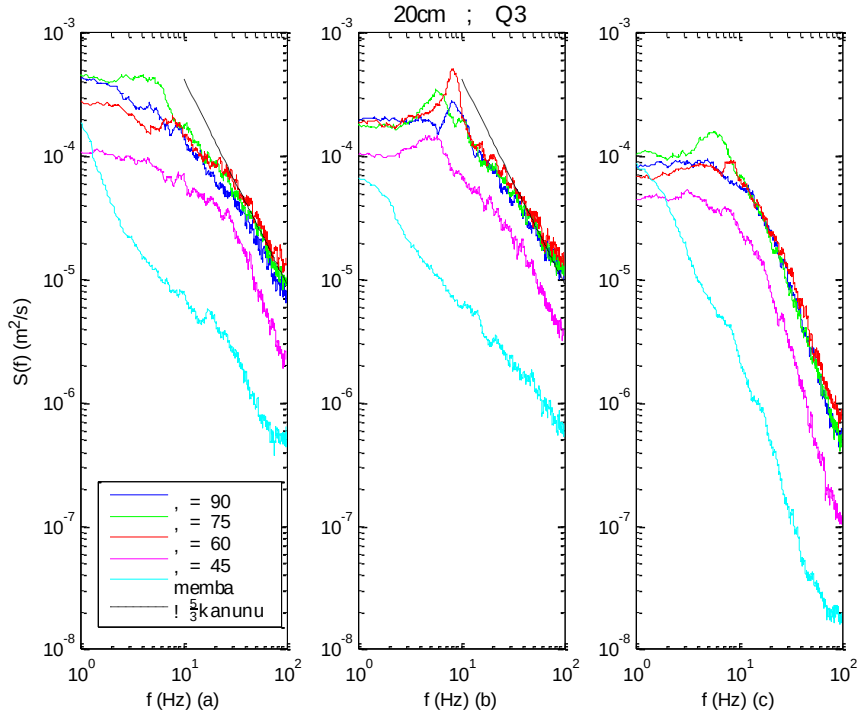
Şekil 4.90 (a) ve (c)’de maksimum debi değerinde S_{uu} ve S_{ww} grafiklerinde silindirlerin hemen çıkışında $\alpha=45^\circ$ durumundaki enerji yoğunluğunun membada ölçülenden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma silindirlerin hemen çıkışında türbülansın tam olarak gelişmemesinin sebep olduğu düşünülmektedir.



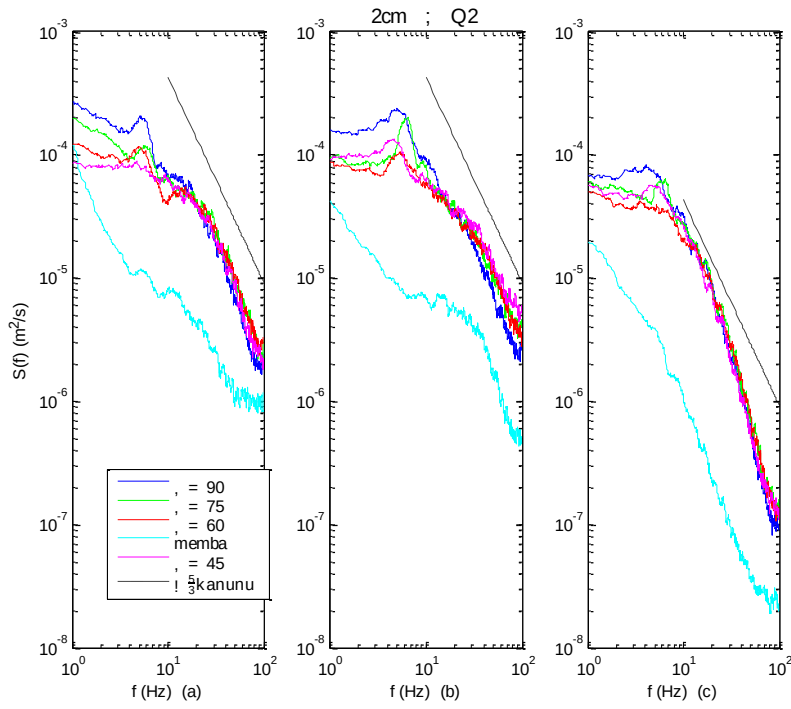
Şekil 4.88 : Q_3 debisinde kanal tabanından 2 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.



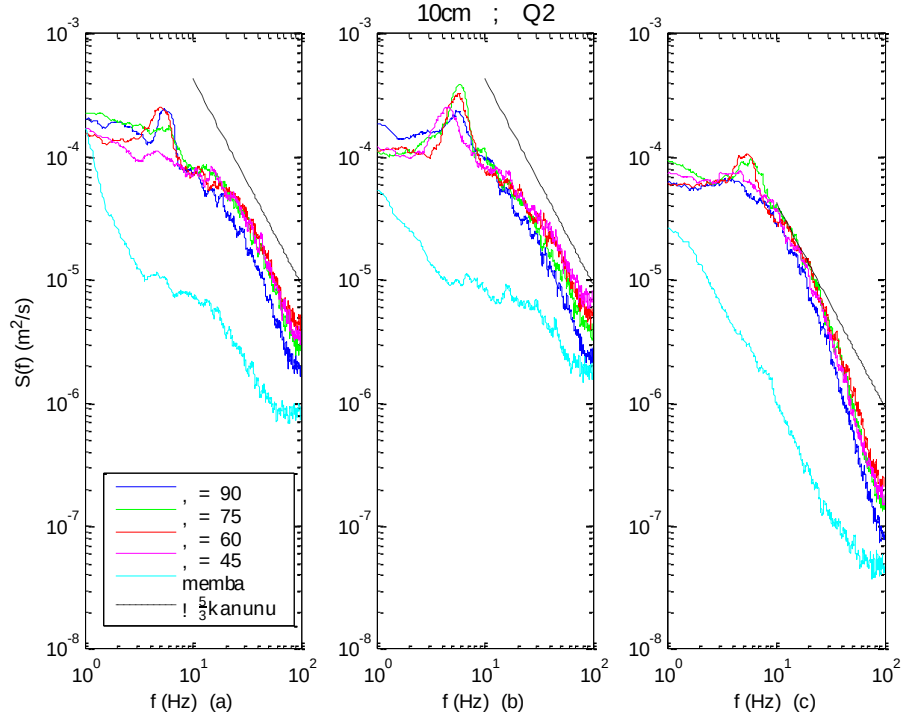
Şekil 4.89 : Q_3 debisinde kanal tabanından 10 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.



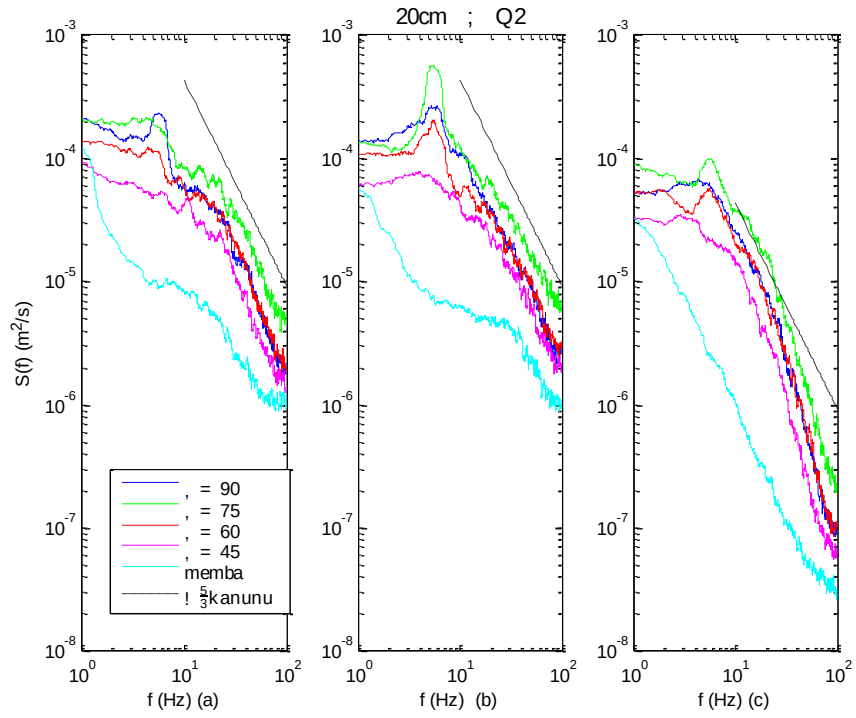
Şekil 4.90 : Q_3 debisinde kanal tabanından 20 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.



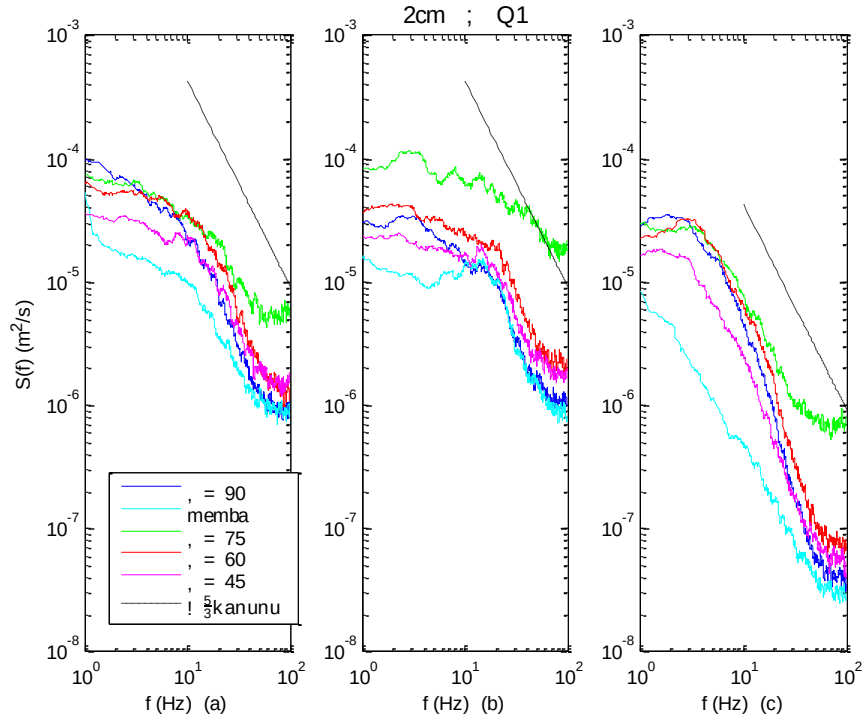
Şekil 4.91 : Q_2 debisinde kanal tabanından 2 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.



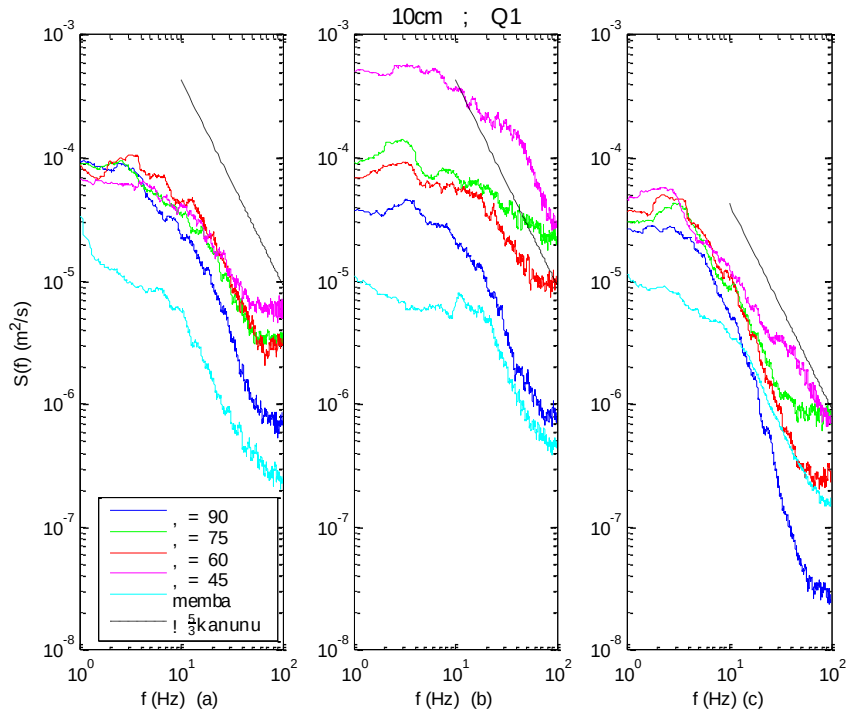
Şekil 4.92 : Q_2 debisinde kanal tabanından 10 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.



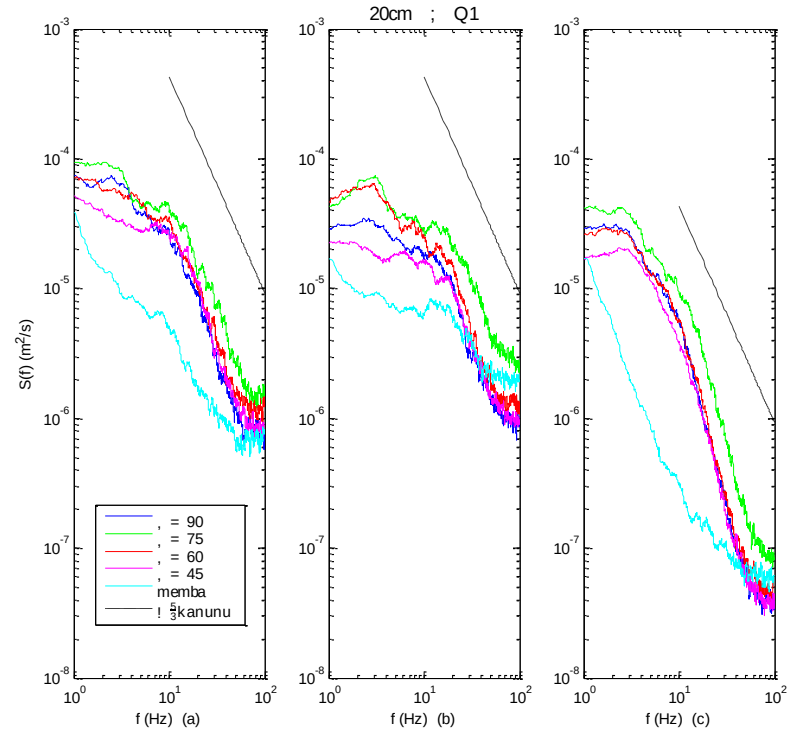
Şekil 4.93 : Q_2 debisinde kanal tabanından 20 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.



Şekil 4.94 : Q_1 debisinde kanal tabanından 2 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.



Şekil 4.95 : Q_1 debisinde kanal tabanından 10 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.



Şekil 4.96 : Q_1 debisinde kanal tabanından 20 cm uzaklıkta türbülans enerji spektrumu : (a)Suu. (b)Sv. (c) Sw.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Eğilmenin Etkisi

Bu çalışmada grup eğik silindirlerin mansabında akım ve türbülans karakteristiklerini incelemek amacıyla $Q_1=20.5$ l/s, $Q_2=40.83$ l/s ve $Q_3=56.8$ l/s olmak üzere 3 farklı debide, ve silindirlerin kanal tabanı ile 90° (dik silindir durumu), 75° , 45° ve 60° olmak üzere 4 farklı açı yaptığı toplam 12 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda silindirlerin mansabında zamansal ortalama hız dağılımı, Reynolds normal ve kayma gerilmeleri, türbülans kinetik enerji dağılımları ve enerji spektrumları elde edilmiştir.

Akım yönünde zamansal ortalama hızların dağılım paterninin debi ile net bir bağılılığı gözlenmemiştir. Zamansal ortalama hız dağılımının daha çok silindirlerin eğiklik durumlarına göre değiştiği gözlemlenmiştir. Silindirlerin kanal tabanı ile yaptığı açı 90° ve 75° derece iken kanal tabanında zamansal ortalama hızların düşük olduğu, yüzeye yakın bölgede ise zamansal ortalama hızın yüksek olduğu gözlenmiştir. Silindirlerin kanal tabanı ile yaptığı açı 45° ve 60° olduğunda ise kesitte zamansal ortalama hız dağılımının değişerek kanal tabanında arttığı, yüzeye yakın bölgede azaldığı görülmüştür.

Düşük debilerde akımdaki iz maddeleri azaldığından dolayı ADV cihazının topladığı verinin zaman serisinde sıçramalar olabilmektedir. Bu sebeple en düşük debi olan Q_1 debisinden elde edilen sonuçların diğer sonuçlar kadar net olmadığı görülmektedir.

Reynolds normal gerilmelerinin türbülans kinetik enerjisi'ne olan katkıları incelendiği zaman w' çalkantı hızının katkısının u' ve v' çalkantı hızlarının $1/4$ 'ü kadar olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin ise akım doğrultusundaki hız bileşeni olan u' 'nin yanında çevrinti kopmalarından dolayı v' çalkantı hızının da oluşması olarak yorumlanmaktadır. Açık kanal akımında w' çalkantı hızının oluşması beklenmemektedir.

Grup silindirlerin eğikliği arttıkça Reynolds kayma gerilmelerinin azaldığı görülmektedir. bunun silindirin eğildikçe daha hidrodinamik forma ulaşarak çevri kopmalarının azalmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak kanal tabanına paralel düzlemdeki kayma gerilmelerinin $(-\rho \overline{u'v'})$ her açıda dik düzlemdeki

kayma gerilmelerinden ($-\rho \overline{u'w'}$) yüksek olduğu görülmüştür. Bunun x-y düzleminde gerçekleşen çevri kopmalarının sonucu olarak oluştuğu düşünülmektedir.

Türbülans kinetik enerjisinin dağılımı incelendiğinde, TKE'in büyüklüğünün aynı debide grup silindirlerin eğikliğinden bağımsız olduğu görülmektedir. Silindirlerin eğikliklerinin değişimi ise TKE'nin paterninde değişikliğe yol açmaktadır. Dik silindir durumunda TKE'nin dağılımı uniform iken silindirlerin eğilmesiyle TKE profili de silindirlere paralel olacak şekilde eğilmektedir.

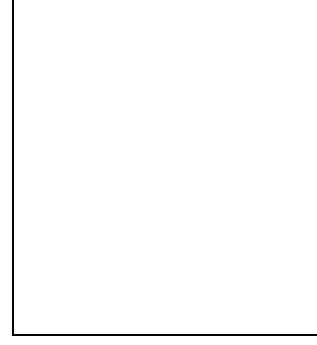
Katı madde hareketi açısından sonuçlar incelendiğinde, silindir grubu tarafından üretilen TKE mansapta gitgide azalacağı için akımın katı madde taşıma kapasitesi de hızlı bir biçimde düşecektir. Bu düşüşün hızının silindirler daha eğik hale geldikçe azalması beklenmektedir. Ayrıca türbülans kinetik enerjisinin dağılımı incelendiğinde taban kayma gerilmesinde olduğu gibi silindirlerin eğikliği arttıkça tabanda TKE değeri nispeten düşerek yüzeye yakın bölgede yükselmektedir. Bunun sonucunda silindirlerin mansabında yaklaşık 2-2.5 h mesafe sonra katı madde birikimi bekleneceği söylenebilir. Silindirler eğildikçe bu mesafenin de artması beklenecektir. Nitekim bu bulgu ile paralel olarak (Yagci ve diğ., 2015) tarafından yürütülen oldukça yeni bir çalışmada eğik bitkilerin mansabında daha uzun bir birikme hattı ortaya çıktığı saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- Batchelor, G. K.** (1967). *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press.
- Bloor, M. S.** (1964). The transition to turbulence in the wake of a circular cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, 290-304.
- Bos, A. R., Bouma, T. J., Kort, G. L., & van Katwijk, M. M.** (2007). Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: Sediment accretion and modification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74, 344-348.
- Clarke, S. J., & Wharton, G.** (2001). Sediment nutrient characteristics and aquatic macrotypes in lowland English rivers. *Scientific Total Environment*, 266, 103-112.
- Corenblit, D., Tabacchi, E., Steiger, J., & Gurnell, A.** (2007). Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth Sci. Rev.*, 84, 56-86.
- Gurnell, A., Petts, G., Hannah, D., Smith, B., Edwards, P., Kollmann, J., . . . Tockner, K.** (2001). Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Dume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31-62.
- Hodoğlu, C.** (2013). *Tekil Bitki Elemanları Etrafında Yerel Oyulma Desenleri ve Civarındaki Akım Kinematiği*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Li, R., & Shen, H.** (1973). Effect of tall vegetation on flow and sediment. *Journal of Hydraulic Division*, 793-814.
- Liu, D., Diplas, P., Hodges, C. C., & Fairbanks, J. D.** (2010). Hydrodynamics of flow through double layer rigid vegetation. *Geomorphology*, 286-296.
- Nepf, H. M.** (1999). Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation. *Water Resources Research*, 479-489.
- Nortek AS.** (2004). Vectrino User Guide. Norveç.
- Ortiz, A. C., Ashton, A., & Nepf, H.** (2013). Mean and turbulent velocity fields near rigid and flexible plants and the implications for deposition. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, Vol. 118, 2585-2599.
- Sumer, B. M., & Fredsoe, J.** (2006). *Hydrodynamics Around Cylindrical Structures*. World Scientific.
- Sumer, B. M., & Fredsoe, v.** (2002). The Mechanics of Scour in the. *World Scientific*.
- Sumer, B. M., Chua, L. H., Cheng, N. S., & Fredsoe, J.** (2003). Influence of turbulence on bed load sediment transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(8), 585-596.
- Sumer, M.** (2013). *Lecture Notes on Turbulence*. Denmark.

- T. Takemura, & Tanaka, N.** (2007). Flow structures and drag characteristics of a colony-type emergent roughness model mounted on a flat plate in uniform flow. *Fluid Dynamics Research*, 694-710.
- Tanaka, N., & Yagisawa, J.** (2010). Flow structures and sedimentation characteristics around clump-type vegetation. *Journal of Hydro-environment Research*, 15-25.
- Williamson, C. H.** (1989). Oblique and parallel modes of vortex shedding in the wake of a circular at low Reynolds number. *Journal of Fluid Mechanics*, 579-627.
- Yagci, O., Celik, F., Kitsikoudis, V., Kirca, V. S., Hodoglu, C., Valyrakis, M., . . . Kaya, S.** (2015). Scour patterns around individual vegetation elements. *Advances in Water Resources*, under review.
- Yagci, O., Tschiesche, U., & Kabdasli, M.** (2010). The role of different forms of natural riparian vegetation on turbulence and kinetic energy characteristics. *Advances in Water Resources* 33, 601-614.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Eren Tandoğan
Doğum Yeri ve Tarihi : Bingöl / 20.04.1990
E-Posta : erentandogan@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh.
- **Yükseklisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **Yapı Akademisi Mühendislik – Statik Hesap Müh. 2013- 2014**
- **Körfez Deniz İnşaat – Teknik Ofis Müh. 2014-**
- **Borusan Prosteel Çelik Yapılar Tasarım Yarışması 2013 – 3.'lük**