

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DENİZ TABANINA YERLEŞTİRİLEN POLİETİLEN BORUNUN
ÜZERİNDEKİ DALGA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Rıdvan Fırat BAYHAN**

Anabilim Dalı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Programı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DENİZ TABANINA YERLEŞTİRİLEN POLİETİLEN BORUNUN
ÜZERİNDEKİ DALGA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Rıdvan Fırat BAYHAN
(517061002)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şevket ÇOKGÖR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. M.Emin SAVCI (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Barış BARLAS(İTÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında dalga etkisi altındaki boruya etki eden kayma gerilmesi,basınç kuvvetleri ve sapmalar dört farklı deney koşulu için üç boyutlu simüle edilmiştir.

Tez çalışmam boyunca bendenengin bilgi birikimini, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Şevket ÇOKGÖR'e teşekkürlerimi sunarım.

Şimdiye kadar olduğu gibi bu çalışmada da bana sonsuz destek olan aileme ve Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI'ya, Sn Özgün GÜLER'e, Gemi İnş. Müh. Erhan ŞENTÜRK'e ve Araştırma görevlisi Ebru ERİŞ'e çalışmalarım sırasındaki yardımları ve gösterdikleri sabır için teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık, 2009

Rıdvan Fırat BAYHAN
Gemi İnşaatı Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. SİLİNDİRİN ÇEVRESİNDEKİ KARARLI AKIM.....	3
2.1 Düzgün Dairesel Silindir Çevresindeki Akım Rejimleri.....	3
2.2 Çevri Kopması.....	7
2.2.1 Çevri kopmasının mekanizması	7
2.2.2 Çevri kopma frekansı	10
2.2.3 Yüzey pürüzlülüğünün etkisi	12
2.2.4 Şeklin etkisi.....	13
2.2.5 Türbülansın etkisi.....	13
2.2.6 Akımdaki kaymanın etkisi	14
2.2.7 Tabana yakınlığın etkisi	15
3. SALINIMLI AKIŞLARDAKİ SİLİNDİRİN ETRAFINDAKİ AKIM.....	19
3.1 KC Sayısının Fonksiyonu Olarak Akım Rejimleri	20
3.2 Çevri Kopması Rejimleri	23
3.2.1 $7 < KC < 15$ Tek çevri çifti rejimi	23
3.2.2 $15 < KC < 24$ Çift çevri rejimi ve daha büyük KC rejimleri	25
3.3 Reynold Sayısının Akım Rejimleri Üzerindeki Etkisi	27
3.4 Tabana Yakınlığın Akım Rejimi Üzerindeki Etkisi	27
3.4.1 Akım rejimleri.....	29
3.4.1.1 $4 < KC < 7$ rejimi	29
3.4.1.2 $7 < KC < 15$ rejimi	29
3.4.1.3 $15 < KC < 24$ rejimi	29
3.5 Çevri Kopması.....	31
4. SALINIMLI AKIŞLARDAKİ SİLİNDİRİN TİTREŞİMİ	33
4.1 Kesit Akımlı Titreşimler	33
4.1.1 Genel özellikler	34
4.1.2 Kütle oranı ve stabilite parametresinin etkisi.....	40
4.1.3 Reynold sayısının ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi.....	40
4.1.4 Düzensiz dalgalarda kesit akımlı titreşimler	42
4.2 Akım Doğrultulu Titreşimler	44
4.2.1 Akım doğrultulu salınımlı akış.....	45
4.2.2 Titreşimli silindir çevresindeki akım ve kuvvetler.....	47

5. DENİZALTI BORU HATTI TİTREŞİMLERİ	53
5.1 Dalgalı durumda kesit doğrultulu titreşim.....	54
5.1.1 Genlik ve frekans yanıtı	56
5.2 Boru Hatlarının Akım Doğrultulu Titreşimleri	57
6. STOKES DALGASI VE SİLİNDİR ÜZERİNE ETKİLERİ.....	59
6.1 Beşinci Derece Stokes dalgasının tanımı	59
6.1.1 250 mm silindire etki eden kuvvetler.....	63
6.1.2 250 mm boru kesitlerinde defleksiyonun analizinde kullanılan parametreler.....	67
6.1.3 250 mm silindir kesitlerinde 3 boyutlu noktasal sapmanın x eksenı boyunca analizi.....	69
6.1.3.1 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki alt uç bölgesi için x eksenı doğrultusunda noktasal sapma analizi ve karşılaştırılması	70
6.1.3.2 250 mm çaplı borunun sağ uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda noktasal sapma analizi.....	76
6.1.4 250 mm çaplı borunun xz düzleminde merkez kesidinin sapma analizi	79
6.1.5 250 mm çaplı borunun uç bölgelerindeki basınç değişimi.....	82
6.1.5.1 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki alt uç bölgesi için x eksenı doğrultusunda noktasal basınç analizi.....	83
6.1.5.2 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki sağ-sol uç noktaları için x eksenı doğrultusunda noktasal basınç analizi.....	88
6.1.5.3 250 mm borunun boyuna merkezindeki üst uç noktası için x eksenı doğrultusunda noktasal basınç analizi.....	93
6.1.5.4 250 mm çaplı borunun sol uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda noktasal basınç analizi.....	97
6.1.5.5 250 mm çaplı borunun boyuna merkez ve enine sağ uç bölgesi için z eksenı doğrultusunda noktasal basınç analizi.....	100
6.1.5.6 250 mm çaplı borunun xz düzleminde merkez kesidinin basınç analizi	103
6.1.6 250 mm çaplı borunun uç bölgelerindeki kayma gerilmesi analizi	105
6.1.6.1 250 mm çaplı borunun uç bölgelerindeki kayma gerilmesi analizi	105
6.1.6.2 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki sağ-sol uç bölgeleri için x eksenı doğrultusunda kayma gerilmesi analizi.....	109
6.1.6.3 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki üst uç bölgesi için x eksenı doğrultusunda kayma gerilmesi analizi	112
6.1.6.4 250 mm çaplı borunun sol uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda noktasal kayma gerilmesi analizi	115
6.1.6.5 250 mm çaplı borunun sağ uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda noktasal kayma gerilmesi analizi	117
6.1.6.6 250 mm çaplı borunun alt uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda kayma gerilmesi analizi.....	119
6.1.6.7 250 mm çaplı borunun merkez xz kesidinde kayma gerilmesi kayma gerilmesi analizi.....	121
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	123
KAYNAKLAR.....	125
EKLER.....	127
ÖZGEÇMİŞ.....	195

KISALTMALAR

GMRES	: Generalized Minimal Residual Solver
SOR	: Successive Over-Relaxation
İGDAŞ	: İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi Tic. A.Ş

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Sarpkaya ve Sumer'e ait titreşim ve salınım sayıları	38
Çizelge 4.2 : Sumer ve Fredsoe'nin deneylerindeki akım şartları. Üç sistemin de hidrolelastik özellikleri hemen hemen aynıdır	42
Çizelge 6.1 : Dalga çukuru ve tepesine yakın zaman dilimlerindeki defleksiyon değerleri.....	74
Çizelge 6.2 : Sağ ve sol uç noktalarındaki değişen kayma gerilmesi değerleri.....	111
Çizelge 6.3 : Üst ve alt uç noktalarındaki değişen kayma gerilmesi değerleri.....	114

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Akım bölgeleri.....	3
Şekil 2.2 : Kararlı akıma maruz kalan düzgün silindirin akım rejimleri..	4
Şekil 2.3 : Yükselen Reynold sayıları ile silindirik yapının arkasında oluşan girdap ayrılmasının görünüşü	5
Şekil 2.4 : Kritik akım rejimi ($3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$).....	6
Şekil 2.5 : Kayma tabakasının oluşumu	7
Şekil 2.6 : (a) Girdap A'dan önce Girdap B iz bölgesine çekilir. (b) Girdap B'den önce Girdap C iz bölgesine çekilir	8
Şekil 2.7 : Belirli zaman aralığında girdap ayrılması $Re = 7 \times 10^3$	9
Şekil 2.8 : Strouhal sayısının Reynold sayısı ile değişim	10
Şekil 2.9 : Kaldırma salınımlarının güç spektrası.....	11
Şekil 2.10 : Farklı ayrılma rejimlerinde ayrılma noktalarının gösterimi	12
Şekil 2.11 : Yüzey pürüzlülüğünün girdap ayrılma frekansı üzerinde etkisi. Değişik yüzey pürüzlülüğünde Strouhal sayısının Reynold sayısı ile değişimi	13
Şekil 2.12 : Değişik türbülans şiddetlerinde Reynold sayısının fonksiyonu olarak strouhal sayısının değişimi	14
Şekil 2.13 : İki yönlü akım kayması (a)Silindir uzunluğu boyunca. (b) Kesit boyunca	15
Şekil 2.14: (a)Tabandan serbest silindir etrafındaki akım. (b)Tabana yakın silindir etrafındaki akım S:Ayrılma noktaları	16
Şekil 2.15: Tabana yakın silindirde basınç dağılımları e/D 'nin bir fonksiyonu olarak görünümü. $c_p = (p - p_0) / (\frac{1}{2} \rho U^2)$ p_0 değeri hidrostatik basıncıdır	16
Şekil 2.16: (a)Akıma açık taraftaki ayrılma açısı. (b)Taban tarafındaki ayrılma açısı. $Re = 6 \times 10^3$	17
Şekil 3.1 : Silindir çapı, $2a$	20
Şekil 3.2 : Salınlı akışlarda silindirel pürüzsüz silindir çevresindeki akım rejimleri ($Re = 10^3$).....	21
Şekil 3.3 : Mantar girdaplarının ayrılmasına bağlı Honji çizgilerinin görünümü	22
Şekil 3.4 : Şekil 3.3'de gösterilen ayrılmış mantar girdapları (A)(Akım sayfaya diktir)	22
Şekil 3.5 : (a) $7 < KC < 13$ Oklar silindir hareketinin yönünü göstermektedir (b) $13 < KC < 15$ değerleri arasında silindirin hareket yönünü göstermektedir	24
Şekil 3.6 : $15 < KC < 24$ aralığında çevri hareketi.	25
Şekil 3.7 : $24 < KC < 32$ aralığında çevri hareketi	26
Şekil 3.8 : Düşük KC değerleri için ($KC < 3$) pürüzsüz silindir yüzeyi çevresindeki akım rejimleri. a:Ayrılmanın olmadığı durum a': Sınır tabakası türbülanslı b: Honji girdaplarıyla ayrılmanın olduğu durum [5]. c: Simetrik girdap çiftlerinin oluştuğu durum d:Girdap çiftleri gözlenir fakat silindirin	

üzeri türbülanslıdır	28
Şekil 3.9 : 1. Kısım $KC=4$ (a) $e/D = 2$. (b) $e/D = 0.1$. (c) $e/D = 0$, 2. Kısım $7 < KC < 15$ aralığında aralığında $KC=10$ iken girdap hareketlerinin oluşumu: (a) $e/D = 1$. (b) $e/D = 0.1$. (c) $e/D = 0$ [7].	30
Şekil 3.10 : $15 < KC < 24$ aralığında değişik e/D oranlarında $KC=20$ iken girdap hareketlerinin oluşumu: (a) $e/D = 1$. (b) $e/D = 0.1$. (c) $e/D = 0$ [7]	31
Şekil 3.11 : e/D ve KC 'ye bağlı girdap ayrılmasının bastırılmış durumu. İçi dolu semboller girdap kopmasının olduğu durumları içi boş semboller girdap ayrılmasının bastırıldığı durumları göstermektedir. Δ Sumere ait deneyleri göstermektedir [7]. ∇ ise Grass ve arkadaşlarının deney sonuçlarını göstermektedir	32
Şekil 4.1 : Salınlı akımda kesit akımlı titreşimler	33
Şekil 4.2 : Salınlı akım hızına ve kesit akımlı titreşim kayıtları [7]	35
Şekil 4.3 : Salınlı harekete maruz kalan silindirin kesit akımlı titreşim için frekans ve genlik yanıtı. $M=1.6$, $K_s=0.9$, $k/\rho=0.336 \text{ m}^2/\text{s}^2$ [7]	36
Şekil 4.4 : Silindirin salınlı akımdaki doğal frekansı, f_n durgun sudaki doğal frekanstır.	37
Şekil 4.5 : Salınlı akıştaki kesit akımlı titreşimlerin genliği ve frekansı. $KC=5$. Noktalı eğri: Titreşimler dış etkiyle başlamıştır. Düz eğri: Titreşimler kendiliğinden olur f/f_n 'in V_r 'ye bağlı grafiğindeki düz çizgi: Eşitlik 9.3'ten $M=1.6$, $K_s=1.5$, $k/\rho=0.168 \text{ m}^2/\text{s}^2$ [7]	39
Şekil 4.6 : Frekans ve Genlik yanıtı .Stabilite parametresinin ve kütle oranının etkisi. Düz eğri: $K_s=0.9$, $M=1.6$, $k/\rho=0.336 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $f_n=0.71 \text{ Hz}$	40
Şekil 4.7 : Sumer ve Fredsoe'nin değişik akım rejimlerinde büyük silindire yapılan deneylerden elde ettiği kesit akım yanıtlarının karşılaştırılması. $KC=20$ [7]	41
Şekil 4.8 : Akış hızının (U) zaman serileri ve silindirin yer değiştirmesi (y). $KC=20$, $V_r = 7.6$ [9]	43
Şekil 4.9 : Normalleştirilmiş giriş hızı güç spektrumları ($S_{UU}(f)$) ve normalleştirilmiş yanıt güç spektrumları ($S_{yy}(f)$): (a) $KC=20$, $V_r=7.6$, $q=0$. (b) $KC=20$ $V_r=7.6$, $q=0.3$ [9]	44
Şekil 4.10 : Salınlı akışta yüksek frekanslı akım doğrultulu titreşimlerin genlik ve frekansı. Silindirin iki dereceli serbest hareketi vardır. Şekilde aynı zamanda testlerde ölçülen kesit doğrultulu titreşim frekansı ve genliği de görülmektedir. $M=1.9$, $K_s=0.1$, $f_n=0.4 \text{ Hz}$, $D=15 \text{ cm}$, $k_s/D=4 \times 10^{-3}$ [7]	45
Şekil 4.11 : Sürüklenme katsayısı (C_D) ve atalet katsayısı ($C_M=1+C_m$) salınlı akışa maruz kalan esnek monte edilmiş salınlı akış ve Morison kuvveti tarafından tetiklenen akım doğrultulu salınlılar. Williamson'un yarı deneysel modeline bağlı tahmin. $m/(\rho D^2)=5.11$; $\zeta_s=0.02$ ve $\beta=D^2/(vT_w))=730$ [10].	46
Şekil 4.12 : Salınlı akışa maruz kalan esnek monte edilmiş silindirin genlik yanıtı ve Morison kuvveti tarafından tetiklenen akım doğrultulu hareket. Williamson'un (1985) aşağıdaki parametreler için yarı deneysel modeline bağlı tahmini [10]. $m/(\rho D^2)=5.11$; $\zeta_s=0.02$; ve $\beta=(D^2/(vT_w))=730$ (a) Mutlak hareketin genliği A/D (b) Göreli genlik $(a-A)/D$ (a sıvının hareketinin genlik değeridir)	48
Şekil 4.13 : Girdap Akım modelleri [11]	50
Şekil 4.14 : Kaldırma kuvvetinin zaman serileri. $KC=10$. Nümerik simülasyon [11]	51

Şekil 5.1 : Boru hattı asılı açıklıklarıyla ilgili senaryolar [13]	53
Şekil 5.2 : Tabana yakın silindirin titreşim ve dalga hızı ölçümleri. (a) $e/D=0.15$. (b) $e/D=0.4$ [15]	54
Şekil 5.3 : Ortalama açıklık azaltılmış hız grafiği [15]	55
Şekil 5.4 : Üç değişik açıklık oranı için frekans ve genlik değerleri (a) $KC=10$. (b) $KC=20$, $M=1.6$, $K_s=1.5$ ve $k/\rho=0.336 \text{ m}^2/\text{s}$ [15]	56
Şekil 5.5 : Dalga ve Morison kuvveti etkisindeki boru hattının genliği. Deneylerde $D=15\text{cm}$ Yüzey pürüzlülüğü $k_s/D=4 \times 10^{-3}$ $Re=2-7 \times 10^4$, Stabilite parametresi $K_s=0.1$, Borunun spesifik yerçekimi $s=\rho_{\text{boru}}/\rho=1.4$ ($M=1.9$), $f_n=0.4 \text{ Hz}$. Sumer ve ekibi (1989)	57
Şekil 6.1 : Dalga soldaki tanımlı bölgeden girtmekte ve sağdaki tanımlı sınırdan çıkılmaktadır	59
Şekil 6.2 : Teorilerin uygulanabilir aralıkları [18]	62
Şekil 6.3 : Lineer dalga ile Stokes dalga profillerinin karşılaştırılması	63
Şekil 6.4 : Borunun perspektif görünüşü	63
Şekil 6.5 : Dalga koşullarında kaydedilen kaldırma ve yatay kuvvet bileşenleri ($KC \approx 4$, $e/d=0$) [17]	65
Şekil 6.6 : Boruya etki eden basınç kuvvetlerinin analizi	65
Şekil 6.7 : Boruya etki eden kesme kuvvetlerinin analizi	66
Şekil 6.8 : Boruya etki eden toplam kuvvet değerlerinin analizi	66
Şekil 6.9 : Boruya etki eden dönme moment değerlerinin grafiksel analizi	67
Şekil 6.10 : Analiz Bölgeleri	68
Şekil 6.11 : Kesit dalga yükseklikleri (Kırmızı olarak gösterilen kesitler referans alınan dalga yükseklikleridir ve altta zaman dilimleriyle ifade edilmiştir).	69
Şekil 6.12 : Sapmanın incelendiği alt uç bölge	70
Şekil 6.13 : $t=4-8 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar	71
Şekil 6.14 : $t=12-17 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar	72
Şekil 6.15 : $t=17-20 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar	73
Şekil 6.16 : $t=0-20 \text{ sn}$ aralığında $z=0.1302 \text{ m'}$ deki nokta için sapma değerleri	75
Şekil 6.17 : 2 simülasyonun sapma değerlerinin karşılaştırılması	75
Şekil 6.18 : 2 simülasyonun sapma değerlerinin karşılaştırılması ($KC=5$ simülasyonu 12 saniyelik dilimde incelenmiştir).	76
Şekil 6.19 : $t=4-6 \text{ sn}$ aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar	76
Şekil 6.20 : $t=6-11 \text{ sn}$ aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar	77
Şekil 6.21 : $t=12-17 \text{ sn}$ aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar	78
Şekil 6.22 : $t=17-20 \text{ sn}$ aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar	79
Şekil 6.23 : $t=0-14 \text{ sn}$ aralığında xz merkez kesidinde sapma değişimi	80
Şekil 6.24 : $t=16-20 \text{ sn}$ aralığında xz kesidinde sapma değişimi	81
Şekil 6.25 : Boru çevresindeki maksimum hızların değişen dört simülasyon için karşılaştırılması ($KC=5$ olan simülasyon 10 sn sürmüştür)	81
Şekil 6.26 : $t=4-8 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar	84
Şekil 6.27 : $t=9-14 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar	85
Şekil 6.28 : $t=15-20 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar	86
Şekil 6.29 : $t=0-20 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca zamana bağlı değişen basınçlar	87
Şekil 6.30 : $t=0-20 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca dört simülasyon için alt uç bölgedeki basınç değişimi	87
Şekil 6.31 : Basıncın incelendiği sağ-sol uç bölge	88
Şekil 6.32 : $t=4-5 \text{ sn}$ aralığında x eksenı boyunca sağ-sol uç bölgedeki	

basınçlar.	88
Şekil 6.33 : t=6-11 sn aralığında x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar.	89
Şekil 6.34 : t=12-17 sn aralığında x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar.	90
Şekil 6.35 : t=17-20 sn aralığında x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar	91
Şekil 6.36 : Borunun sol ucunda zamanla değişen basınçlar	92
Şekil 6.37: Diğer simülasyonlardaki basınç değişimleriyle karşılaştırma.	92
Şekil 6.38 : Basıncın incelendiği üst uç bölge.	93
Şekil 6.39 : t=4-8 sn aralığında x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar.	94
Şekil 6.40 : t=9-14 sn aralığında x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar.	95
Şekil 6.41 : t=17-20 sn aralığında x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar.	96
Şekil 6.42 : Borunun üst ucunda değişen basınçlar.	96
Şekil 6.43 : Basıncın incelendiği sol uç bölge.	97
Şekil 6.44 : t=4-5 sn aralığında y eksenini boyunca sol uç bölgedeki basınçlar.	97
Şekil 6.45 : t=6-11 sn aralığında y eksenini boyunca sol uç bölgedeki basınçlar	98
Şekil 6.46 : 12-16 sn aralığında y eksenini boyunca sol uç bölgedeki basınçlar.	99
Şekil 6.47 : t=17-20 sn aralığında y eksenini boyunca sol uç bölgedeki basınçlar. ..	100
Şekil 6.48 : t=4-8 sn aralığında z eksenini boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar.....	101
Şekil 6.49 : t=9-14 sn aralığında z eksenini boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar.....	102
Şekil 6.50 : t=18-20 sn aralığında z eksenini boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar....	103
Şekil 6.51 : t=0-6 sn aralığında xz merkez kesidinde basınç değişimi.....	103
Şekil 6.52 : t=8-20 sn aralığında xz merkez kesidinde basınç değişimi.....	104
Şekil 6.53 : Kayma gerilmesi ve parametreleri.....	105
Şekil 6.54 : t=0-14 sn aralığında x eksenini boyunca alt uç bölgedeki gerilmeler	106
Şekil 6.55 : t=16-20 sn aralığında x eksenini boyunca alt uç bölgedeki gerilmeler ...	107
Şekil 6.56 : Borunun referans alınan alt uç noktasındaki zamana bağlı kayma gerilmesi değişimleri	107
Şekil 6.57 : Derinliğe göre değişen alt uç noktadaki kayma gerilmeleri	108
Şekil 6.58 : Diğer simülasyonlardaki kayma gerilmeleriyle karşılaştırma.	108
Şekil 6.59 : t=0-6 sn aralığında x eksenini boyunca sağ sol uç bölgedeki gerilmeler.	109
Şekil 6.60 : t=8-20 sn aralığında x eksenini boyunca sağ sol uç bölgedeki gerilmeler	110
Şekil 6.61 : t=0-6 sn aralığında boyuna merkez üst uç bölgedeki kayma gerilmeleri.....	112
Şekil 6.62 : t=8-20 sn aralığında merkez üst uç bölgedeki kayma gerilmeleri.....	113
Şekil 6.63 : t=0-6 sn aralığında y eksenini boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler	115
Şekil 6.64 : t=8-20 sn aralığında y eksenini boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler. ...	116
Şekil 6.65 : t=0-6 sn aralığında y eksenini boyunca sağ uç bölgedeki gerilmeler.....	117
Şekil 6.66 : t=8-20 sn aralığında y eksenini boyunca sağ uç bölgedeki gerilmeler....	118
Şekil 6.67 : t=0-6 sn aralığında y eksenini boyunca alt uç bölgedeki gerilmeler.	119
Şekil 6.68 : t=8-20 sn aralığında y eksenini boyunca alt uç bölgedeki gerilmeler	120
Şekil 6.69 : t=0-6 sn aralığında xz merkez kesidinde gerilme değişimi.	121
Şekil 6.70 : t=8-20 sn aralığında xz merkez kesidinde gerilme değişimi.....	122
Şekil A.1: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (19-42).	128
Şekil A.2: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (46-70).	129

Şekil A.3: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (74-98).....	130
Şekil A.4: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	131
Şekil A.5: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (46-70).....	132
Şekil A.6: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (74-98).....	133
Şekil A.7: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	134
Şekil A.8: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (46-70).....	135
Şekil A.9: Birinci uç bölgede x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (74-98).....	136
Şekil A.10: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	137
Şekil A.11: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (46-70).....	138
Şekil A.12: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (74-98).....	139
Şekil A.13: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	140
Şekil A.14: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (46-70).....	141
Şekil A.15: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (70-98).....	142
Şekil A.16: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	143
Şekil A.17: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (46-70).....	144
Şekil A.18: İkinci uç bölgede x eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (74-98).....	145
Şekil A.19: y eksenini boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	146
Şekil A.20: y eksenini boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar (46-70).....	147
Şekil A.21: y eksenini boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar (74-98).....	148
Şekil A.22: y eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	149
Şekil A.23: y eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (46-70).	150
Şekil A.24: y eksenini boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (74-98).	151
Şekil A.25: y eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	152
Şekil A.26: y eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (46-70).....	153
Şekil A.27: y eksenini boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (74-98).....	154
Şekil A.28: Merkezde z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki basınçlar (19-42).....	155
Şekil A.29: Merkezde z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki basınçlar (46-70).....	156
Şekil A.30: Merkezde z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki basınçlar (74-98).....	157
Şekil A.31: Birinci uç bölgede xz kesidinin basınç analizi (1-8).	158
Şekil A.32: Birinci uç bölgede xz kesidinin basınç analizi (9-11).	159
Şekil A.33: İkinci uç bölgede xz kesidinin basınç analizi (1-4).	159
Şekil A.34: İkinci uç bölgede xz kesidinin basınç analizi (5-11).	160
Şekil A.35: xy kesidinde merkez yükseklikteki basınç analizi (1-8).	161
Şekil A.36: xy kesidinde merkez yükseklikteki basınç analizi (9-11).	162

Şekil A.37: xy kesidinde alt uç bölgedeki basınç analizi (1-4)	162
Şekil A.38: xy kesidinde alt uç bölgedeki basınç analizi (5-11).	163
Şekil A.39: xy kesidinde üst uç bölgedeki basınç analizi (1-8).....	164
Şekil A.40: xy kesidinde üst uç bölgedeki basınç analizi (9-11).....	165
Şekil A.41: yz kesidinde enine merkez bölgedeki basınç analizi (1-4).	165
Şekil A.42: yz kesidinde enine merkez bölgedeki basınç analizi (5-11).	166
Şekil A.43: yz kesidinde sol uç bölgedeki basınç analizi (1-8).	167
Şekil A.44: yz kesidinde sol uç bölgedeki basınç analizi (9-11).	168
Şekil A.45: yz kesidinde sağ uç bölgedeki basınç analizi (1-4).	168
Şekil A.46: yz kesidinde sağ uç bölgedeki basınç analizi (5-11).	169
Şekil B.1: y eksenini boyunca üst uç bölgedeki gerilmeler (1-8).	171
Şekil B.2: y eksenini boyunca üst uç bölgedeki gerilmeler (9-11).....	172
Şekil B.3: z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (1-4).....	172
Şekil B.4 : z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (5-8).	173
Şekil B.5 : z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (9-11).....	173
Şekil B.6 : z eksenini boyunca boyuna merkez sol uç bölgedeki gerilmeler (1-8).....	174
Şekil B.7 : z eksenini boyunca boyuna merkez sol uç bölgedeki gerilmeler (9-11)...	175
Şekil B.8 : Birinci uç bölgede z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (1-4).	175
Şekil B.9: Birinci uç bölgede z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (5-11).	176
Şekil B.10 : Birinci uç bölgede z eksenini boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler (1-8).....	177
Şekil B.11: Birinci uç bölgede z eksenini boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler (8-11).	178
Şekil B.12 : İkinci uç bölgede z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (1-4)	178
Şekil B.13 : İkinci uç bölgede z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (5-11).....	179
Şekil B.14 : İkinci uç bölgede z eksenini boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler (1-8).....	180
Şekil B.15 : İkinci uç bölgede z eksenini boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler (9-11).....	181
Şekil B.16: İkinci uç bölgede xz kesidinin gerilme analizi (1-4).	181
Şekil B.17 : İkinci uç bölgede xz kesidinin gerilme analizi (5-11).	182
Şekil B.18 : xy kesidinde merkez bölgedeki gerilme analizi (1-8).....	183
Şekil B.19 : xy kesidinde merkez bölgedeki gerilme analizi (9-11).....	184
Şekil B.20 : xy kesidinde alt uç bölgedeki gerilme analizi (1-4).....	184
Şekil B.21 : xy kesidinde alt uç bölgedeki gerilme analizi (5-11).....	185
Şekil B.22 : xy kesidinde üst uç bölgedeki gerilme analizi (1-8).....	186
Şekil B.23 : xy kesidinde üst uç bölgedeki gerilme analizi (9-11).	187
Şekil B.24 : yz kesidinde merkez bölgedeki gerilme analizi (1-8).	187
Şekil B.25 : yz kesidinde merkez bölgedeki gerilme analizi (9-11).....	188
Şekil B.26 : yz kesidinde sol uç bölgedeki gerilme analizi (1-4).	188
Şekil B.27 : yz kesidinde sol uç bölgedeki gerilme analizi (5-11).	189
Şekil B.28 : yz kesidinde sağ uç bölgedeki gerilme analizi (1-8).....	190
Şekil B.29 : yz kesidinde sağ uç bölgedeki gerilme analizi (9-11).....	191
Şekil B.30 : 0-6 sn aralığında basınç değişimi	191
Şekil B.31 : 16-20 sn aralığında basınç değişimi	192
Şekil B.32 : 0-14 sn aralığında gerilme değişimi	193

Şekil B.33 : 14-20 sn aralığında gerilme değişimi.	194
--	------------

SEMBOL LİSTESİ

Re : Reynold katsayısı
D : Silindir çapı
v: Kinematik viskozite
S_t: Strouhal katsayısı
f_v: Çevri kopması frekansı
k_s: Nikurade eşitliği pürüzlülük katsayısı
e: Silindir ile taban arasındaki açıklık
c_p: Basınç katsayısı
p: Basınç
p₀: Hidrostatik basınç
ρ: Sıvı yoğunluğu
KC: Keulen_Carpenter sayısı
U_m: Salınlımlı akımdaki maksimum yatay hız
Tw: Dalga periyodu
a: Dalga genliği
fw: Dalga frekansı
w: Dalga açısal frekansı
U: Silindirik yapının ortalama hızı
V_r: İndirgenmiş hız
M: Kütle oranı
f_n: Doğal frekans
f_w: Salınlımlı akım frekansı
f: Silindirin titreşim frekansı
C_D: Sürtünme katsayısı
C_M: Eylemsizlik katsayısı
β: Reynold sayısının Keulen_Carpenter sayısına oranı
ζ_s: Malzeme sönüm oranı
A: Titreşim frekansı
t: Zaman
ē: Ortalama açıklık
K_s: Stabilite parametresi
H: Dalga yüksekliği
λ: Dalga uzunluğu
T: Dalga periyodu
η: Zamana bağlı z eksenine boyunca değişen su seviyesi
c: Dalga hızı
ψ: Akım fonksiyonu
ε: Dalga dikliği
k: Dalga sayısı
A_{ij}: k_d'nin lineer olmayan fonksiyonu
B_{ij}: k_d'nin lineer olmayan fonksiyonu
C₀: k_d'nin lineer olmayan fonksiyonu
g: Yerçekimi ivmesi
F_x: Kararlı akımda x yönündeki kuvvet

F_y: Kararlı akımda kaldırma kuvveti
C_L: Kaldırma katsayısı
w: Sapma
D: Eğilme rijitliği
f: Birim alandaki net dış kuvvet
E: Young Modülü
h: Malzeme kalınlığı
v: Poisson oranı

DENİZ TABANINA YERLEŞTİRİLEN POLİETİLEN BORUNUN ÜZERİNDEKİ DALGA ETKİSİ

ÖZET

Simölasyonlarımızda PE100 SDR11 250 mm,160mm,90mm ve 50 mm borular seçilmiştir. Yaklaşık genişlik 6.2 metre, derinlik 2 metre alınmıştır. Boru iki adet mesnet ile sabitleştirilmiştir. Her ne kadar kanalın son kısmında dalgakıran mevcut olsa da simölasyonlarda bu etki göz ardı edilmiştir. Araştırmalarımızın ana amacı kayma gerilmelerini, basınç dağılımlarını ve kuvvetleri stokes dalgası koşulunda incelemektir. Doğalgaz boru hattı inşa edilmiştir ve ilk aşamada sadece nümerik çözümlerle olayın fiziğı araştırılmıştır. Borudaki ani basınç değışiklikleri simölasyonda gözlemlenmiş ve önemli sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Her koşulda basınç kuvvetleri yükselen dalgayla yükselmektedir fakat özellikle borunun uç noktalarındaki kayma gerilmeleri ve basınç dağılımları farklılık göstermektedir. Aynı dalga koşulunda dört simölasyon için de borunun uç bölgelerinde statik, dinamik basınç ve çevri kopmalarının neticesinde oluşan zorlanmalar dalganın boruya göre artan ve azalan yükseklik değeri de göz önünde tutularak incelenmiştir. Borudaki kimyasal mukavemet doğrudan polimer bozulmaya bağı olduğu için malzemenin elastiklik özellikleri dalga koşullarında değışmemektedir. Dışarıdan herhangi bir mekanik etki olmadığı sürece malzeme yapısında bir değışiklik meydana gelmez. Borunun değışen KC değeri de basınç ve kuvvetler dalga salınımlarında değışiklik göstermekte bu da malzemede az da olsa sapma meydana getirmektedir. Dalganın polietilen boru üzerindeki etkilerinin doğalgaz iletimi çalışmaları için temel olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın bundan sonra yapılacak olan çalışmalara önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

EFFECTS OF STOKES WAVE ON POLYETHYLEN PIPE ON THE FLOOR

SUMMARY

In our simulations PE100 SDR11 250 mm, 160mm, 90mm and 50 mm pipes have been taken. Width of channel is approximately 6.2 meter, and fluid height is 2 meter. Pipe is stable with two non moving weights. Although there is a breakwater is located at the end of this channel it has been neglected. The main purpose in our investigations is to determine shear stresses, small deflections, pressure distributions and forces in stokes wave. Natural gas pipeline has been constructed and in our project's first phase, we are only dealing with numerical solutions of pipe. Sudden changes of pressure distribution has been determined in our simulation and some important results have been recorded. In all circumstances pressure forces is increasing in simulation in increasing wave but especially sectional peak points' shear stresses, pressure distributions are different. Strength of pipe has been investigated by considering the effects of static, dynamic pressures and vortex shedding in same wave condition with changing wave heights. Because of the fact that chemical strength depends on polymer deformation, elastic specifications can not change in wave conditions. As long as there is no mechanical force on polyethylen pipe, structure of pipe can not change. In changing KC values pressure and forces causes deformations on pipe. Effects of wave on polyethylen pipe can form the basis to natural gas transmission. It is hoped that the presented study would make significant contribution to the future works.

1. GİRİŞ

Günümüzde polietilen boruların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Polietilen borular doğalgaz boru hatlarında, yer altında su iletiminde de kullanılmaktadır.

Teknolojideki ilerlemeler, plastik hammadde üretiminde de önemli gelişmelerin yaşanmasını sağlamıştır. PE 100 hammadesi içme, kullanma suyu ve doğal gaz şebekelerindeki kullanım alanına yüksek performans, hem de ekonomik bir çözüm getirmiştir.

- 1) Polietilen borular yeraltı hareketlerinden etkilenmez,
- 2) Darbe dayanımı yüksektir,
- 3) İç yüzey pürüzlülükleri düşüktür,
- 4) Deniz hareketlerinden etkilenmez,
- 5) En az 50 yıl süre ile nominal işletme basıncında sorunsuz çalışır,
- 6) UV ışınlarına dayanıklıdır,
- 7) Katodik koruma yapılmasına ihtiyacı yoktur.

Borudaki kimyasal mukavemet doğrudan polimer bozulmaya bağlı olduğu için malzemenin elastiklik özellikleri dalga koşullarında değişmemektedir. Dışarıdan herhangi bir mekanik etki olmadığı sürece malzeme yapısında bir değişiklik meydana gelmez. Borunun değişen KC değerlerinde dalga durumundaki üzerine süşen basınç ve kuvvetler dalga salınımlarında değişiklik göstermekte bu da malzeme de az da olsa deformasyon meydana getirmektedir. İGDAŞ, PE doğal gaz borularının, deniz uygulamalarına kazandırılması amacı ile Anadolu Adalar Çelik Hattı Deniz Geçişİ İnşaatı Projesi kapsamında Dragos-Büyükada arası deniz boru hattının yanı sıra bir de araştırma projesi olarak Ø125 mm çaplı PE 80 doğalgaz borusu ile deniz geçişİ gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmanın amacı, temiz su ve pis su taşımacılığı ile ilgili çeşitli deniz uygulamalarında artarak kullanılmaya başlanmış olan polietilen boruların gaz taşımacılığında kullanılabilirliğinin incelenmesidir.

İGDAŞ doğal gaz dağıtım şebekesinin 4 bar'lık kısmında PE80 doğal gaz boruları kullanılmaktadır. Ancak son yıllardaki teknolojiye ilerlemeler, plastik hammadde üretiminde de önemli gelişmelerin yaşanmasını sağlamıştır. PE üreticileri de üçüncü jenerasyon olarak PE100 hammaddesini üreterek kullanıma sunmuşlardır.

Borunun üzerine düşen yüklerin ve dalga koşullarındaki basınç değişiminin incelenmesi için labaratuarda kurulan deney düzeneğinin ölçülerine yakın ölçülerde kanalın içerisinde 4 farklı PE 100 boru üzerinde nümerik incelemeler yapılmıştır.

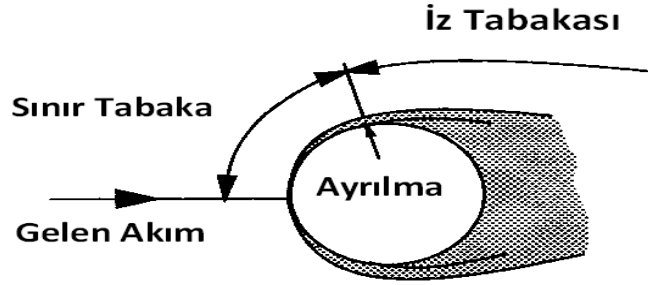
2. SİLİNDİRİN ÇEVRESİNDEKİ KARARLI AKIM

2.1 Düzgün Dairesel Silindir Çevresindeki Akım Rejimleri

Düzgün dairesel silindir üzerindeki akımı tarif eden boyutsuz değerler Reynold katsayısı ile ifade edilir.

$$Re = \frac{DU}{\nu} \quad (2.1)$$

Bu denklemde D silindirin çapını, U akış hızını ν ise kinematik viskoziteyi gösterir. Yükselen Reynold sayısına bağlı akım rejimleri Şekil 2.2' de özetlenmiştir. Şekil 2.1'de ise Şekil 2.2'de belirtilen iz ve sınır tabakası olarak ikiye ayrılan bölgeler belirtilmiştir.

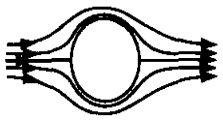
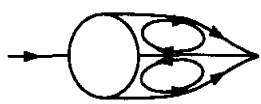
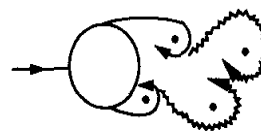
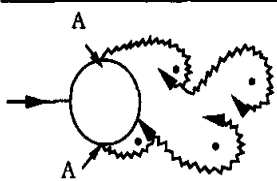
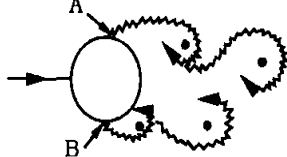
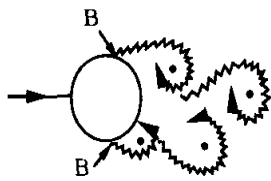
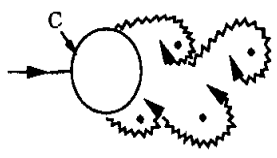
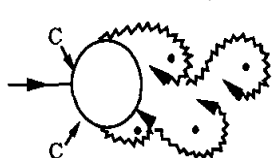


Şekil 2.1 : Akım bölgeleri.

Reynold sayısının çok küçük değerlerinde Şekil 2.2 a'da da görüldüğü gibi ayrılma gözlenmez.

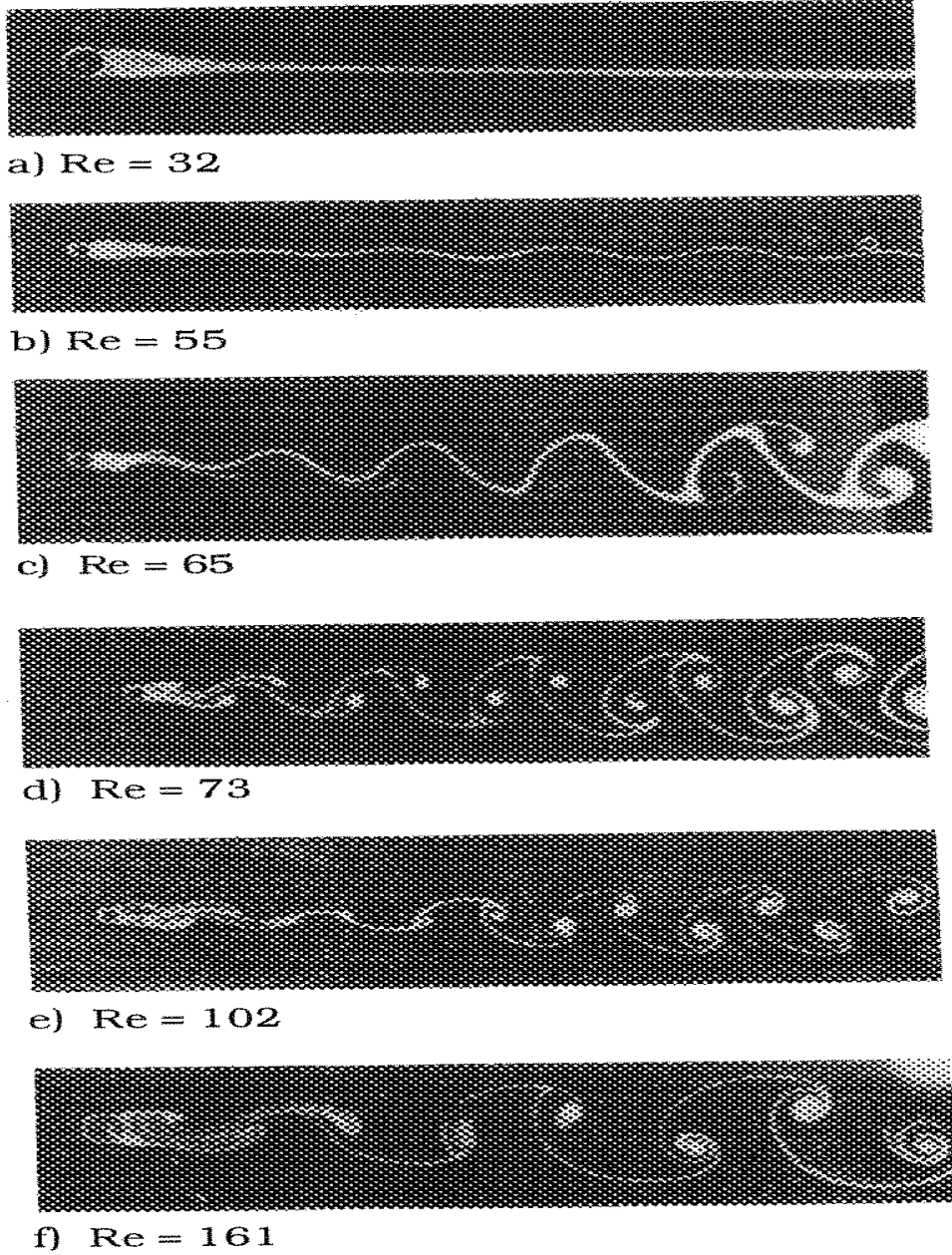
Şekil 2.2 b'de $5 < Re < 40$ aralığında silindirin iz bölgesinde oluşan birleşik simetrik girdaplar çifti görülmektedir. Girdap uzunluğu Reynold sayısının artmasıyla artar. Reynold sayısının daha da artmasıyla kararsız iz bölgeleri oluşur.

Reynold sayısının artmasıyla iz kararsız hale gelir, bu olay belli frekansla silindirin her iki yanındaki hareketin sonucunda oluşur ve bunun neticesinde çevri kopması olayı meydana gelir. Şekil 2.3 d ve Şekil 2.3 f'de iz bölgesinin girdap yolu görünümünü aldığı görülmektedir.

a)		Ayrılmanın olmadığı durum	$Re < 5$
b)		Birleşik simetrik girdaplar	$5 < Re < 40$
c)		Laminar Girdap Yolu	$40 < Re < 200$
d)		İz Bölgesinde Türbülansa Geçiş	$200 < Re < 300$
e)		İz Bölgesi Tamamen Türbülanslı A:Laminar Sınır Tabakası Ayrılması	$300 < Re < 3 \times 10^5$ Kritik Altı
f)		A:Laminar Sınır Tabakası Ayrılması B:Türbülanslı Sınır Tabakanın Ayrılması (Sınır Tabakası Laminer İken)	$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$ Kritik (Alt Geçiş)
g)		B:Türbülanslı sınır tabaka ayrılması, kimi zaman laminar kimi zaman türbülanslı	$3.5 \times 10^5 < Re < 1.5 \times 10^6$ Kritik Üstü
h)		C: Sınır Tabakası Bir Tarafta Tamamen Türbülanslı	$1.5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$ Üst Geçiş
i)		Sınır Tabakası Her İki Tarafta Tamamen Türbülanslı	$4 \times 10^6 < Re$ Transkritik

Şekil 2.2 : Kararlı akıma maruz kalan düzgün silindirin akım rejimleri.

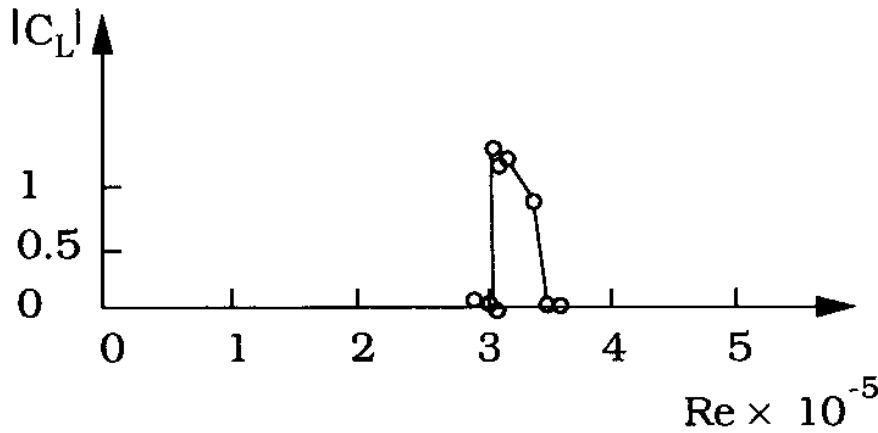
Şekil 2.2 c’de görülen $5 < Re < 40$ aralığındaki girdap yolu laminardır ve iki boyutludur. Şekil 2.2 d’de de görüldüğü gibi Reynold sayısının daha da artmasıyla iz bölgesinde türbülansa geçiş görülür. $200 < Re < 300$ aralığında türbülansa geçiş bölgesi silindire doğru hareket eder [1]. Bloor $Re=400$ ’ de girdapların türbülanslı olduğunu göstermiştir. Araştırmalar sonucunda $40 < Re < 200$ aralığında dalga ayrılmasının iki boyutlu özelliği üç boyutlu hale gelir. $Re > 300$ koşullu bütün rejimlerde çevri kopmasının bu özelliği geçerlidir.



Şekil 2.3 : Yükselen Reynold sayıları ile silindirik yapının arkasında oluşan girdap ayrılmasının görünüşü.

Reynold sayısının daha da artmasıyla birlikte iz bölgesinde türbülansa geçiş meydana gelir. Türbülansa geçiş ilk olarak sınır tabakanın ayrılma meydana gelir ve daha sonra Reynold sayısının artmasıyla birlikte türbülansa geçiş bölgesi silindir yüzeyinden ölü noktaya doğru ilerler.

$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$ aralığında sınır tabaka ayrılma noktasında türbülanslıdır fakat bu sadece silindirin bir tarafında görülür. Bu nedenle silindirin bir tarafı türbülanslı iken bir tarafı laminardır. Şekil 2.4' te kritik akım rejimi gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Kritik akım rejimi ($3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$).

Ayrılmanın olduğu tarafta türbülans bir noktadan bir noktaya zaman zaman aktarılır [2]. $3.5 \times 10^5 < Re < 1.5 \times 10^6$ aralığındaki akım rejimi kritik üstü akım rejimi olarak adlandırılır. Bu rejimde sınır tabaka ayrılması silindirin iki yüzeyinde de türbülanslıdır. Buna rağmen sınır tabakada türbülansa geçiş tamamlanmamıştır; türbülansa geçiş bölgesi kör nokta ve ayrılma noktası arasında bir yerdedir.

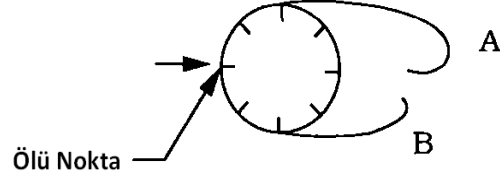
$Re = 1.5 \times 10^6$ değerine ulaştığında sınır tabakanın bir yüzeyi tamamen türbülanslı hale gelir. Bu akım rejiminde sınır tabakanın bir yüzeyi tamamen türbülanslı iken diğer yüzeyinin bir kısmı lamimar bir kısmı ise türbülanslıdır. Şekil 2.1 h' ta da görüldüğü gibi bu akım rejimi üst geçiş akım rejimi olarak adlandırılır ve $1.5 \times 10^6 < Re < 4.5 \times 10^6$ aralığında görülür.

Son olarak Re sayısı $Re > 4.5 \times 10^6$ değerini aldığı durumda silindir yüzey üzerindeki sınır tabaka her yerde türbülanslıdır. Bu akım rejimi transkritik akım rejimi olarak adlandırılır.

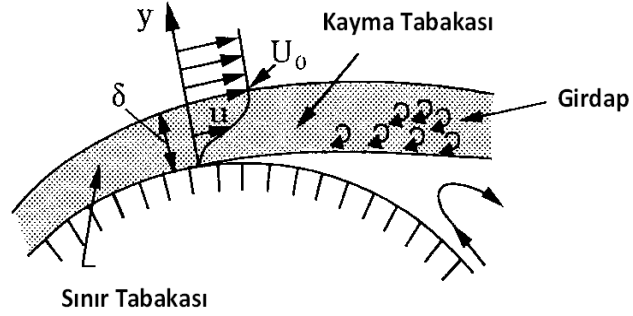
2.2 Çevri Kopması

$Re > 40$ olduğu bütün rejimlerde çevri kopması gerçekleşmektedir. Bu Reynold değerlerinde silindirin arka yüzeyindeki akım geometrisinden doğan ters basınç gradyanından dolayı silindir yüzeyindeki sınır tabaka ayrılır, bu durum Şekil 2.5’ de gösterilmiştir.

a)



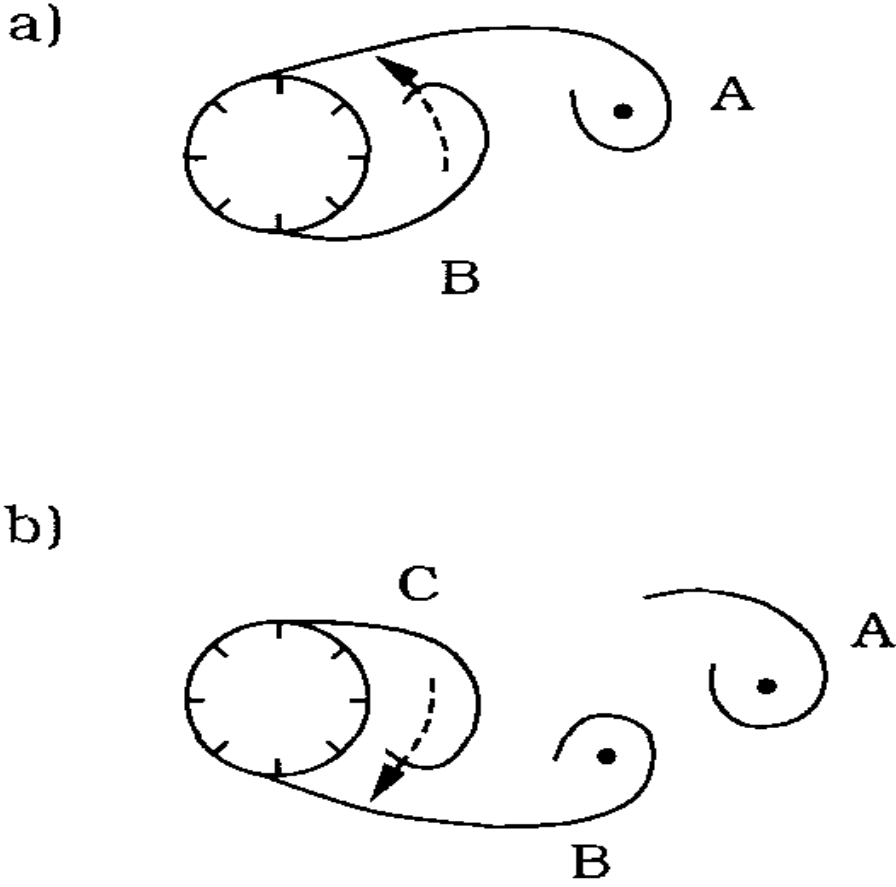
b)



Şekil 2.5 : Kayma tabakasının oluşumu.

2.2.1 Çevri kopmasının mekanizması

$Re > 40$ olduğu akım rejimlerinde çevri kopması olayı gerçekleşir. $Re > 40$ olması ile birlikte bir girdap diğer girdaba göre daha fazla büyüyecektir. Şekil 6.a’ da görüldüğü gibi Girdap A Girdap B’yi ters yöndeki iz bölgesine çekecek kadar kuvvetlidir. Şekil 2.5.b’ de de görüldüğü gibi Girdap A saat yönünde hareket ederken Girdap B saat yönünün tersi yönünün tersinde hareket etmektedir.

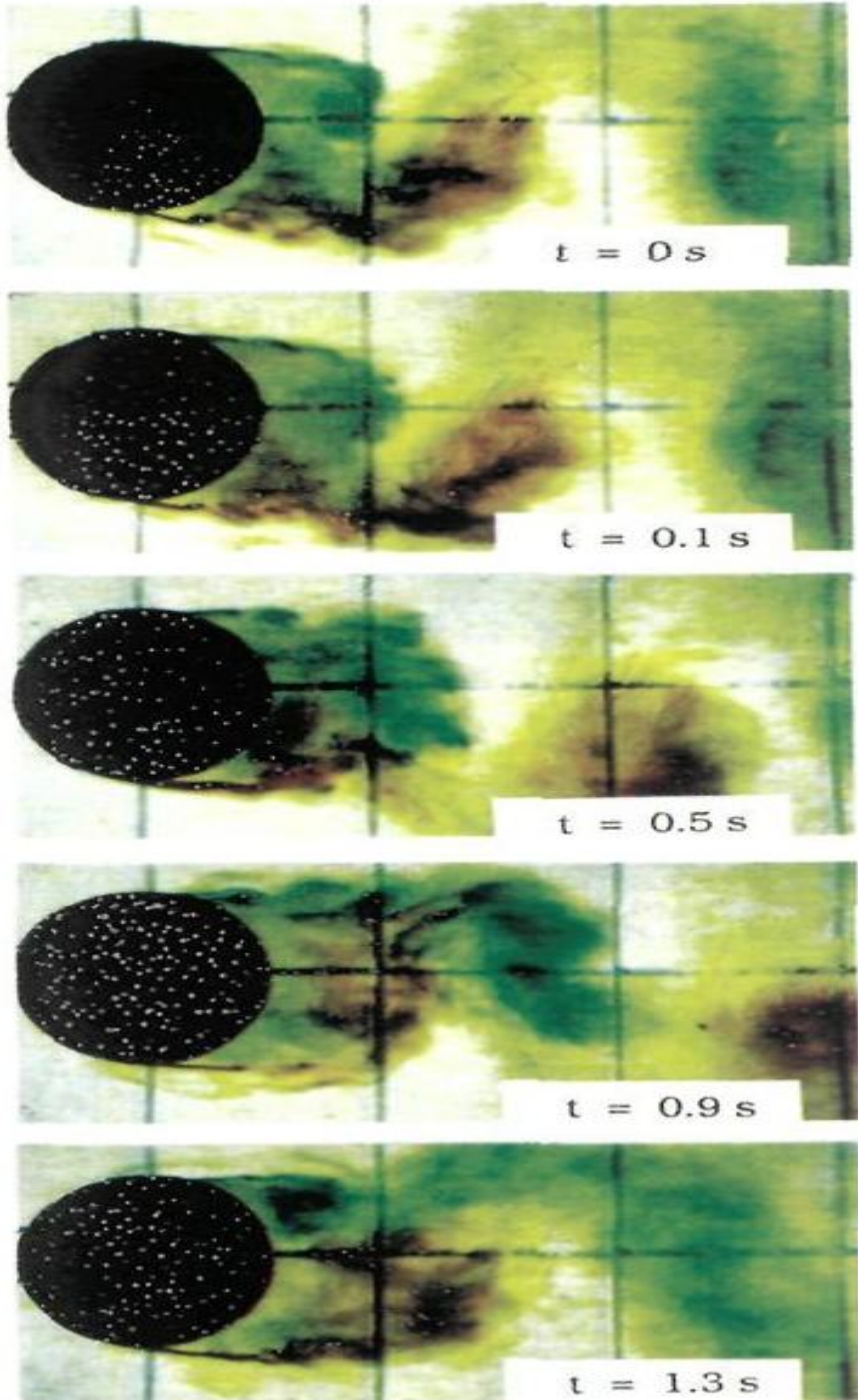


Şekil 2.6 : (a) Girdap A'dan önce Girdap B iz bölgesine çekilir. (b) Girdap B'den önce Girdap C iz bölgesine çekilir.

Ters işaretli girdabın yaklaşması Girdap A'yı sınır tabakasından koparır. Bu an Girdap A'nın ayrılma anıdır. Ayrı bir girdap olarak akım tarafından sürüklenir.

Şekil 2.6 b' de görüldüğü gibi Girdap A'nın ayrılmasıyla silindirin aynı bölgesinde Girdap C oluşur. Girdap B Girdap C'yi iz bölgesine çekebilmek için boy olarak artar ve güçlenir bir anlamda Girdap A'nın rolünü üstlenir ve bu durum Şekil 2.6 b' de açıkça gösterilmiştir.

Bu da Girdap B'nin ayrılmasına neden olur. Bu işlem silindirin bir tarafından her yeni bir çevri kopmasında devam eder. Şekil 2.7'deki fotoğraflarda çevri kopmasının gelişim süreci gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Belirli zaman aralığında çevri kopması $Re=7 \times 10^3$.

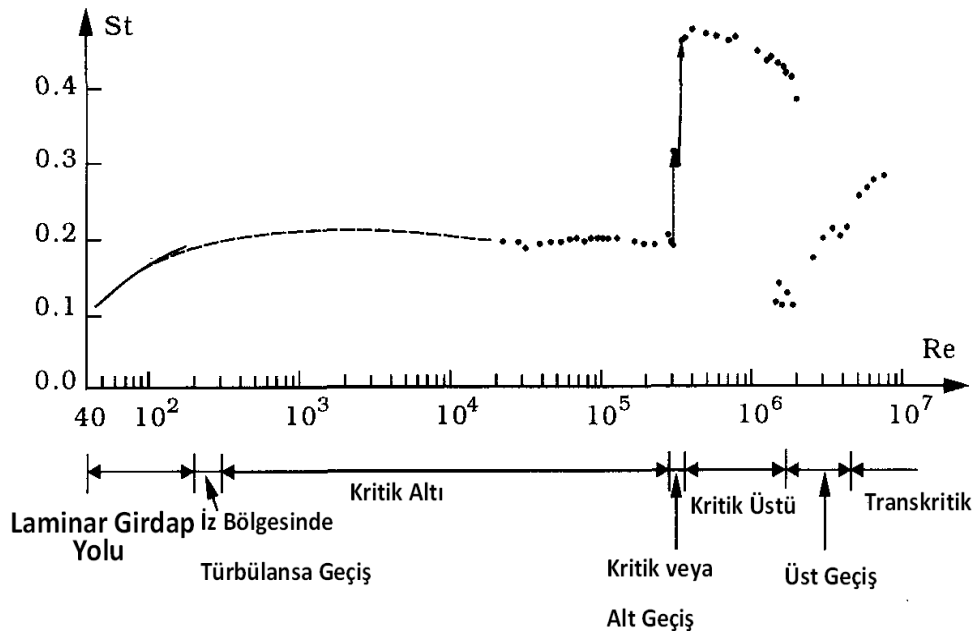
2.2.2 Çevri kopma frekansı

Çevri kopma frekansı akım hızı (U) ve silindirin çapı ile standartlaştırıldığında Reynold sayısının fonksiyonu karşımıza çıkar.

$$S_t = S_t(R_e) \quad (2.2)$$

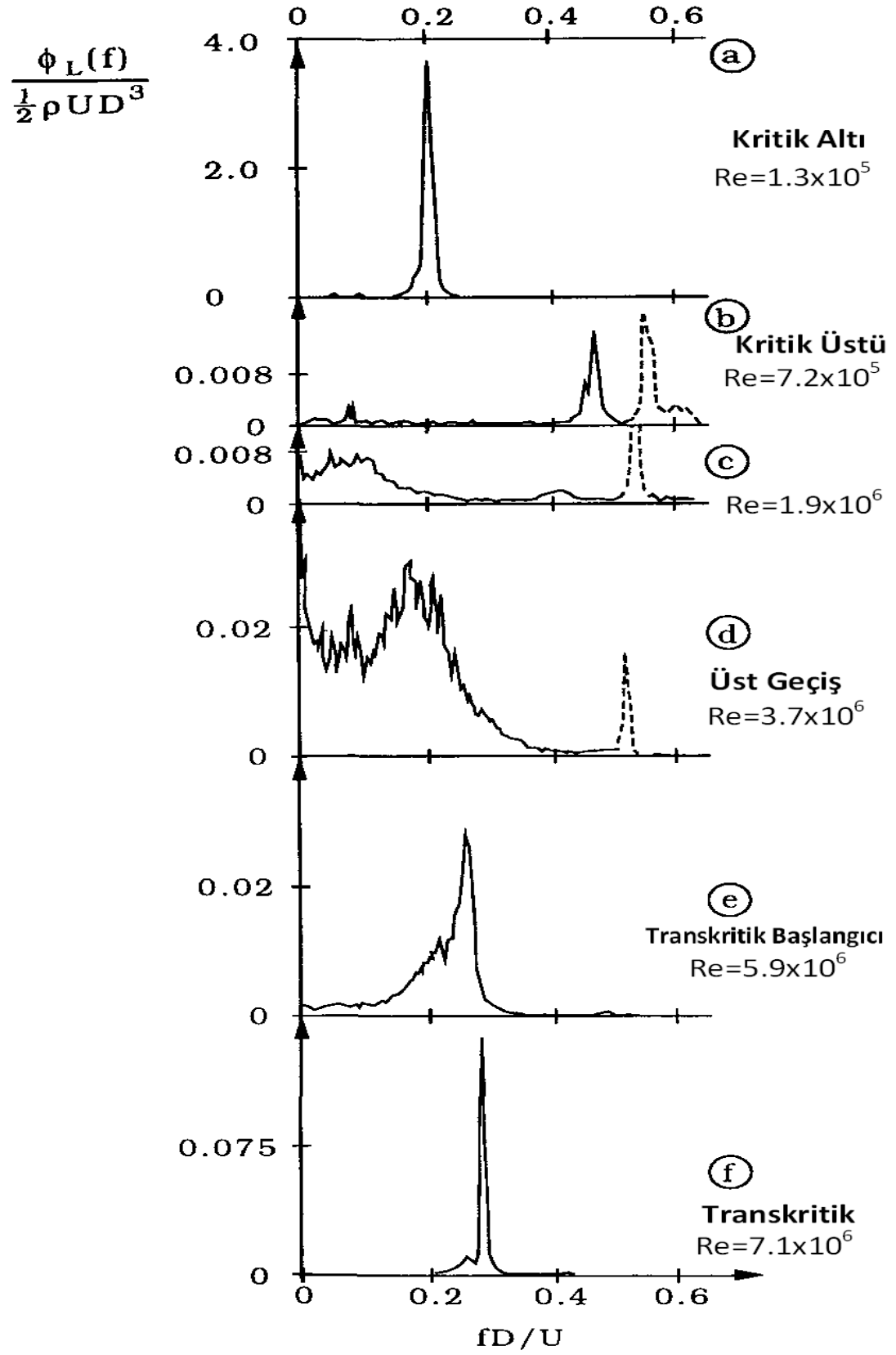
$$S_t = \frac{f_v D}{U} \quad (2.3)$$

Burada f_v çevri kopma frekansıdır. Standartlaştırılmış çevri kopma frekansı S_t Strouhal sayısı olarak adlandırılır. Şekil 2.8’ de Strouhal sayısının Reynold sayısı ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Strouhal sayısının Reynold sayısı ile değişimi.

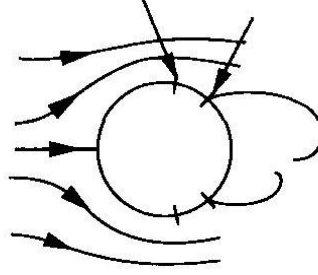
Şekil 2.9’da Şekil 2.8’de görülen datalardan elde edilen veriler ışığında elde edilen güç spektrumları görülmektedir [3]. Çevri kopması ilk olarak $Re=40$ olduğu durumda görülür. Şekil 2.8’de ayrılma frekansı S_t yaklaşık olarak 0.1’dir. Reynold sayısının artmasıyla S_t değeri derece derece artar $Re=300$ olduğu durumda 0.2 değerini alır. Bu Reynold değerinden itibaren kritik altı rejimde S_t değeri sabit kalır. Şekil 2.8’ de Strouhal frekansı, Reynold sayısının $3-3.5 \times 10^5$ olduğu aralıkta 0.2’den 0.45’e ani bir şekilde yükselir. Bu yüksek değer kritik üstü rejimde korunur fakat Reynold sayısının artmasıyla azalır.



Şekil 2.9 : Kaldırma salınımlarının güç spektrası.

Kritik üstü rejimdeki St değeriindeki yükselme şu şekilde açıklanabilir: Kritik üstü rejimde silindirin her iki tarafındaki sınır tabaka ayrılma noktalarında türbülanslıdır. Bunun neticesinde Şekil 2.10' da ayrılma noktalarının akımla aynı doğrultuda hareket ettiği durumlarda sınır tabaka ayrılmasında gecikme söz konusu olur . Bu da birbirine yaklaşan girdapların kritik üstü rejimdekenden daha çok birbiriyle etkileşim içine girmeleri demektir. Bunun sonucunda Strouhal sayısı büyür.

Kritik Altı Rejimde Laminar Ayrılma Kritik Üstü Rejimde Türbülanslı Ayrılma



Şekil 2.10. Farklı ayrılma rejimlerinde ayrılma noktalarının gösterimi.

Reynold Sayısı 1.5×10^6 değerinde iken Strouhal sayısında süreksizlik görülür. Şekil 2.1 h'ta görüldüğü gibi sınır tabakasının bir tarafı tamamen türbülansa geçmiştir. Sınır tabakasının bir yanı tamamen türbülansa geçmesine rağmen diğer sınır tabakasının bir tarafı zaman zaman türbülanslı zaman zaman laminardır. İz bölgesi bu sebepten asimetriktir. Reynold sayısı 4×10^6 oluncaya kadar bu durum devam eder.

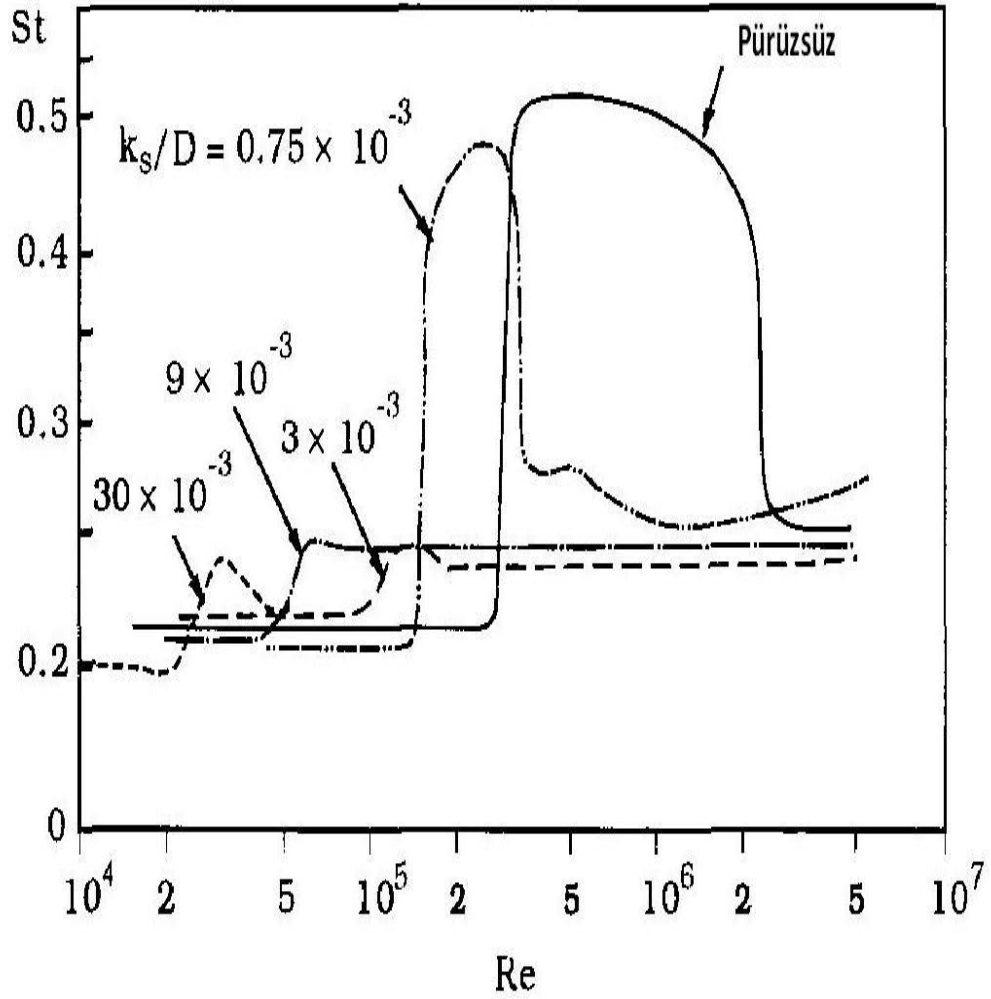
Transkritik akım rejiminde yani $Re > 4.5 \times 10^6$ olduğu durumda irdap ayrılması yeniden başlar ve Strouhal sayısının 0.25-0.3 aralığında değerler alır.

2.2.3 Yüzey pürüzlülüğünün etkisi

Pürüzlü silindirler için normalize edilmiş ayrılma frekansı yani Strouhal sayısı Reynold sayısının (Re) ve rölatif pürüzlülüğün (ks/D) 'nin bir fonksiyonudur.

$$St = f(Re, ks/D) \quad (2.4)$$

Şekil 2.11'de değişik (ks/D) değerleri için rölatif pürüzlülüğün Strouhal sayısı üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilden de açıkça görüleceği gibi pürüzlü silindir yüzeylerinde $ks/D > 3 \times 10^{-3}$ olduğu durumda kritik (alt geçiş) ,kritik üstü ve üst geçiş akım rejimleri $St-Re$ düzleminde dar bölgede kaybolur transkritik rejime geçiş görülür. Bu çok düşük Reynold sayılarında görülür.



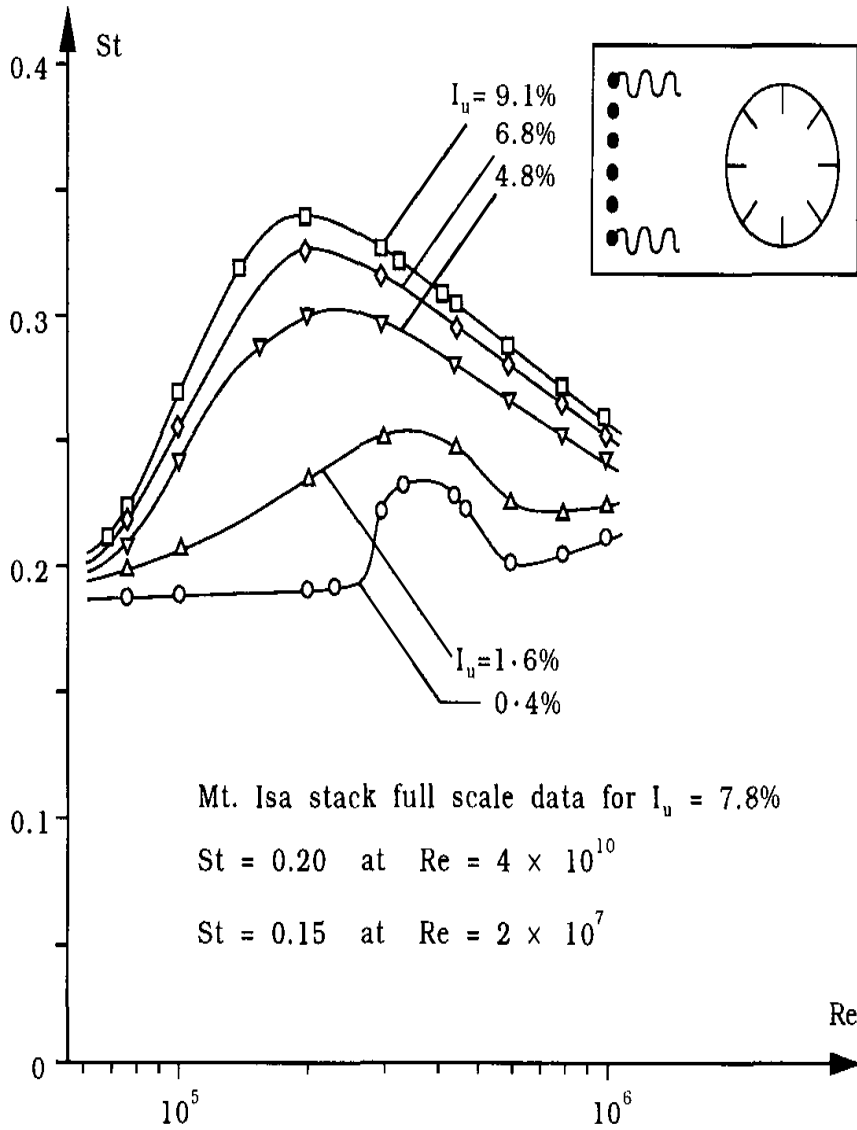
Şekil 2.11 : Yüzey pürüzlülüğünün çevri kopma frekansı üzerinde etkisi. Değişik yüzey pürüzlülüğünde Strouhal sayısının Reynold sayısıyla değişimi.

2.2.4 Şeklin etkisi

$Re > 10^5$ koşulunun sağlandığı durumlarda dikdörtgen kesitli silindirlere girdap oluşumu Reynold sayısının değişmesinden çok etkilenmez. Strouhal sayısı Reynold sayısının artmasıyla dairesel kesitlerdekinden farklı olarak pek değişikliğe uğramaz.

2.2.5 Türbülansın etkisi

Cheung ve Melbourne (1983), Kwok (1986) ve Norberg ve Sunden (1987) tarafından çevri kopmasının türbülans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 2.12’de Cheung ve Melbourne’un kendi deney tüplerinde değişik türbülans değerlerinde buldukları değişik Strouhal değerleri gösterilmiştir [4].



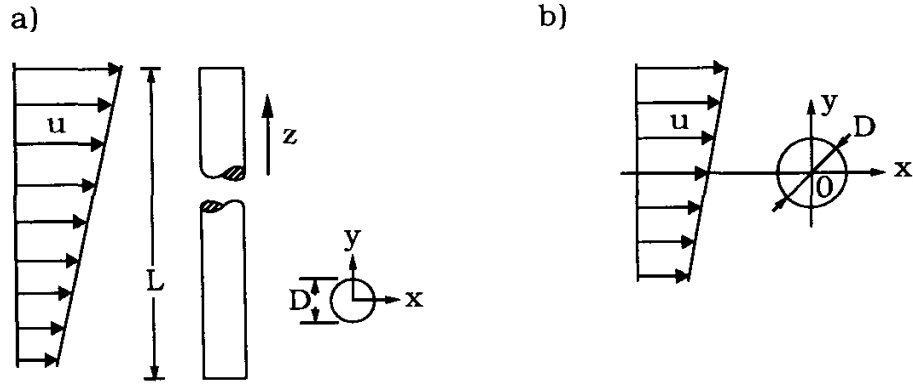
Şekil 2.12 : Değişik türbülans şiddetlerinde Reynold sayısının fonksiyonu olarak Strouhal sayısının değişimi.

Strouhal sayısı akımdaki türbülans şiddetine göre Reynold sayısı ile değişir. Silindirin pürüzlülük etkisi türbülansın etkisine benzerdir. Türbülans seviyesi arttıkça küçük Reynold sayılarında çevri kopmaları meydana gelir.

2.2.6 Akımdaki kaymanın etkisi

Akımdaki ayrılma da çevri kopmasında önemli bir etkiye sahiptir. Yaklaşan akımda kayma iki şekilde gerçekleşir.

- Şekil 2.13 a' da silindirin uzunluğu boyunca akım kayması görülmektedir
- Şekil 2.13 b' de kesit boyunca akım kayması görülmektedir

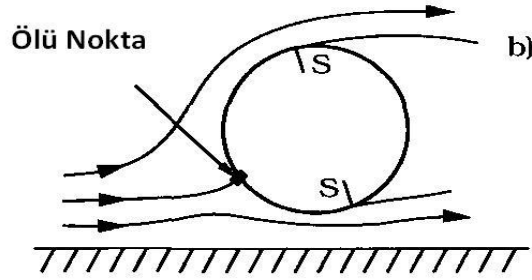
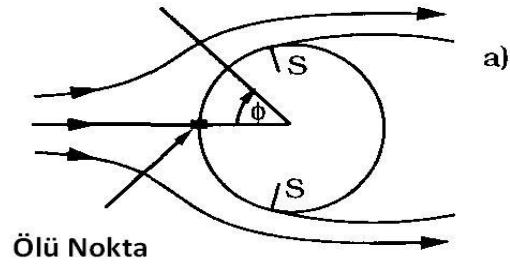


Şekil 2.13 : İki yönlü akım kayması (a) Silindir uzunluğu boyunca. (b) Kesit boyunca

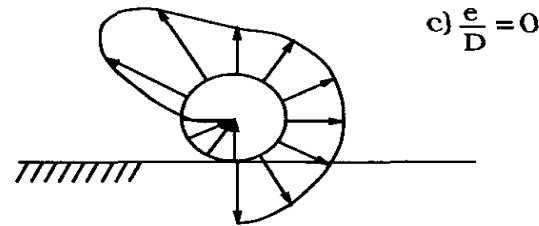
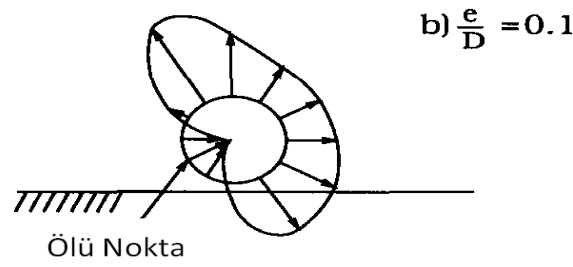
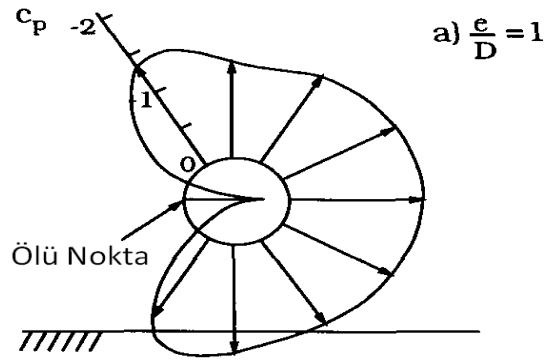
2.2.7 Tabana yakınlığının etkisi

Tabana yakın silindirlerde silindirin etrafındaki akımda değişiklikler gözlenir. Bu değişiklikler şu şekilde özetlenebilir:

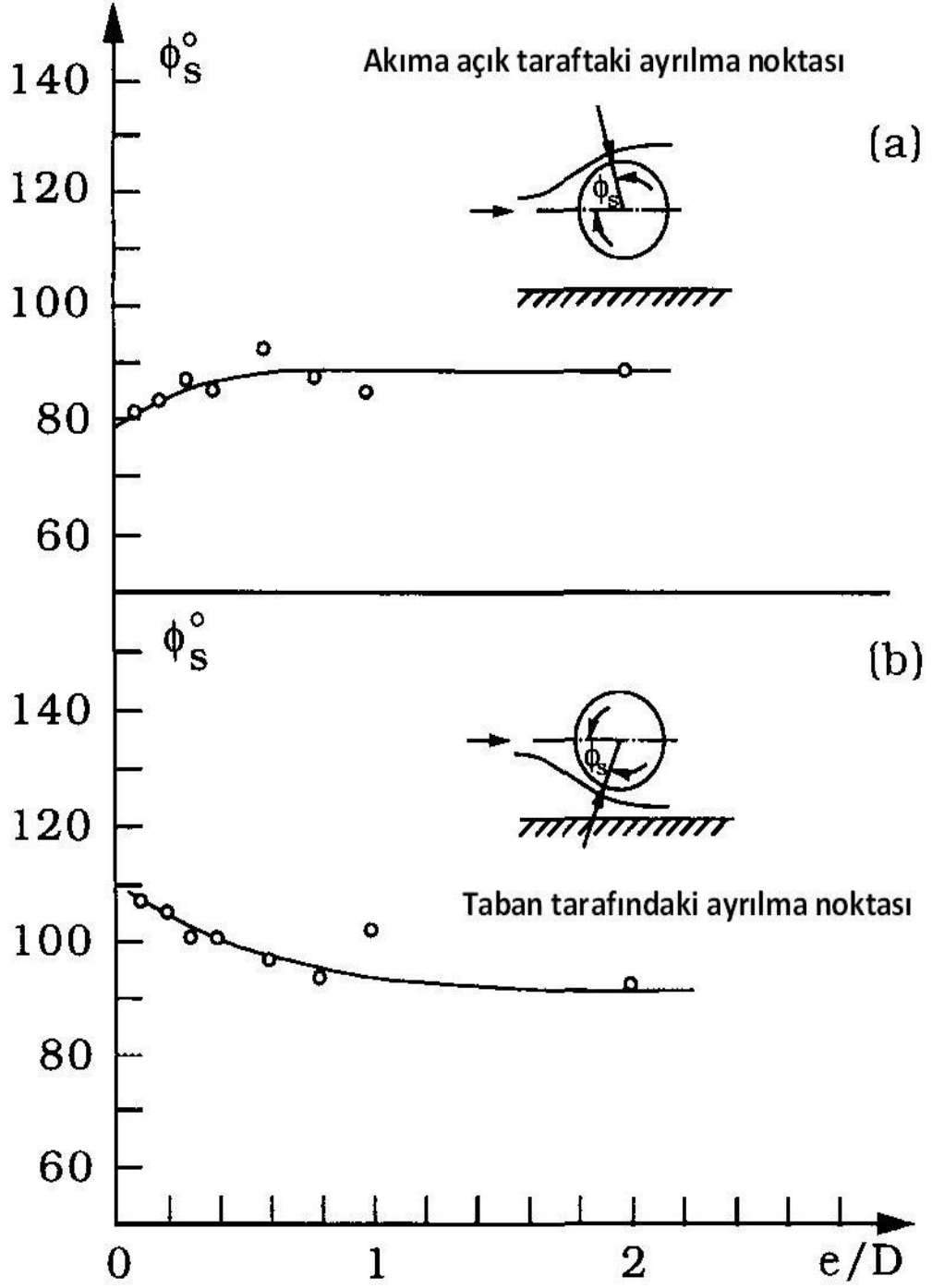
- $e/D=0.3$ değerinden küçük değerlerde çevri kopması bastırılır. e silindir ile taban arasındaki açıklıktır.
- Ölü noktanın açisal pozisyonu Şekil 2.14'te görüldüğü gibi aşağı kayar. Bu Şekil 2.15 a'da gösterilen basınç ölçüm ve Şekil 2.15 b'de silindir etrafındaki değişik değerlerdeki e/D için gösterilen ana basınç dağılım değerlerinden açıkça görülmektedir. Ölü nokta $\Phi=0^0$ ve $e/D=0.1$ iken $\Phi=-40^0$ ve $e/D=0.1$ değerine ulaşır.
- Bunun yanında ayrılma noktasının açisal pozisyonu da değişir. Şekil 2.14'te görüldüğü gibi silindirin üstündeki akıma açık ayrılma noktası yukarı tabana yakın olan ayrılma noktası ise aşağı hareket eder. Şekil 2.16' da da görüldüğü gibi $Re=6 \times 10^3$ ve $e/D=0.1$ olduğu durumda akıma açık taraftaki ayrılma noktasındaki açı $\Phi=80^0$ olduğunda taban tarafındaki açı $\Phi=-110^0$ olur.
- Şekil 15b ve Şekil 15c'de akıma açık taraftaki ayrılma noktasındaki emme taban tarafındaki ayrılma noktasındaki emmeden büyüktür. Şekil 2.15 a' da da gösterildiği gibi silindir tabandan uzaklaştıkça simetri tekrar oluşur.



Şekil 2.14: (a)Tabandan serbest silindir etrafındaki akım. (b)Tabana yakın silindir etrafındaki akım S:Ayrılma noktaları.



Şekil 2.15: Tabana yakın silindirde basınç dağılımları e/D 'nin bir fonksiyonu olarak görünümü. $c_p = (p - p_0)/(\frac{1}{2} \rho U^2)$ p_0 değeri hidrostatik basınçtır.



Şekil 2.16: (a)Akıma açık taraftaki ayrılma açısı. (b)Taban tarafındaki ayrılma açısı. $Re=6 \times 10^3$.

3. SALINIMLI AKIŞLARDAKİ SİLİNDİRİN ETRAFINDAKİ AKIM

Kararlı akım ortamında düzgün ve dairesel silindirler etrafındaki akımı belirleyen hidrodamik değerleri Reynold sayısı belirler. Bir silindir salınımlı bir akışa veya dalgaya maruz kaldığı zaman bir diğer değer karşımıza çıkar bu da Keulen_Carpenter (KC) sayısıdır (3.1).

$$KC = \frac{U_m T_w}{D} \quad (3.1)$$

U_m maksimum hızı, T_w dalga periyodunu, D silindirin çapını ifade eder. Akım eğer sinüzoidal ise hız aşağıdaki şekilde ifade edilir (3.2).

$$U = U_m \sin(\omega t) \quad (3.2)$$

Maksimum hız denklemini aşağıdaki şekilde karşımıza çıkar (3.3).

$$U_m = a\omega = \frac{2\pi a}{T_w} \quad (3.3)$$

Bu denklemde a dalganın genliğidir. Bu durumda KC aşağıdaki gibi ifade edilir (3.4).

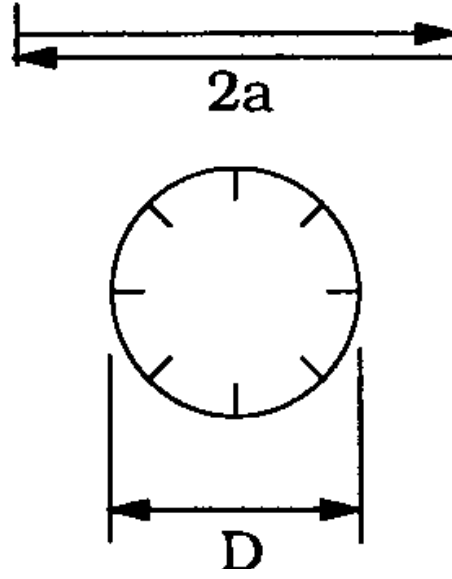
$$KC = \frac{2\pi a}{D} \quad (3.4)$$

(3.2)' deki hızın açısal frekansı ω aşağıdaki şekilde ifade edilir (3.5).

$$\omega = 2\pi f_w = \frac{2\pi}{T_w} \quad (3.5)$$

f_w değeri dalganın frekansını ifade eder.

KC sayısının fiziksel anlamı en iyi (3.4) ile açıklanabilir. Denklemin sağ tarafı hareketin darbesiyle orantılıdır. D silindirin çapını gösterir. Küçük KC sayıları su parçacıklarının yörüngesel hareketinin silindirin genişliğine göre küçük olduğunu ifade eder. KC sayısı çok küçük olduğunda silindirin arkasında ayrılma görülmeyebilir.



Şekil 3.1 : Silindir çapı, 2a.

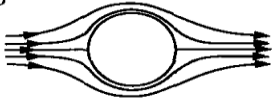
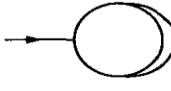
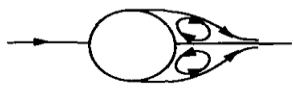
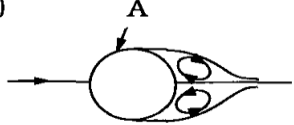
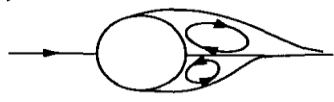
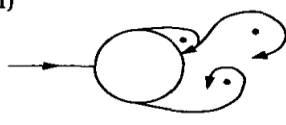
Büyük KC sayıları su parçacıklarının silindir genişliğine göre biraz daha uzun mesafeler aldığını ifade eder. Bu da çevri kopmasına neden olur. KC sayısının çok büyük değerlerinde hareketin her yarım periyodunda kararlı akım olduğunu gösterir.

3.1 KC Sayısının Fonksiyonu Olarak Akım Rejimleri

KC sayısının 0' dan itibaren artmasıyla meydana gelen değişiklikler Şekil 3.2'de özetlenmiştir. Şekildeki değişiklikler $Re=10^3$ alınarak elde edilmiştir. Reynold sayısı aşağıdaki şekilde ifade edilir (3.6).

$$Re = \frac{DU_m}{\nu} \quad (3.6)$$

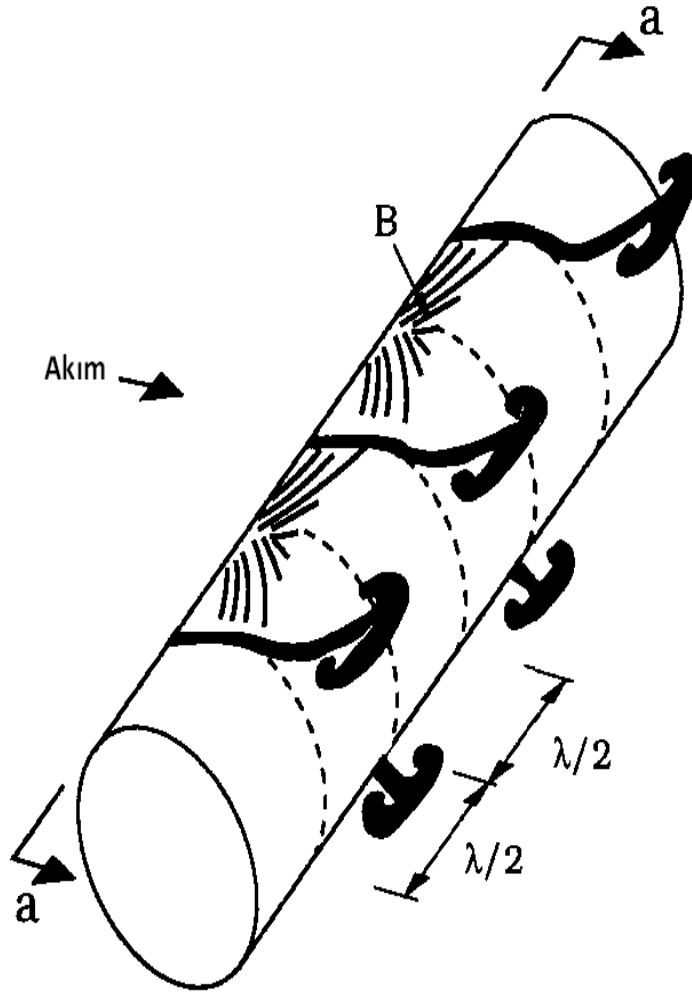
Şekil 3.2' de gösterilen akım rejimleri Reynold sayısı değiştikçe KC sayısının alt ve üst limitlerinin değişmesiyle birlikte değişebilir. Şekil 3.2'den de görüldüğü gibi KC sayısının küçük değişikliklerinde beklendiği gibi ayrılma gözlenmez. KC 1.1 değerine ulaştığında ilk ayrılma görülür. Bu durum Honji kararsızlığı olarak ayrılma şeklinde görülür. KC 1.1 değerine ulaştığında 2 boyutlu akım 3 boyutlu akım haline dönüşür. Ayrılmanın Honji Kararsızlığı şeklinde görüldüğü akım rejimi $1.1 < KC < 1.6$ olduğu dar aralıktadır Şekil 3.2 b'de şekli görülmektedir.

a)		Ayrılma yok	$KC < 1.1$
b)		Honji Girdapları şeklinde ayrılma	$1.1 < KC < 1.6$
c)		Simetrik Girdap Çifti	$1.6 < KC < 2.1$
d)		Simetrik Girdap Çifti Silindir Yüzeyinde Türlölans (A)	$2.1 < KC < 4$
e)		Asimetrik Girdap Çifti	$4 < KC < 7$
f)		Girdap Ayrılması	$7 < KC$ Ayrılma Rejimi

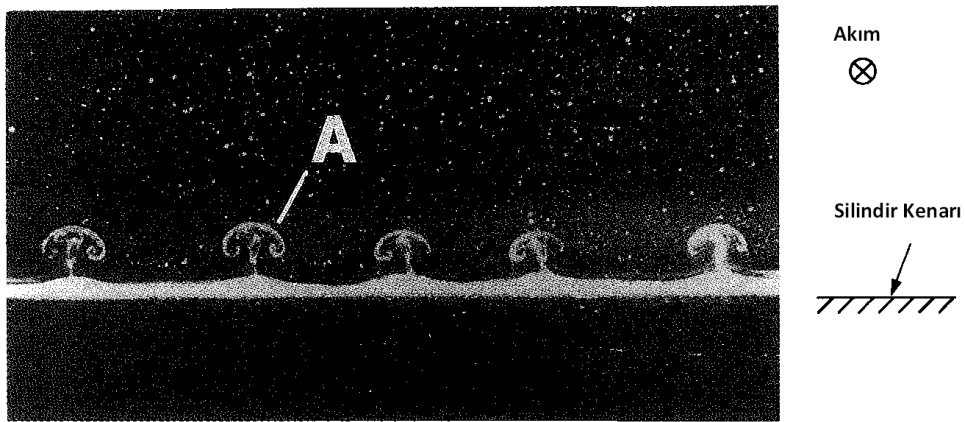
Şekil 3.2 : Salınımlı akışlarda silindirel pürüzsüz silindir çevresindeki akım rejimleri rejimleri ($Re=10^3$).

Şekil 3.2’ de gösterilen akım rejimleri Reynold sayısı değıştikçe KC sayısının alt ve üst limitlerinin değışmesiyle birlikte değışebilir Şekil 3.2’den de görüldüğü gibi KC sayısının küçük değışikliklerinde beklendiğı gibi ayrılma gözlenmez. KC 1.1 değerine ulaştığında ilk ayrılma görülür. Bu durum Honji kararsızlığı olarak ayrılma şeklinde görülür. KC 1.1 değerine ulaştığında 2 boyutlu akım 3 boyutlu akım haline dönüşür.

Ayrılmanın Honji Kararsızlığı şeklinde görüldüğü akım rejimi $1.1 < KC < 1.6$ olduğı dar aralıktadır Şekil 3.2 b’de şekli görölmektedir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te Honji kararsızlığı sonucunda oluşan mantar şekilli çizgiler görölmektedir



Şekil 3.3 : Mantar girdaplarının ayrılmasına bağlı Honji çizgilerinin görünümü.



Şekil 3.4 : Şekil 3.3’de gösterilen ayrılmış mantar girdapları (A) (Akım sayfaya diktir).

Şekil 3.2 c ve Şekil 3.2 d’de de açıkça görüldüğü gibi KC sayısının artmasıyla birlikte simetrik girdap çifti şeklinde ayrılma başlar. Bu rejim $1.6 < KC < 4$ ve $2.1 < KC < 4$ aralığındadır. Bu rejimde silindirin üzerinde türbülans gözlenir. KC’nin alt ve üst limitleri $Re=1000$ olduğu durumda geçerlidir.

Şekil 3.2 e’ de de görüldüğü gibi KC daha da arttığında iki girdap arasındaki simetriklik bozulur. Bu rejim $4 < KC < 7$ aralığında gözlenir.

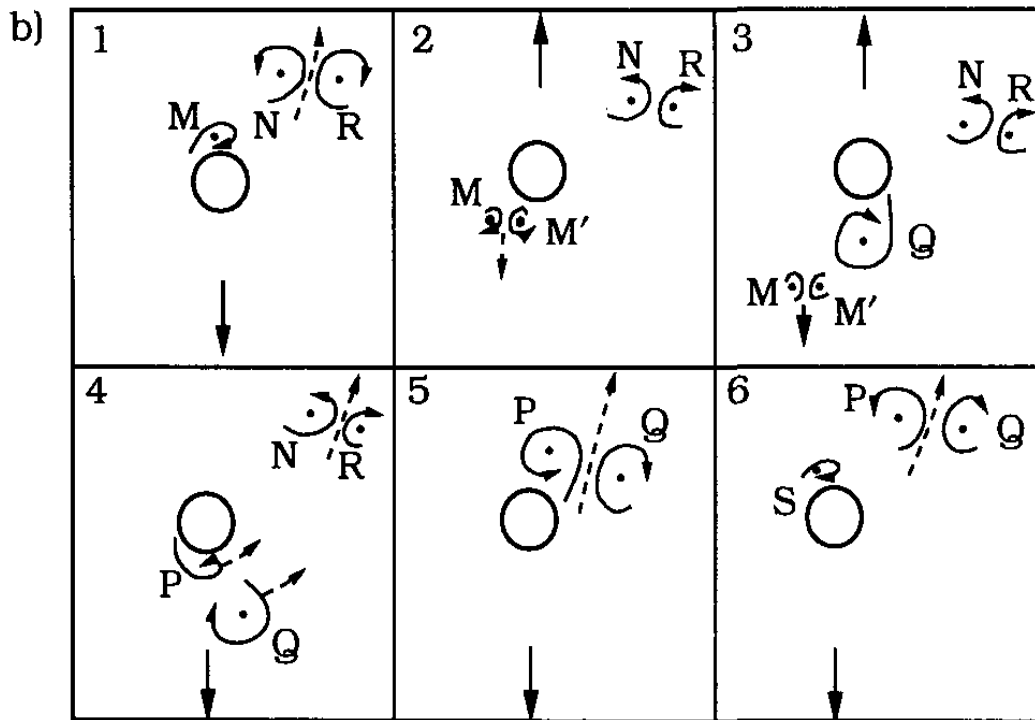
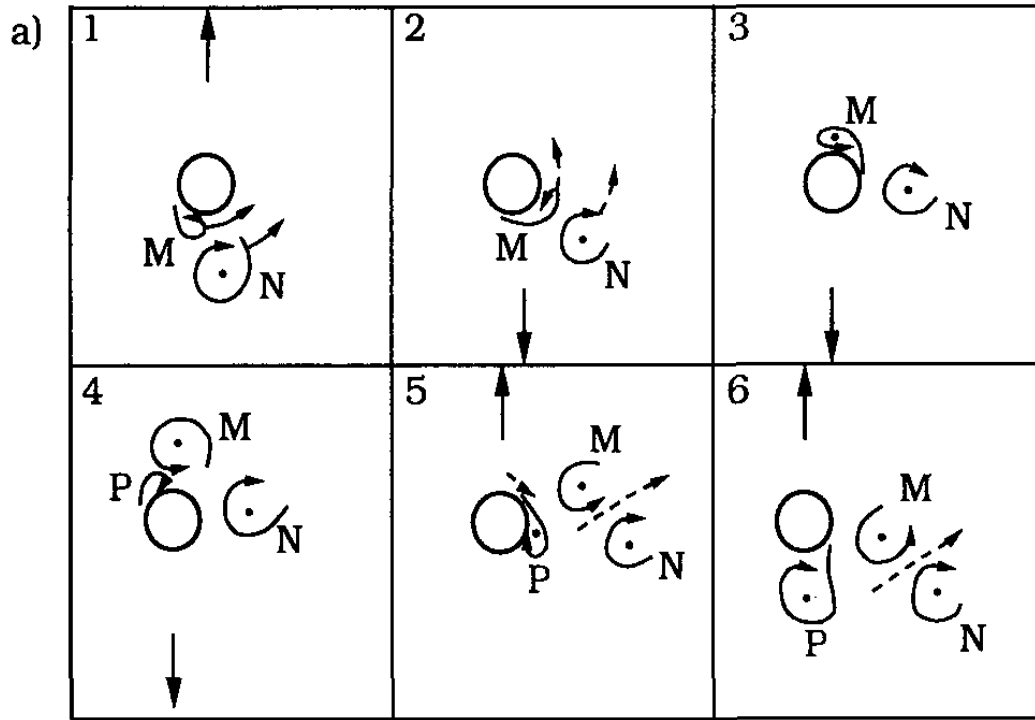
$KC > 7$ durumunda çevri kopma rejimine girilir, bu durum Şekil 3.2 f de gösterilmiştir.

3.2 Çevri Kopması Rejimleri

Çevri kopması rejimleri Bearman, Graham ve Singh (1979), Singh (1979), Grass ve Kemp (1979), Bearman ve Graham (1979), Bearman, Graham, Naylor ve Obasaju (1981) ve Williamson (1985) tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmalar girdap hareketlerinin değişik rejimlerdeki karışık hareketlerinin anlaşılmasında yardımcı olmuştur. Bu konuyla son olarak ilgilenen Williamson’un çalışmaları dikkate alınarak çevri kopması rejiminin özellikleri belirlenmiştir. Çevri kopması her salınımlı hareketin yarım periyodunda görülür. KC’nin değişik aralıklarında değişik akım biçimleri olan akım rejimleri vardır. Bu KC aralıkları şu şekildedir: $7 < KC < 15$, $15 < KC < 24$, $24 < KC < 32$, $32 < KC < 40$ v.b.

3.2.1 $7 < KC < 15$ Tek çevri çifti rejimi

Şekil 3.5’ de girdap hareketlerinin zaman içerisindeki gelişimi gösterilmiştir. $7 < KC < 13$ aralığı çapraz girdap yolu rejimi olarak adlandırılır. Şekil 3.5’de Kısım 1’ de Girdap M’nin gelişmekte olduğunu ve Girdap N’nin koptuğunu göstermektedir. Kısım 2’de ise akım ters yönde olduğunda iki girdap silindirim çevresinden karşı tarafa akımın ters yönüne doğru hareket eder. Şekil 3.5 Kısım 4’te de görüldüğü gibi Girdap M yarım periodluk süre içinde serbest bir girdap olur, Girdap N ile birlikte girdap çiftini oluşturur ve M+N girdap çifti silindirden uzaklaşır. Girdap çifti zıt işaretli iki girdabın bir araya gelmesi ve birbirlerinin hız alanlarının etkisi altına girmesinin bir ifadesidir. Her tam periyodun sonunda girdap çifti silindirden uzaklaşır. Bu da çapraz girdap yolunun oluşmasına neden olur.



Şekil 3.5 : (a) $7 < KC < 13$ Oklar silindir hareketinin yönünü göstermektedir (b) $13 < KC$ göstermektedir (b) $13 < KC < 15$ değerleri arasında silindirin hareket yönünü göstermektedir.

Girdap yolunun silindire göre olan pozisyonu silindire etki eden kaldırma kuvveti açısından önemlidir. Asimetriden dolayı sıfırdan hariç bir kaldırma kuvveti akım rejiminde olmalıdır. Girdap yolunun taraf değiştirmesiyle kaldırma kuvveti de yön değiştirir. Şekil 3.5 b' te de görüldüğü gibi $13 < KC < 15$ aralığında girdap çiftleri 45° açıyla uzaklaşır. Bu olay silindirin tek tarafında görülür.

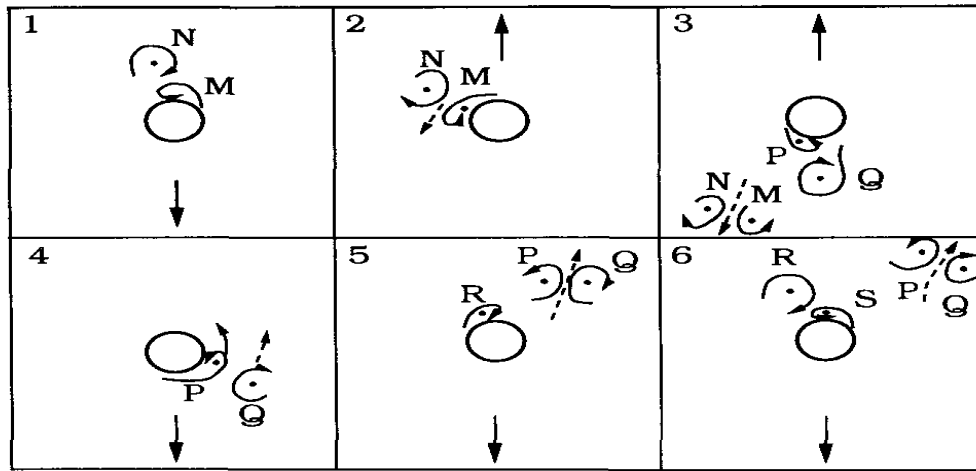
Şekil 3.5 a ve Şekil 3.5 b'de de görüldüğü gibi hareketin her periyodunda silindirden uzaklaşan bir girdap çifti bulunur. Şekil 3.5 a'da gösterilen M+N, Şekil 3.5 b'de gösterilen N+R ilk periyod için, P+Q ise son periyod için uzaklaşan girdap çiftleridir. Bu nedenden Williamson(1985) bu rejimi tek çevri çifti rejimi olarak adlandırmıştır.

3.2.2 $15 < KC < 24$ Çift çevri rejimi ve daha büyük KC rejimleri

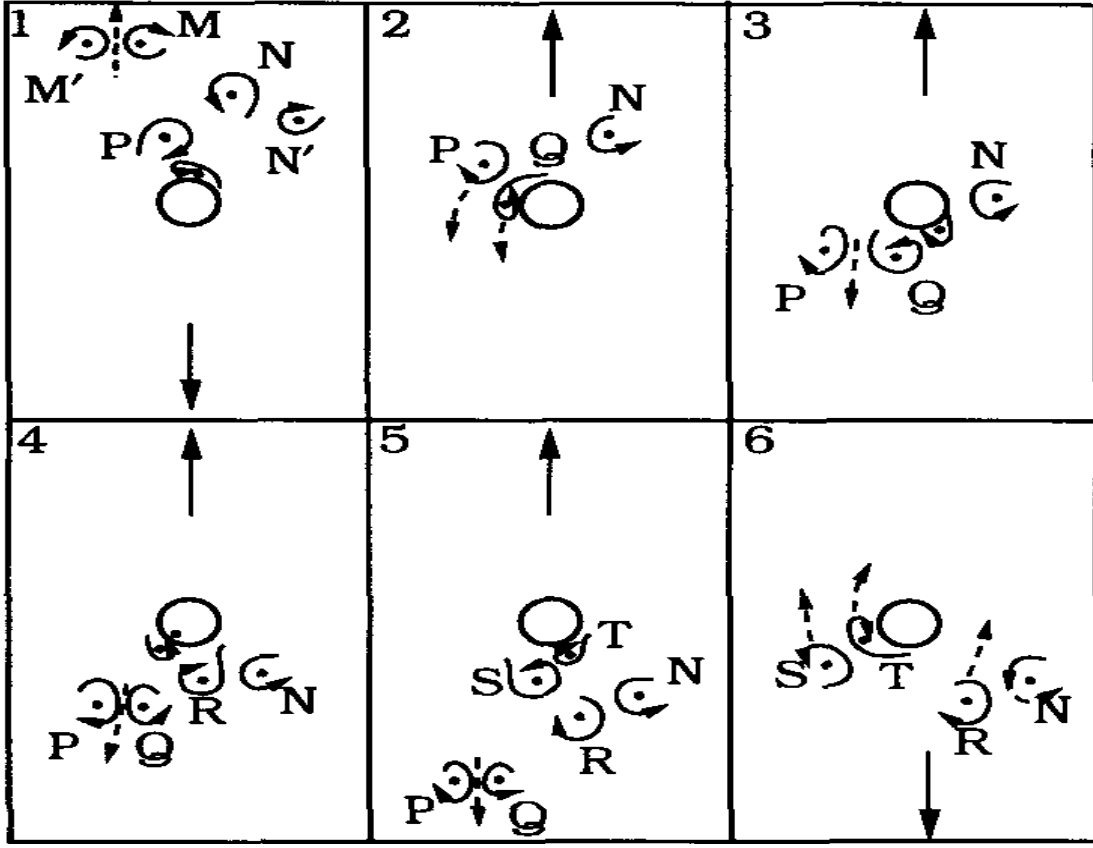
Şekil 3.6 $15 < KC < 24$ aralığında Şekil 3.7 ise $24 < KC < 32$ aralığında çevrinin zaman içerisindeki gelişimini göstermektedir. İlk aralıkta ($15 < KC < 24$) iki girdap çifti silindirden ayrılırken ikinci aralıkta ($24 < KC < 32$) üç girdap çifti ayrılmaktadır.

Daha büyük KC rejimlerinde girdap çiftleri bir sonraki rejimle birlikte birer birer artar. $32 < KC < 40$ aralığında silindirden ayrılan girdap çifti sayısı dört iken $40 < KC < 48$ aralığında bu sayı beştir. Buradan bir tam periyotta KC'nin bir üst rejiminde çevri kopması bir alt rejimden iki çevri fazladır. Bu salınımlı akışlar için Strouhal kanununun bir sonucudur.

KC'yi $\Delta(KC)=8$ arttırdığımızı düşünürsek bir tam periyod için ayrılan girdap sayısı iki yarım periyod için 1'dir.



Şekil 3.6 : $15 < KC < 24$ aralığında çevri hareketi.



Şekil 3.7 : $24 < KC < 32$ aralığında çevri hareketi.

KC'yi $\Delta(KC)=8$ arttırdığımızı düşünürsek bir tam periyod için ayrılan girdap sayısı iki yarım periyod için 1'dir. Bu durumda KC sayısı aşağıdaki gibi ifade edilir (3.7).

$$KC + \Delta(KC) = \frac{(2z+1)\pi}{D} \quad (3.7)$$

L yarı genlikteki artıştır. (2.4) ve (3.7)'den (3.8) elde edilir.

$$\ell = \frac{8}{\pi} D \quad (3.8)$$

Yarım periyodluk harekette çevri kopması sayısının bir olmasından dolayı l uzunluğu bir tam çevri kopması için uygundur. Bir başka ifadeyle silindirin l uzunluğu boyunca olan hareketinin periyodu çevri kopma periyodunun yarısına eşittir $(1/2)T_v$.

$$\ell = \left(\frac{1}{2}T_v\right) U \quad (3.9)$$

U silindirin hareketi boyunca ortalama hızı ifade eder. (3.8) ve (3.9)'dan çevri kopmasının frekansı (3.10)'da ifade edilmiştir.

$$f_v = \frac{1}{T_v} \quad (3.10)$$

Bunun neticesinde (3.11) elde edilir.

$$\frac{f_v D}{U} = \frac{1}{2} \frac{\pi}{8} = 0.20 \quad (3.11)$$

Görüldüğü gibi 0.20 değeri Sthrouhal kanununun normalize edilmiş frekansıdır. Sonuç olarak çevri kopmasındaki artışın bir tam periyotta iki olması Strouhl kanununun bir sonucudur.

3.3 Reynold Sayısının Akım Rejimleri Üzerindeki Etkisi

KC ve Reynold sayılarının fonksiyonu olan akım rejimlerinin detaylı resmi Şekil 3.8’de ve Şekil 3.9’da detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 3.8 küçük KC değerlerinde Re sayısının rolünü göstermektedir. Şekil 3.2’ de Reynold sayısının fonksiyonu olarak değişen değişik akım rejimlerinin sınırları belirtilmişti.

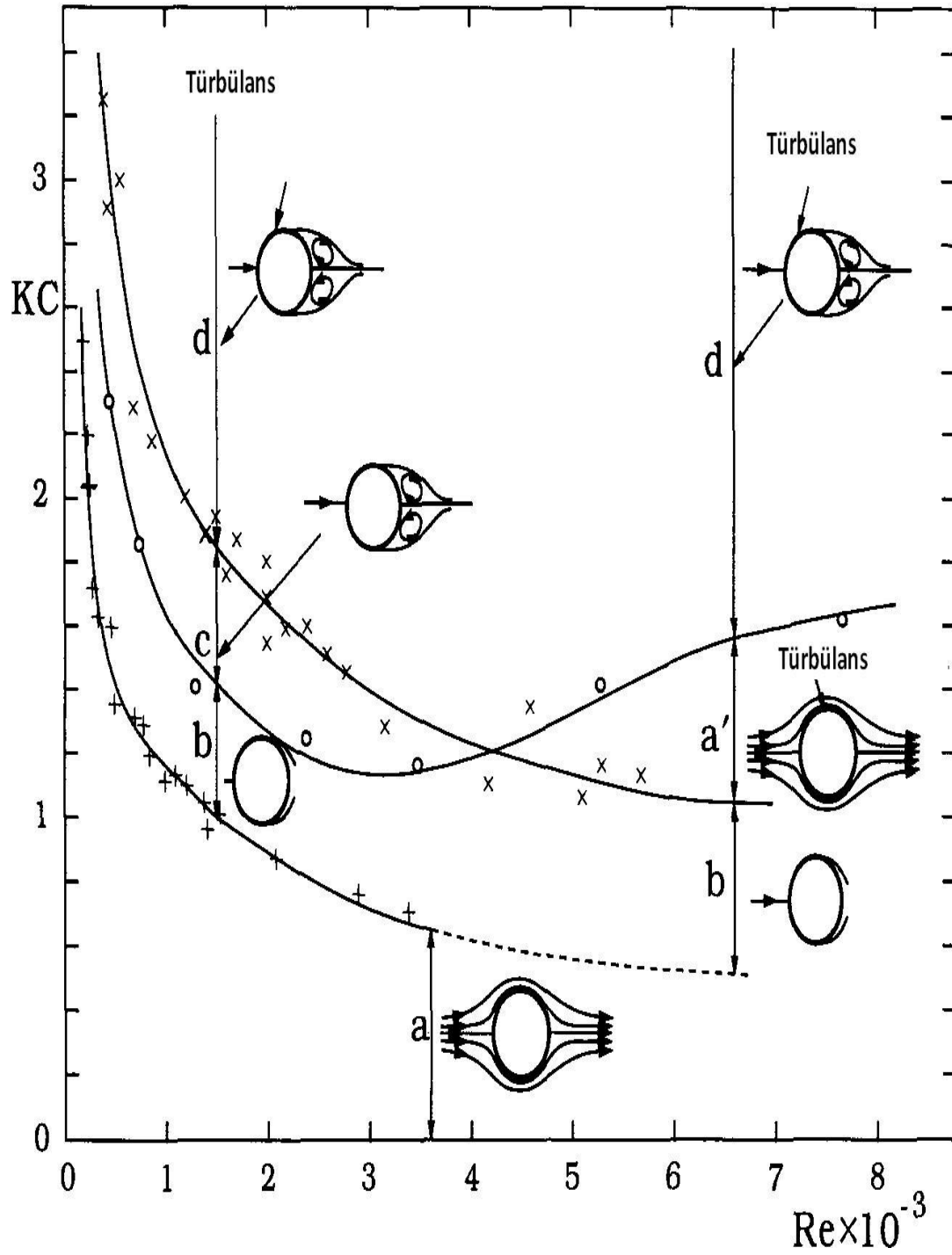
Şekil 3.8’den aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

- Ayrılmanın başladığını açıklayan eğrilerin $KC \rightarrow \infty$ iken asimptotik olarak $Re=5$ çizgisine yaklaşması beklenir. Bu kararlı akım hali ile uyumludur,.
- Büyük Re sayılarında ($Re > 4 \times 10^3$) Honji tipi ayrılmadan sonra KC sayısının artmasıyla ayrılmayan akım rejimleri yeniden görülebilir. Sınır tabakasında türbülans meydana gelir ve bu ayrılmayı geciktirdiği için ayrılmamış akım rejimi yeniden oluşur. Çift simetrik girdabın oluşmasıyla ayrılmış akıma geçilir.

3.4. Tabana Yakınlığın Akım Rejimi Üzerindeki Etkisi

Tabana yakın silindir etrafında akımda birçok değişiklik olur. Bunlar akımdaki simetrikliğin bozulması ve çevri kopmasının kesilmesi olabilir.

Bu bölümde salınlımlı akımda tabana yakınlığın silindir üzerindeki etkisi incelenecektir. Analizler Sumer, Jansen ve Fredsoe’nin gözlemleri ışığında yapılmıştır. Akım Reynold sayısının 10^3 ve 10^4 aralığında izlenmiştir. Akım alanını izleme çevri hareketlerini izlemeye dayanmaktadır.



Şekil 3.8 : Düşük KC değerleri için ($KC < 3$) pürüzsüz silindir yüzeyi çevresindeki akım rejimleri. a: Ayrılmanın olmadığı durum a': Sınır tabakası türbülanslı tabakası türbülanslı b: Honji girdaplarıyla ayrılmanın olduğu durum [5]. c: Simetrik girdap çiftlerini oluşturduğu durum d: Girdap çiftleri gözlenir fakat silindirin üzeri türbülanslıdır [6].

3.4.1. Akım rejimleri

3.4.1.1 $4 < KC < 7$ rejimi

Şekil 3.9 a 1. kısımda $KC=4$ ve üç farklı e/D değerlerinde salınımlı akış ortamında girdap gelişimi gösterilmiştir. Girdap hareketinde gözlenen simetri $e/D=0.1$ değerinde kaybolur. Bu durum 1. kısım Şekil 3.9 a ve Şekil 3.9 b' de gösterilmiştir.

Şekil 3.9 c 1. kısımda 'da da görüldüğü gibi girdap rejimi tabandaki silindirde basit yapıdadır. Her yarım periyotta silindirin arka tarafında girdap oluşur ve diğer yarım periyotta da bu devam eder.

3.4.1.2 $7 < KC < 15$ rejimi

Tabandan bağımsız silindirlerde KC rejiminin ilginç özelliklerinden biri de akıma dik girdap yolu oluşturan ayrılan girdapların çapraz girdap yolları oluşturmalarıdır.

a) $e/D=1$: Şekil 3.9 2. kısımda yarım periyotluk hareket için girdap hareketinin gelişimi görülmektedir. Sadece bir girdap (Girdap L) yarım periyotluk sürede kopmaktadır.

b) $e/D=0.1$: Bir önceki durumdan farkı tabana yakın girdapın (Girdap N)'nin daha kuvvetli gelişmesidir. Bir önceki girdap tabandan bağımsız hareket ederken bu aşamada girdap silindire çok yakınından geçer.

c) $e/D=0$: Şekil 3.10 c 2. kısımda da görüldüğü gibi silindirin arkasında oluşan Girdap K Girdap L ile girdap çifti oluşturur. Oluşan bu girdap çifti aşağı doğru sürüklenirken silindirin arkasında Girdap M'yi oluştururlar.

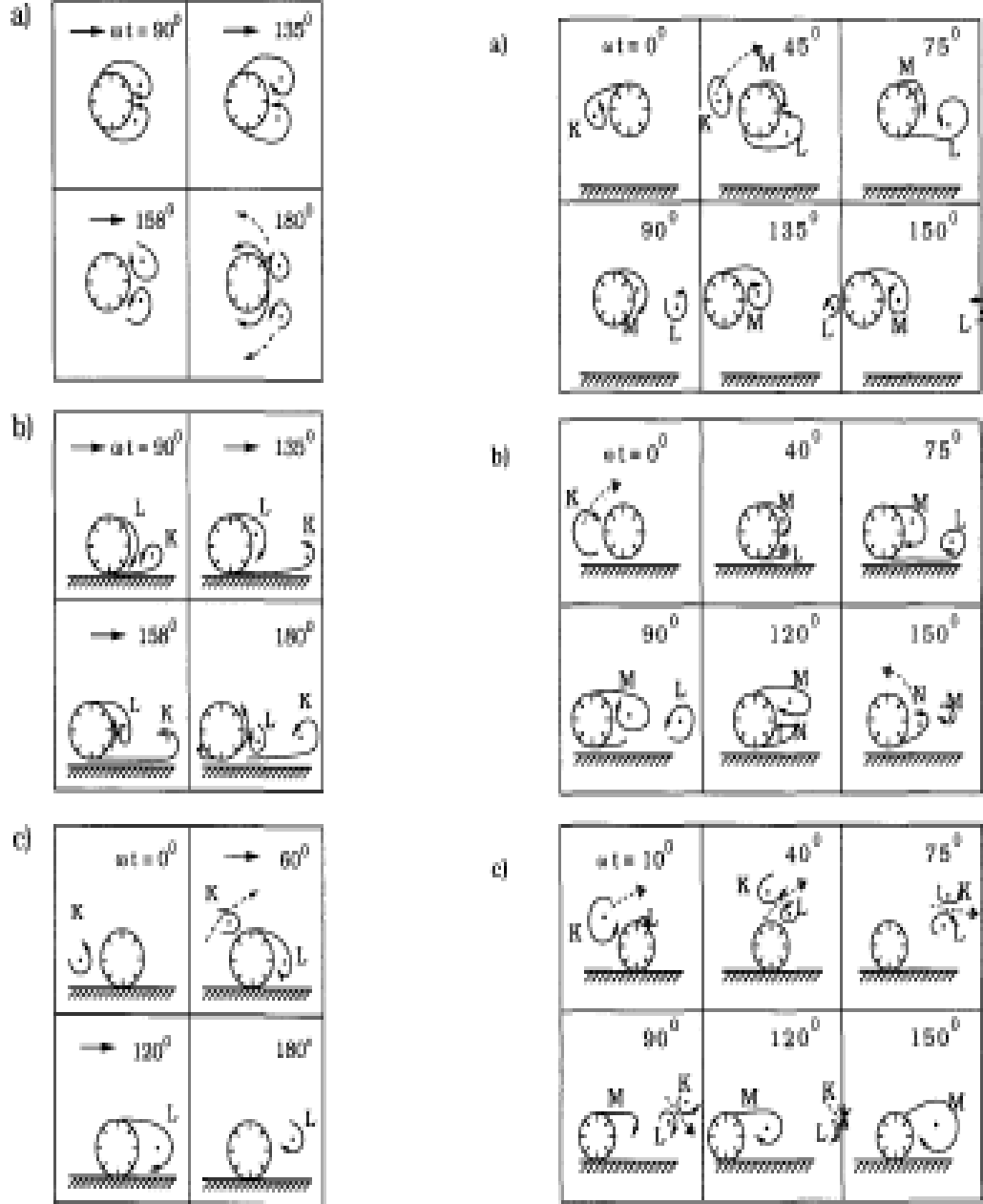
Gözlemlerin sonucunda tabana yakın silindirler ($e/D=0$) için girdap akım rejiminin gelişimi KC 'den bağımsızdır.

3.4.1.3 $15 < KC < 24$ rejimi

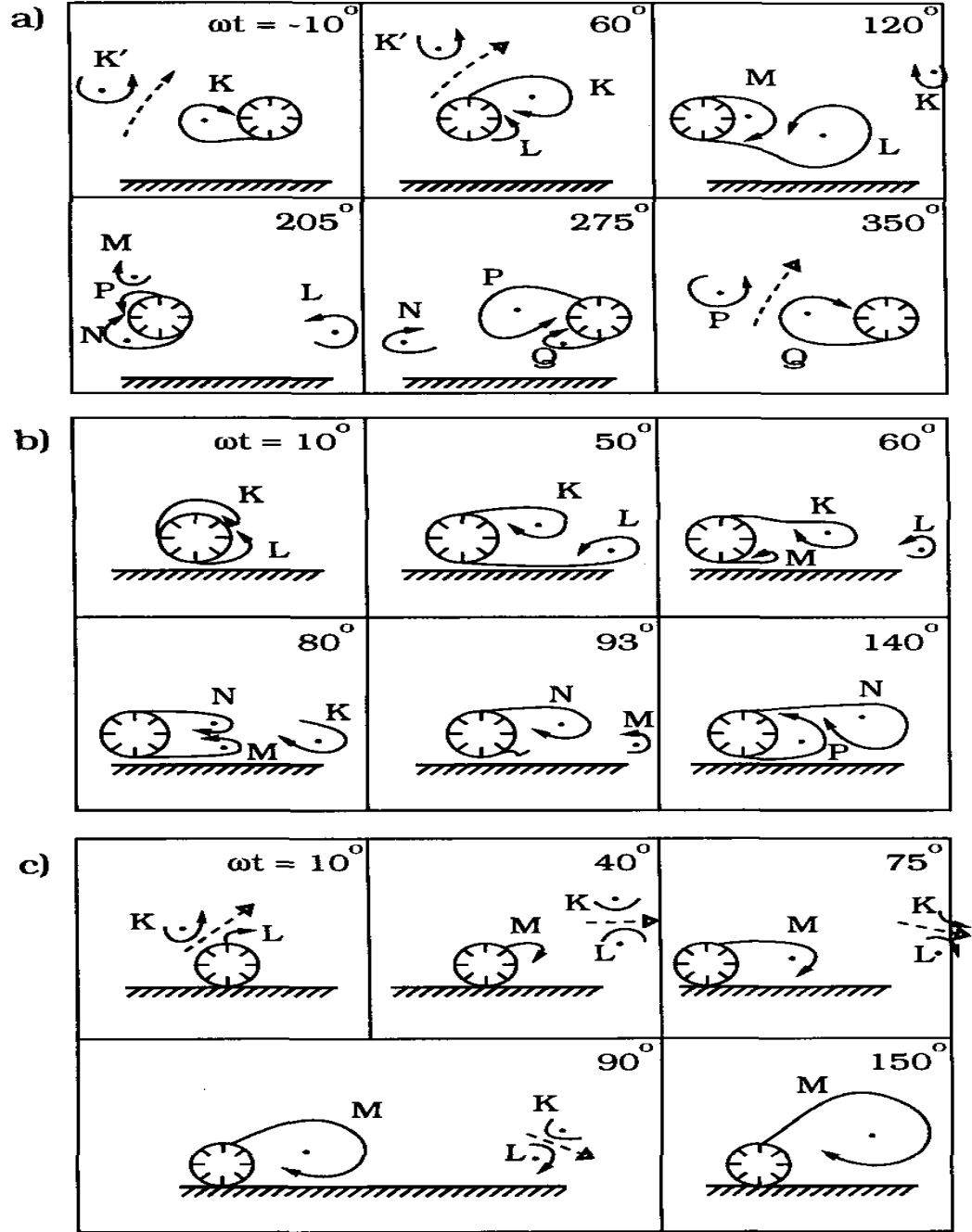
a) $e/D=1$: Tabandan bağımsız silindirler için girdap hareketleri düşünüldüğünde yarım periyotlar arasında simetri yoktur. Şekil 3.10 a'da silindirin üzerinden geçen girdap her yarım periyotta silindirin tabana yakın tarafıyla akıma açık tarafı arasında hareket eder.

b) $e/D=0.1$: Burada akım asimetriktir. Girdap P tabana yakındır akım yeni yarım periyotta ters yönde harekete başlamadan önce silindirin üzerinden geçer.

c) $e/D=0$: Şekil 3.10 c' de de görüldüğü gibi girdap akım rejiminin gelişimi ($7 < KC < 15$) girdap akım rejiminin gelişmesiyle aynıdır. Buna rağmen girdap çifti ($7 < KC < 15$) akım rejimine göre daha uzun mesafe kateder.



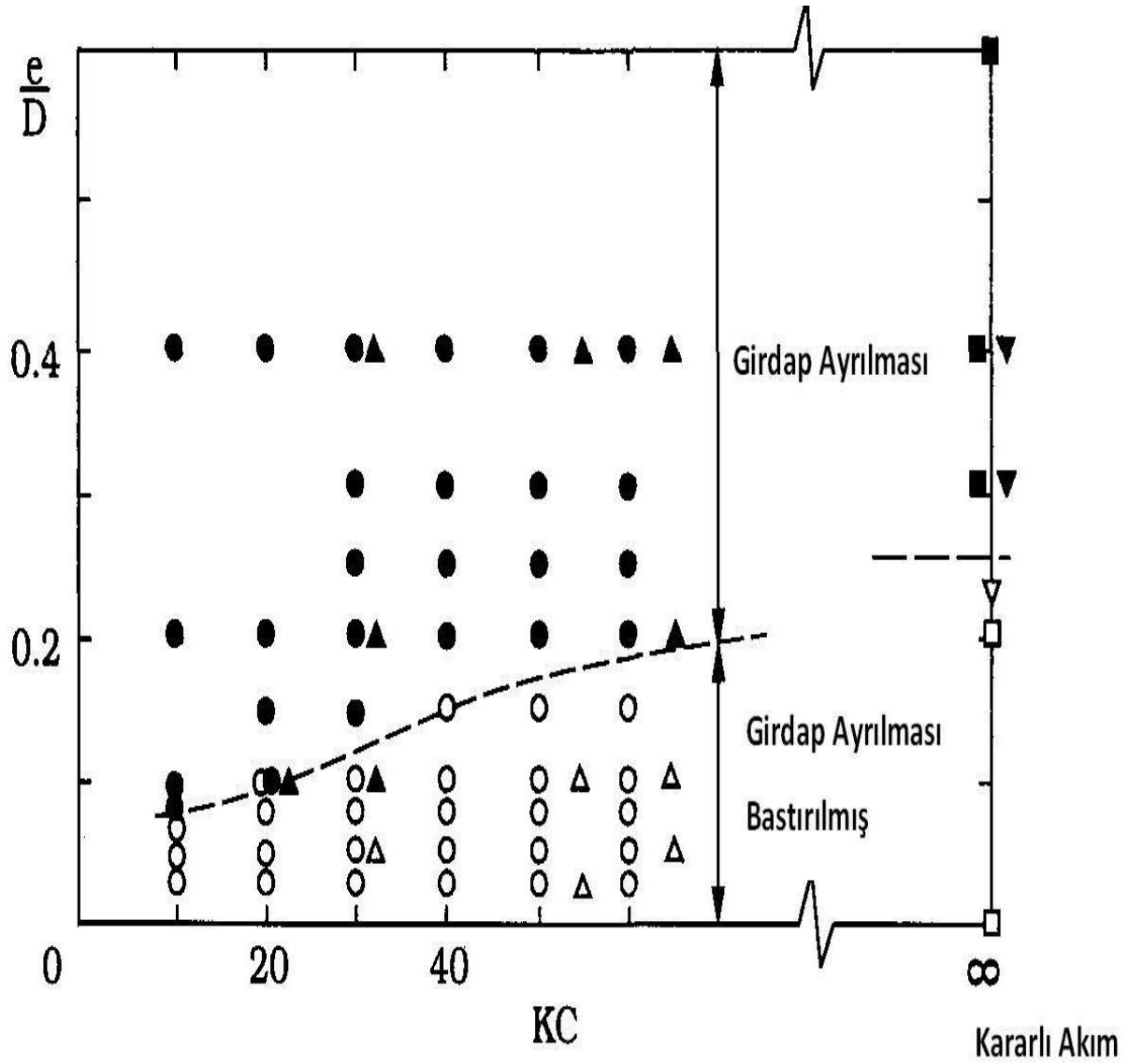
Şekil 3.9 : 1. Kısım $KC=4$ (a) $e/D = 2$. (b) $e/D = 0.1$. (c) $e/D = 0$, 2. Kısım $7 < KC < 15$ aralığında $KC=10$ iken girdap hareketlerinin oluşumu: (a) $e/D = 1$. (b) $e/D = 0.1$. (c) $e/D = 0$ [7].



Şekil 3.10 : $15 < KC < 24$ aralığında değişik e/D oranlarında $KC=20$ iken girdap hareketlerinin oluşumu: (a) $e/D = 1$. (b) $e/D = 0.1$. (c) $e/D = 0$ [7].

3.5 Çevri Kopması

Çevri kopmasının düşük değerli e/D oranları için bastırılmış olup olmayacağı akım izleme filmlerinden anlaşılır. Bu inceleme Şekil 3.11’ de görülmektedir.



Şekil 3.11 : e/D ve KC 'ye bağlı çevri kopmasının bastırılmış durumu. İçi dolu semboller girdap kopmasının olduğu durumları içi boş semboller girdap ayrılmasının bastırıldığı durumları göstermektedir. Δ Sumere ait deneyleri göstermektedir [7]. ∇ ise Grass ve arkadaşlarının deney sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 3.12' den aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz:

- Büyük KC değerlerinde kararlı akım için çevri kopmasının bastırıldığı koşullarda e/D oranı Bearman and Zdravkovich (1978) ve Grass ve arkadaşları tarafından elde edilen 0.25'e yaklaşmaktadır.
- Çevri kopmasının meydana geldiği bölgeyi ve bastırılmış bölgeyi keskin bir çizgiyle ayırmak mümkün olmasa da KC sayısının küçülmesiyle çevri kopmasının daha da küçük e/D değerlerinde görüleceği açıktır.

4. SALINIMLI AKIŞLARDAKİ SİLİNDİRİN TİTREŞİMİ

Salınımlı bir akışa maruz kalan silindir kesit akımlı titreşim ve akım doğrultulu titreşim olmak üzere iki çeşit titreşime maruz kalmaktadır.

4.1 Kesit Akımlı Titreşimler

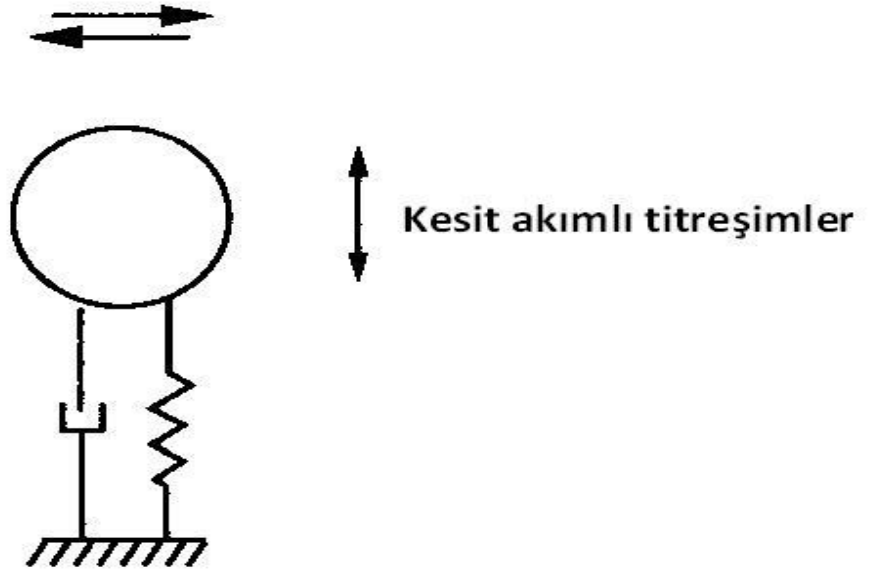
Kararlı akıma maruz kalan silindirlerin kesit akımlı titreşimleri aşağıdaki boyutsuz parametrelerle ifade edilir. Şekil 4.1’de kesit akımlı titreşim gösterilmiştir.

$$V_r, M, K_s, R_e, \frac{ks}{D} \quad (4.1)$$

V_r indirgenmiş hızdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$V_r = \frac{U_m}{Df_n} \quad (4.2)$$

$$U = U_m \sin (\omega t)$$



Şekil 4.1 : Salınımlı akımda kesit akımlı titreşimler.

4.1.1 Genel özellikler

Şekil 4.2 silindir titreşim kayıtlarını göstermektedir. Şekil 4.3 ise KC'nin 10, 20, 30, 40 ve 100 değerleri için genlik ve frekans datalarını göstermektedir. Datalar V_r değerlerine karşılık bulunan f/f_n , f/f_w ve $2A/D$ değerleri kıstas alınarak belirlenmiştir. Burada f =silindirin titreşim frekansıdır, f_n =doğal frekans, f_w =salınımlı akımın frekansı, $2A$ =Silindir titreşiminin çift genliğidir.

Şekil 4.3'te eşitlik

$$V_r = \frac{U_m}{D f_n} \quad (4.3)$$

referans çizgisi olarak çizilmiştir. Burada N =bir salınımdaki titreşim değerleridir.

$$N = \frac{f}{f_w} \quad (4.4)$$

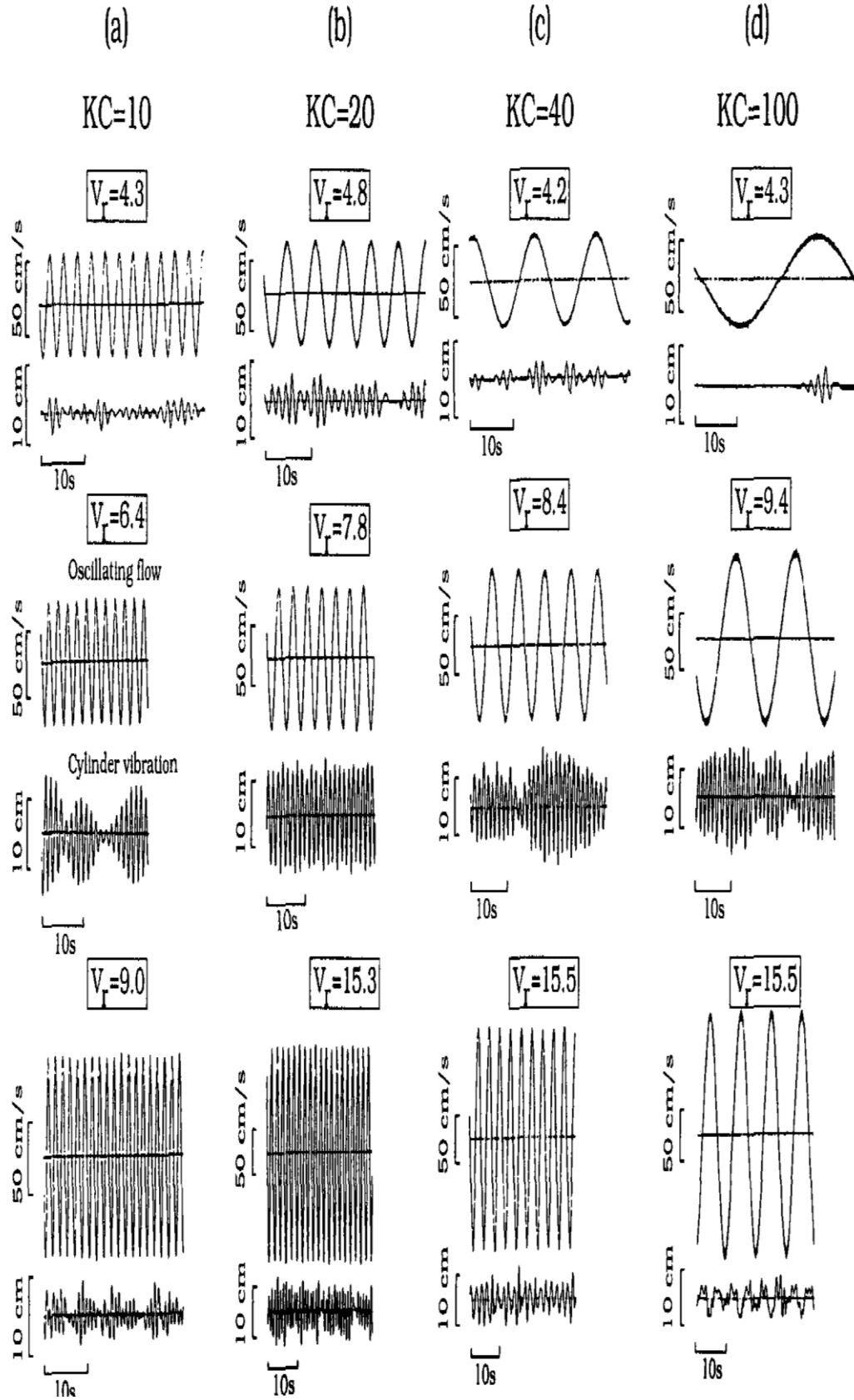
Aynı resimde bağıntı

$$\frac{f}{f_n} = 0.2 V_r \quad (4.5)$$

referans çizgisi olarak belirlenmiştir.

KC=20 durumunda silindirin salınımlı akımlardaki davranışını açıklamada diğer KC sayılarında olduğu gibi güzel bir örnek teşkil eder. Frekans yanıtı üzerinde duracak olursak neden bir salınımda titreşim sayıları V_r değeri artarken bir düşük değere indiği sorusu akıllara gelir. Testlerde V_r U_m 'nin artmasıyla birlikte artar buna rağmen akımın frekansı f_w U_m 'deki artışa paralel olarak $KC = U_m / (D f_w)$ değişmez değerini sağlamak için artmalıdır.

V_r değeri arttığında frekans cevabı üzerinde duralım. Bir salınım harekti için titreşim sayısı $N = f/f_w$ V_r değeri 5.5 olana kadar 4'te kalır. Bu noktada titreşim frekansı f doğal frekansla hemen hemen aynı değere gelir bu olaya kilitleme olayı denir. Eğer V_r daha da artarsa buna bağlı olarak f_w değeri artar bu durumda f/f_w değeri f sayısı 4'te kalamayacağı için 3 artı kesirli değere dönüşür.



Şekil 4.2 : Salımlı akım hızına ve kesit akımlı titreşim kayıtları [7].

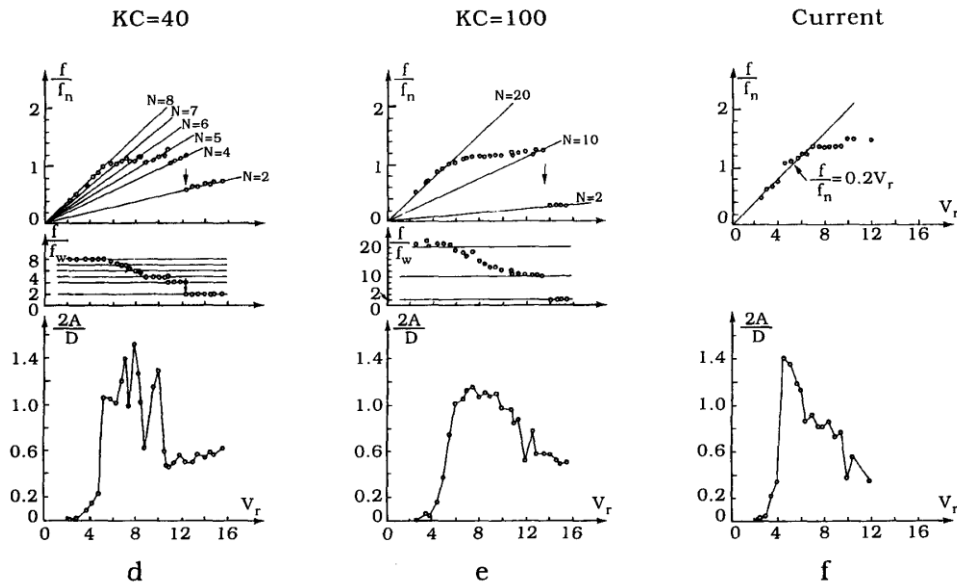
$$N = \frac{f_{\text{kilitli}}}{f_{w \text{ artmış}}} = \frac{fn}{fw} = 3 + \text{Kesirli değer} \quad (4.6)$$

Titreřim sayısı tabi ki tamsayı olmalıdır. Bundan dolayı f/f_w değeri 3 artı kesirli değer olamaz ve 3'e dūřmek zorundadır. Kilitli noktaya ulaşıldığı zaman V_r değerindeki yükselişlerde titreşim sayısında ani dūřüş meydana gelir. $V_r = 9$ durumunda titreşim sayısı 3'ten 2'ye dūřer.

$N=f/f_w=2$ değerine ulaşıldığında V_r 'nin her artışında 2 değeri korunur çünkü $N=2$ salınımlı hareketin bir salınımının mutlak en küçük değeridir.

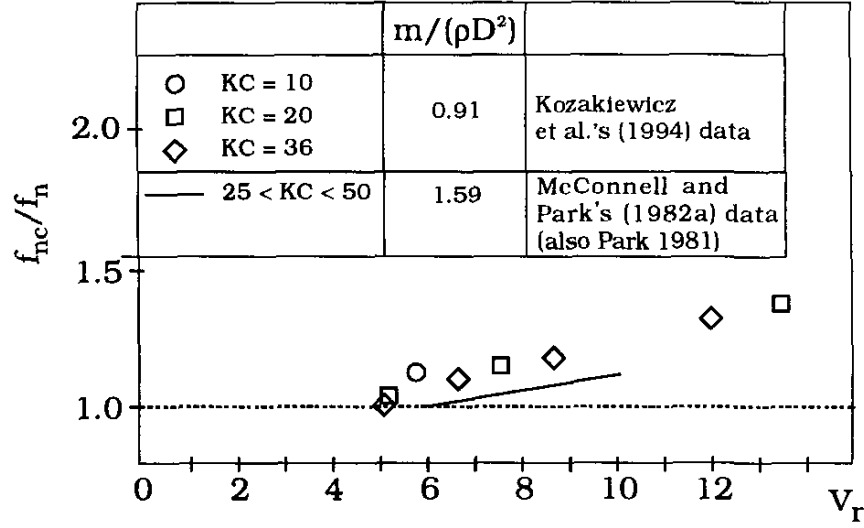
Bu davranış aynı zamanda $KC=10$ değeri için N 'nin 2 ile başladığı ve denetlerden elde edilen V_r 'ye bağlı sabit N değerlerinde incelenmiştir.

şekil 4.3' ten elde edilen frekans yanıtın önemli bir özelliği de silindirin kilit noktalarında durgun sudaki doğal frekans f_n 'den kısmen yüksek frekanslarda titreşim hareketinde bulunmasıdır. Bu durum silindir akıma maruz kaldığında sistemin doğal frekansının kısmen yükselmesinden kaynaklanmaktadır. şekil 4.4'te salınımlı akış deneylerinden elde edilen V_r 'nin fonksiyonu olarak doğal frekans değişimi görölmektedir. Genlik yanıtını dūřünecek olursak frekans yanıtını ağıkladığımızdan dolayı genlik yanıtını ağıklamak zor olmayacaktır. Gerçekte frekans oranı f/f_n zikzaklı ($f/f_n, V_r$) düzleminin yaklaşık kilit noktasına her ulaşıldığında genlik yanıtında ağık bir pik olmalıdır.



şekil 4.3 : Salınımlı harekete maruz kalan silindirin kesit akımlı titreşim için frekans

ve genlik yanıtı. $M=1.6$, $K_s=0.9$, $k/\rho=0.336\text{m}^2/\text{s}^2$ [7].



Şekil 4.4 : Silindirin salınımlı akımdaki doğal frekansı, f_n durgun sudaki doğal frekanstır.

Sumer ve Fredsoe'nin çalışmalarında her ne kadar kaldırma frekansı ölçülmesine de kaldırma frekansı ile silindir titreşim frekansı arasındaki ilişki tartışılabilir.

Sarpkaya (1976) bir salınımlık harekette sabit silindir için ana kaldırma $KC=20$ iken kaldırma frekansının 4 olduğunu saptamıştır. Bunun yanında bahsi geçen ölçümler göstermiştir ki bir salınımlık hareket için titreşim sayısı bir sonraki kilit noktasına kadar 4 olarak sabitlenmiştir. Bundan dolayı silindir titreşim frekansı V_r sıfırdan ilk kilit noktasına kadar durmadan yükselirken sabit silindir ana kaldırma frekansını takip eder [6].

Kilit noktasına ulaşıldığında titreşim frekansının son frekansa kilitlendiği anda titreşim frekansı, kaldırma frekansı ve doğal frekans kaldırma frekansının sistemin doğal frekansına kilitlendiği değerde sabit kalır.

$KC=30$ durumunda silindirin cevabı $KC=20$ durumu ile aynı şekilde açıklanabilir.

1) Frekans yanıtından da görüleceği üzere her döngüdeki titreşim sayısı bir düşük değere iner. Bu olay $V_r=0$ 'dan yaklaşık olarak 16'ya çıkmasıyla birlikte beş defa gerçekleşir.

2) Genlik yanıtının başka özelliği de çok pikli davranışa sahip olmasıdır ve bu genlik diyagramında açıkça görülür

3)Çizelge 4.1’de her döngüdeki titreşim sayıları (azalmış hızların düşük değerleri için) ve sabit silindirin $KC=30$ için döngü başına kaldırma kuvvetindeki salınım sayıları görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Sarpkaya ve Sumer’e ait titreşim ve salınım sayıları.

Esnek monteli silindirin döngü başına kesit akımlı titreşim sayıları $N = f/f_w$			Sabit silindirin akım döngüsü başına kaldırma kuvvetindeki salınım sayıları $N = f_v/f_w$
Sumer and Fredsøe (1988)			Sarpkaya (1976)
KC	Deney I	Deney II	$N = f_L/f_w$
10	2	2	2
20	4	4-5	4
30	7	6-7	6
40	8	8-10	8
60	13	12	10-15
100	21	21	15-?

$KC=40$ durumunda öncekilerle aynı özellikte olmasına rağmen açıklanması gereken bir husus vardır ki o da frekans yanıtıdır. Şekil 4.3 d’de görüldüğü gibi döngü başına titreşim sayısı olan N dörtten ikiye iner. Bu $V_r=12.5$ durumunda gerçekleşir. Aynı davranış titreşim sayısının ondan ikiye indiği $KC=100$ durumundaki frekans cevabından da açıkça görülür. Bu durum $V_r=13.5$ iken gerçekleşir.

$KC=100$ durumunda çok pikli genlik yanıtının kaybolduğu durumdur. f/f_w V_r diyagramında önceki KC değerlerinden elde edilen varyasyonları göstermez.

KC sayısı yediden düşük olduğu durumlarda çevri kopması meydana gelmez. İlk bakışta $KC<7$ olduğu durumda çevri kopması söz konusu olmadığından titreşim görülmez. Buna rağmen Sumer ve Fredsoe’nin $KC=5$ için yaptığı testler göstermiştir ki genlikli silindir titreşimleri $2A/D=1.4$ kadar büyük elde edilebilir.

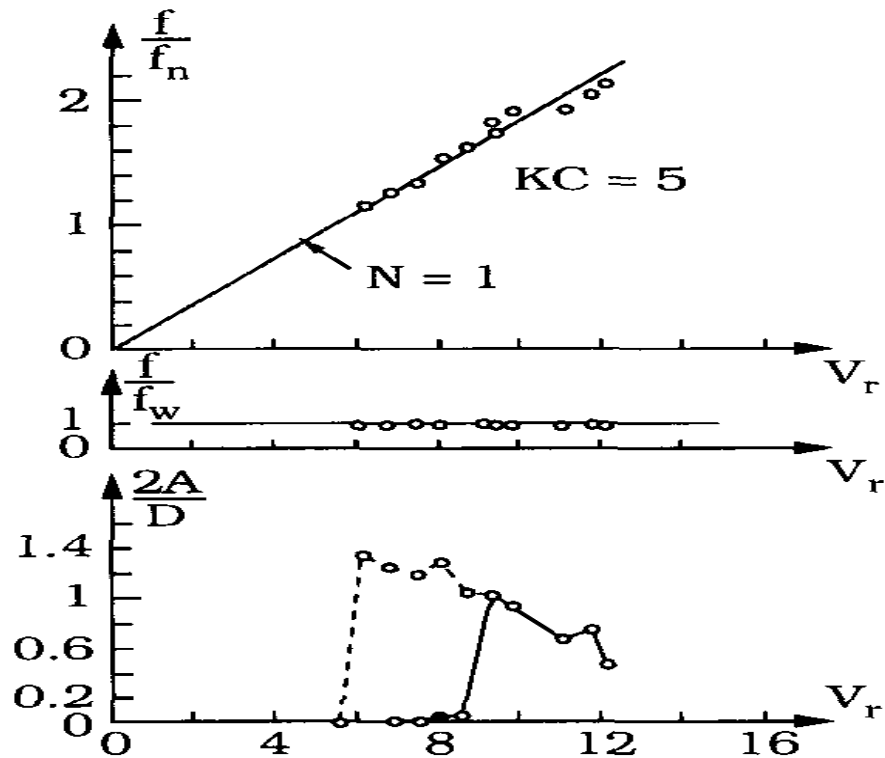
Şekil 4.5’te genlik ve frekans yanıtlarını $KC<7$ için göstermektedir. Bu şekilde noktalı eğri kendi kendine oluşmayan daha çok silindiri denge durumundan yarım çap boyu kadar hareket ettirecek büyük dış etkiyi göstermektedir.

Akışın her yarım döngüsünde silindirin arkasında oluşan birbirine bağlı iki girdabın kuvvetlerindeki asimetriden kaynaklanan kaldırma kuvvetiyle titreşimler oluşur.

KC sayısı dördü geçtiğinde asimetri oluşur. Titreşimlerin akımın salınım frekansı ($f/f_w=1$) olduğu durumda meydana gelmesi gerçeği titreşimlerin birbirine bağlı girdapların asimetrisinden kaynaklı kaldırma kuvvetinden kaynaklandığı hipotezini doğrular.

Titreşimlerin başlangıcı yaklaşık $V_r=5$ olduğu durumda ve titreşimlerin büyük dış etkiler tarafından tetiklendiği durumda gerçekleşir. Buna rağmen dış etki eksikliğinde hızın başlangıcı $V_r=8$ olacak kadar yüksek olur.

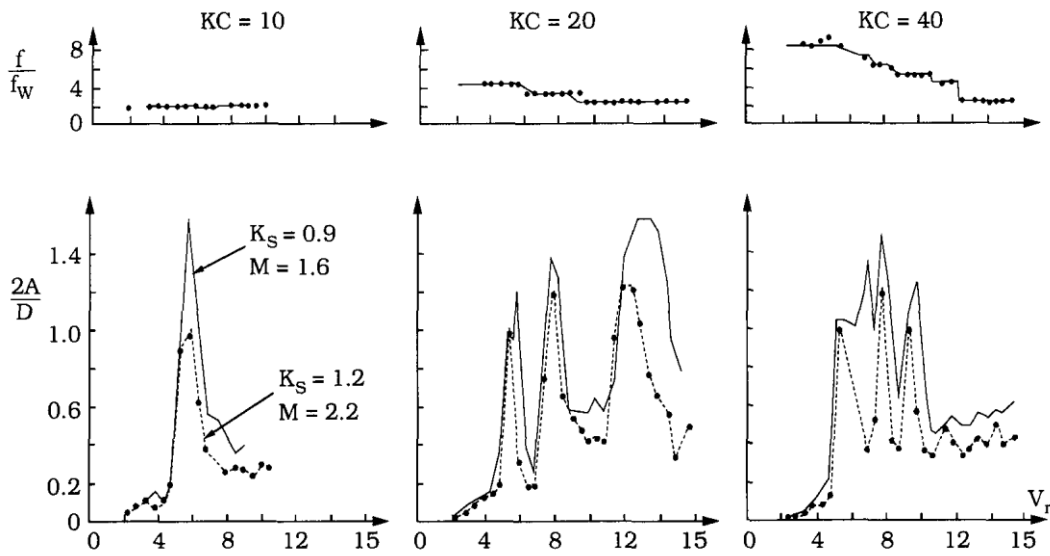
Genlik yanıtına gelince, zorlayıcı frekans (örneğin f_w) doğal frekansa yakındır, genlik çok yüksek değerdedir. Buna rağmen zorlayıcı frekans doğal frekanstan uzaklaştıkça genlik yanıtı sabit olarak azalır.



Şekil 4.5 : Salınlımlı akıştaki kesit akımlı titreşimlerin genliği ve frekansı. $KC=5$. Noktalı eğri: Titreşimler dış etkiyle başlamıştır. Düz eğri: Titreşimler kendiliğinden olur. f/f_n 'in V_r 'ye bağlı grafiğindeki düz çizgi: Eşitlik 9.3'ten $M=1.6$, $K_s=1.5$, $k/\rho=0.168 \text{ m}^2/\text{s}^2$ [7].

4.1.2 Kütle oranı ve stabilite parametresinin etkisi

Sumer ve Fredsoe salınımlı akımdaki kesit akımlı titreşimler üzerindeki stabilite parametresinin ve kütle oranının etkisi üzerine çalışmışlardır. Eğilimler kararlı akımdaki eğilimlere benzerdir. Kütle oranı yükseldikçe genlik yanıtı büyür. Şekil 4.6 üç değişik KC sayısı için bu etkileri göstermektedir. Şekil 4.3'te değişik KC değerlerinde ölçülen maksimum genlikler kararlı akımla ölçülenden tamamen farklıdır .



Şekil 4.6 : Frekans ve Genlik yanıtı .Stabilite parametresinin ve kütle oranının etkisi
Düz eğri: $K_s=0.9, M=1.6, k/\rho=0.336 \text{ m}^2/\text{s}^2, f_n=0.71 \text{ Hz}$. Daireler: $K_s=1.2, M=2.2, k/\rho=0.336 \text{ m}^2/\text{s}^2, f_n=0.71$ [7].

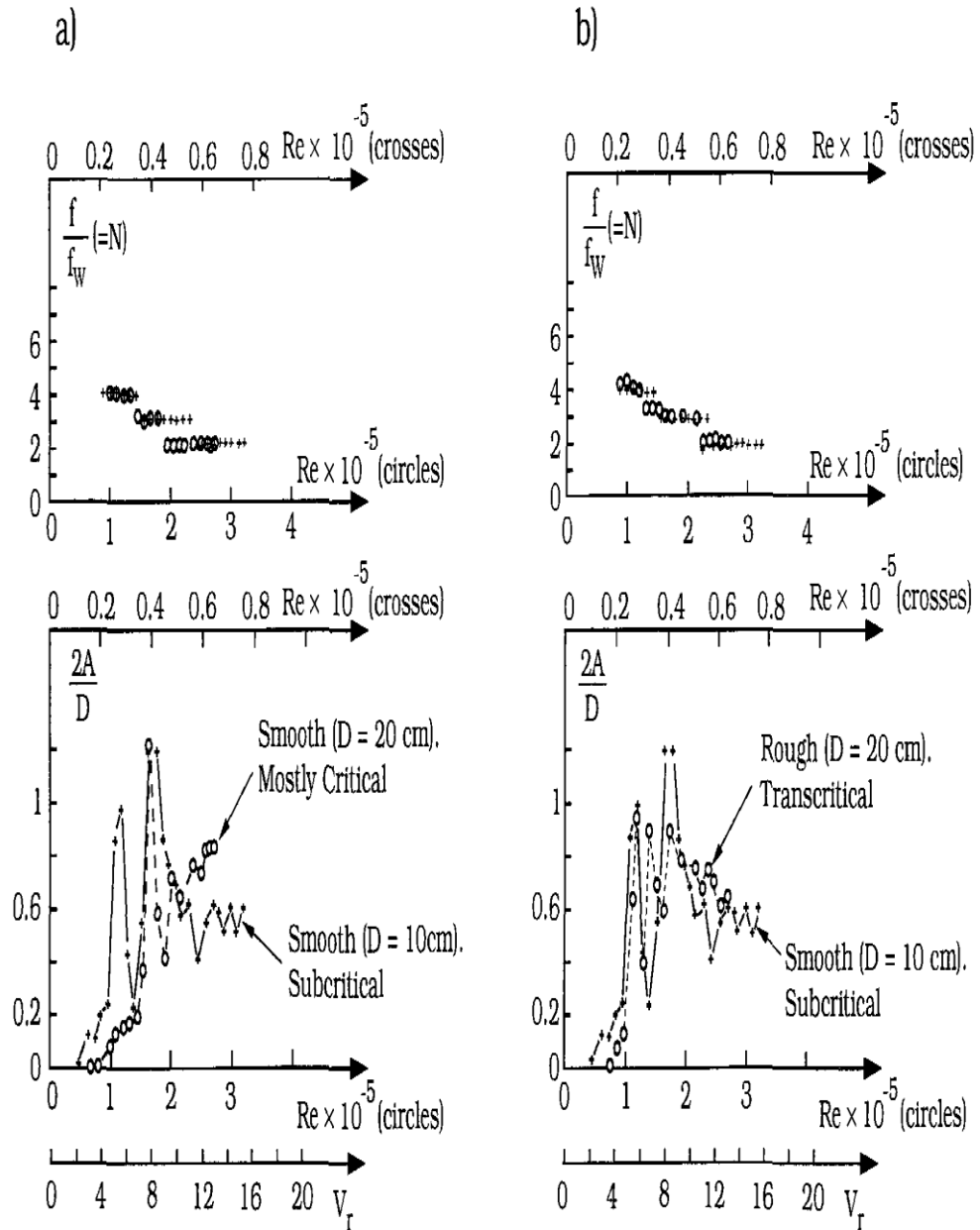
4.1.3 Reynold sayısının ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi

Sumer ve Fredsoe (1989) Reynold sayısının ve yüzey pürüzlülüğünün salınımlı akışta kesit akımlı titreşim üzerine etkilerini sistematik olarak araştırmıştır. Sumer ve Fredsoe'nun 3 çeşit silindire yaptıkları çalışmanın sonuçları Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Şekil 4.7'de $KC=20$ için kesit akımlı yanıt üç silindir için karşılaştırılmıştır. Şekil 4.7 incelenecek olursa şekilden de görüleceği üzere büyük silindirin yanıtı küçük silindire aynı değildir. Küçük silindir ilk kilit noktasında yani $V_r \cong 5.5$ durumunda büyük genliklerde titreşirken büyük silindir için aynı durum geçerli değildir. Bu durum Reynold sayısının önceden kritiğe ulaşmasından dolayıdır bu nedenle çevri kopması zayıflatılmış ve büyük olasılıkla silindir bu durumda süperkritik

rejimdeki gibi yanıt vermeyecektir. Her ne kadar iki silindirin genlik yanıtları ikinci kilit noktasıyla hemen hemen aynı olsa da yani $V_r \cong 8$ civarında olsa da, büyük farklılıklar daha büyük V_r değerlerinde gözlenmiştir.

Diğer test edilen KC sayıları düşünüldüğünde, Sumer ve Fredsoe düz yüzeyli silindir için yüksek Reynold sayılarında titreşimlerin düşük Reynold sayılarından önemli derecede farklı olduğu sonucuna varmışlardır [7].



Şekil 4.7 : Sumer ve Fredsoe'nin değişik akım rejimlerinde büyük silindire yapılan deneylerden elde ettiği kesit akım yanıtlarının karşılaştırılması $KC=20$ [7].

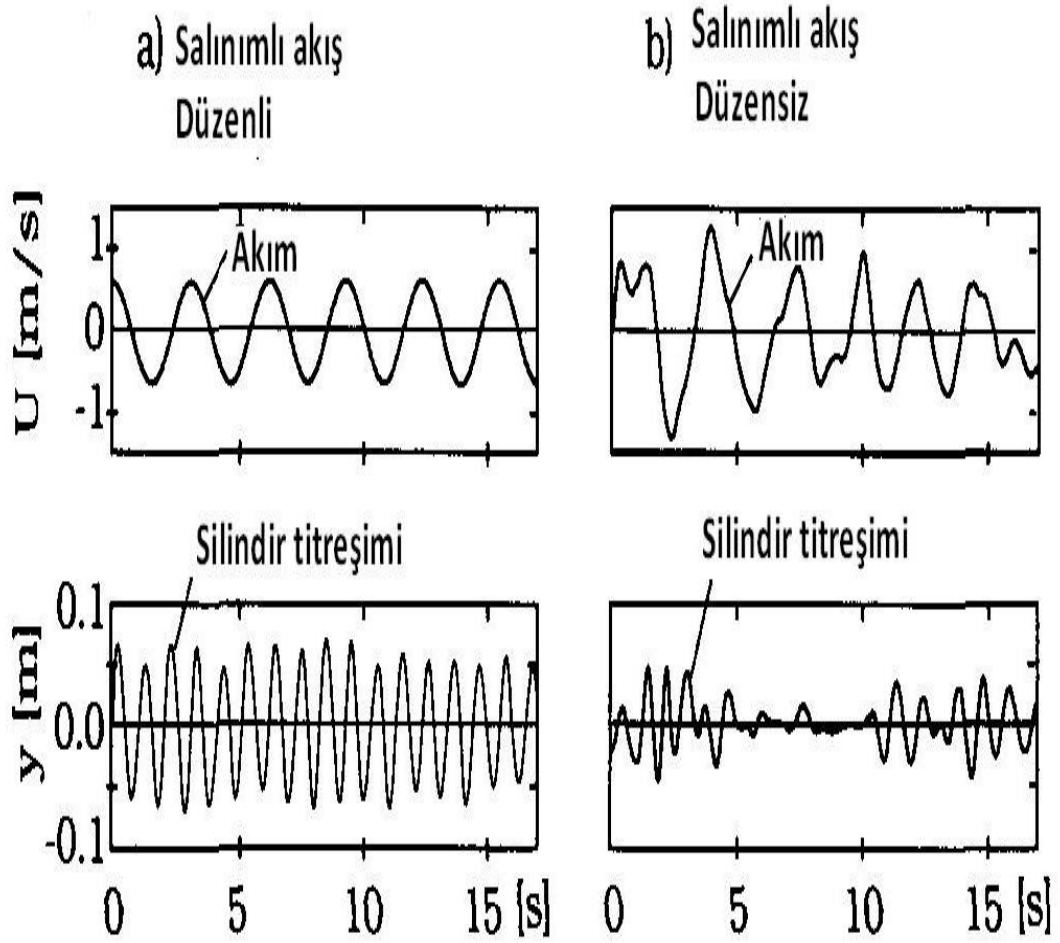
Çizelge 4.2 : Sumer ve Fredsoe'nin deneylerindeki akım şartları. Üç sistemin de hidroelastik özellikleri hemen hemen aynıdır.

Silindir Yüzeyi	Silindir Çapı D(cm)	Yüzey Pürüzlülüğü k_s/D	Reynold Aralığı	Yaklaşık Akım Rejimleri
Düz	10	0	$Re \lesssim 1 \times 10^5$	Kritik Altı
Düz	20	0	$1 \times 10^5 \lesssim Re \lesssim 3 \times 10^5$	Genelde Kritik
Pürüzlü	20	13×10^{-3}	$1 \times 10^5 \lesssim Re \lesssim 3 \times 10^5$	Transkritik

İlginçtir ki Sumer ve Fredsoe'nin çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre büyük ve pürüzlü yüzeye sahip silindirin genlik ve frekans yanıtı transkritik ve kritik altı rejimlerinde çok da farklı değildir. Sumer ve Fredsoe deney sonuçlarından diğer KC sayıları için yapılan testlerden çıkarttıkları sonuca göre eğer silindir yüzeyi pürüzlü ise Re sayısının etkisi pürüzlülük parametresine k_s/D 'ye bağlı olarak kaybolabilir. Reynold sayısının etkisi pratikte yüzey pürüzlülük parametresi $k_s/D=13 \times 10^{-3}$ olan silindirde mevcut değildir. Sabit bir silindirden alınan datalardan Reynold sayısının silindirlerin titreşimi üzerindeki etkisi pratikte $k_s/D \gtrsim 3 \times 10^{-3}$ değeri için kaybolur.

4.1.4 Düzensiz dalgalarda kesit akımlı titreşimler

Düzensiz dalga şartlarında kesit akımlı titreşimler üzerine Kozakiewicz ve ekibi tarafından araştırmalar yapılmıştır. Doğrusal olmayan dalga, dalga asimetrisi orbital akış hızı ve dalga sürüklemesi gibi etkileri elimine etmek için Kozakiewicz ve ekibi düzensiz salınımlı akış deneyleri yapmışlardır [9]. Şekil 4.8 akış hızının ve silindir titreşiminin zaman serilerini düzenli ve düzensiz dalgalar için karşılaştırmaktadır. Kozakiewicz ve ekibi referans olması amacıyla düzenli salınımlı akışta deneylerini gerçekleştirmiştir. Silindir düz yüzeyli olarak seçilmiştir ve kesit akım doğrultusunda bir derece hareket özgürlüğüne sahiptir.



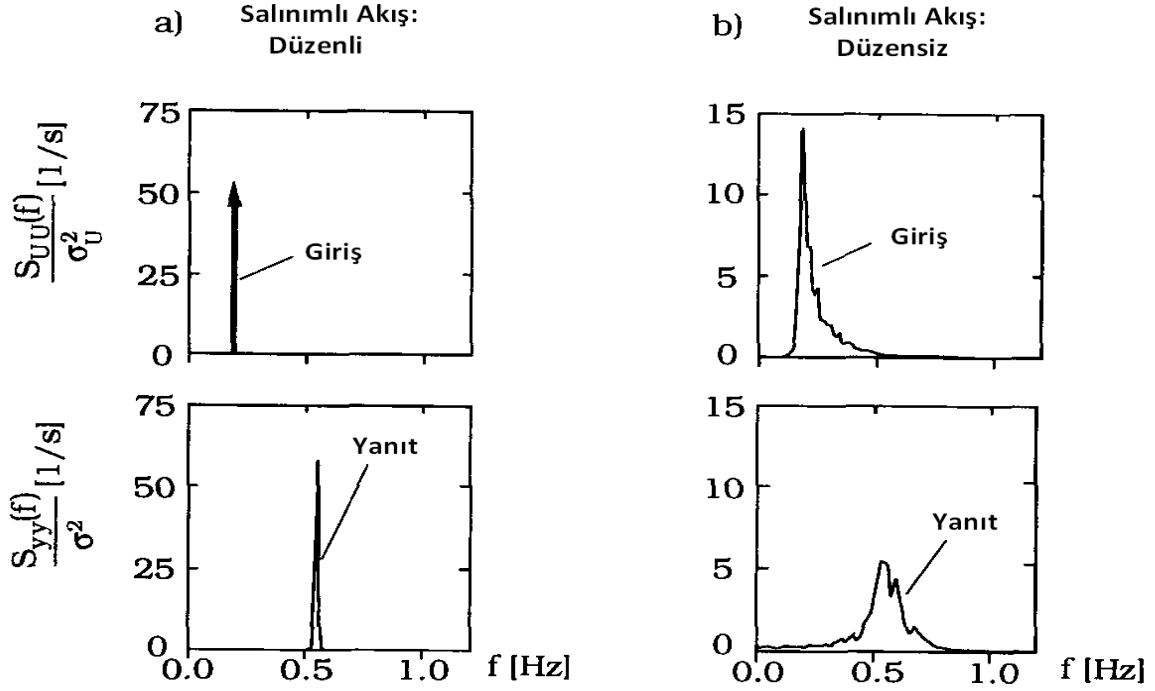
Şekil 4.8 : Akış hızının (U) zaman serileri ve silindirin yer değiştirmesi (y) $KC=20$, $V_r=7.6$ [9].

Keulegan-Carpenter sayısı ve azaltılmış hız düzensiz salınlımlı akışta şu şekilde tanımlanır:

$$KC = \frac{\sqrt{2}\sigma u T_w}{D} \quad (4.7)$$

$$V_r = \frac{\sqrt{2}\sigma u}{D f_n} \quad (4.8)$$

Şekil 4.9' da silindirin yanıtıyla ilgili güç spektrumlarını karşılaştırmıştır. Açık olarak görülüyor ki titreşimlerin düzenli salınlımlı akış durumundaki aşırı dar bantlı spektrumlarının fonksiyonuna zıt olarak düzensiz salınlımlı akış spektrumu Şekil 4.9 b' de görüldüğü gibi geniş bantlı spektrumdur.

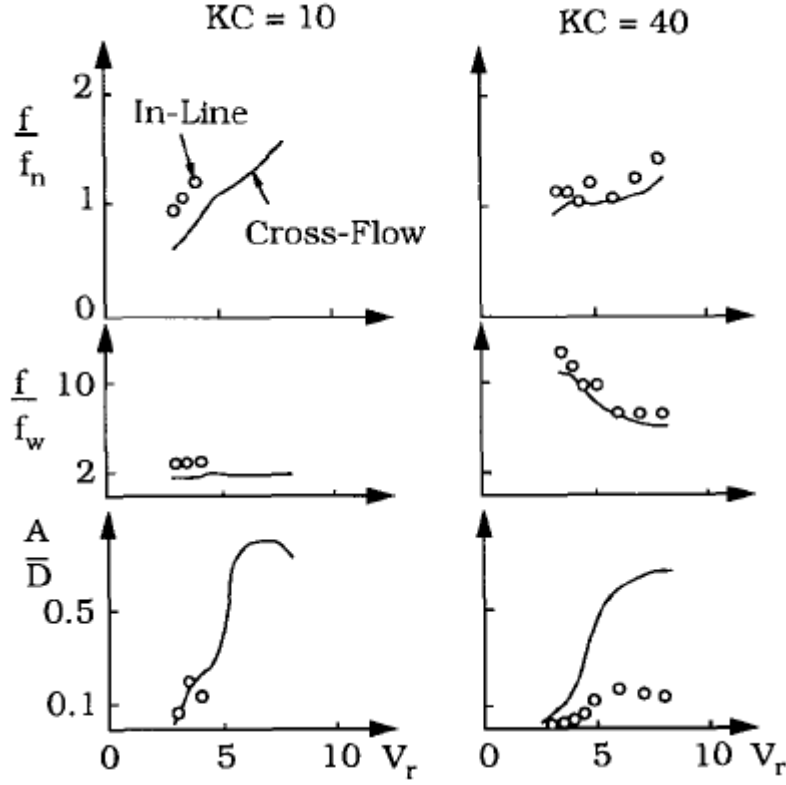


Şekil 4.9 : Normalleştirilmiş giriş hızı güç spektrumları ($S_{UU}(f)$) ve normalleştirilmiş yanıt güç spektrumları ($S_{yy}(f)$): (a) $KC=20$, $V_r=7.6$, $q=0$. (b) $KC=20$, $V_r=7.6$, $q=0.3$ [9].

4.2 Akım Doğrultulu Titreşimler

İki çeşit akım doğrultulu titreşim vardır. Bunlar dalga frekansında Morison kuvveti tetiklediği periyodik akım doğrultulu hareket ve çevri kopması gibi etkilerden kaynaklı yüksek frekanslı akım doğrultulu titreşimlerdir. Yüksek frekanslı düşük genlikli akım doğrultulu titreşimler geniş olarak araştırılmış değildir bundan dolayı bu konudaki bilgiler sınırlıdır. Bunun nedeni bu konunun yüksek genlikli düşük frekanslı hareketin gölgesinde kalmış olabileceği ihtimalidir. Buna rağmen bu titreşimlere bağlı yüksek frekanslı salınımları düşünürsek bu titreşimlerin yorulmadan kaynaklanan hasara neden olabilir.

Bu tip titreşimlerin mekanizması çevri kopması ve akım kararsızlığının neden olduğu girdaplarla ilişkilidir. Sumer ve ekibi dalga etkisindeki boru hatlarının hidrostatik titreşimlerini deneysel olarak incelemiştir. Son çalışmada $e/D=2$ olduğu durumda inceleme yapılmıştır. Şekil 4.10'da silindirin akım doğrultulu titreşim ölçümleri görünmektedir.



Şekil 4.10 : Salınlı akışta yüksek frekanslı akım doğrultulu titreşimlerin genlik ve frekansı. Silindirin iki dereceli serbest hareketi vardır. Şekilde aynı zamanda testlerde ölçülen kesit doğrultulu titreşim frekansı ve genliği de görülmektedir. $M=1.9$, $K_s=0.1$, $f_n=0.4$ Hz, $D=15$ cm, $k_s/D=4 \times 10^{-3}$ [7].

4.2.1 Akım doğrultulu salınlı akış

Önceden de belirtildiği gibi esnek monte edilmiş silindir akım doğrultulu kuvvet tarafından tetiklenen salınlı akıma maruz kalabilir. Bu tip hareket girdap etkili yatay titreşimden ayırmak için akım doğrultulu hareket olarak tanımlanır. Bu salınlılar Morison kuvvetinin etkisiyle salınlı hareketin frekansına (f_w) uygun olarak gerçekleşir.

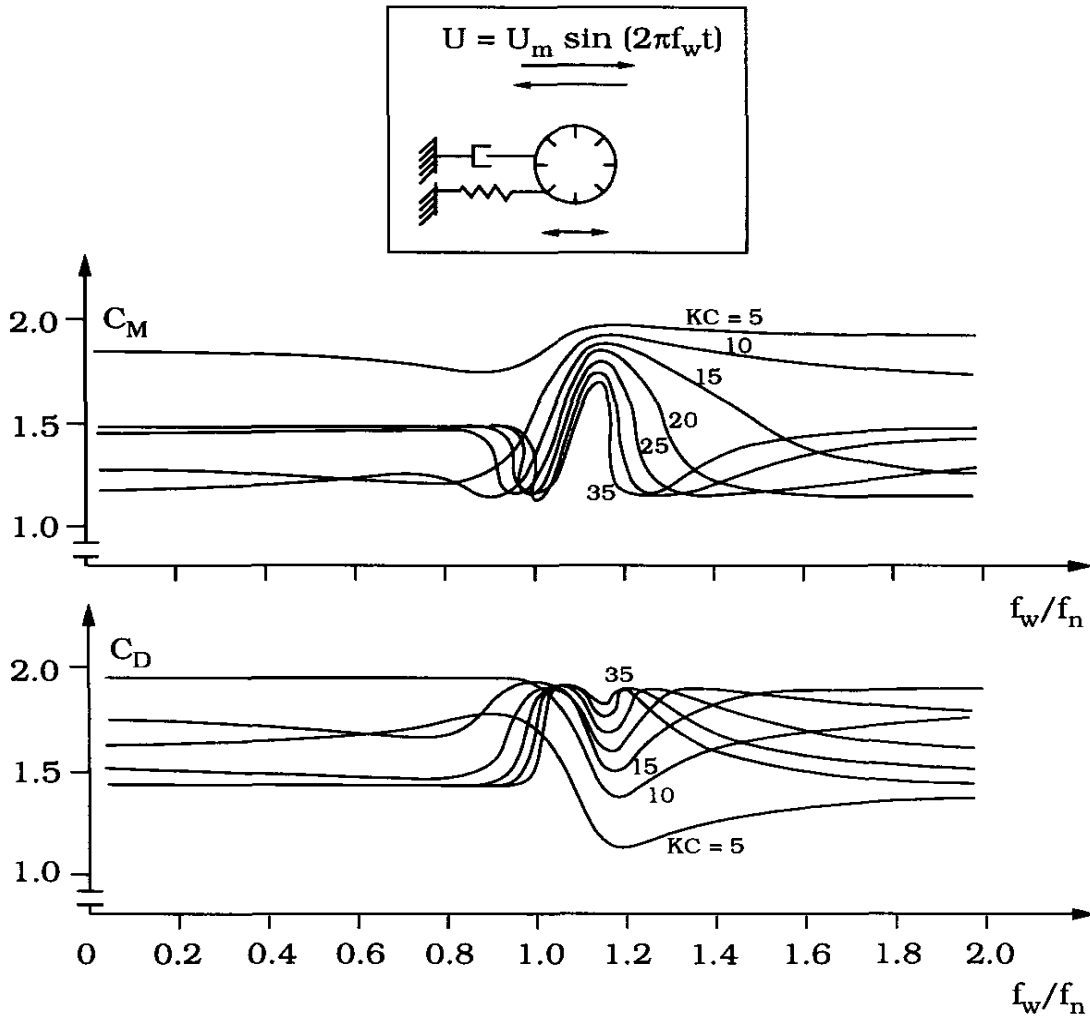
Bu tipte salınlıları izlemekteki temel amaç dalgaya maruz kalan esnek monte edilmiş silindirin yanıtını önceden tahmin etmektir. Pratikte aşağıdaki hareket denklemini yardımcı olabilir.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (4.9)$$

x akım doğrultusundaki yer değiştirme, $F(t)$ birim süredeki toplam akım doğrultulu kuvveti ifade eder ve aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$F(t) = \frac{1}{2} \rho C_D D (U - \dot{x}) |U - \dot{x}| + \rho C_m \frac{\pi D^2}{4} \frac{d}{dt} (U - \dot{x}) + \rho \frac{\pi D^2}{4} \ddot{U} \quad (4.10)$$

Bu formül durağan olmayan silindire etki eden kuvveti ifade eder ve Morison formülü olarak bilinir.



Şekil 4.11 : Sürüklenme katsayısı (C_D) ve atalet katsayısı ($C_M=1+C_m$) salınımlı akışa maruz kalan esnek monte edilmiş salınımlı akış ve Morison kuvveti tarafından tetiklenen akım doğrultulu salınımlar. Williamson'un yarı deneysel modeline bağlı tahmin. $m/(\rho D^2)=5.11$; $\zeta_s=0.02$ ve $\beta=D^2/(vT_w)=730$ [10].

Yapının yanıtını tahmin etmek için (4.9) ve (4.10) numerik olarak integre edilmelidir. C_D ve C_M kuvvet katsayılarıyla ilgili genel görüş şudur ki bu katsayılar sabit silindir değerleri olarak kabul edilmelidir. Buna rağmen C_D ve C_M 'nin salınım genlik aralığı için sabit olarak kabul edilip edilemeyeceği geniş olarak araştırılmış bir konu değildir. (4.10)' da yanıt kuvvet katsayıları vasıtasıyla saptanır. Williamson kuvvet katsayıları sabit silindir datalarından seçilen yarı deneysel model kullanarak probleme yaklaşmıştır ve sıvının gerçek akış değerlerinden çok sıvının göreceli genlik değerleri seçilerek mevcut datalar toplanmıştır. Williamson'un

tahminleri göstermiştir ki C_D ve C_M rezonans noktasında ve $f_w/f_n > 1$ frekans aralığında çok değişim gösterir. Williamson'un tahmin sonuçları Şekil 4.11'de gösterilmiştir [10].

Deney sonuçlarından Williamson rezonansa yakın yapının tepkisinden kaynaklı kuvvet katsayılarındaki değişimin dikkate alınmasının akla yatkın olabileceği sonucuna varmıştır.

Şekil 4.12 Morison kuvveti kaynaklı akım doğrultulu salınımların frekansının Williamson tarafından öngörülen dalga frekansına bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir. Sonuç olarak önceden ifade edilen silindirik yapının tepkisine bağlı kuvvet katsayısındaki değişim dikkate alınmıştır. Aynı şekilde Şekil 4.12 b'de göreceli genlik sapmaları da görülmektedir. Hesaplamalar sonucu çıkan $\beta = (Re/KC)$ değeri

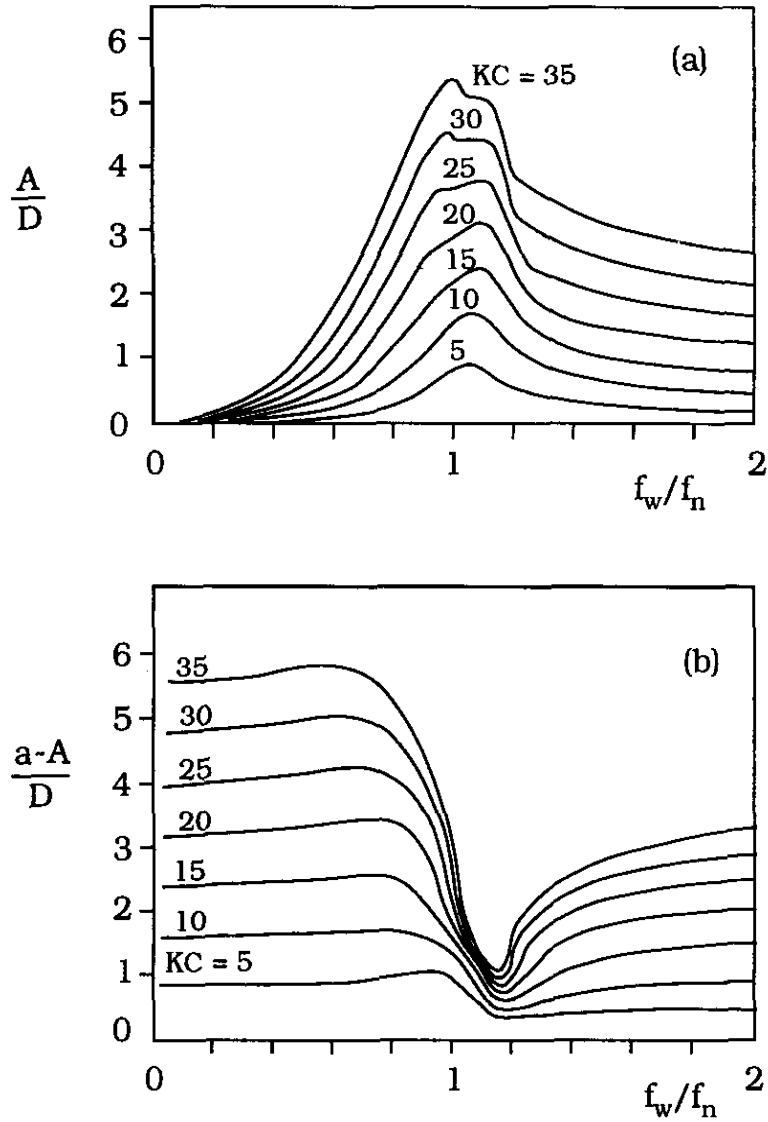
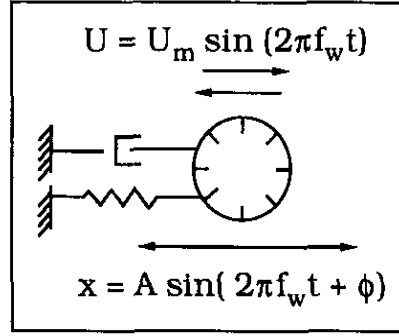
Şekil 4.12'de gösterilen tahminlere dayanarak bulunan $\beta = 730$ değeri oldukça küçüktür [10].

4.2.2 Titreşimli silindir çevresindeki akım ve kuvvetler

Salınımlı akıma ve titreşimlere maruz kalan silindir çevresindeki akım ve kuvvetler titreşim genliğine ve frekansına bunun yanında Reynold sayısı, KC sayısı gibi genel parametrelere de bağlı olarak değişir. Her ne kadar son yıllarda karalı akım koşulunda akım ve kuvvetlerle ilgili önemli bir birikime sahip olsak da dalga koşulundaki akım ve kuvvetlerle ilgili bilgilerimiz sınırlıdır. Kozakiewicz, Sumer, Fredsoe and Hansen kesit doğrultusundaki hareketle ilgili çalışmalarda bulunmuştur [11].

Kozakiewicz, Sumer, Fredsoe and Hansen iki çeşit çalışma yürütmüştür :

- Akış görüntüleme testleri, iki KC sayısı için yürütülmüştür, $KC=10$ ve 20 ve sırayla $V_f=4-7$ ve $5-8$ azaltılmış hız aralıklarında
- Deneyleri tamamlamak için soyut girdap modeli kullanarak nümerik simülasyon yapılmıştır.



Şekil 4.12 : Salınımlı akışa maruz kalan esnek monte edilmiş silindirin genlik yanıtı ve Morison kuvveti tarafından tetiklenen akım doğrultulu hareket. Williamson'un (1985) aşağıdaki parametreler için yarı deneysel modeline bağlı tahmini $[10].m/(\rho D^2)=5.11$; $\zeta_s=0.02$; ve $\beta=(D^2/(vT_w))=730$ (a) Mutlak hareketin genliği A/D (b) Göreli genlik $(a-A)/D$ (a sıvının hareketinin genlik değeridir).

Şekil 4.13'te titreşimli silindir için elde edilen hareketin bir döngüsü üzerindeki girdap akımını karşılaştırmaktadır. Şekil 4.13 b'de titreşimli silindir için, sabit silindir için ise durum Şekil 4.13a'da incelenmiştir. Testlerde $KC=10$, Reynold sayısı yaklaşık 10^3 alınmıştır. Titreşimli silindir için $V_r=6.3$, $f/f_w=2$ ve A/D yaklaşık 0.8'dir.

Silindirin yörüngesi Şekil 4.13 b'de sol üst çerçevede görülmektedir. Şekilden de açıkça görüleceği gibi titreşimli silindirde her zaman ters yönde akımdan önce ek girdaplar oluşur (Girdap b' ve A'). Bu nedenle her akım döngüsünde iki yerine dört girdap oluşur. Akım resimlerinin analizi göstermiştir ki bu ek girdaplar yeni oluşan girdaplarla birleşmiştir; girdap b', Girdap A ile ve girdap A', Girdap B ile birleşmiştir.

Kozakiewicz ve ekibinin çalışmalarındaki en ortak özellik titreşimli silindirin çevresinde ek girdap akımlarının oluşumudur. Kozakiewicz ve ekibinin çalışmalarında kuvvet ölçümleri yapılmamıştır. Buna rağmen proses nümerik olarak simule edilmiştir ve önceden de açıklandığı gibi kuvvetler bu simülasyonlar neticesinde bulunmuştur.

Şekil 4.14 nümerik simülasyondan elde edilen kaldırma kuvvetinin zaman serilerini göstermektedir. Şekil 4.14 a ve Şekil 4.14 b'yi karşılaştırsak;

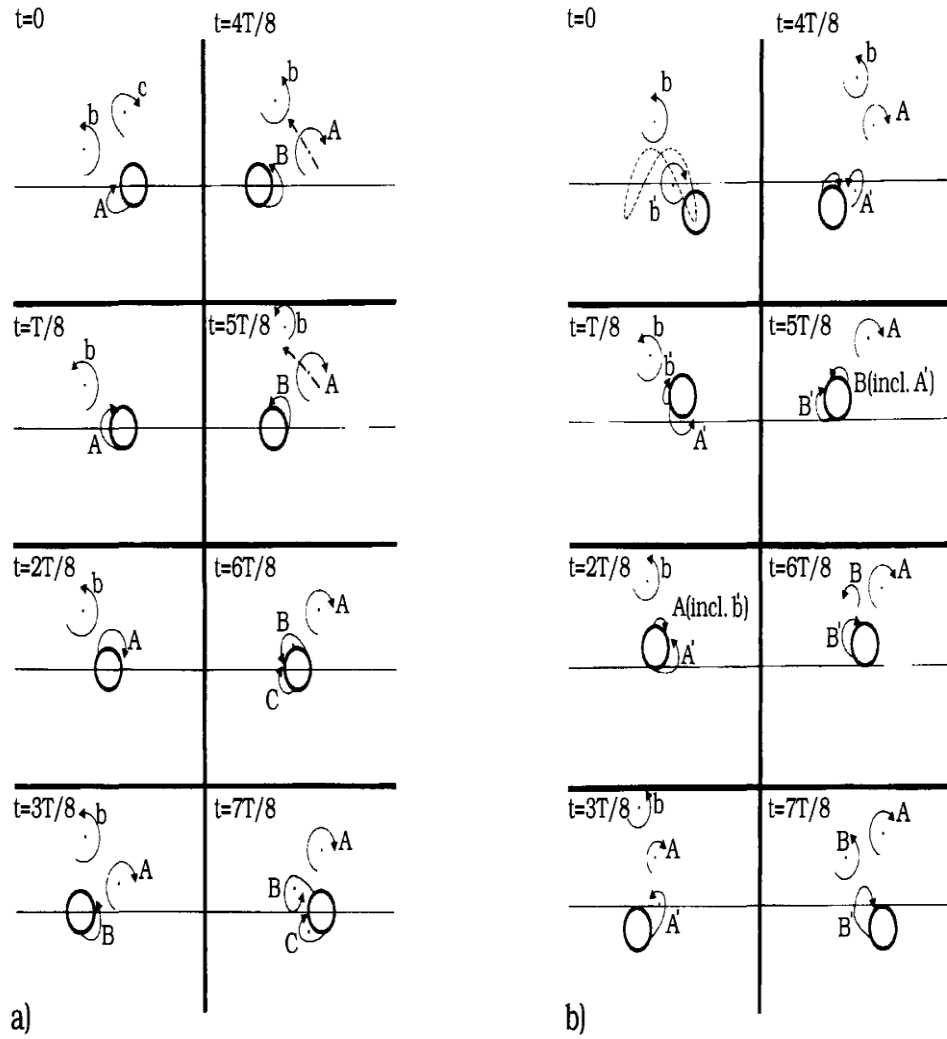
İlk olarak titreşen silindirde $f_L=2f_w$ koşulunda kaldırma kuvvetinin frekansı genel olarak değişmez.

İkinci olarak yakından incelendiğinde kaldırma kuvveti izlerinde değişikliklerin (örneğin Şekil 4.14'te görülen 2') önceden ifade edilen ters akım kaynaklı ek girdaplardan kaynaklandığı bulunmuştur (örneğin Şekil 4.14 b'de görülen Girdap B' $t=7T/8$ koşulunda).

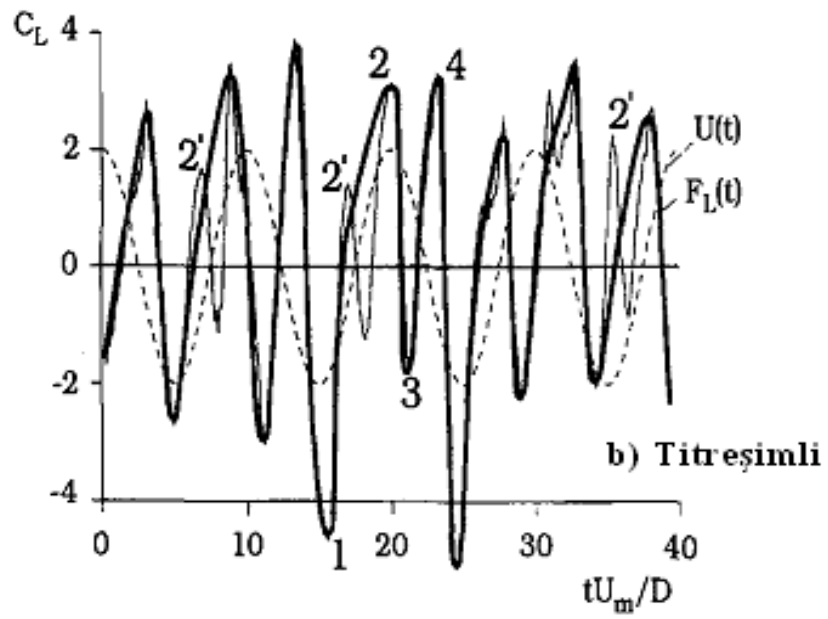
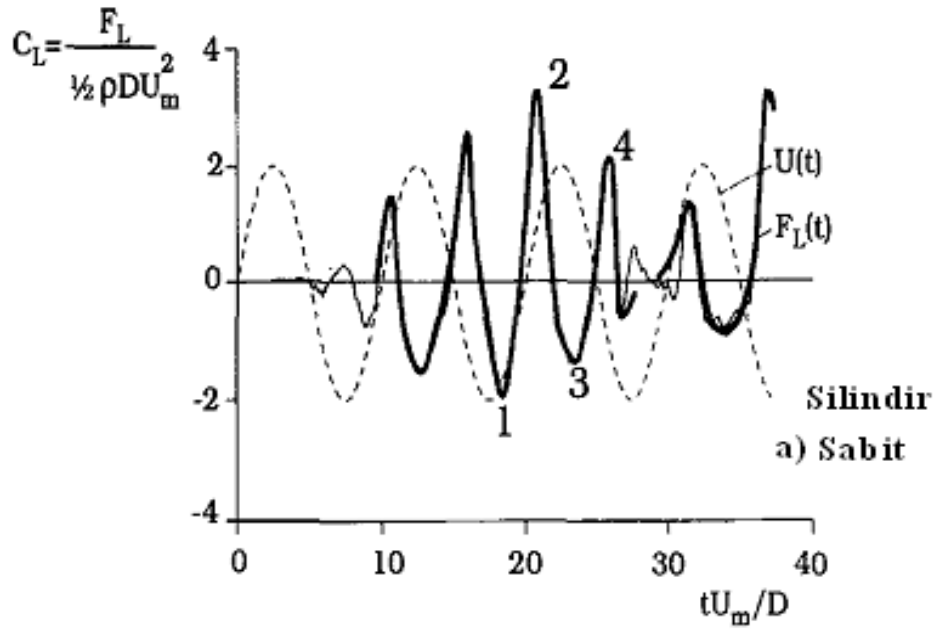
Üçüncü olarak 2 ve 4'te işaretlenen pikler girdabın geri dönüşünden kaynaklanmıştır. 2 olarak işaretlenen pik ise Girdap b'nin $t=2T/8$ 'de geri dönüşünden kaynaklanmıştır ve durum Şekil 4.13 b'de gösterilmiştir. 4 olarak işaretlenen pik ise Şekil 4.13 b'de de görüldüğü gibi Girdap A'nın $t=4T/8-5T/8$ zaman aralığında geri dönüşünden kaynaklanmıştır. Buna rağmen son pik buna ek olarak oluşan girdap olan Girdap A' tarafından $t=4T/8$ 'de gelişmiştir.

Dördüncü olarak silindir titreştiğinde önemli ölçüde büyük bir kaldırma kuvveti oluşur. Bu titreşen silindiri harekete geçiren girdaplardaki gücün yükselişinden kaynaklanır. Kozakiewicz ve ekibinin çalışmalarından elde edilen nümerik sonuçlar $KC=10$ ve $KC=20$ durumunda göstermiştir ki silindir $A/D \cong 0.8$ genliğinde $C_{L \max}$ 'ta 1.7 faktörü tarafından bir yükselişin olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar Sumer, Fredsoe, Jensen and Christiansen'in 1994'te yaptığı çalışmaların neticeleriyle örtüşmektedir.

Sonuç olarak, Kozakiewicz ve ekibinin 1996'da yaptığı çalışmalardan kaldırma kuvvetine benzer olarak akım doğrultulu kuvvette silindir titreştiği zaman önemli değişimler gözlenmiştir. Titreşimin etkileri a) Kuvvette artış b) Akım doğrultulu kuvvette yüksek frekans değişimleridir [11].



Şekil 4.13 : Girdap Akım modelleri [11].

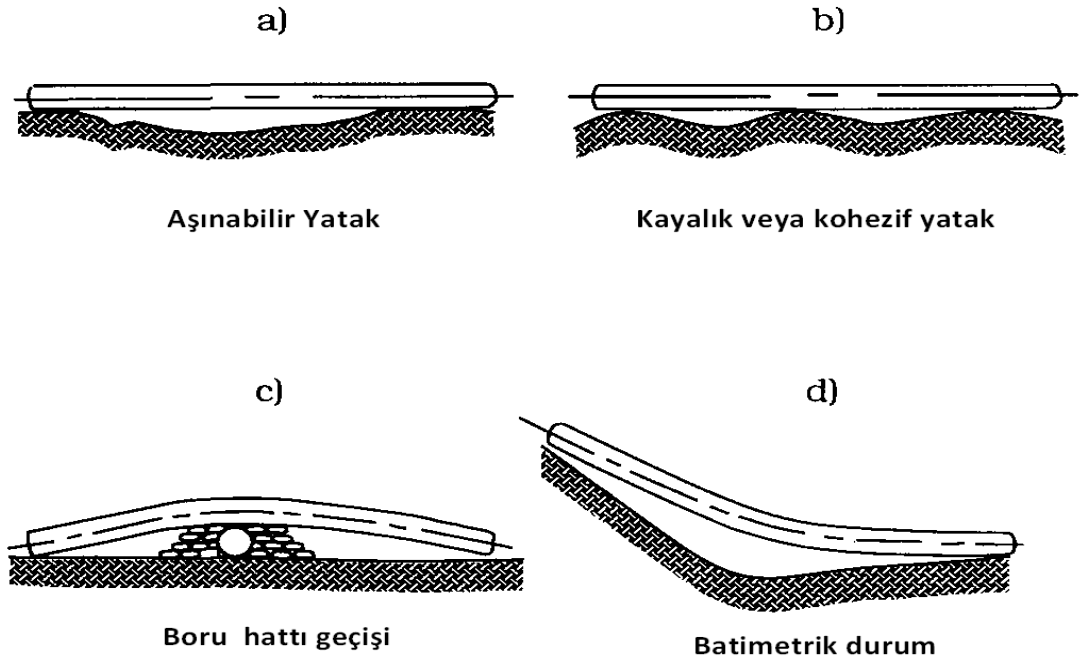


Şekil 4.14 : Kaldırma kuvvetinin zaman serileri. KC=10.Nümerik simülasyon.
[11].

5. DENİZALTI BORU HATTI TİTREŞİMLERİ

Boru hatları gömülmediği takdirde çoğu bölgede asılı açıklıklar bulunur. Şekil 5.1’de denizaltı boru hatlarının geçtiği asılı açıklıklarla ilgili değişik senaryoları göstermiştir. Açıklık uzunluğu silindir çapının yüz katı olabilir bunun yanında silindir deniz tabanından 2, 3 kat silindir çapı kadar yüksekte olabilir. Akıma maruz kalan boru hattı akım indüklü titreşime maruz kalır. Geçmiş yıllarda boru hatlarının koruyucu kaplamalarındaki aşınmadan dolayı titreşimden dolayı birçok kaza meydana gelmiştir.

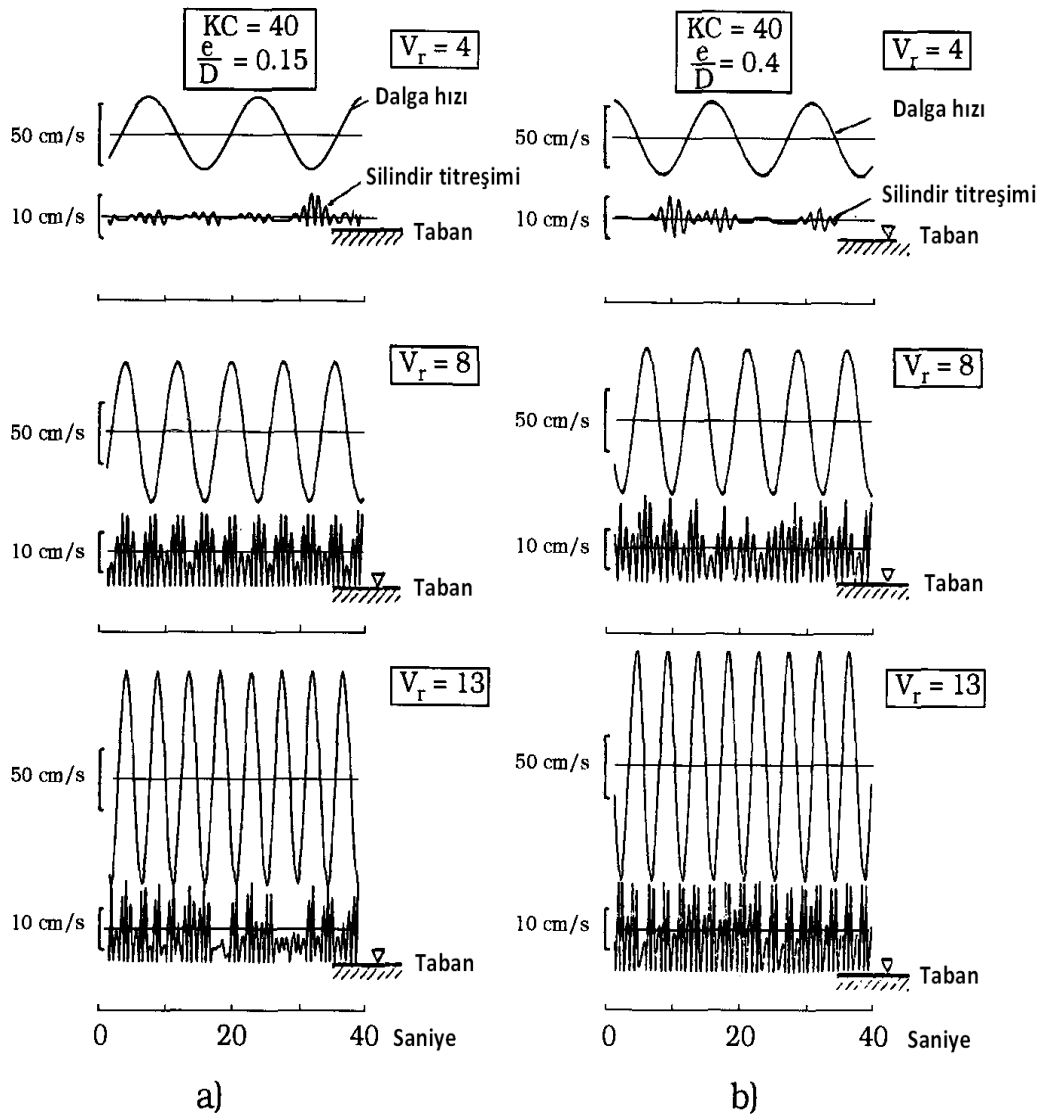
Akım indüklü titreşimler boru hatlarının yorulma süresini belirler. Titreşime bağlı yorulma süresine bağlı hasar A^4f ile orantılıdır. A genlik f ise titreşimlerin frekansını ifade eder [12]. Yüksek frekanslı küçük genlikli titreşimler kısa vadede hasar verici olmayabilir fakat uzun vadede boru hattının yorulma ömrü kaynaklı hasarlar görülebilir.



Şekil 5.1 : Boru hattı asılı açıklıklarıyla ilgili senaryolar [13].

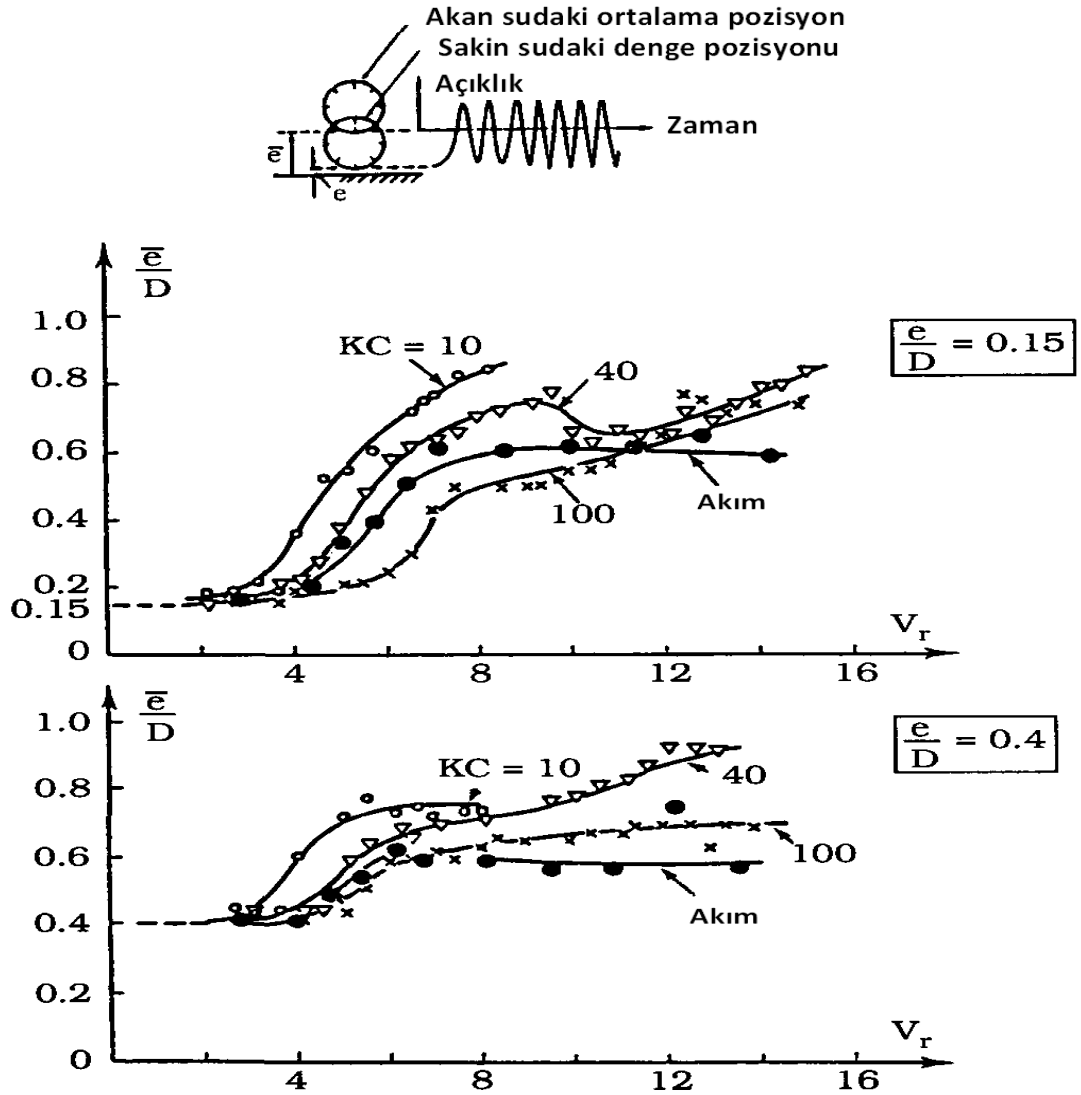
5.1 Dalgalı durumda kesit doğrultulu titreşim

Bu konuyla ilgili önemli katkıyı Tsahalıs ve Jacobsen ve ekibi yapmıştır. Tsahalıs çalışmasında birleşik kararlı akım ve dalga durumunun etkisini ve model testleri belli açıklık aralığındaki ($0 < e/D < 1$) deniz tabanındaki esnek silindirin titreşimlerini belirleyebilmek için dalga tankında çalışmıştır [13]. Jacobsen ve ekibini çalışmasında benzer testler esnek rijit silindirdekidavranışları belirleyebilmek için kararlı akımda, düzenli ve düzensiz dalgalarla ve kararlı akımla birleştirilmiş dalgalarla yapılmıştır.



Şekil 5.2 : Tabana yakın silindirin titreşim ve dalga hızı ölçümleri. (a) $e/D=0.15$. (b) $e/D=0.4$ [15].

Şekil 5.2 Sumer ve ekibinin dalga hızı çalışmasıyla ilgili kayıtları göstermektedir. Beklendiği gibi özellikle yüksek genlikli titreşimlerde taban etkisinin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Şekil 5.3 ise V_r 'nin ve KC 'nin fonksiyonu olarak çizilmiş ortalama açıklık dadasını göstermektedir. $\bar{e}$ =ortalama açıklık olarak ifade edilir. Şekil 5.3'te bu tanımlar ifade edilmektedir. Sumer ve ekibinin deneyleri göstermiştir ki $e/D=1$ durumunda $\bar{e}$ e 'ye eşittir.

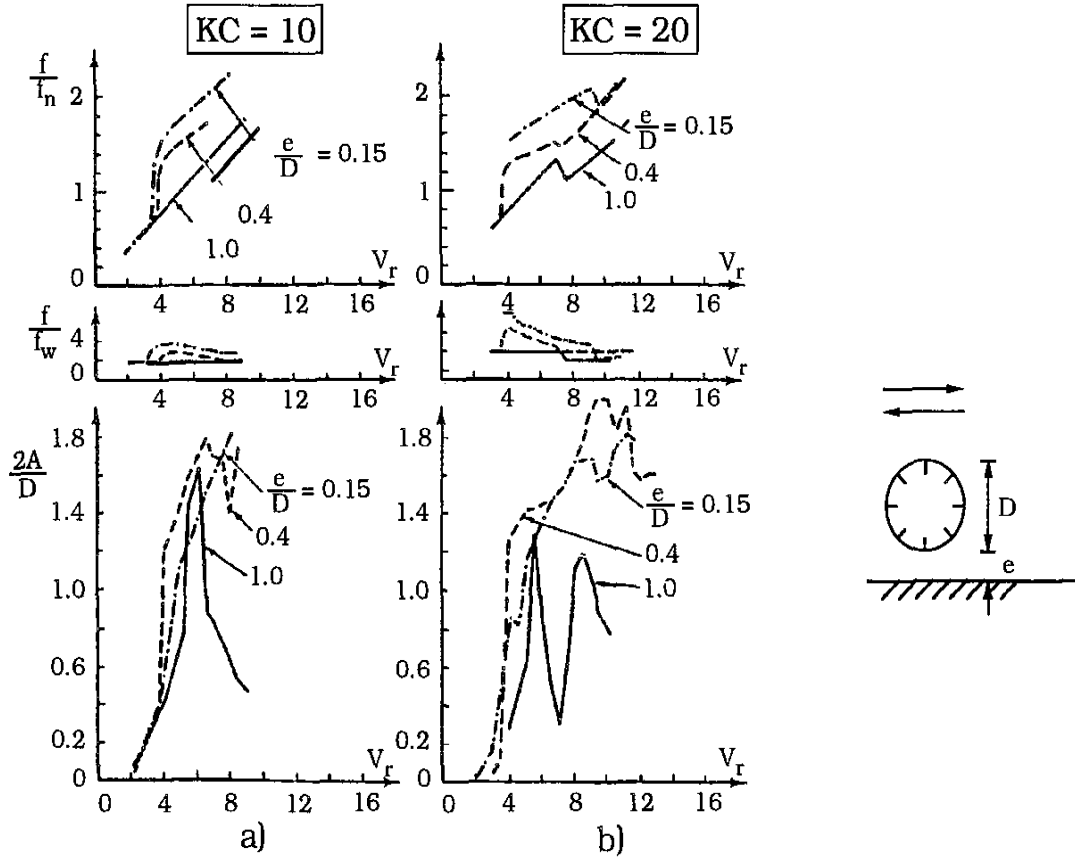


Şekil 5.3 : Ortalama açıklık azaltılmış hız grafiği [15].

Şekil 5.3 göstermektedir ki $e/D=0.15$ ve 0.4 için ortalama açıklık çok küçük V_r değerleri için e değerine çok yakındır fakat o da V_r arttıkça artar bu da ortalama olarak silindirin tabandan yukarı doğru olan hareketini ifade eder. Bu da kaldırma kuvvetinin etkisini gösterir.

5.1.1 Genlik ve frekans yanıtı

Genlik ve frekans yanıtları $e/D=0.15, 0.4$ ve 1 değerleri kıstas alınarak bulunmuştur. e/D değerleri Şekil 5.3'te gösterilen sakin su denge koşullarında bulunmuştur [15].



Şekil 5.4 : Üç değişik açıklık oranı için frekans ve genlik değerleri (a) $KC=10$. (b) $KC=20$, $M=1.6$, $K_s=1.5$ ve $k/\rho=0.336 \text{ m}^2/\text{s}$ [15].

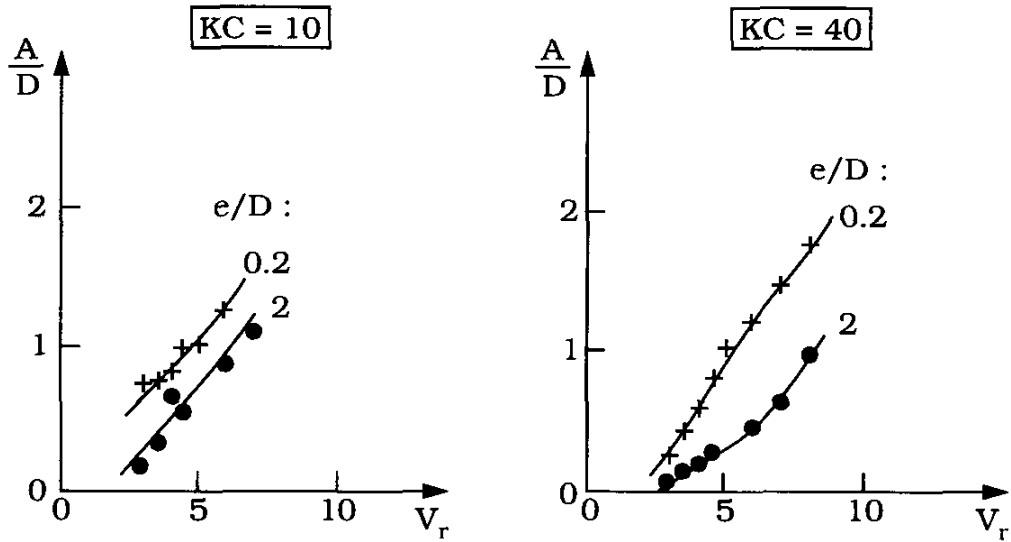
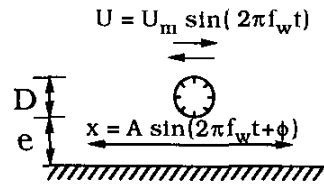
Şekil 5.4' ten çıkarılan sonuçlar aşağıda açıklanmıştır:

- $e/D=1$ durumundan çıkan sonuçlar serbest silindir için elde edilen sonuçlardan çok farklı değildir.
- $e/D=0.15$ ve $e/D=0.4$ durumundaki frekanslar esas kaldırma frekanslarıyla örtüşmez. Açıklık oranı küçüldükçe frekans yükselir.
- Açıklık oranı azaldıkça genlikler önemli derecede yükselir.
- Genlik yanıt eğrileri S şekilli doğrulara benzer ($e/D=1$ 'ye zıt olarak).

5.2 Boru Hatlarının Akım Doğrultulu Titreşimleri

Dalga karşısında boru hatları dalga indüklü hem yatay doğrultulu titreşimlere hem de dalga indüklü salınımlı harekete maruz kalır. Dalga indüklü yatay doğrultulu titreşimlerin analizindeki en önemli zorluk yüksek frekanslı düşük genlikli titreşimlerin toplam yatay kuvveti (Morison kuvveti) tarafından tetiklenen yüksek genlikli boru hattının salınımlı hareketinin gölgesinde kalmasıdır. Sumer, Fredsoe, Gravesen ve Bruschi deneysel titreşimi aşınabilir çukur bölge koşullarında incelemiştir.

Morison kuvveti etkili boru hatlarının yatay doğrultulu hareketine bakacak olursak borunun yanıtı (4.9) ve (4.10) tahmin edilebilir ve serbest silindirin yanıtına benzerdir. Kuvvet katsayıları C_D ve $C_m=(C_M-1)$ eşitliklerde kullanılmalıdır.



Şekil 5.5 : Dalga ve Morison kuvveti etkisindeki boru hattının genliği. Deneylerde $D=15\text{cm}$. Yüzey pürüzlülüğü $k_s/D=4 \times 10^{-3}$ $Re=2-7 \times 10^4$, Stabilité parametresi $K_s=0.1$, Borunun spesifik yerçekimi $s=\rho_{\text{boru}}/\rho=1.4$ ($M=1.9$), $f_n=0.4$ Hz. Sumer ve ekibi (1989).

Sumer ve Bryndum ve ekibi boru hatlarının yatay doğrultulu hareketinin laboratuvar ölçümlerini yapmıştır. Şekil 5.5 Sumer ve ekibinin çalışmalarından elde edilen sonuçları göstermektedir ve boru hattının tabana yakınlığının boru hattının akım

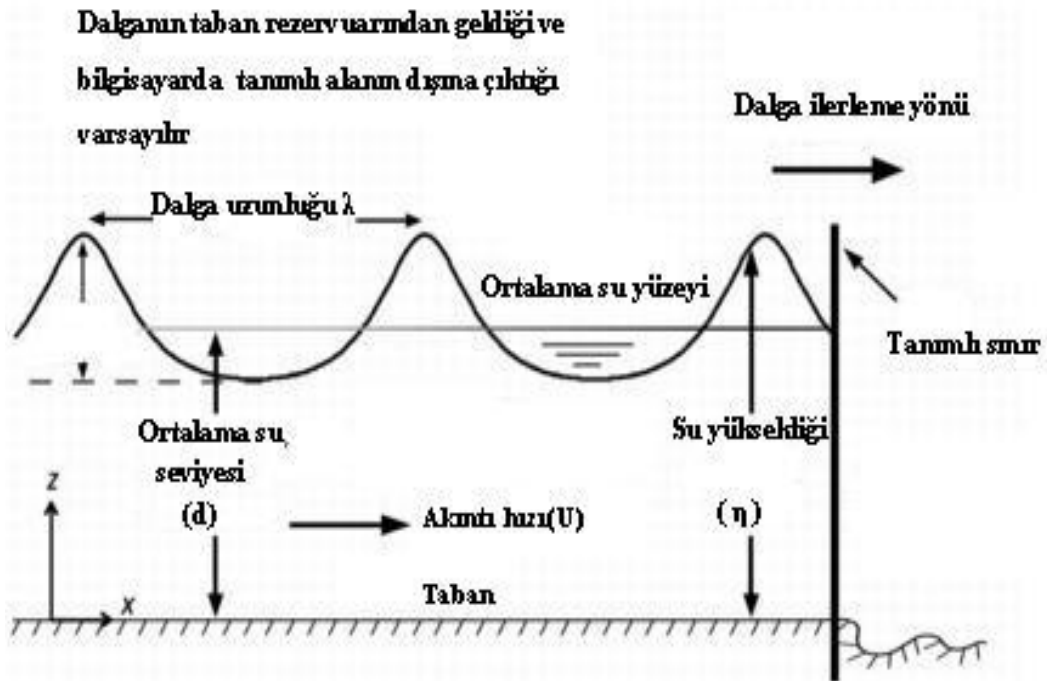
doğrultulu hareketine olan etkisini incelenmiştir. Tabana yakın borunun hareketinin genliğinde ($e/D=0.2$) koşulunda belli bir artış gözlenmiştir. Bryndum ve ekibinin çalışmalarından da aynı sonuçlar elde edilmiştir. Genlikteki artış azalan açıklık oranlı kuvvet katsayılarındaki artışla açıklanabilir. Tabana yaklaştıkça akım doğrultulu kuvvet artar bundan dolayı boru hattının genliği artar.

6. STOKES DALGASI VE SİLİNİR ÜZERİNE ETKİLERİ

Polietilen boru doğalgaz iletiminde kullanılmaya başlanmıştır. Bu boruların aynı zamanda deniz altında da iletimi sağlamaktadır. Dalganın boru üzerindeki etkileri dört adet simülasyonla incelenmiş ve gerekli analizler kesit alınarak ve üç boyutlu gözlemle yapılmıştır.

6.1. Beşinci Derece Stokes dalgasının tanımı

Beşinci stokes dalgası lineer olmayan dalga teorisinin ürünüdür ve düşük genlikli yüzey dalgasından farklıdır. Beşinci derece stokes dalgası sınırlı genlikli ilerleyen yüzey dalgası olarak tanımlanır. Lineer dalga teorisine göre daha yüksek genlikli dalga özelliğindedir. Dalganın taban rezervuarından geldiği ve bilgisayarda tanımlı alanın dışına çıktığı varsayılır [16].



Şekil 6.1 : Dalga soldaki tanımlı bölgeden girmekte ve sağdaki tanımlı sınırdan çıkmaktadır.

Dalga H (dalga yüksekliği), λ (dalga uzunluğu), ve T (dalga periyodu) ile tanımlanmıştır. Şekil 6.2' de d ortalama su seviyesini göstermekte ve η zamana z eksenini boyunca değişen su seviyesini göstermektedir. Simülasyonda U (akıntı hızı) sıfır alınmıştır. Açısal dalga frekansı ω ve dalga hızı c olarak tanımlandığında

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = ck \quad (6.1)$$

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (6.2)$$

(6.1) ve (6.2)' de k dalga sayısını göstermektedir.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (6.3)$$

Stokes dalga teorisi akışkanı sıkıştırılmaz ve irrotasyonel olarak kabul eden potansiyel akım kabulunu yapmaktadır. Akım ψ Laplace fonksiyonuna uygun olarak

$$\nabla^2 \psi = 0 \quad (6.4)$$

Akışkanın hız komponentleri x ve z (6.5)' te ifade edilmiştir.

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (6.5)$$

$$z = -\frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (6.6)$$

$x=0$ ve $t=0$ durumunda dalga tepesi durumunda ψ sınır şartları boyunca serbest yüzeyde ve tabanda perturbasyon metodu ile çözüm yapılır. Perturbasyon parametresi boyutsuzdur ve dalga genliği

$$\varepsilon = kH/2 \quad (6.7)$$

şeklinde ifade edilir. Dalga dikliği olarak da adlandırılır. Dalga yüksekliğinin ve hızının ε 'li ifadesi (6.8)' te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \eta(x, t) = & d + \frac{\varepsilon}{k} \cos kX + \frac{\varepsilon^2}{k} B_{22} \cos 2kX + \frac{\varepsilon^3}{k} B_{31} (\cos kX - \cos 3kX) \\ & + \frac{\varepsilon^4}{k} (B_{42} \cos 2kX + B_{44} \cos 4kX) \\ & + \frac{\varepsilon^5}{k} [-(B_{53} + B_{55}) \cos kX + B_{53} \cos 3kX + B_{55} \cos 5kX] \end{aligned} \quad (6.8)$$

$$u(x, z, t) = U + C_0 \left(\frac{g}{k^3} \right)^{1/2} \sum_{i=1}^5 \varepsilon^i \sum_{j=1}^i A_{ij} j k \cosh jkz \cos jkX \quad (6.9)$$

$$w(x, z, t) = C_0 \left(\frac{g}{k^3} \right)^{1/2} \sum_{i=1}^5 \varepsilon^i \sum_{j=1}^i A_{ij} j k \sinh jkz \sin jkX \quad (6.10)$$

Burada $X=x-ct$ veya $kX=kx-wt$ şeklinde ifade edilir. A_{ij} , B_{ij} ve C_0 katsayıları kd 'nin lineer olmayan fonksiyonlarıdır [16]. Dalga sayısı ve frekansı birbirinden bağımsız parametreler değildir.

$$\left(\frac{k}{g}\right)^{1/2} U - \frac{w}{(gk)^{1/2}} + C_0 + \left(\frac{kH}{2}\right)^2 C_2 + \left(\frac{kH}{2}\right)^4 = 0 \quad (6.11)$$

C_0 , C_2 ve C_4 kd 'nin lineer olmayan fonksiyonlarıdır [16]. Dalga uzunluğu ve dalga periyodu aynı anda programa girilmemiştir. Eğer dalga uzunluğu girilseydi dalga periyodu dalga periyodu formülünden kolayca bulunabilirdi veya dalga periyodu bilinseydi dalga uzunluğu hesaplanabilirdi. k 'ya ilk yaklaşım (6.12) ve (6.13) kullanılarak (6.14)'te ifade edilmiştir [18].

$$\alpha = w^2 d / g \quad (6.12)$$

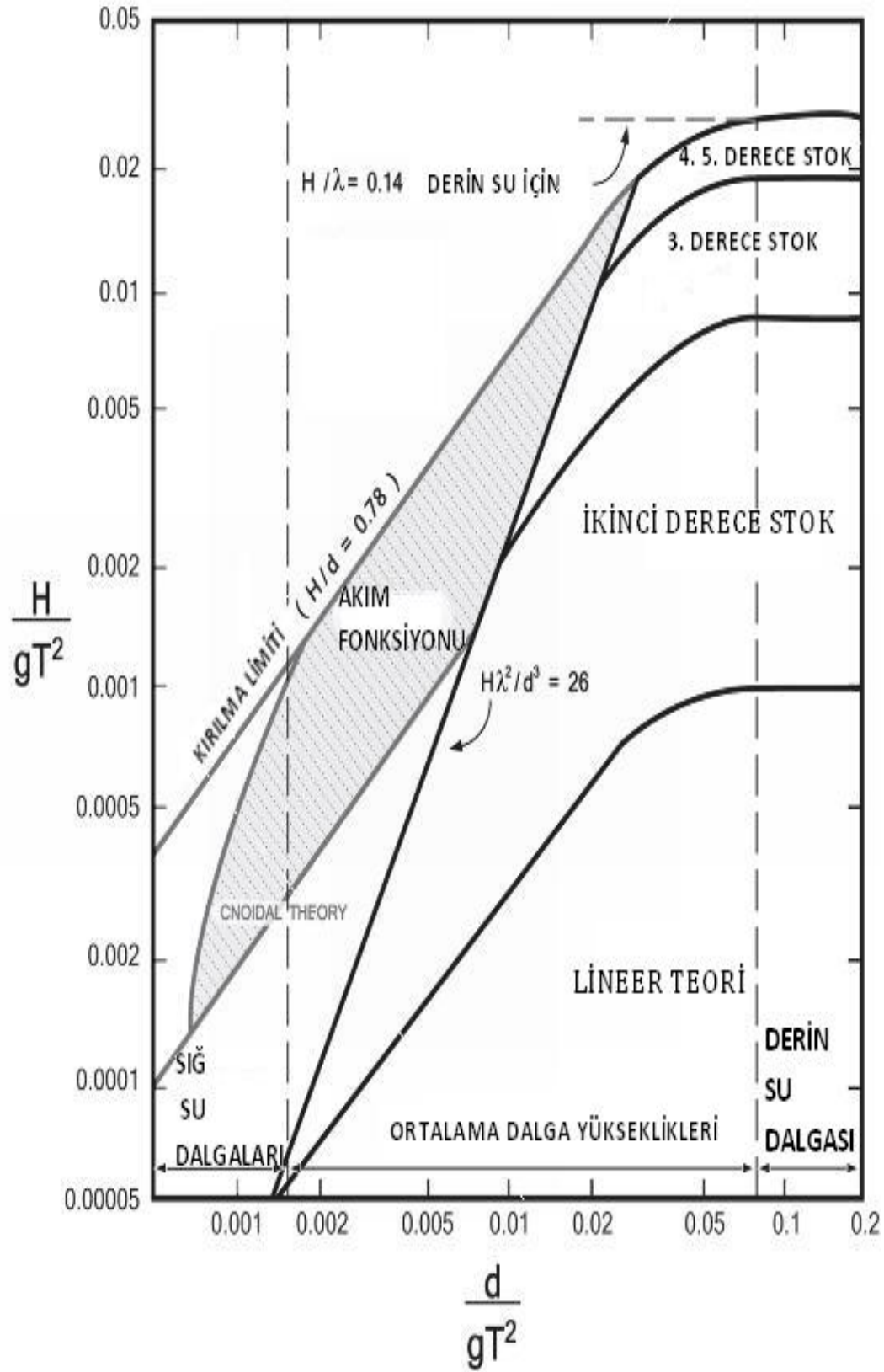
$$\beta = \alpha \sqrt{\coth \alpha} \quad (6.13)$$

$$k = \frac{\alpha + \beta^2 \operatorname{sech}^2 \beta}{(\tanh \beta + \beta \operatorname{sech}^2 \beta) d} \quad (6.14)$$

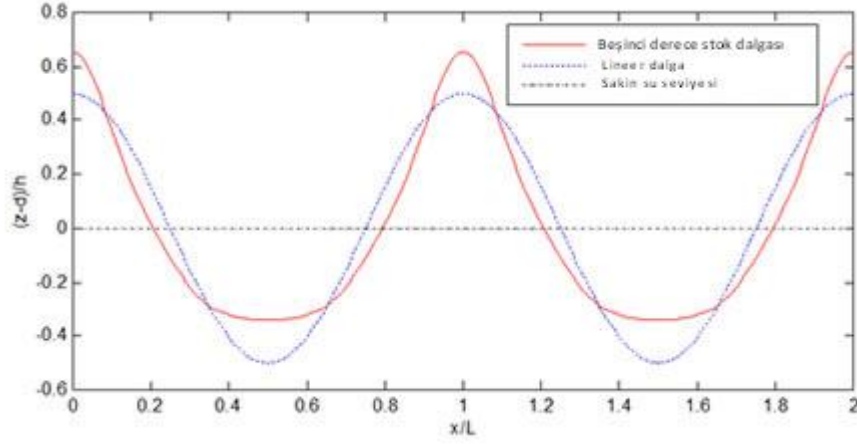
Bu teori sığ ve derin dalga koşullarına uygundur fakat bazı sınırlamaları vardır. Dalga dikliği yani ε sayısı küçük olmalıdır. Dalga derinliği ile karşılaştırıldığında dalga uzunluğu büyük olmamalıdır. Dalga uzunluğu için kabul edilebilir en yüksek limit (6.15)'de ifade edilmiştir [16].

$$T(g/d)^{1/2} \approx \lambda/d \approx 10 \quad (6.15)$$

Beşinci derece Stokes teorisi kırılan dalgalar için geçerli değildir. Sonuç olarak lineer dalga teorisi düşük genlikte dalgalar için geçerlidir. Yükselen genlikte veya azalan derinlikte yüksek dereceli Stokes dalgası seçilmelidir. Lineer dalga teorisi ve düşük dereceli Stokes dalgaları Beşinci derece stokes dalgasının yaklaşımlarıdır. Beşinci derece Stokes dalga teorisi bu bakımdan en doğru yaklaşımdır. Şekil 6.2' de teorinin uygulama aralıkları görülmektedir bunun yanında Şekil 6.3'te lineer dalganın ve beşinci dereceden Stokes dalgasının yüzey profilleri görülmektedir. Lineer dalgada eşit uzunlukta ve yükseklikte dalga çukuru ve tepesi görülürken Stokes dalgasında daha kısa ve daha yüksek dalga tepesi gözlemlenmektedir. Bunun yanında dalga çukuru daha uzun ve sığdır.

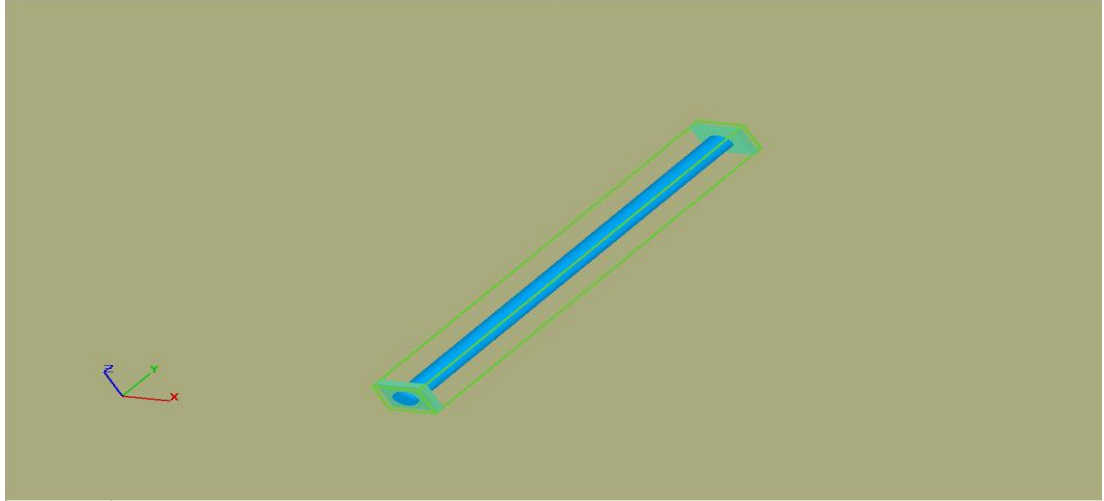


Şekil 6.2 : Teorilerin uygulanabilir aralıkları [18].



Şekil 6.3 : Lineer dalga ile Stokes dalga profillerinin karşılaştırılması.

Birinci simülasyonda 250 mm çapında, 6 metre uzunluğunda ve et kalınlığı 22.7 mm olan ISO 4427-2 TS 418-2 EN 12201-2 DVGW GW 335-A2 polietilen boru seçilmiştir. 2.8 saniye periodlu 2 metre 0.4 metre sahip beşinci stokes dalgasının boru üzerindeki etkileri incelenmiştir. 20 saniyelik zaman dilimi içerisinde belli periodlarda polietilen boru üzerindeki kayma gerilmeleri, defleksiyonlar, basınç değişimleri ve borunun merkezine etki eden kuvvetler analiz edilmiştir ve sonuçları grafiksel olarak detaylı bir şekilde incelenmiştir.



Şekil 6.4 : Borunun perspektif görünüşü.

6.1.1 250 mm silindire etki eden kuvvetler

Polietilen boru yapısı itibarıyla elastik karakter göstermektedir. Malzemenin kalınlığı ve malzeme özellikleri düzenli kabulü yapılarak malzemenin de iki uç noktasının kapalı olduğu gerçeği gözetilerek simülasyon yapılmıştır. Modelde iki dış kuvvet

boruya etkimiştir. Bu kuvvetler hidrolik basınç kuvveti ve aktivatör kuvvetidir. Hidrolik basınç kuvveti borunun her iki ucundaki basıncın integre edilmesi ile bulunmuştur. Bu kuvvetler düzgün olarak boru yüzeyine dağıtılmış ve analitik çözümler deformasyon analizinde kullanılmıştır.

$$\int P \vec{n} dA \quad (6.16)$$

(6.16)'de basınç kuvvetinin ifadesi gösterilmiştir.

$$\int \vec{\tau} dA \quad (6.17)$$

(6.17)'de kesme kuvvetinin ifadesi gösterilmiştir.

$$\int \vec{r} \times \text{Hidrolik Kuvvet} \quad (6.18)$$

(6.18)'de moment ifadesi gösterilmiştir.

$$\int \vec{r} \times \text{Basınç Kuvveti} \quad (6.19)$$

Basınç momenti ise (6.19)'da gösterilmiştir.

Simülasyonda hesaplanan hidrolik kuvvet basınç kuvveti ve viskozitenin toplamından elde edilerek bulunmuştur. Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9' da boruya etki eden kesme, basınç kuvvetleri ve dönme momentleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

Boruyu etileyen kuvvetler yatay ve kaldırma kuvveti olmak üzere önceden de belirtildiği gibi iki kısma ayrılır. Borunun yüzeyinde ölçülen basınçların integrasyonu sonucu bu kuvvetler bulunur. Kararlı akımda x yönündeki kuvvet (6.20)' de belirtilmiştir [17].

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_D D U_C^2 \quad (6.20)$$

Kaldırma kuvveti ise (6.21)' de belirtilmiştir.

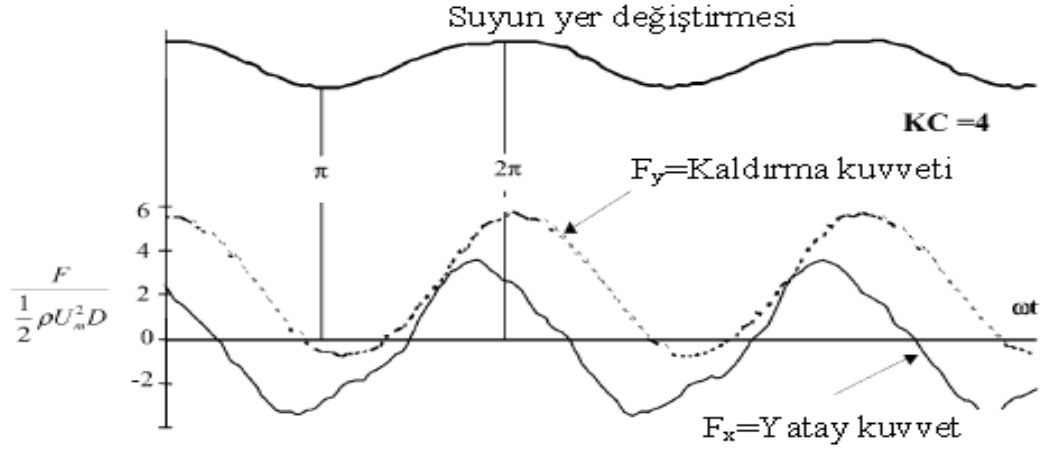
$$F_y = \frac{1}{2} \rho C_L D U_C^2 \quad (6.21)$$

(6.21)' de C_L kaldırma katsayısıdır ve ölçülen F_y ' nin yardımıyla bulunur.

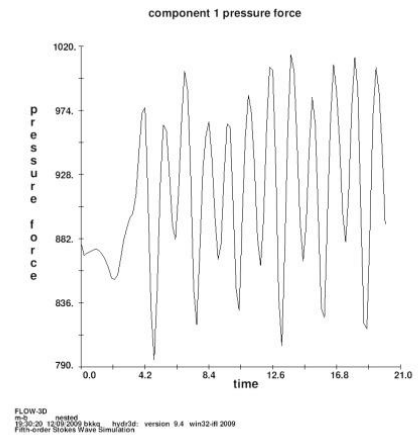
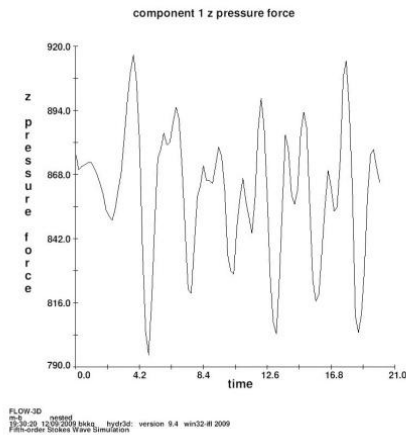
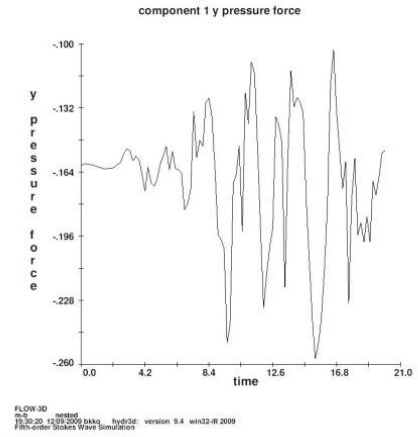
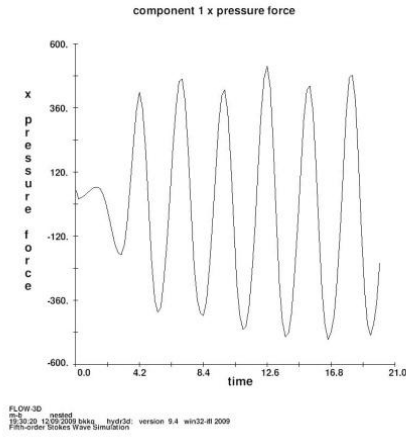
Silindire etki eden kuvvet dalga koşullarında Morison denkleminde elde edilir. Bu denklemde

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_D U(t) |U(T)| + \rho C_M U(T) \quad (6.22)$$

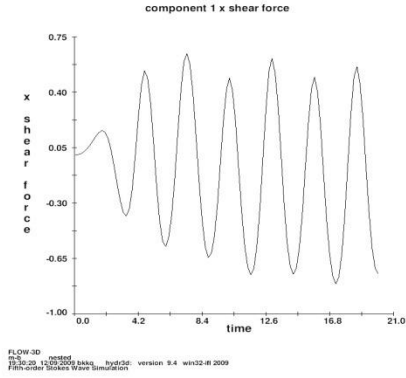
(6.22)' de C_M eylemsizlik kuvveti katsayısı. C_D ve C_M ölçülen ve tahmin edilen kuvvetlerin arasında en küçük kareler yöntemiyle tespit edilir [17].



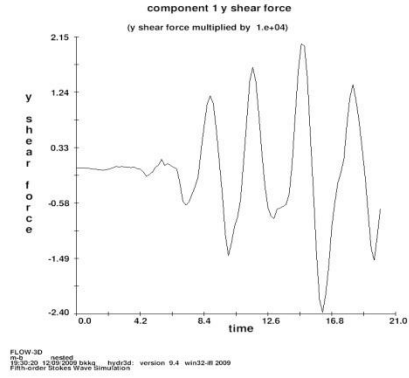
Şekil 6.5 : Dalga koşullarında kaydedilen kaldırma ve yatay kuvvet bileşenleri ($KC \approx 4, e/d=0$) [17].



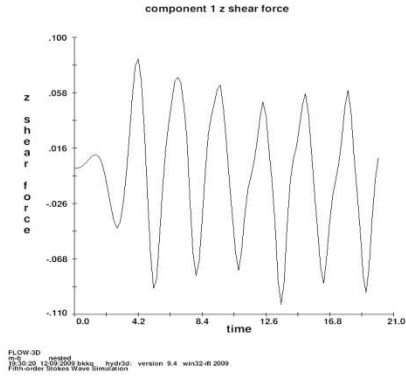
Şekil 6.6 : Boruya etki eden basınç kuvvetlerinin analizi.



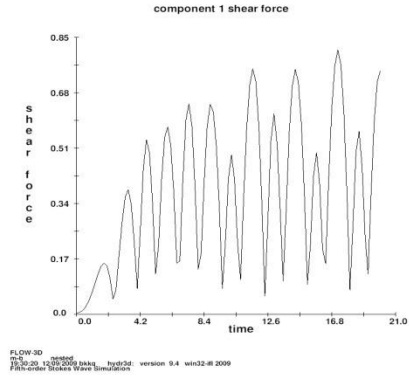
2



3

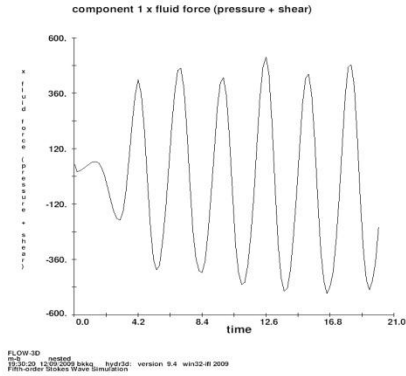


4

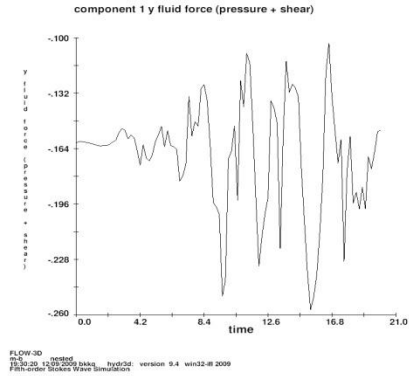


5

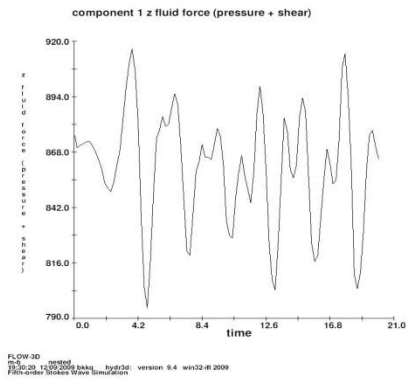
Şekil 6.7 : Boruya etki eden kesme kuvvetlerinin analizi.



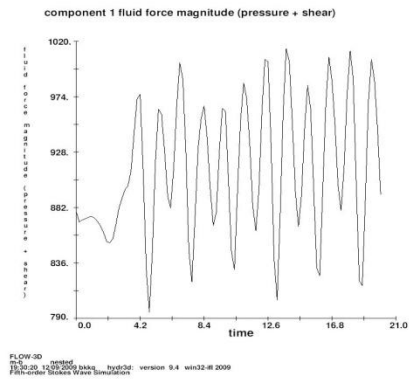
6



7

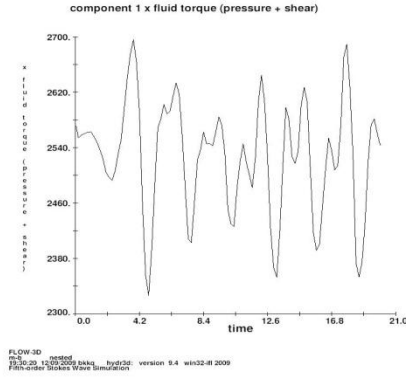


1

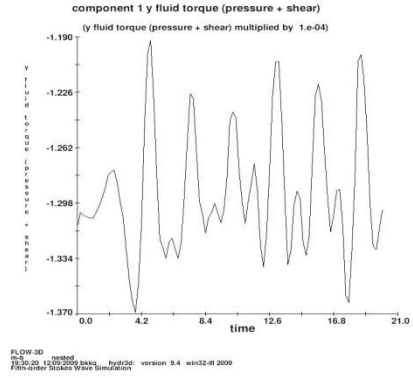


2

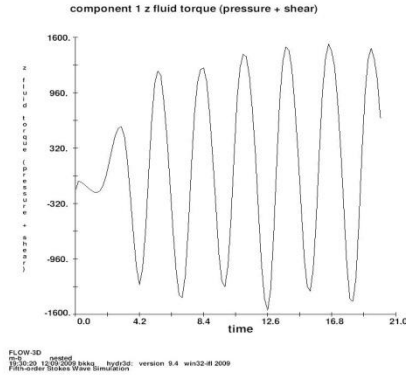
Şekil 6.8 : Boruya etki eden toplam kuvvet değerlerinin analizi.



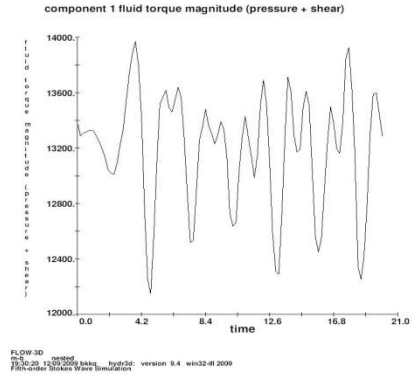
3



4



5



6

Şekil 6.9 : Boruya etki eden dönme moment değerlerinin grafiksel analizi.

6.1.2 250 mm boru kesitlerinde sapma analizinde kullanılan parametreler

Dalga etkisinde kalan silindirel yapıda küçük elastik deformasyonlar meydana gelir. Malzemenin özellikleri ve kalınlığının değişmediği kabulü yapılarak modelleme yapılmış ve belli kesitlerdeki deformasyonlar yani sapmalar analiz edilmiştir. Bir önceki konuda bahsi geçen kuvvetlerin etkisi altında kalan boru üzerindeki deformasyonlar analitik çözümlerle belirlenmiştir.

$$\nabla^2 \nabla^2 w = \frac{f}{D} \quad (6.5)$$

(6.5)'de w sapma, f birim alandaki net dış kuvveti D ise eğilme rijitliğini göstermektedir.

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.6)$$

(6.6)'da belirtilen E Young modülü, ν Poisson oranı, h ise malzemenin kalınlığını göstermektedir. Dairesel bir cisim için silindirik koordinat sisteminde merkez silindirin merkezi alınacak şekilde düşünülürse

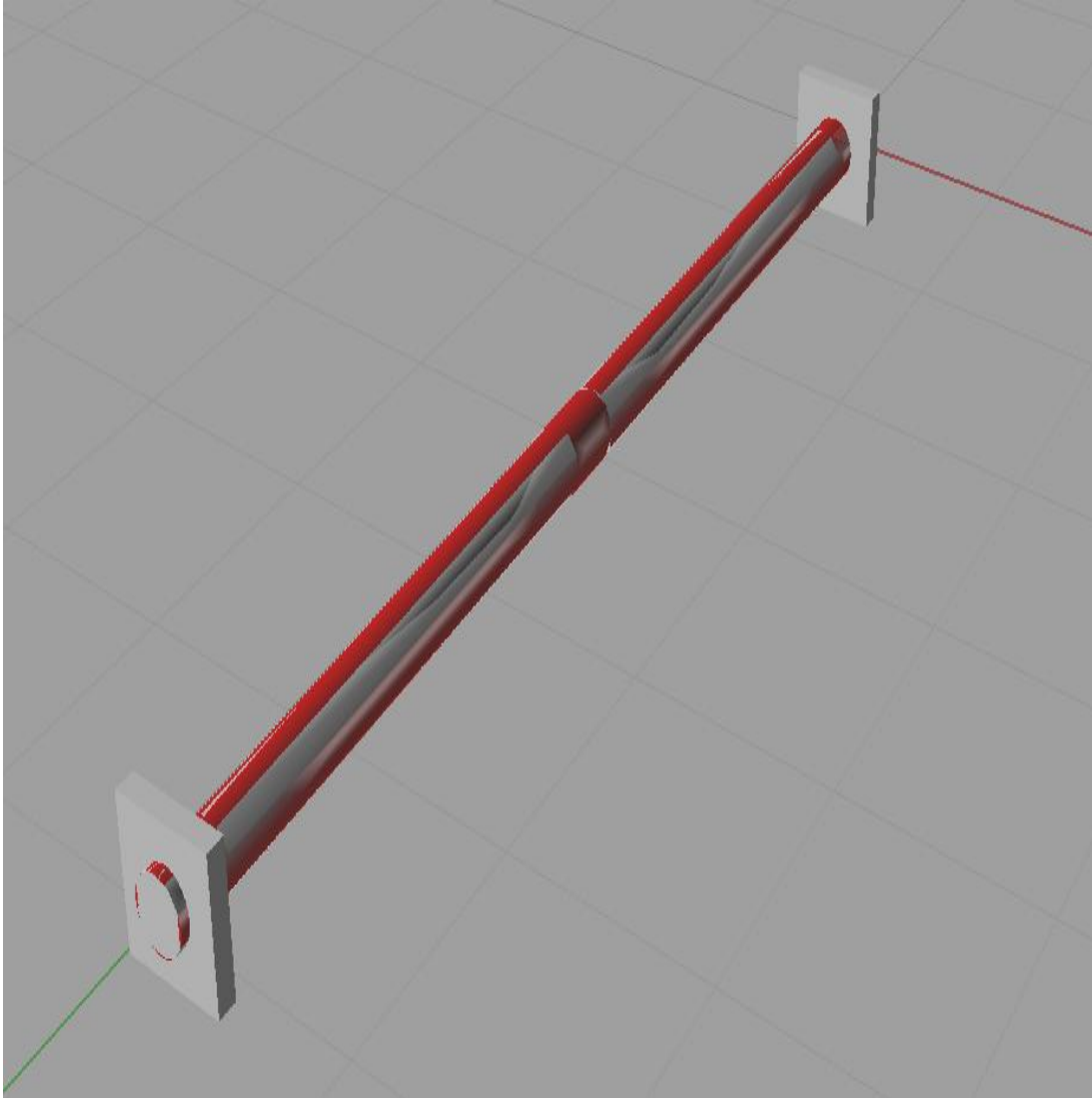
$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left\{ r \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) \right] \right\} = \frac{f}{D} \quad (6.7)$$

denklemini kapalı uçlu boru için $w=0$ ve $\frac{\partial w}{\partial r}=0$ ve $r=a$ kabulü yapılır.

Silindirin sapma değerlerinin tespitinde yukarıdaki formüller analitik çözüm için kullanılır. 250 mm çapındaki polietilen borunun Poisson oranı 0.42, Young modülü 900 Mpa, yoğunluğu 961 kg/m^3 alınmıştır.

(3.1) kullanılarak borunun KC değeri hesaplanmıştır. Buna göre U_m değeri 0.40360 m/sn, periyot 2.8 sn alınmış borunun çapı ise 250 mm alınarak KC değeri 5 olarak belirlenmiştir.

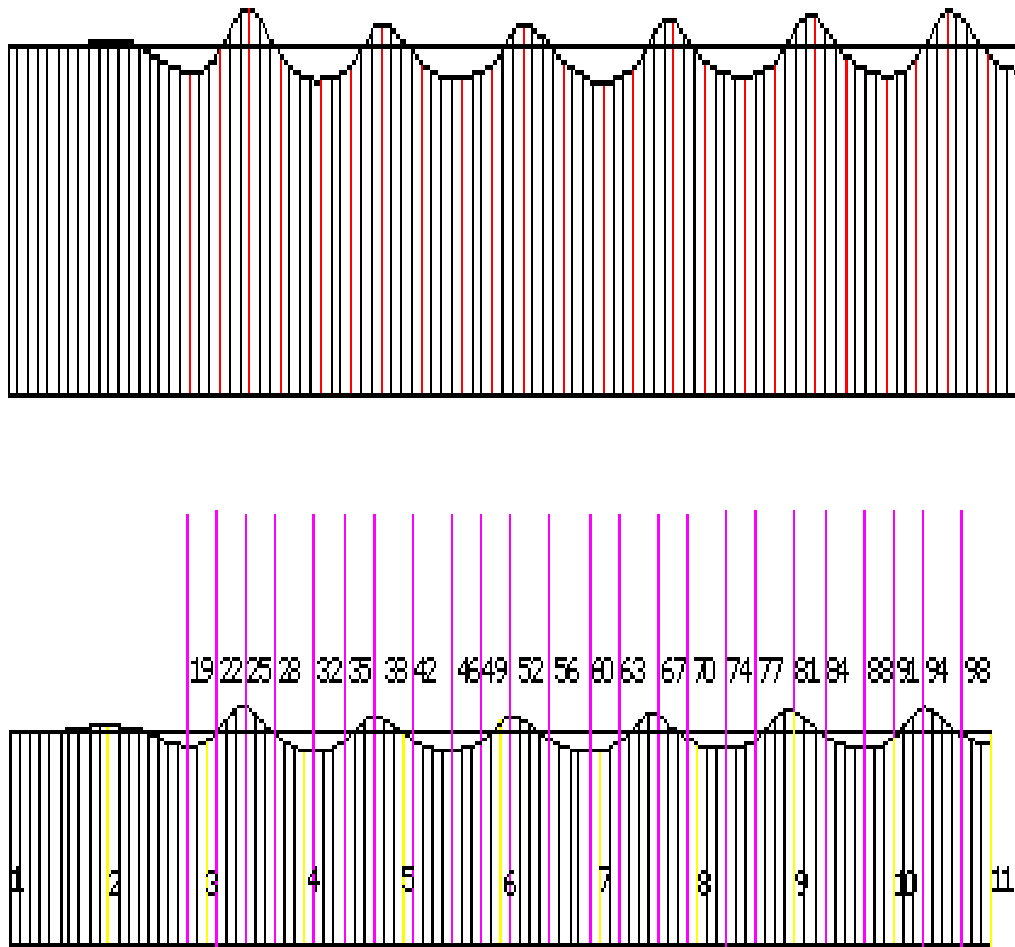
KC 5 için hesaplanan sapma değerleri kesit uç noktaları için grafiksel olarak ve 3 boyutlu olarak zaman dilimi 100' e bölünerek dalganın da konumu dikkate alınarak detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 6.10 : Analiz bölgeleri.

6.1.3 250 mm boru kesitlerinde 3 boyutlu noktasal sapmanın x eksenı boyunca analizi

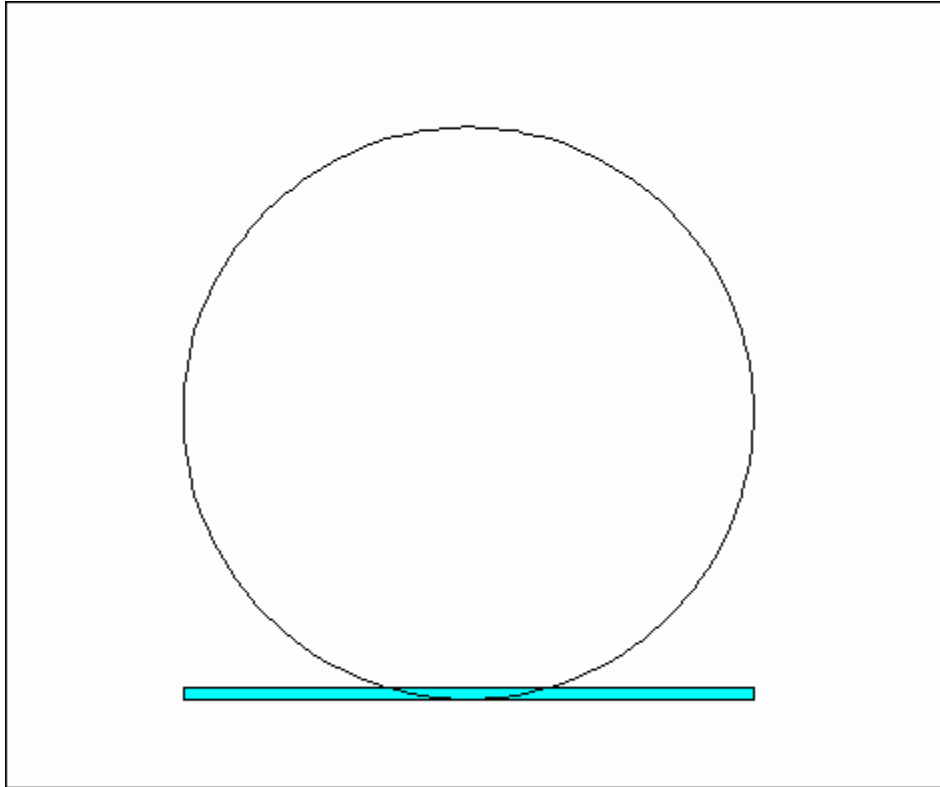
Belli dalga periyodlarında Şekil 6.10' da gösterilen bölgelerde sapma analizi yapılmıştır. Analiz bölgeleri mesnete yakın olan birinci, ikinci kısım ve merkez bölge olmak üzere üç grupta incelenmiştir. Analizde zaman dilimi 100 eşit parçaya bölünmüş ve dalga'nın kritik noktalarında borunun davranışı gözlemlenmiştir. Borunun yüz zaman aralığı için sapma değışim değeri incelenmiştir fakat referans olarak dalga tepesi ile çukuru arasındaki ve tepe ile çukuru pozisyonunda borudaki sapma etkileri belirlenmiştir.



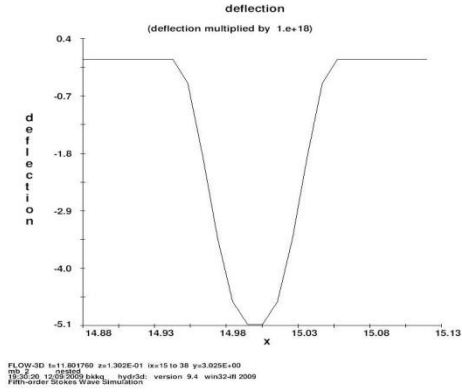
Şekil 6.11 : Kesit dalga yükseklikleri(Kırmızı olarak gösterilen kesitler referans alınan dalga yükseklikleridir ve altta zaman dilimleriyle ifade edilmiştir).

6.1.3.1 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki alt uç bölgesi için x ekseninde rrultusunda noktasal sapma analizi ve karşılaştırması

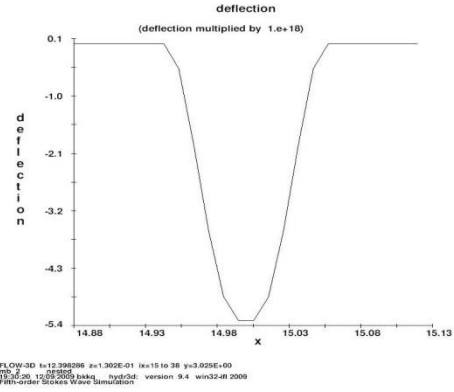
250 mm polietilen borunun referans alınan dalga tepesi ve çukuruna yakın bölgelerdeki şekil 6.11’ de de belirtilen zamanlarda sapma değerlerinin değişimi x koordinatı boyunca incelenmiştir. şekil 6.13 ile şekil 6.15 aralığında sapmalardaki değişim gösterilmiştir. 0.1302 m yüksekliğinde ve borunun boyuna merkez kesidinin alt bölgesindeki sapmalar grafiksel olarak analiz edilmiştir. Sapma değişiminin alt bölgede dalga çukuru ve tepesine yakın zaman dilimlerindeki değişimini görmek için boruda bir nokta seçilmiştir ve bu noktanın zaman içerisindeki sapmaları belirlenmiştir. Boru çapının değişmesiyle birlikte değişen KC değerleri dikkate alınarak diğer simülasyonlardaki sapmalar karşılaştırılmıştır. şekil 6.11’de zaman dilimi 100 eşit parçaya bölünerek hassas sapma tespiti yapılmıştır.



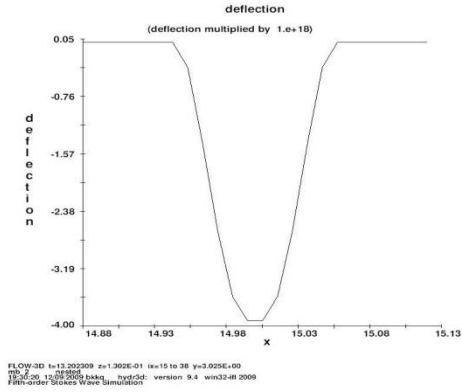
şekil 6.12 : Sapmanın incelendiği alt u blge.



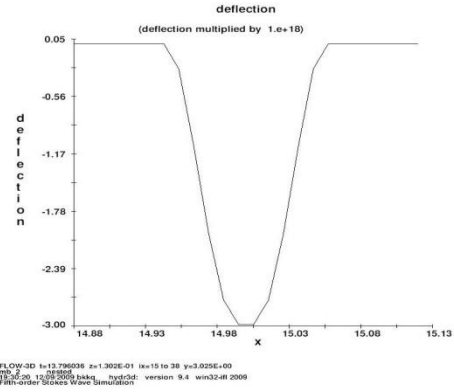
60



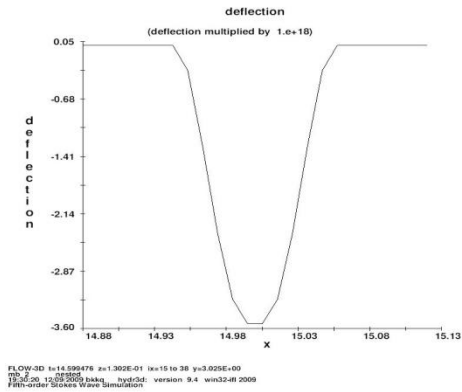
63



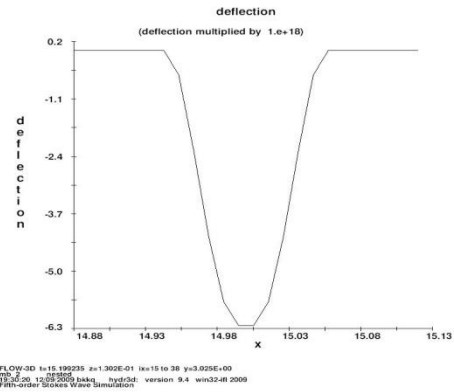
67



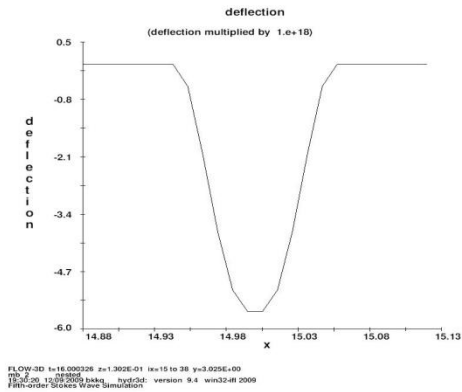
70



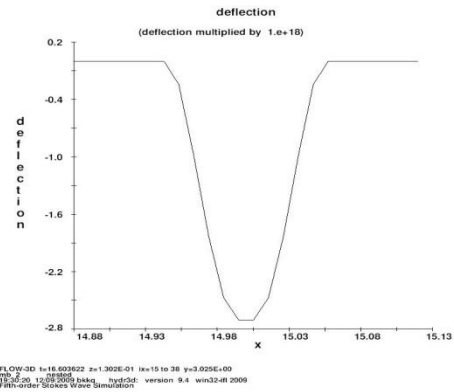
74



77

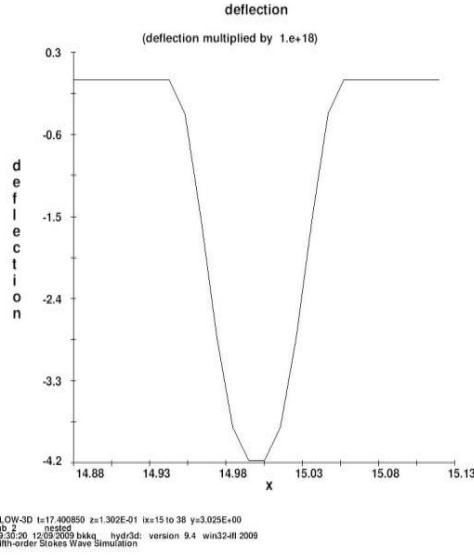


81

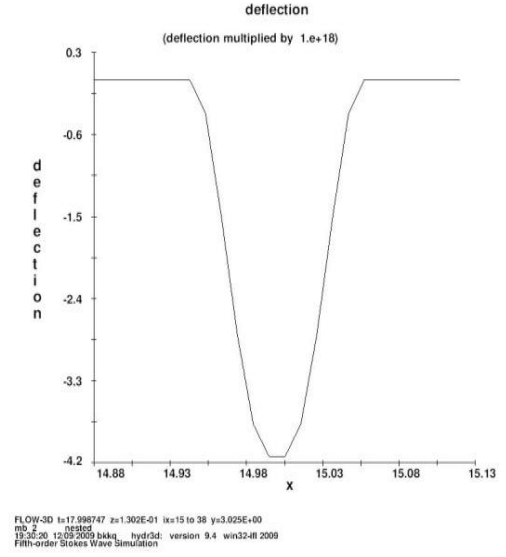


84

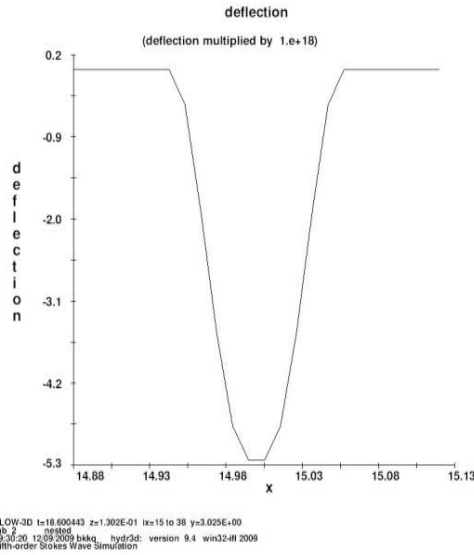
Şekil 6.14 : t=12-17 sn aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar.



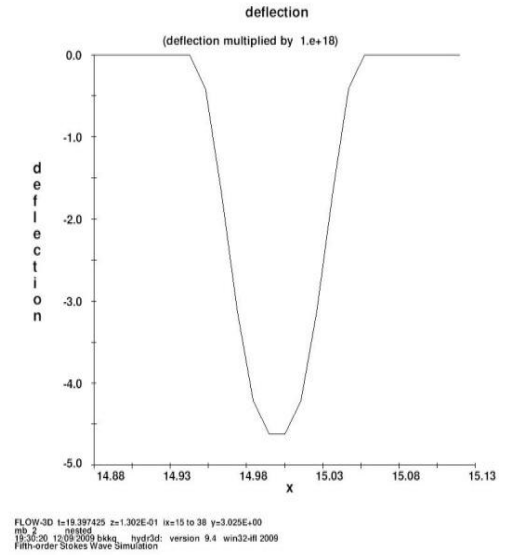
88



91



94



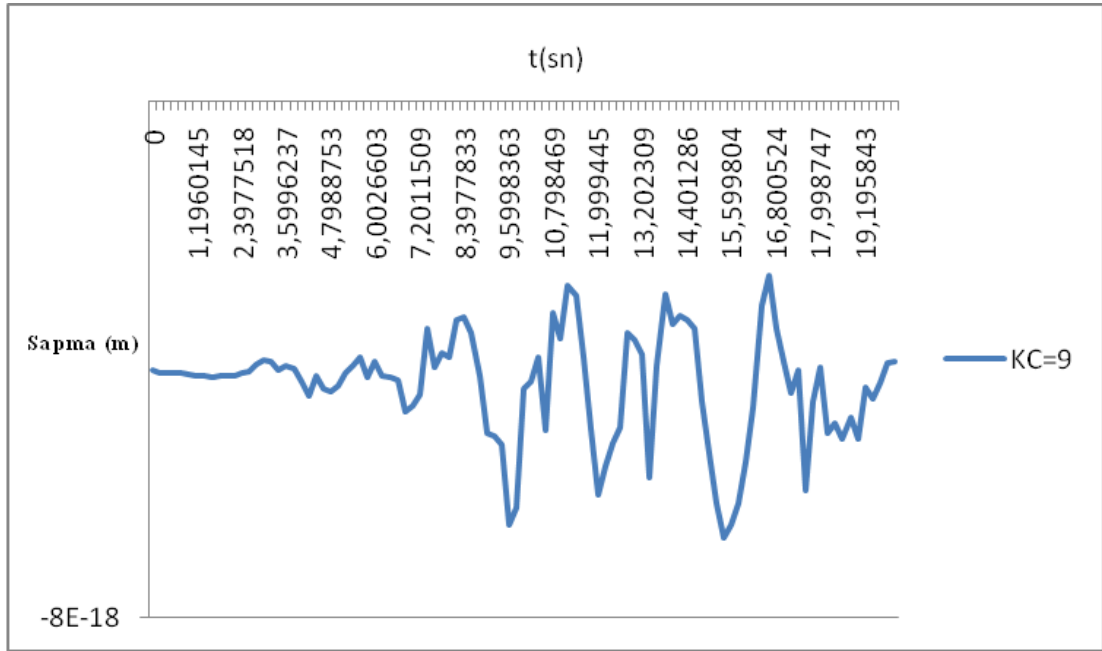
98

Şekil 6.15 : t=17-20 sn aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar.

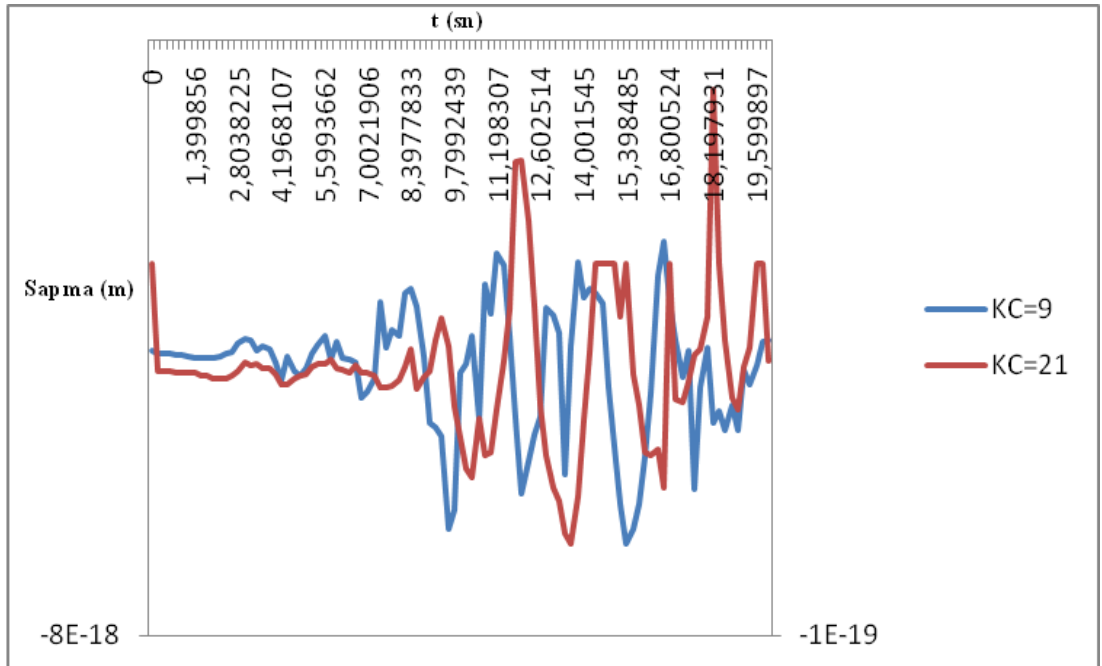
250 mm çapında ve $KC=9$ olan borunun için dalga çukuru ve tepesine yakın bölgelerde analiz yapılması şarttır. Analizi yapılan bölge Şekil 6.12’ de belirtilmiştir. Bu bölgede Şekil 6.16’ da belirtilen zamanlarda detaylı değişim grafiğine ihtiyaç duyulmuştur. Bu analiz Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. Çizelgeyi inceleyecek olursak 250 mm çapındaki borunun ve diğer boruların zamana bağlı sapma değerleri değişmektedir. Buna göre dalga tepesinden dalga çukuruna geçiş zaman aralığı kıstas alındığında tepeden çukura geçişte sapmaların arttığı görülmektedir. Diğer simülasyonların da noktasal sapma değerleri çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 6.1 : Dalga çukuru ve tepesine yakın zaman dilimlerindeki sapma değerleri.

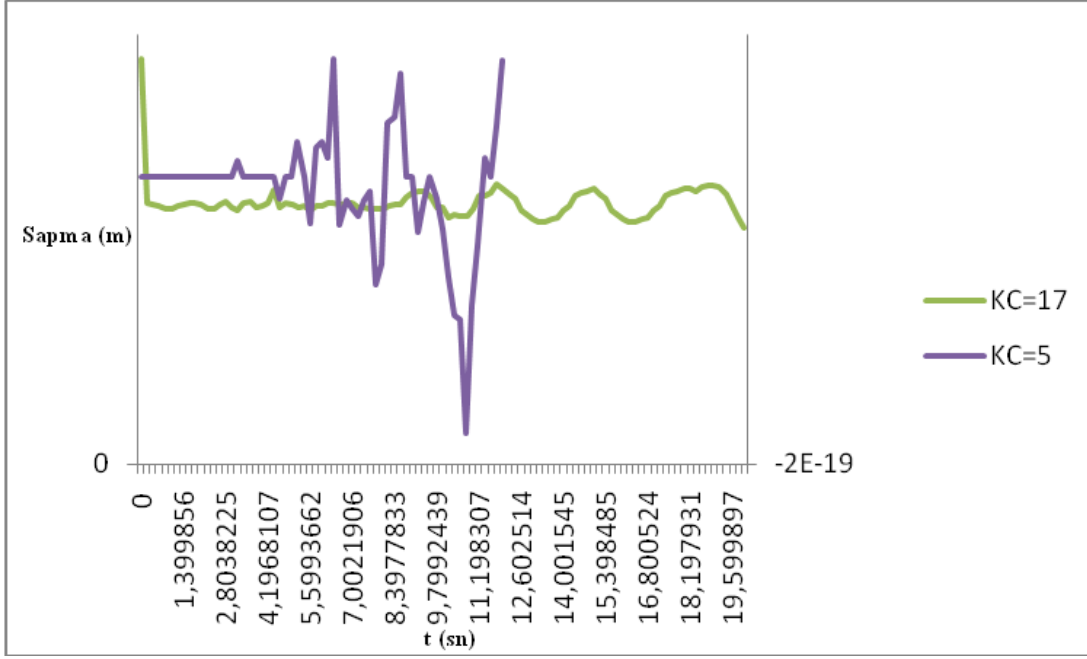
zaman dilimi	t(sn)	KC=9 sapma (m)	KC=21 sapma (m)	KC=17 sapma (m)	KC=5 Sapma (m)
19	3.599624	-4.105E-18	-2.84E-20	4.284E-17	0
22	4.196811	-4.567E-18	-3.27E-20	4.26E-17	0
25	4.798875	-4.502E-18	-3.02E-20	4.251E-17	0
28	5.401494	-4.099E-18	-2.7E-20	4.204E-17	0
32	6.198013	-4.265E-18	-2.86E-20	4.265E-17	1.339E-20
35	6.798819	-4.806E-18	-2.92E-20	4.268E-17	-1.58E-20
38	7.399066	-3.518E-18	-3.32E-20	4.186E-17	-1.6E-20
42	8.203364	-3.397E-18	-2.78E-20	4.205E-17	3.799E-20
46	9.002315	-5.137E-18	-2.89E-20	4.416E-17	0
49	9.599836	-6.559E-18	-2.23E-20	4.342E-17	0
52	10.19969	-4.35E-18	-5.54E-20	4.009E-17	-6.96E-20
56	11.002	-3.676E-18	-5.1E-20	4.155E-17	-8.92E-20
60	11.80176	-5.079E-18	2.714E-20	4.554E-17	3.548E-20
63	12.39829	-5.308E-18	-1.16E-20	4.328E-17	
67	13.20231	-3.925E-18	-6.41E-20	3.96E-17	
70	13.79604	-2.983E-18	-6.26E-20	4.017E-17	
74	14.59948	-3.536E-18	0	4.413E-17	
77	15.19924	-6.229E-18	-1.44E-20	4.402E-17	
81	16.00033	-5.6E-18	-5.08E-20	4.005E-17	
84	16.60362	-2.705E-18	-6.05E-20	3.989E-17	
88	17.40085	-4.174E-18	-3.16E-20	4.378E-17	
91	17.99875	-4.133E-18	-1.45E-20	4.49E-17	
94	18.60044	-5.233E-18	-2.05E-20	4.507E-17	
98	19.39743	-4.617E-18	-2.25E-20	4.389E-17	



Şekil 6.16 : t=0-20 sn aralığında z=0.1302 m' deki nokta için sapma değerleri.



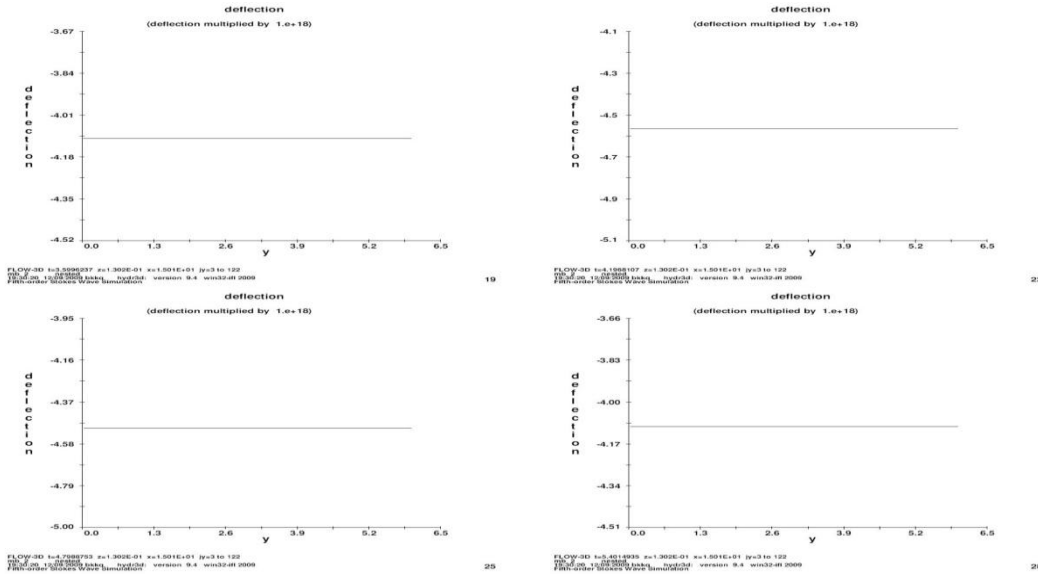
Şekil 6.17 : 2 simülasyonun sapma değerlerinin karşılaştırılması.



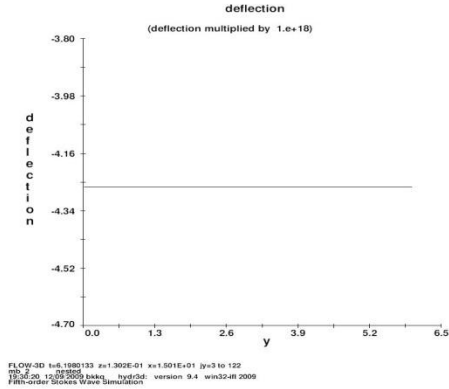
Şekil 6.18 : 2 simülasyonun sapma değerlerinin karşılaştırılması (KC=5 simülasyonu 12 saniyelik dilimde incelenmiştir).

6.1.3.2 250 mm çaplı borunun alt uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda noktasal sapma analizi

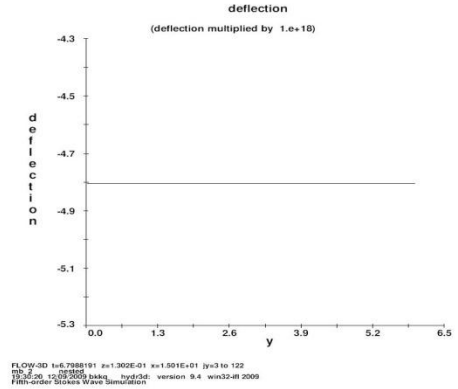
Borunun y eksenı boyunca yapılan analizlerde her uç noktalarında sapmanın eşit olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Dalga etkisiyle borunun merkezinde etki sahası olan kuvvetlerin neticesinde boru çok küçük mertebede hareket etmiş ve bu yüzeye normal defleksiyonlar zaman içerisinde değişmiştir.



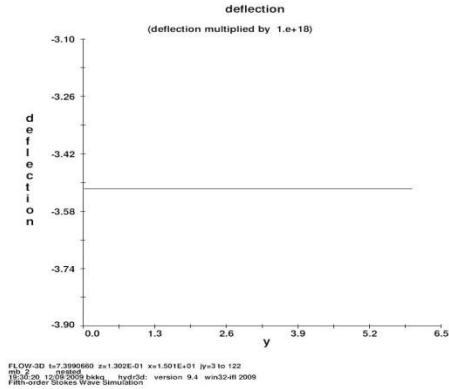
Şekil 6.19 : t=2-6 sn aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar.



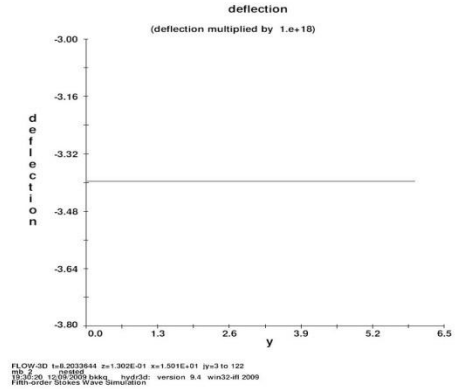
32



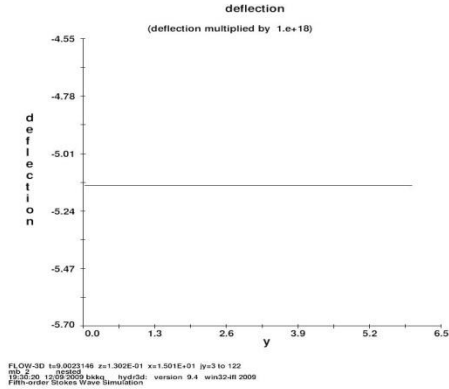
35



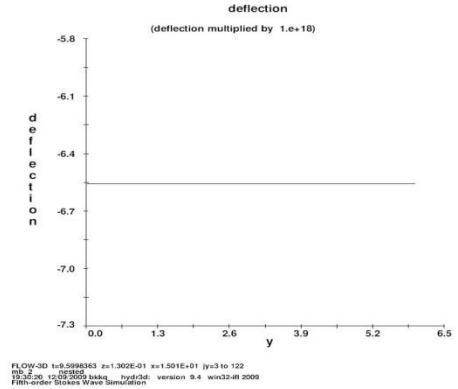
38



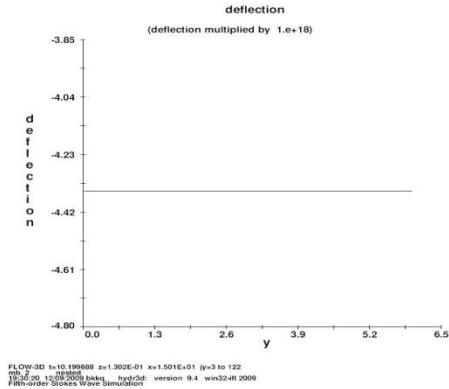
42



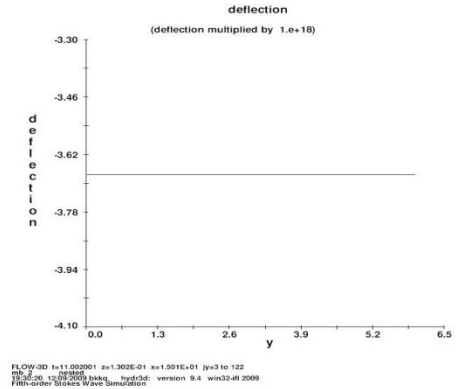
46



49

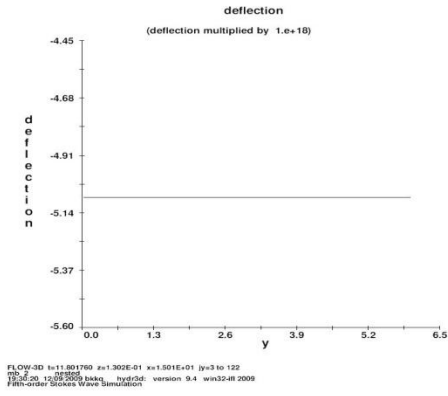


52

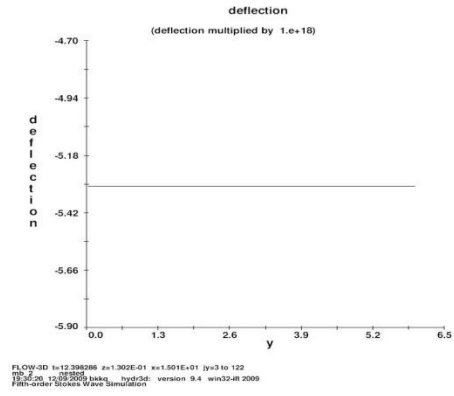


56

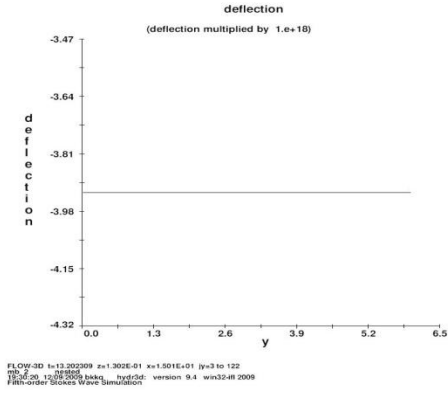
Şekil 6.20 : $t=6-11$ sn aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar.



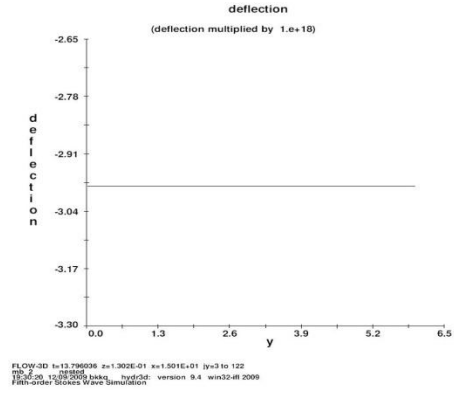
60



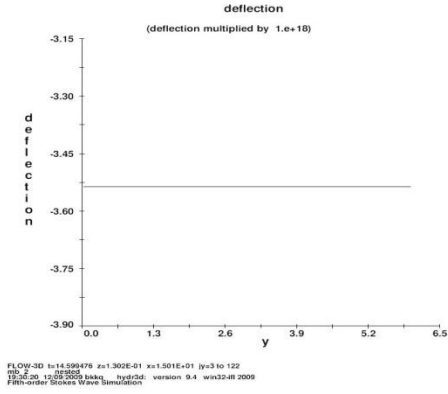
63



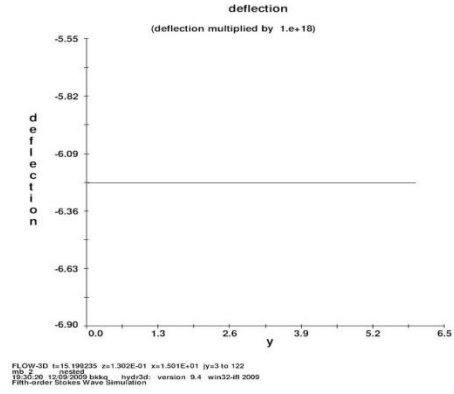
67



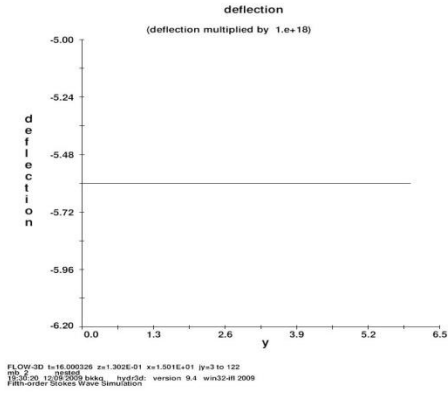
70



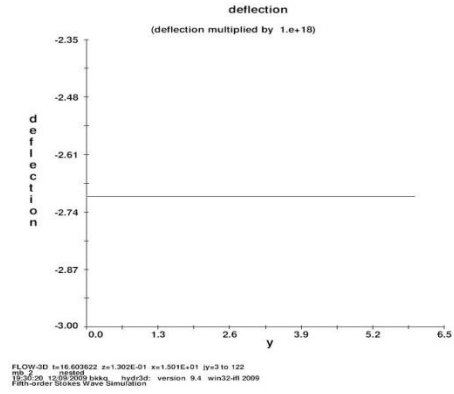
74



77

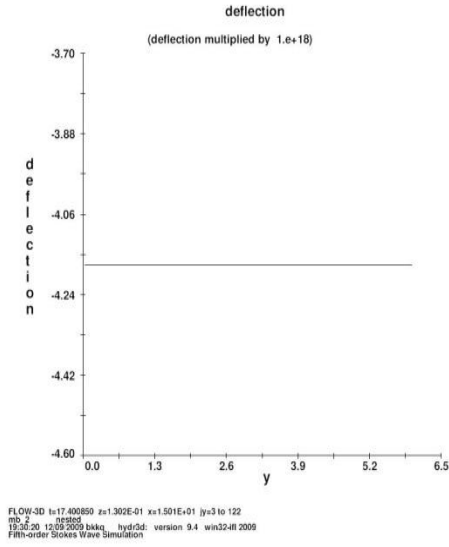


81

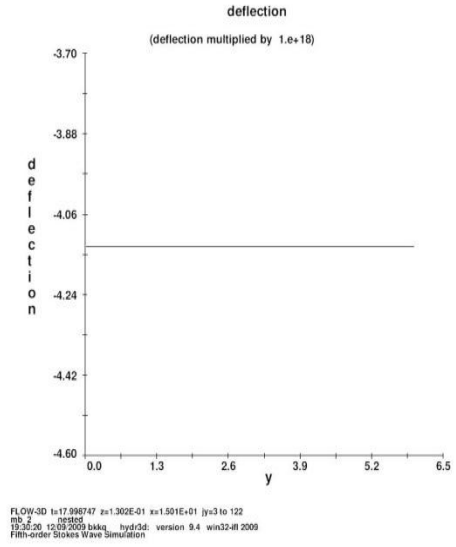


84

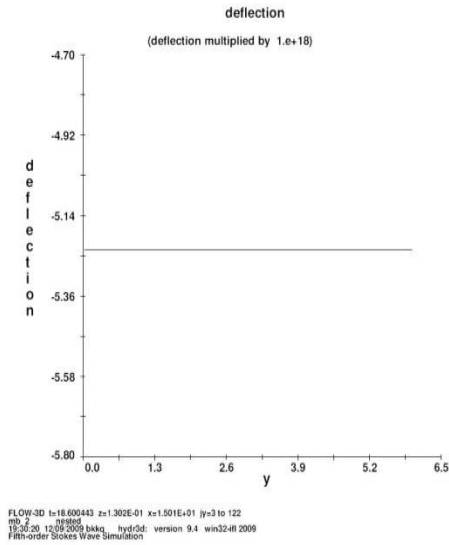
Şekil 6.21 : $t=12-17$ sn aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar.



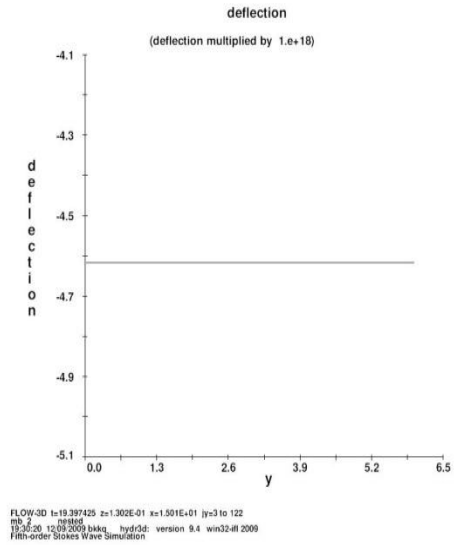
88



91



94

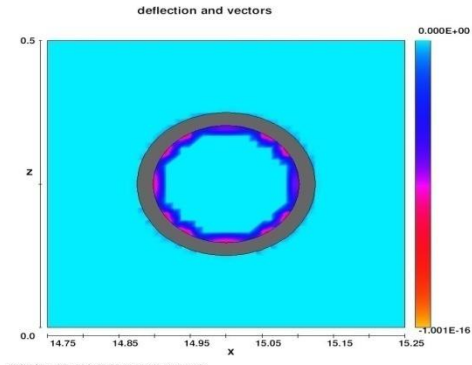


98

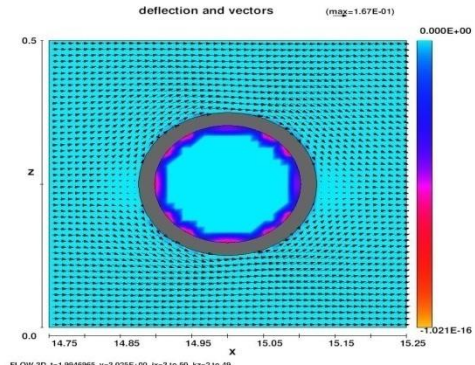
Şekil 6.22 : $t=17-20$ sn aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki sapmalar.

6.1.4 250 mm çaplı borunun xz düzleminde merkez kesidinin sapma analizi

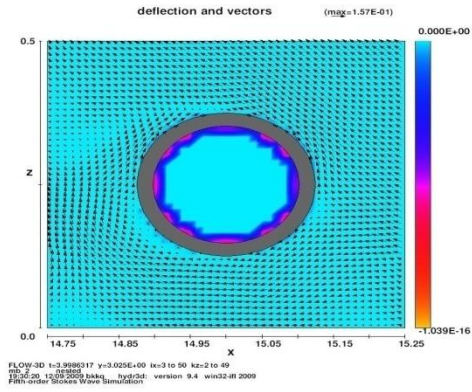
250 mm çapındaki borunun merkez kesidi referans alınarak borudaki sapmaların gözlemlenmiştir. Boru kesidindeki sapmalar hız vektörleriyle gösterilmiştir. Bu amaçla borunun merkez, birinci mesnet ucuna ve ikinci mesnet ucuna yakın bölgelerden kesitler alınmıştır. Değişen sapmalar değişen renklerle ifade edilmiştir. Sapmaların kesit analizi 10 eşit zaman diliminde incelenmiştir. Şekillerde aynı zamanda kesit bölgesindeki maksimum hızlar da belirlenmiş ve sapmanın maksimum hızla değişimi Şekil 6.25' de belirtilmiştir.



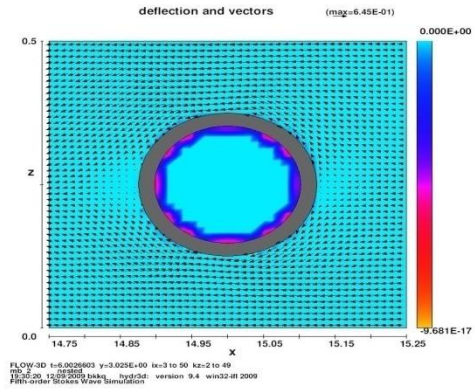
1



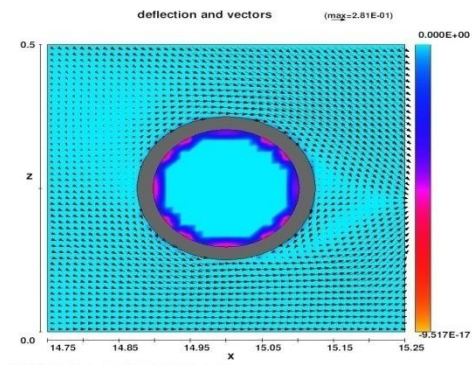
2



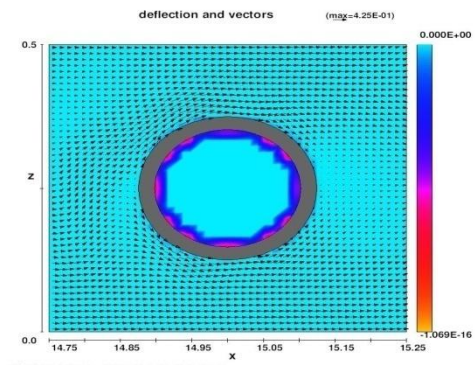
3



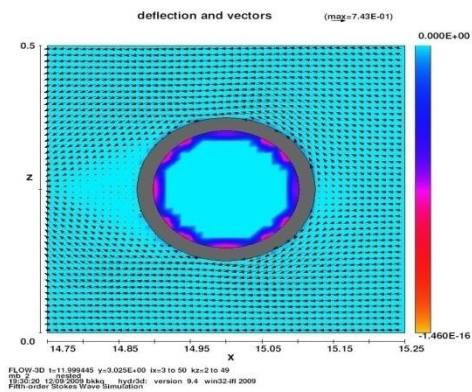
4



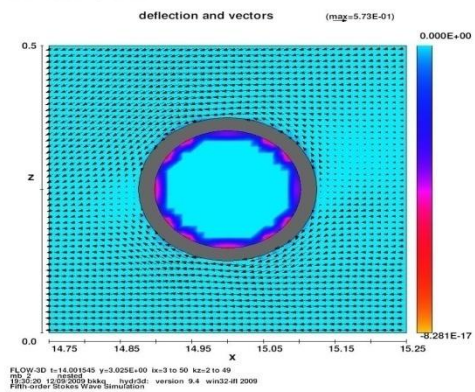
5



6

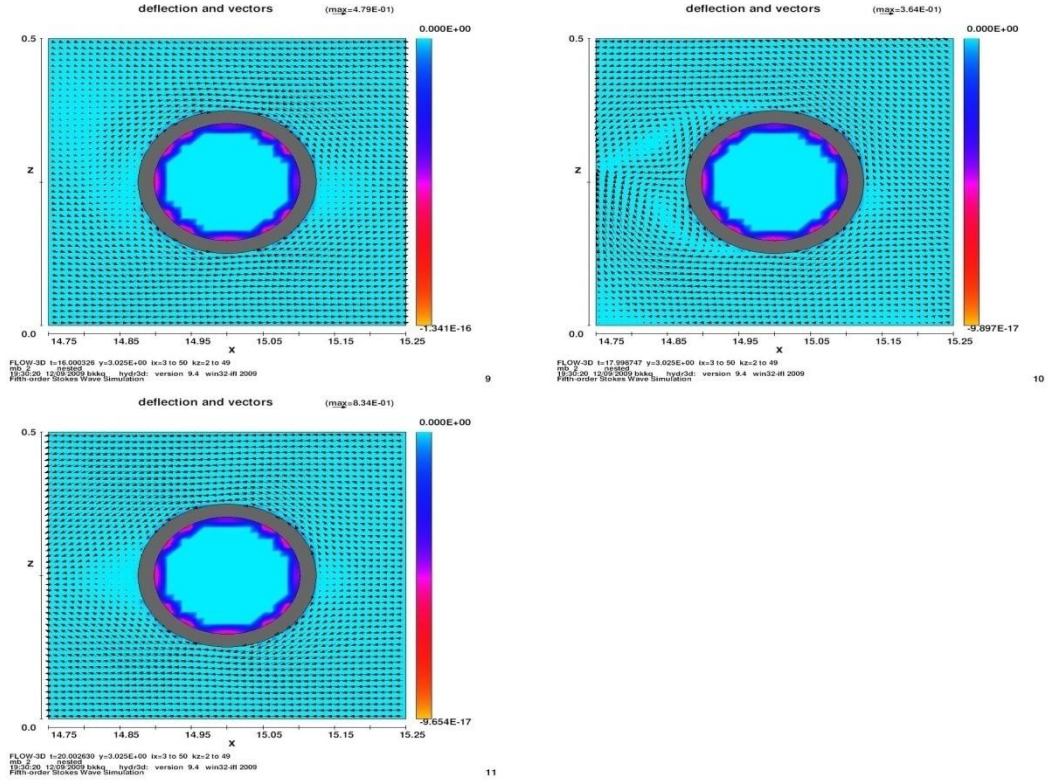


7

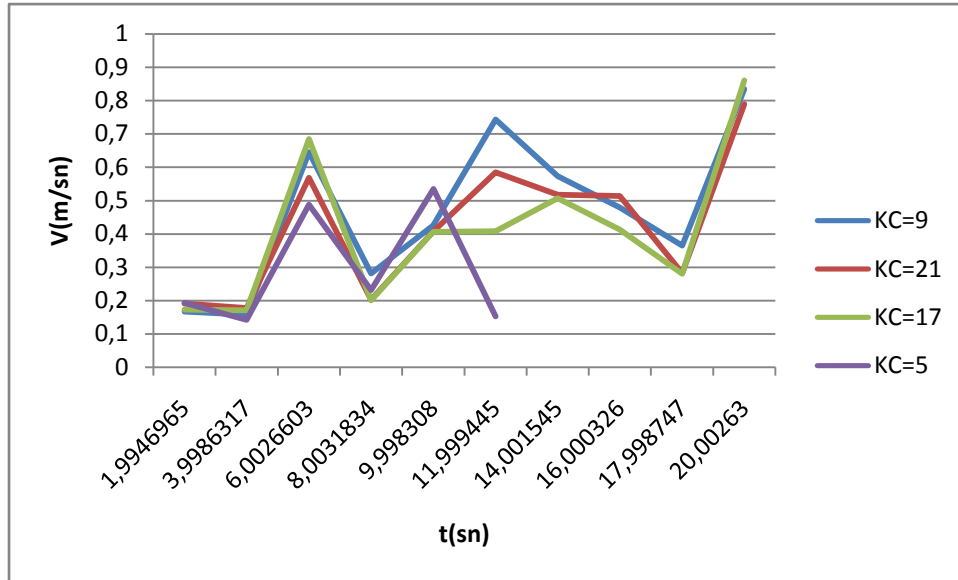


8

Şekil 6.23 : $t=0-14$ sn aralığında xz merkez kesidinde sapma değişimi.



Şekil 6.24 : $t=16-20$ sn aralığında xz kesidinde sapma değişimi.



Şekil 6.25 : Boru çevresindeki maksimum hızların değişen dört simülasyon için karşılaştırılması (KC=5 olan simülasyon 10 sn sürmüştür).

6.1.5 250 mm çaplı borunun uç bölgelerindeki basınç değişimi

Şekil 6.6' da belirtilen analiz bölgelerinde üç boyutlu basınç analizi yapılmış ve bu analizler kesitsel ve noktasal olarak incelenmiştir. FLOW-3D'de lineer sistem süreklilik denkleminde basınç için çözüm üreten üç lineer çözücü algoritma vardır: SOR (the successive over-relaxation), ADI (the alternating direction implicit), GMRES (the generalized minimal residual solver). GMRES ile denklem sistemi eş zamanlı bir tekrarlayıcı tekniği ile etki alanı boyunca çözülür. Bu yaklaşım, süreklilik denklemini uygulamak için hücre hücre basıncı ayarlamayı temel alan SOR algoritmasına ya da basıncı mesh sütunları boyunca ayarlamayı ön gören ADI algoritmasına benzemez. SOR algoritması çok basit ve bellek kullanımı yönünden verimli olsa da, yeterli yakınsama için çok fazla sayıda iterasyon yapılması gerekebilir.

GMRES ile gereken yakınsama çok daha az sayıda (10'dan az) iterasyon ile gerçekleştirilebilir. Bu yüzden GMRES algoritması, basınç etki alanının geniş olduğu durumlarda birçok problemin örneğin sıkıştırılamaz akışın olduğu boru ağları, sıkıştırılabilir gaz depolama tankı ve tüm sınırlı akış problemlerinin çözümü için uygun tercihtir. SOR ise daha çok sıkı serbest yüzey problemlerine çözüm getirir.

GMRES lineer sistem denklemleri çözer. Herhangi bir lineer denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Ax = b \quad (6.8)$$

Burada A, x vektöründe, bilinmeyen değişkenlerin katsayılarını barındıran matris, b ise denklem sistemindeki sabitleri barındıran vektördür.

FLOW-3D'de lineer sistem denklemler süreklilik denkleminin türevi alınarak çözülür. Genel olarak süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = Q \quad (6.9)$$

Burada ρ akışkan yoğunluğu, t zaman, u yerel akışkan hızı ve Q birim hacimdeki kütledir. Sıkıştırılamayan akışkan problemlerinde yoğunluk sabittir;

$$\nabla \cdot (\rho u) = \frac{Q}{\rho} \quad (6.10)$$

Bununla birlikte akustik basınç dalgaları hesaplarında zamana bağlılık aşağıdaki gibi hesaba katılır.

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} \approx \frac{1}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (6.11)$$

Burada p yerel akışkan basıncı, c ses hızıdır. FLOW-3D’de $\frac{1}{\rho c^2}$, rcsq1 (akışkan 1 için) ve rcsqv (akışkan 2 için) girdi parametreleridir. Bu da basınç ve yoğunluk arasında lineer bir bağıntı olduğu kabulünü temsil etmektedir. Denklem 2’de yoğunluktaki değişimi ihmal edersek;

$$\frac{1}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (u) = \frac{Q}{\rho} \quad (6.12)$$

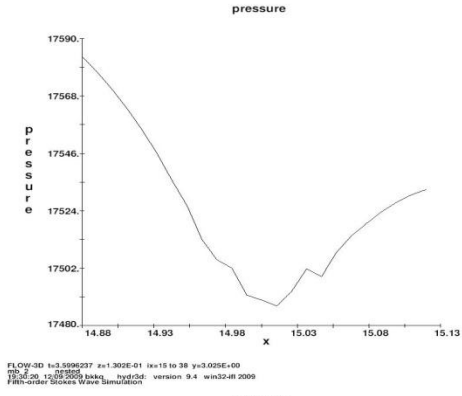
Yarı akışkan ve elastik olmayan akış için moment denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u = -\frac{1}{\rho} \nabla p + g + f - \frac{Q}{\rho} u \quad (6.13)$$

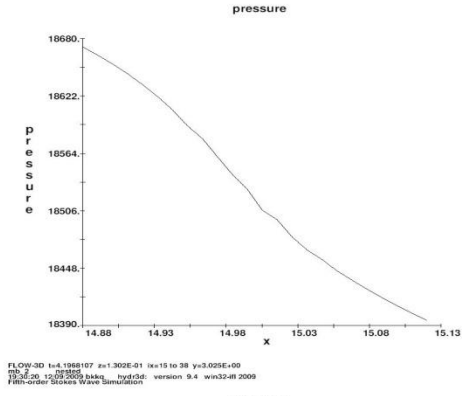
Burada g yer çekimi sabiti, f ise uygulanan kuvvettir. Soldan ikinci terim ise GMRES algoritmasından ayrı olarak hesaplanır ve g,f’nin hesap sırasında sabit olduğu kabul edilir. Başlangıçta u ve p nin değeri ayrıca hesaplanır.

6.1.5.1 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki alt uç bölgesi için x eksenini doğrultusunda noktasal basınç analizi

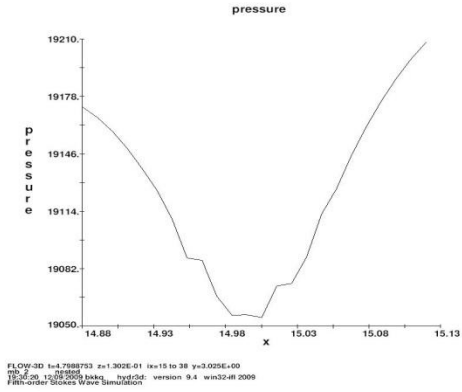
Borunun dalga etkisinde değişen basıncı x eksenini boyunca yine belirlenen referans zamanlarda incelenmiştir. Şekil 6.26’ den Şekil 6.28’ e kadar içinde borunun alt uç noktasının da olduğu düzlemde noktasal basınç değerlerinin x koordinatı boyunca değişimi detaylı olarak ele alınmıştır. Borunun dalga etkisinde değişen basıncı x eksenini boyunca yine belirlenen referans zamanlarda incelenmiştir. 0.132 metre yükseklikteki merkez kesitte analiz yapılmıştır. artmıştır. PE 80 hammaddeden SDR 11 'e göre üretilen borunun izin verilen çalışma basıncı 10 bar iken PE 100 hammaddeden üretilen borunun çalışma basıncı 16 bardır. Yani PE 100 ile üretilen borular daha düşük et kalınlıkları ile daha yüksek basınçlarda 250 mm çaplı borunun nominal basıncı 16 bardır ve kabul edilebilir dış basınç 279570 Pascal kritik dış basınç ise 607760 Pascal’ dır. Yapılan simülasyonlarda maksimum basıncın bu kritik değerlerin çok altında olduğu görülmüştür. PE100’ün en büyük avantajı yüksek bir gerilme mukavemetine ve güvenlik katsayısına sahip olmasıdır. Bu yüzden simülasyonlarda PE 100 SDR 11 tipli polietilen boru kullanılmıştır.



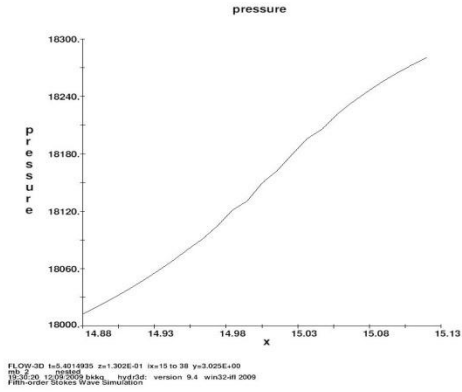
19



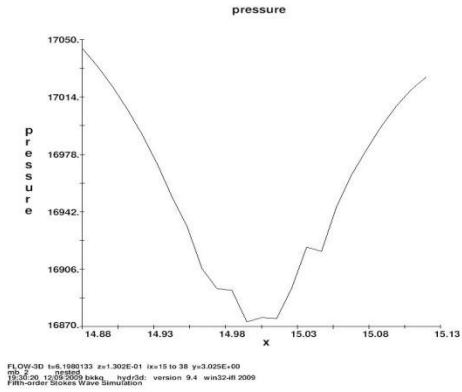
22



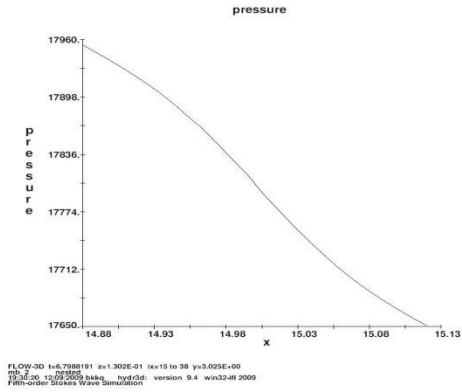
25



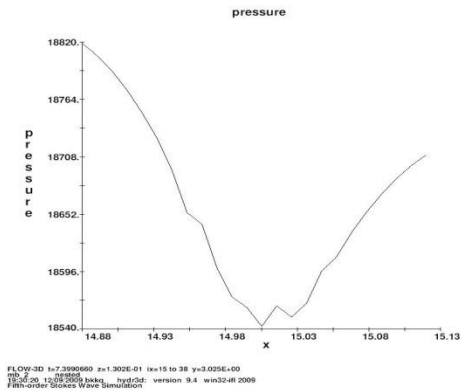
28



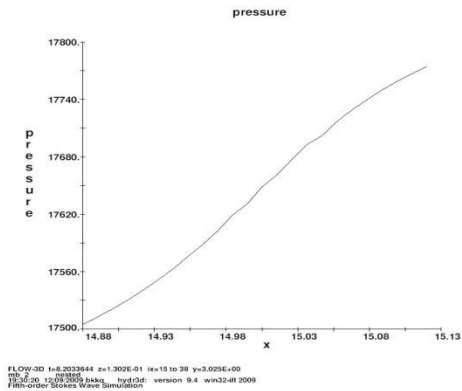
32



35

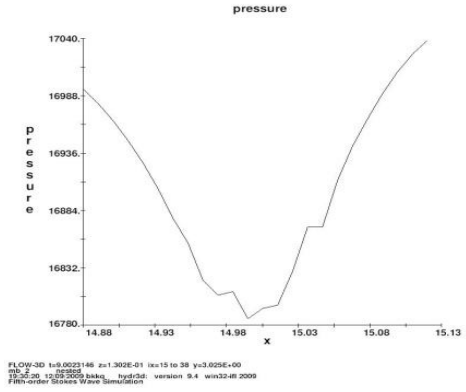


38

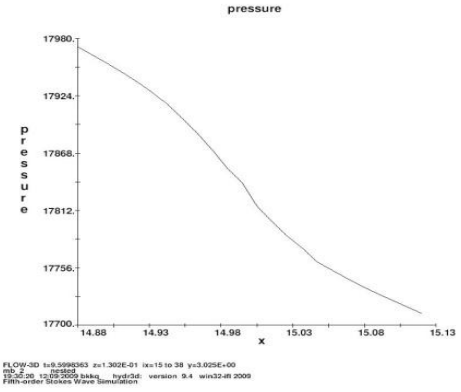


42

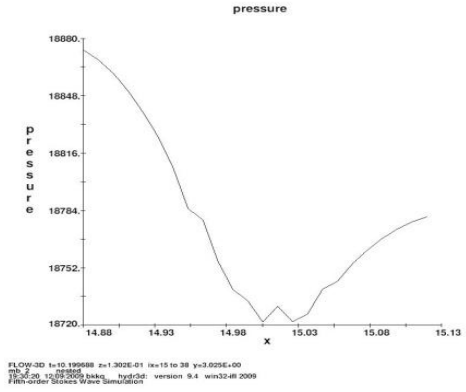
Şekil 6.26 : t=4-8 sn aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar.



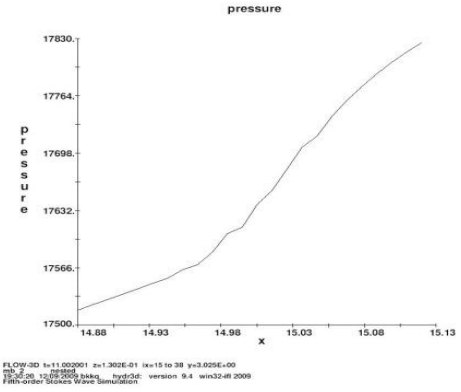
46



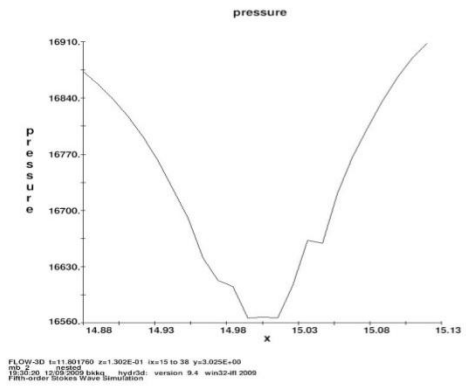
49



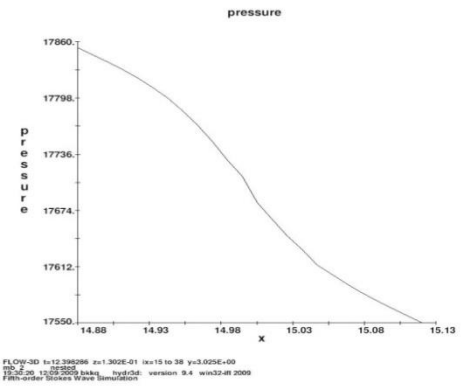
52



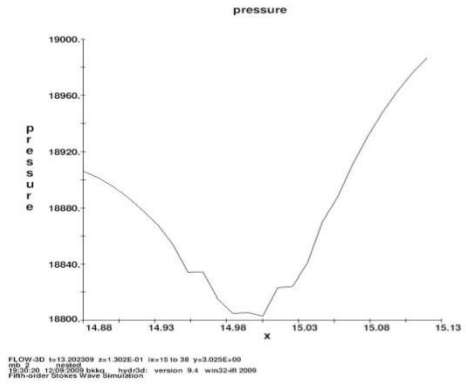
56



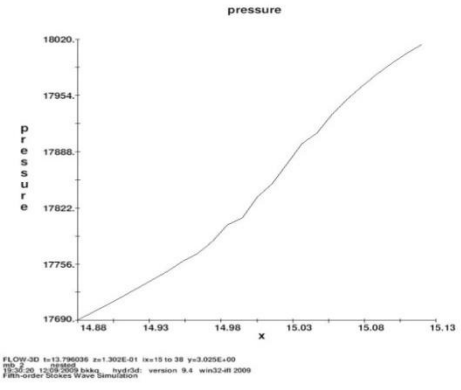
60



63

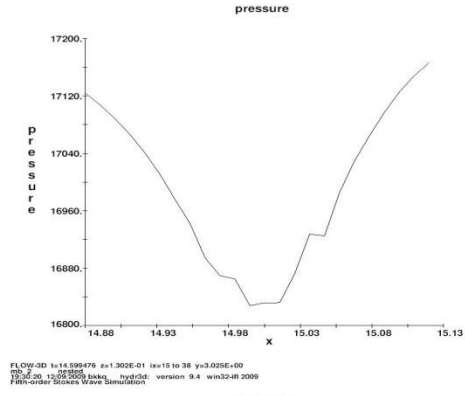


67

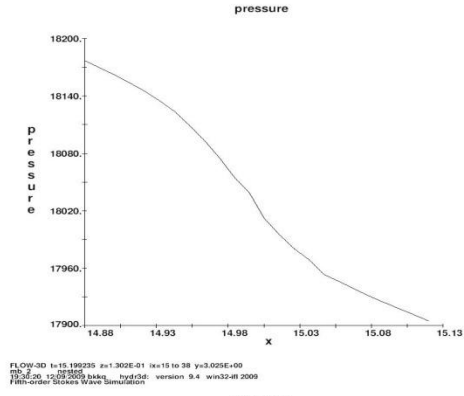


70

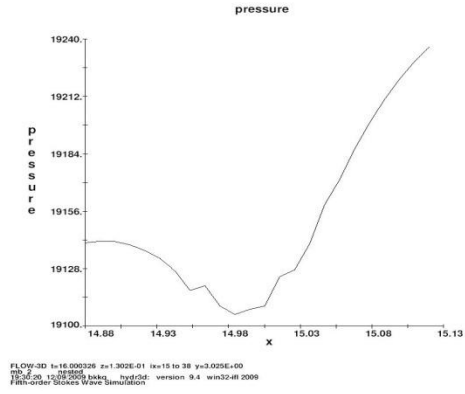
Şekil 6.27 : $t=9-14$ sn aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar.



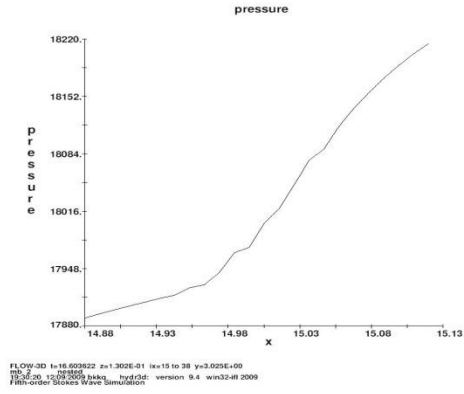
74



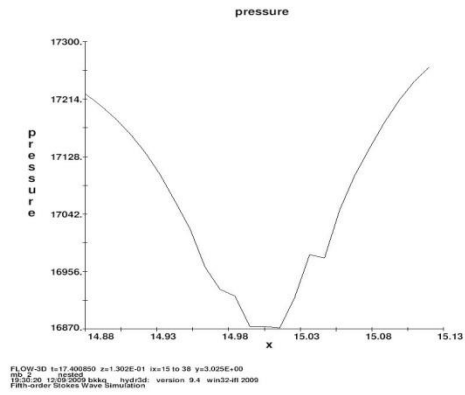
77



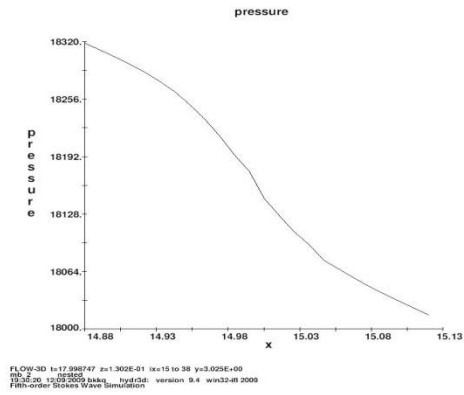
81



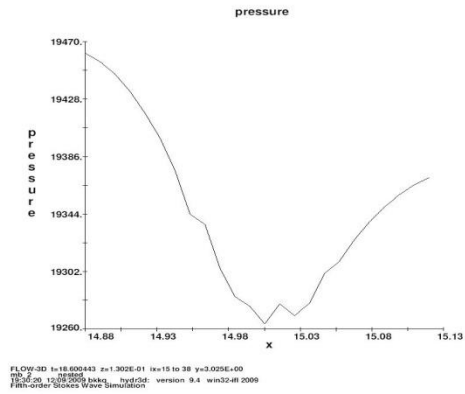
84



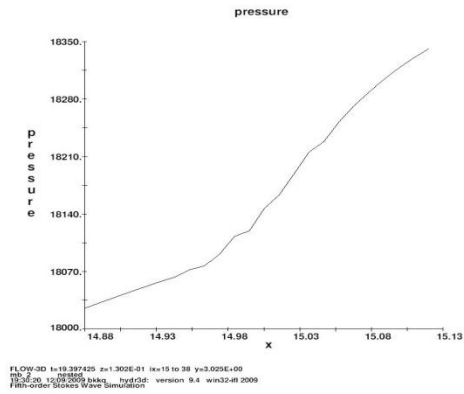
88



91



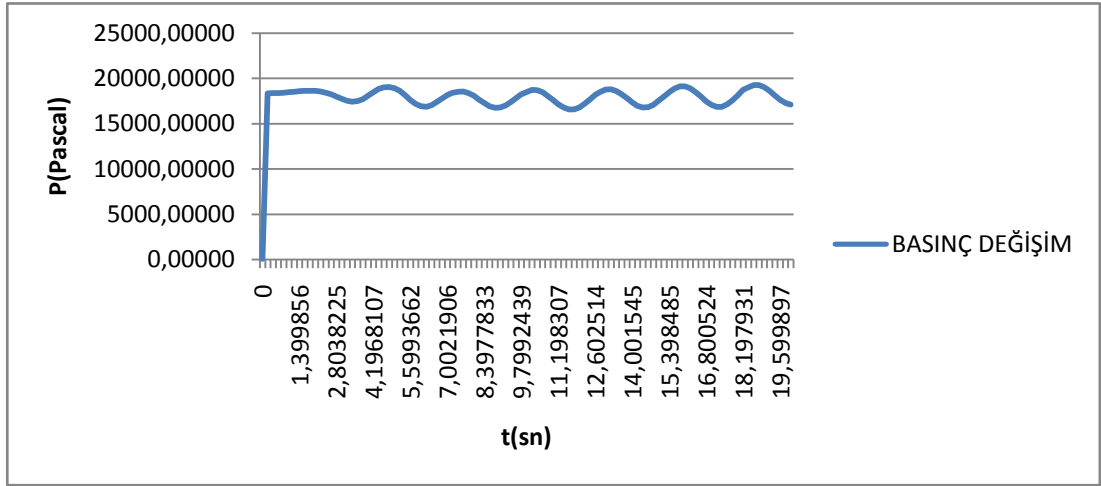
94



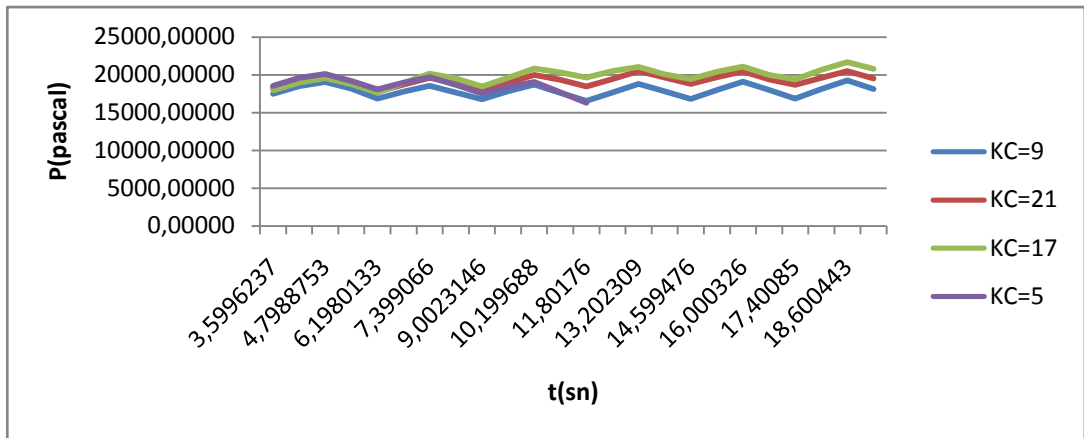
98

Şekil 6.28 : $t=15-20$ sn aralığında x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar.

Şekillerden de görüleceği gibi borunun alt bölgesi olarak nitelendirilen 15 m koordinatının çevresinde statik, dinamik basınçların etkisiyle ve girdap kopmalarının da etkisiyle hem dalga çukurunda hem dalga tepesinde borunun alt bölgesinde minimuma yakın basınç gözlenmektedir. Dalga tepesinde basınç değeri alınan doğrusal düzlemin simetrik sol uç noktasında, dalga çukurunda ise basınç değeri alınan doğrusal düzlemin simetrik sağ uç noktasında basınç maksimum değerdedir. Bunun yanında dalga yüksekliğinin iki metreye yaklaştığı yani derinliğe yaklaştığı zamanlarda tepeden çukura bir hareket olduğunda borunun alt uç bölgesinde sol bölgeden sağ bölgeye doğru basınç artması gözlenmiştir bunun tersi durumunda yani dalga çukurundan dalga tepesine doğru olan harekette basınç sağ bölgeye yaklaştıkça artmıştır.



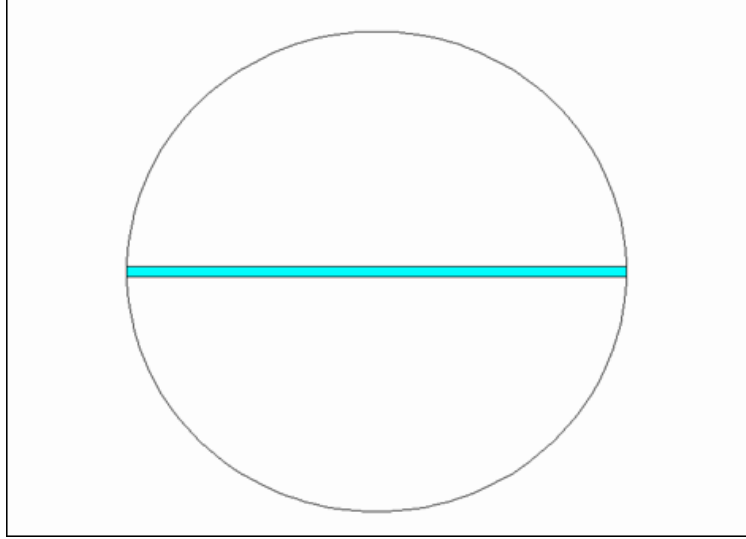
Şekil 6.29 : t=0-20 sn aralığında x eksenini boyunca zamana bağlı değişen basınçlar.



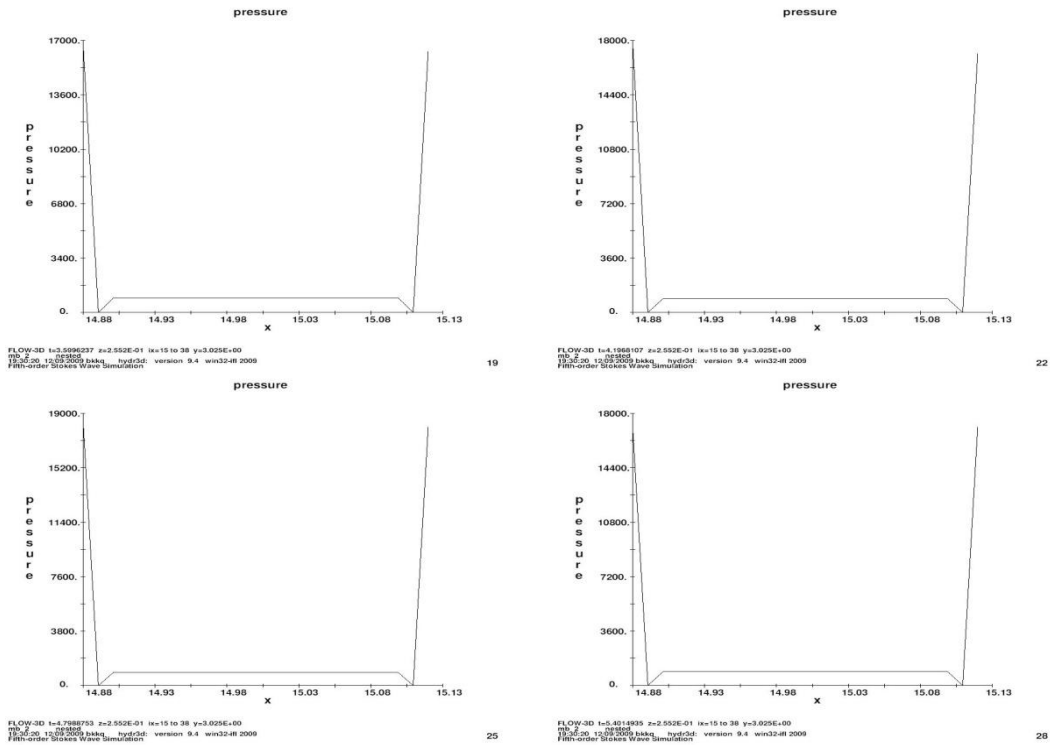
Şekil 6.30 : t=0-20 sn aralığında x eksenini boyunca dört simülasyon için alt uç bölgedeki basınç değişimi

6.1.5.2 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki sağ-sol uç noktaları için x eksenini doğrultusunda noktasal basınç analizi

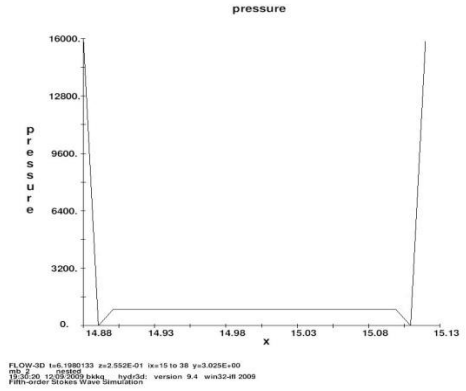
Borunun dalga etkisinde değişen basıncı x eksenini boyunca yine belirlenen referans zamanlarda incelenmiştir. Şekil 6.32' den Şekil 6.35' e kadar içinde borunun sağ ve sol uç noktasının da olduğu düzlemde noktasal basınç değerlerinin x koordinatı boyunca değişimi detaylı olarak ele alınmıştır.



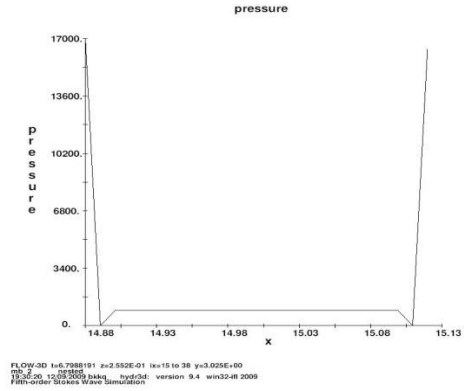
Şekil 6.31 : Basıncın incelendiği sağ-sol uç bölge.



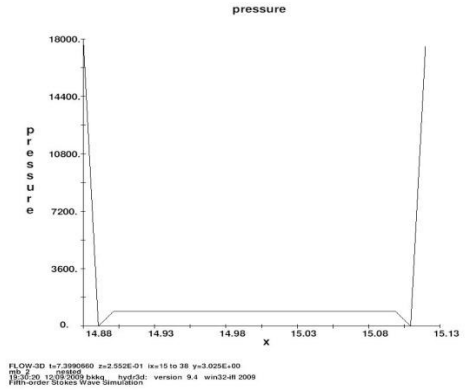
Şekil 6.32 : t=4-5 sn aralığında x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar.



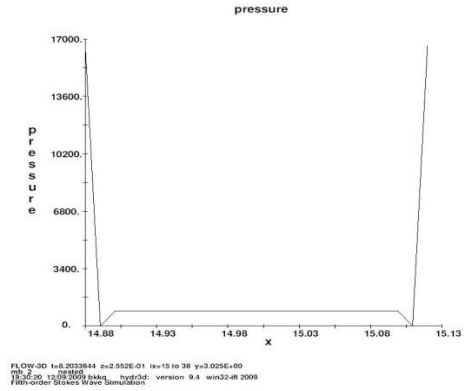
32



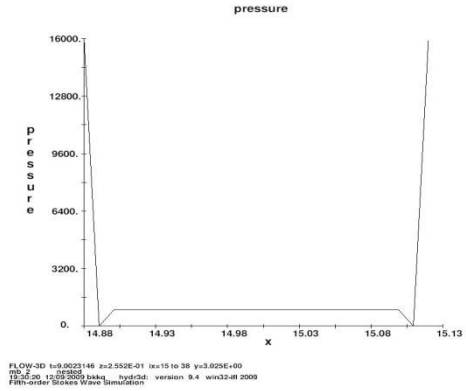
35



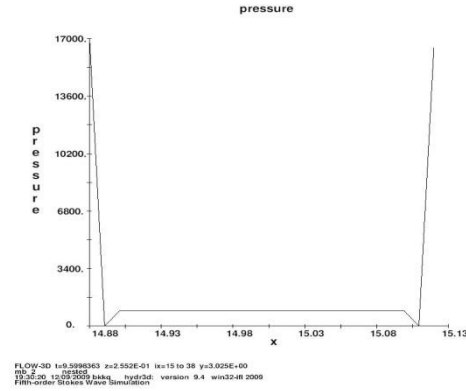
38



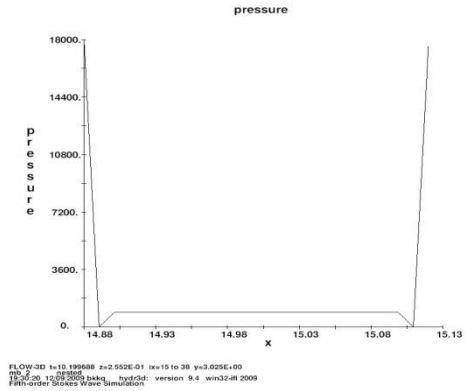
42



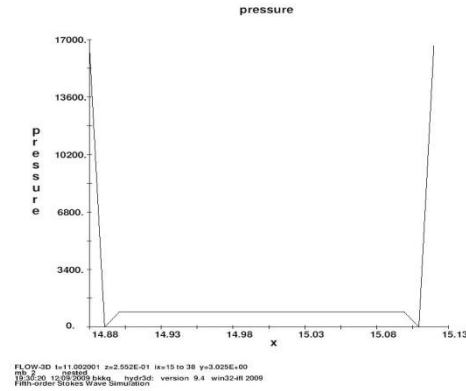
46



49

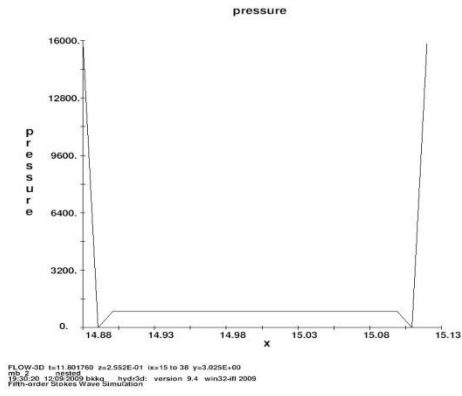


52

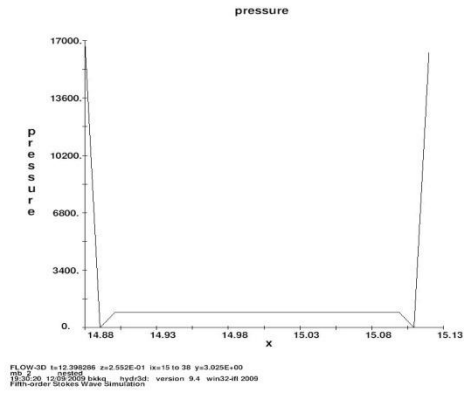


56

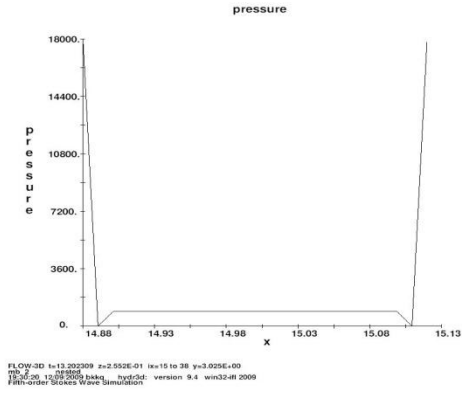
Şekil 6.33 : $t=6-11$ sn aralığında x eksenı boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar.



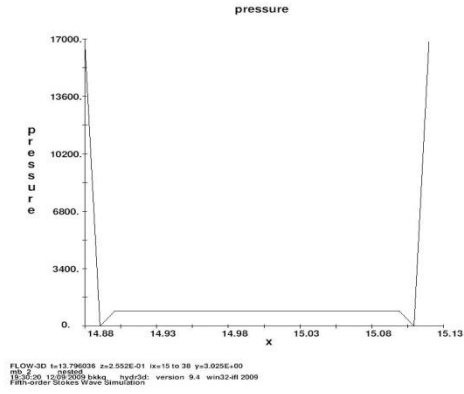
60



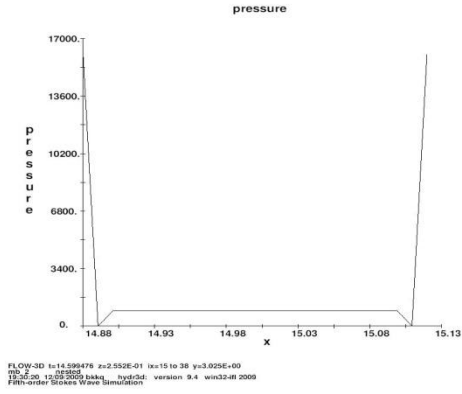
63



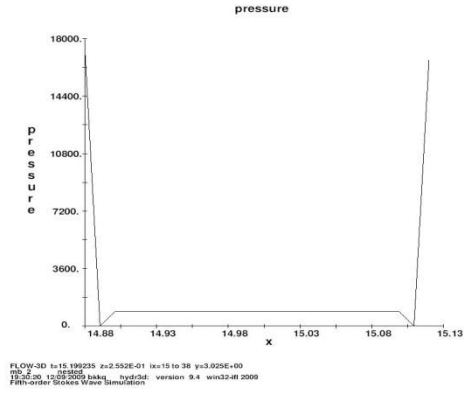
67



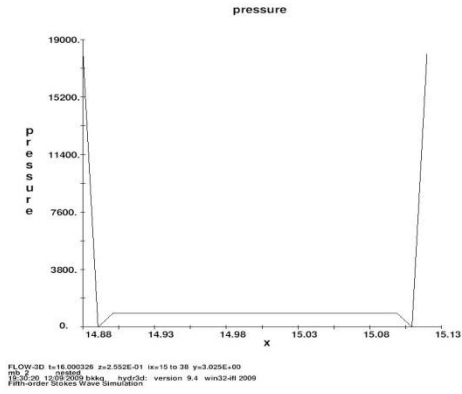
70



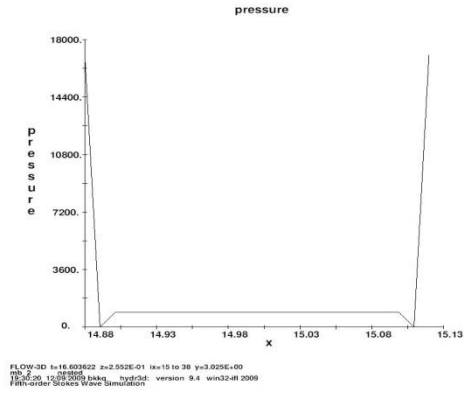
74



77

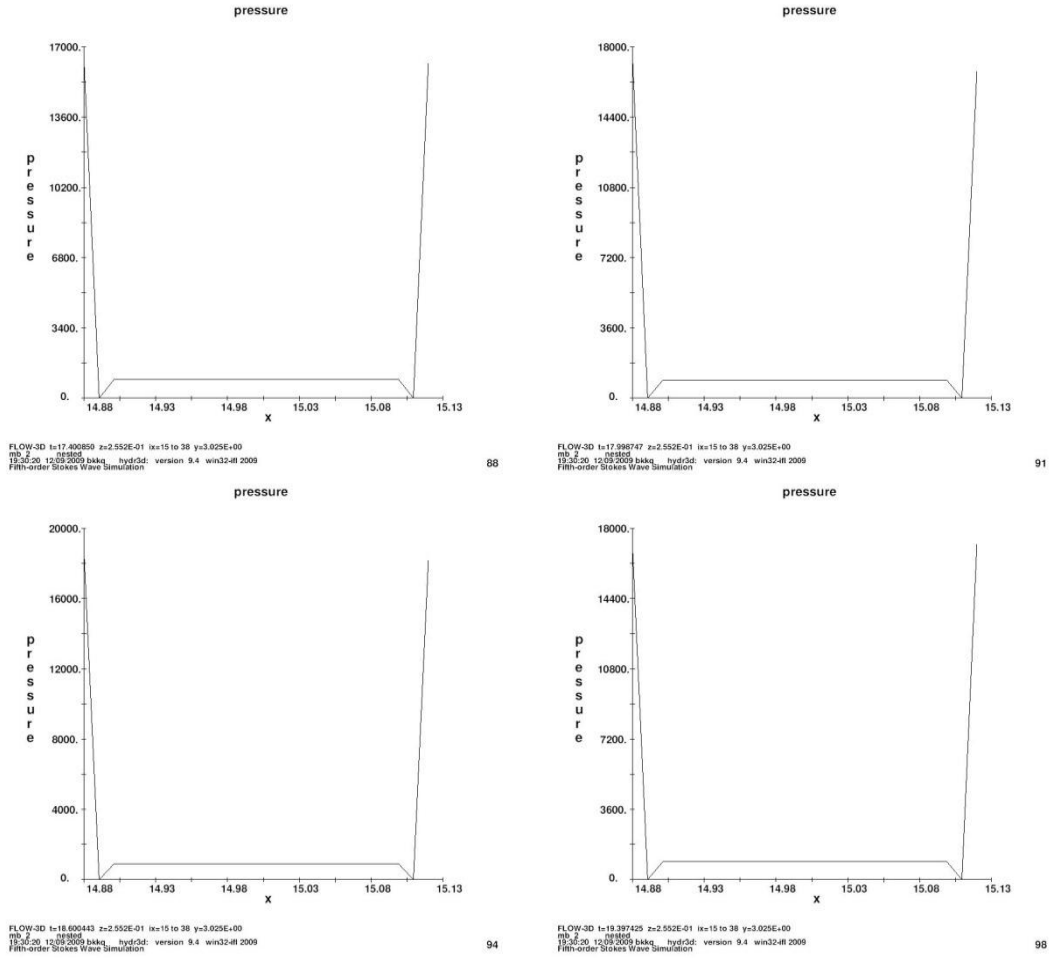


81



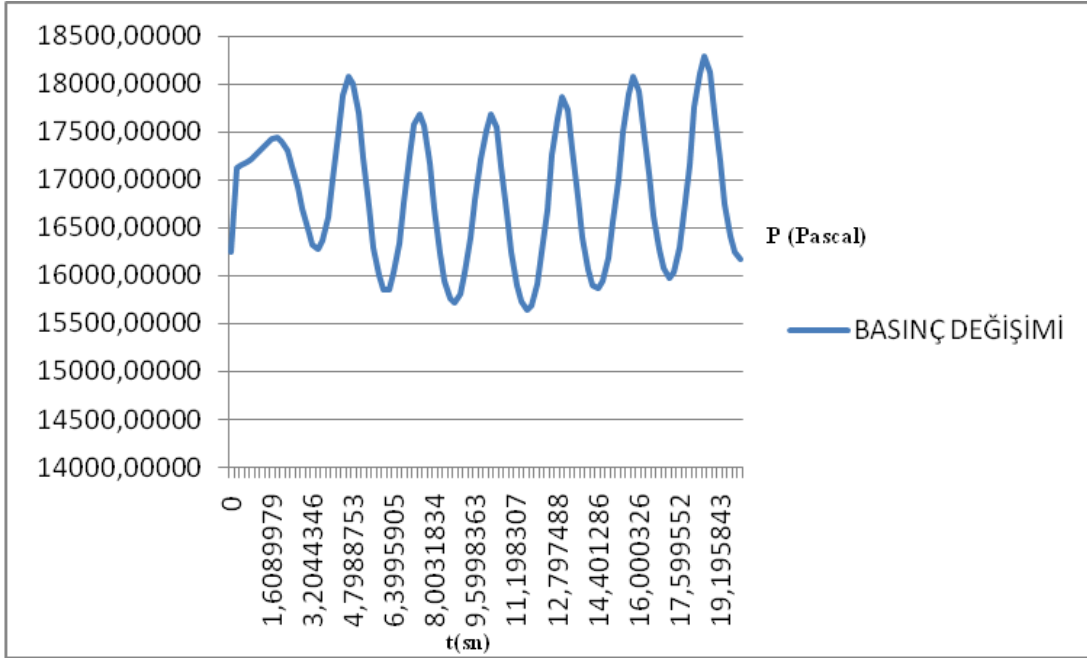
84

Şekil 6.34 : $t=12-17$ sn aralığında x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar.

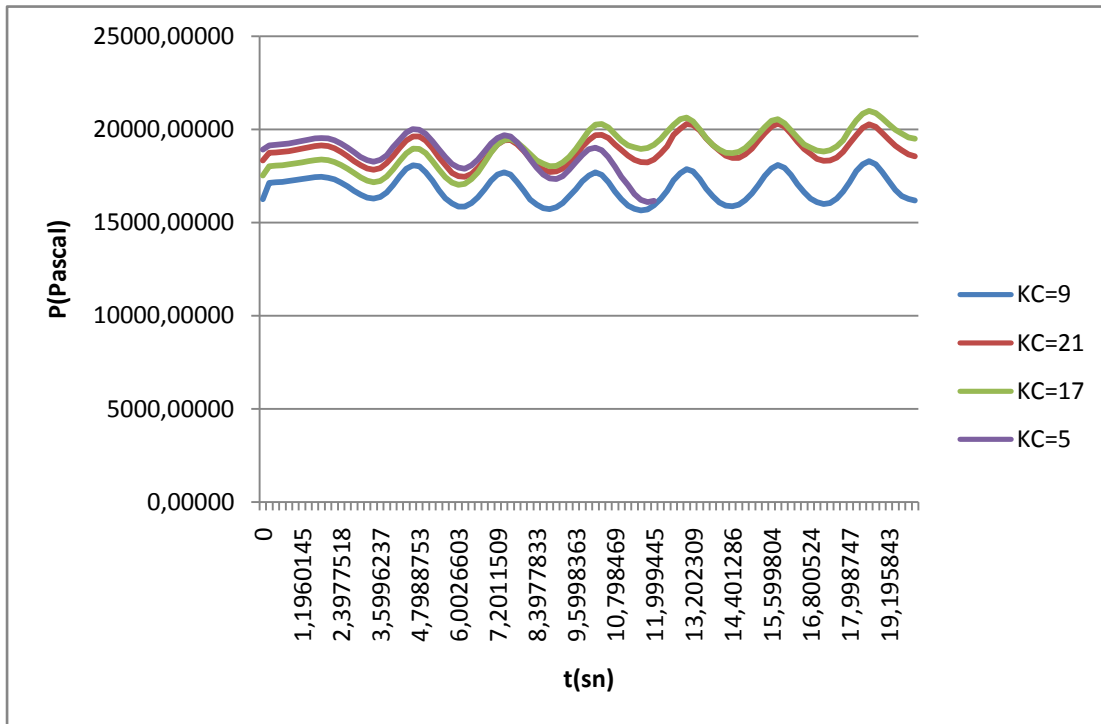


Şekil 6.35 : $t=17-20$ sn aralığında x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar.

Borunun sol ucundaki basınç değişimi Şekil 6.36' da gösterilmiştir. Borunun x koordinatında belli bir aralıkta sabit basınç görülmektedir. Bunun nedeni borunun sağ-sol uç noktalarına denk gelen kesidin merkezinin suyla temas halinde olmamasıdır yani boş olmasıdır. Şekil 6.37' de ise diğer simülasyonlardaki basınç değerleriyle 250 mm çaplı boru simülasyonunun diğer simülasyonlarla karşılaştırılması görülmektedir. Borunun sağ ve sol uç noktalarında dalga ile değişen basınçları irdelenecek olursak dalga tepesinden dalga çukuruna doğru olan harekette borunun sağ uç bölgesindeki noktasal basıncın sol uç bölgedeki basınçtan fazla olduğu bunun tersi durumda ise dalga tepesine doğru olan harekette sol uç bölgedeki noktasal basıncın sağ uç bölgedeki basınçtan her zaman fazla olduğu saptanmıştır.



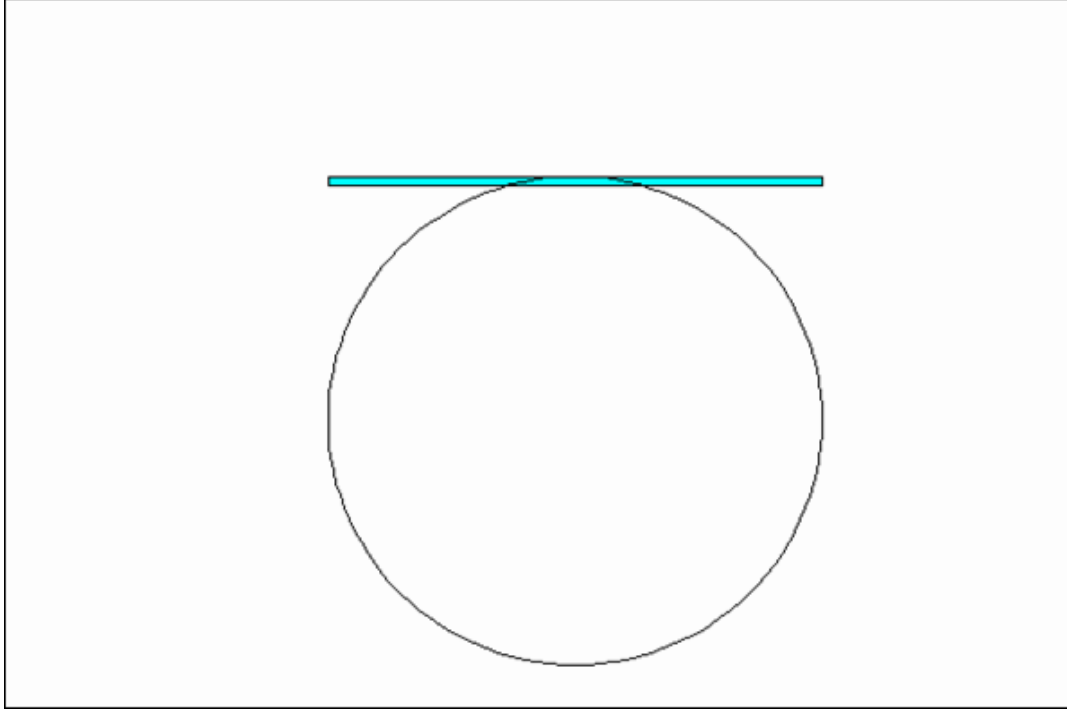
Şekil 6.36 : Borunun sol ucunda zamanla değişen basınçlar



Şekil 6.37 : Diğer simülasyonlardaki basınç değişimleriyle karşılaştırma.

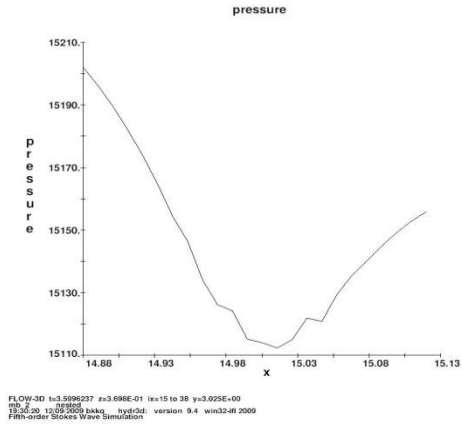
6.1.5.3 250 mm borunun boyuna merkezindeki üst uç noktası için x eksenini doğrultusunda noktasal basınç analizi

Borunun dalga etkisinde değişen basıncı x eksenini boyunca yine belirlenen referans zamanlarda incelenmiştir. Şekil 6.39' dan Şekil 6.41' a kadar içinde borunun üst uç noktasının da olduğu düzlemde noktasal basınç değerlerinin x koordinatı boyunca değişimi detaylı olarak ele alınmıştır.

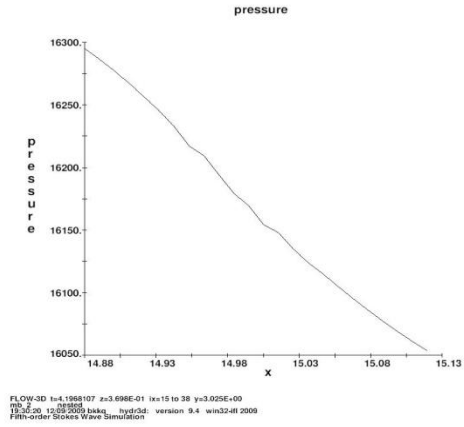


Şekil 6.38 : Basıncın incelendiği üst uç bölge.

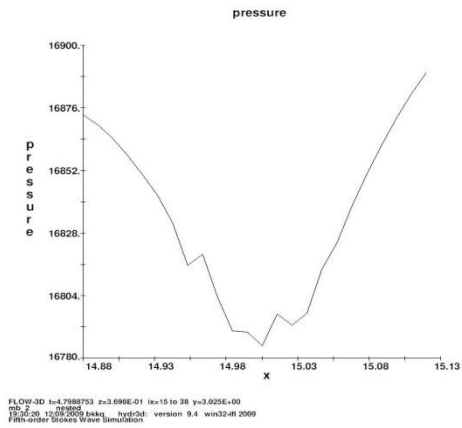
Borunun üst kesidinin dalga durumundaki basınç değişimi referans alınan basınç değerleri ölçülen doğrunun artı ve eksi pozisyonlarında yani sağında ve solunda borunun alt uç bölgesindeki basınç değişim karakteriyle paralellik göstermektedir. Doğaldır ki üst bölgedeki basınç dalganın her pozisyonunda alt uç bölgedeki basınçtan fazla çıkmıştır. 250 mm borunun birinci ve ikinci mesnet bölgelerindeki x eksenini doğrultusundaki analizleri EK-A'da sunulmuştur.



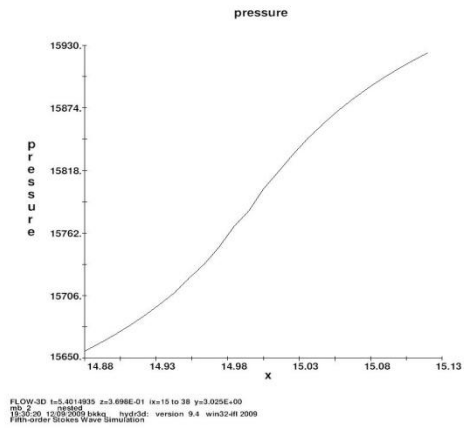
19



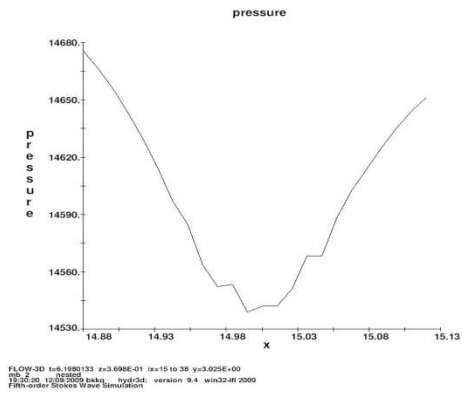
22



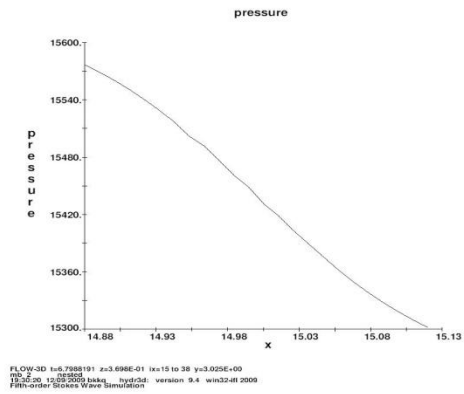
25



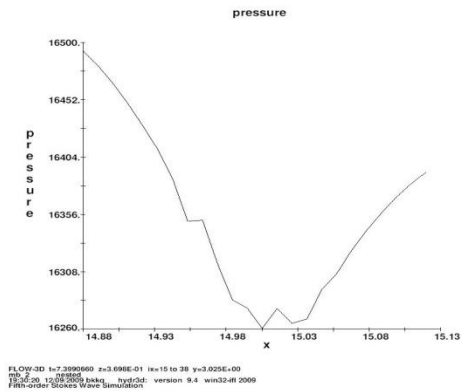
28



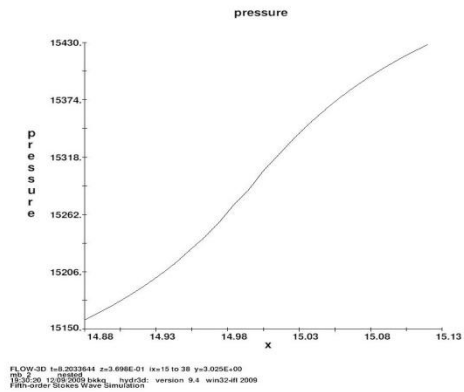
32



35

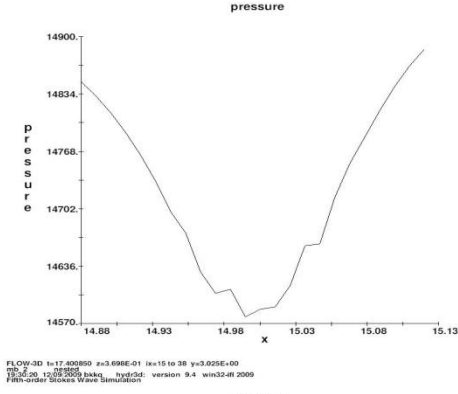


38

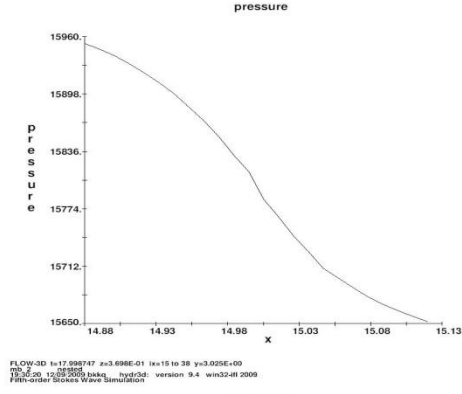


42

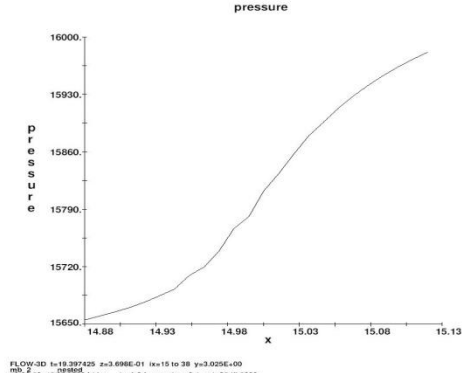
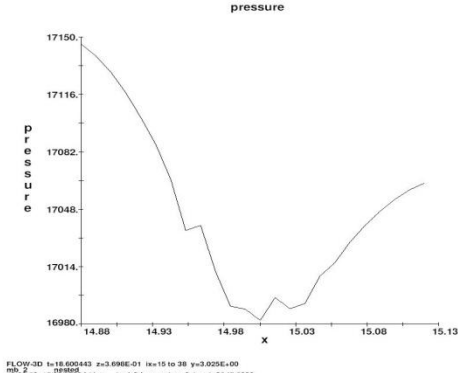
Şekil 6.39 : $t=4-8$ sn aralığında x eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar.



88

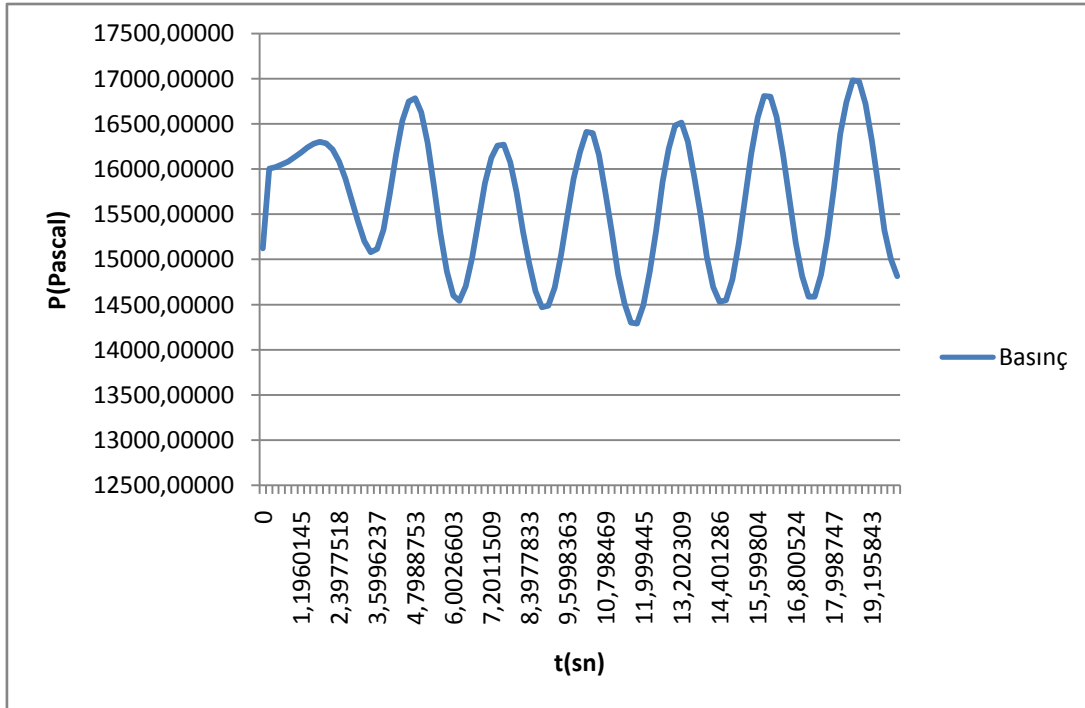


91



Şekil 6.41 : t=17-20 sn aralığında x eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar.

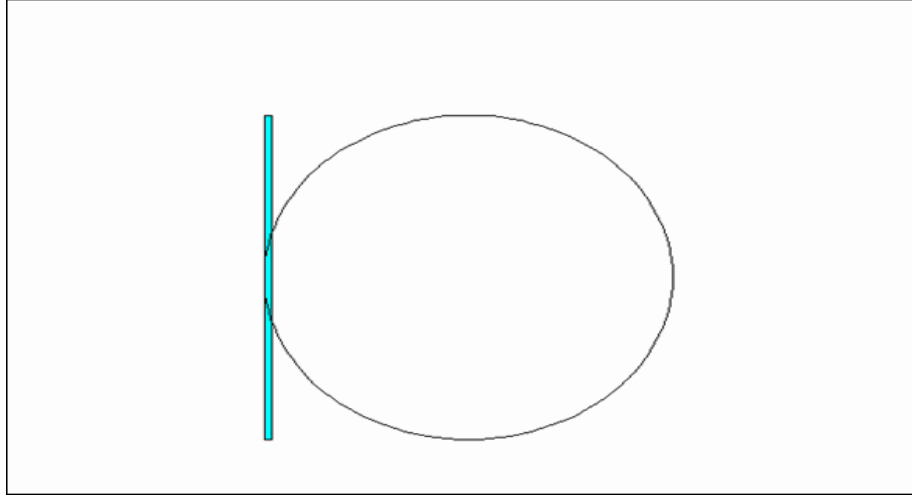
Şekil 6.42' de de görüldüğü gibi dalga tepesinde basınç artmakta dalga çukurunda ise üst bölgede basınç azalmaktadır.



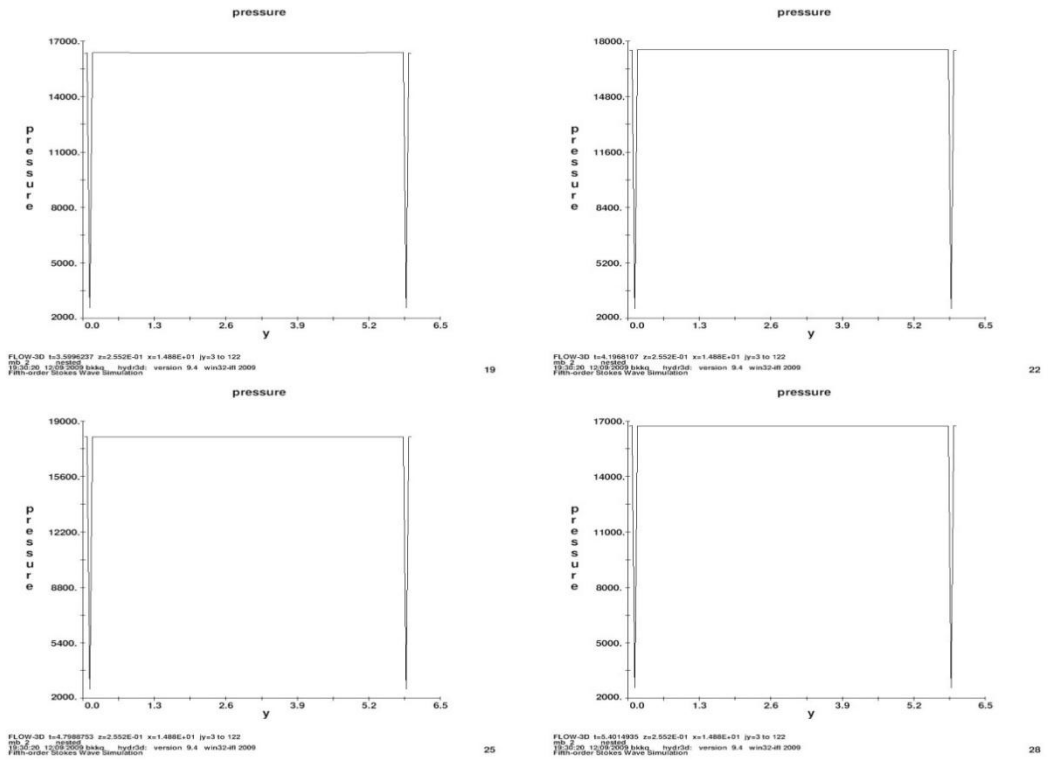
Şekil 6.42 : Borunun üst ucunda değişen basınçlar.

6.1.5.4 250 mm çaplı borunun sol uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda noktasal basınç analizi

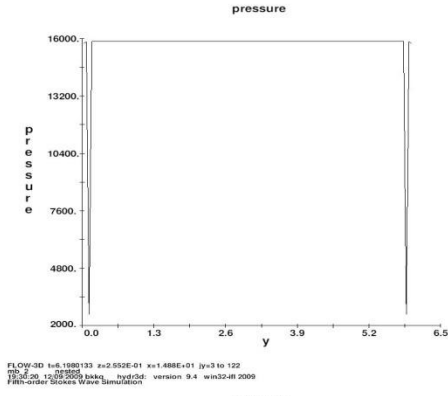
Mevcut 250 mm çapında borunun sol uç bölgesinde boyuna basınç değışimi incelenmiştir. Şekil 6.42' den Şekil 6.45' e kadar y eksenı boyunca her kesidin boyuna sol uç bölgesindeki değışimler incelenmiştir. Mesnet bölgeleri haricinde sol uç bölgede basınç değışimi kaydedilmemiştir.



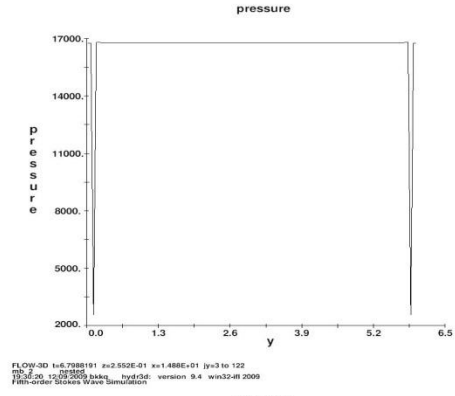
Şekil 6.43 : Basıncın incelendiği sol uç bölge.



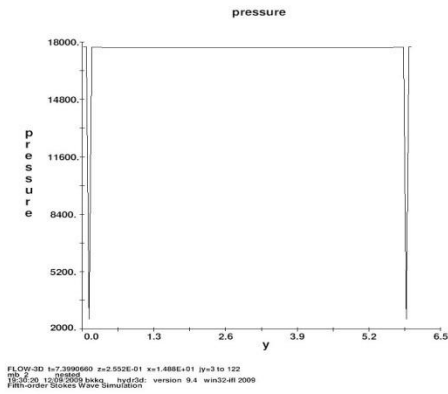
Şekil 6.44 : t=4-5 sn aralığında y eksenı boyunca sol uç bölgedeki basınçlar.



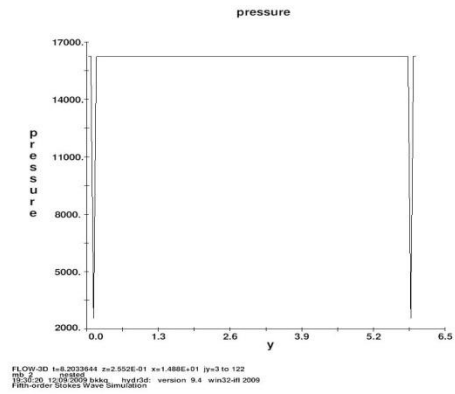
32



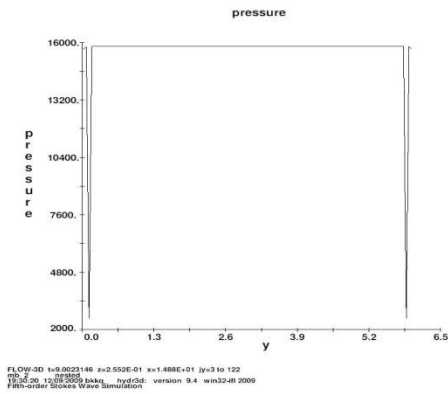
35



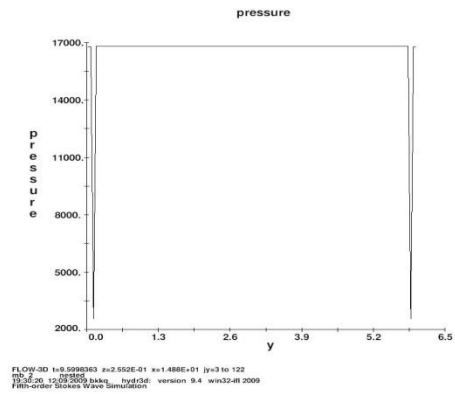
38



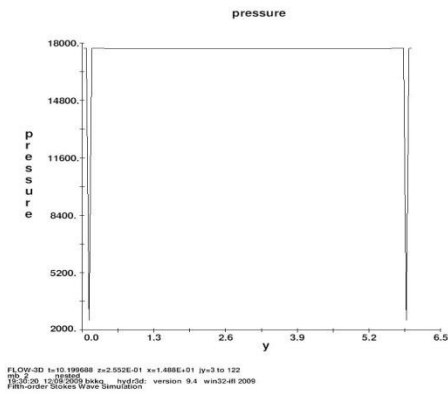
42



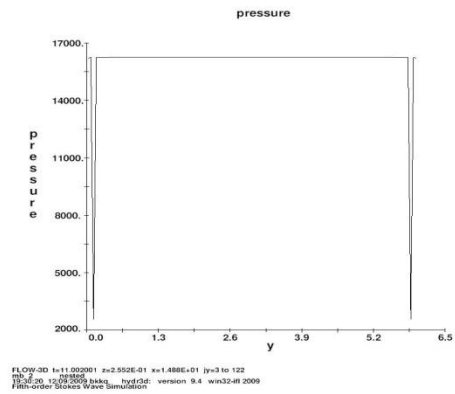
46



49

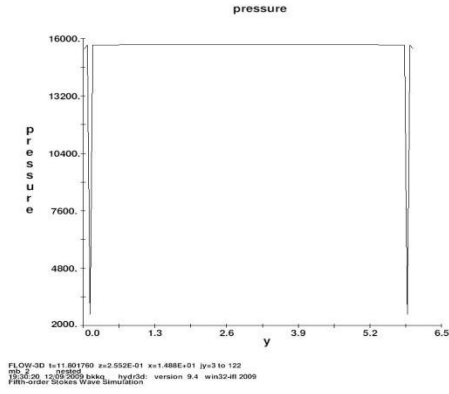


52

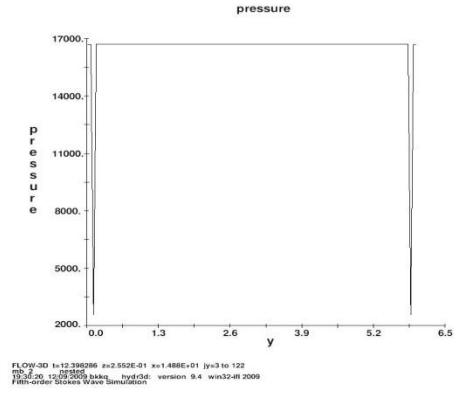


56

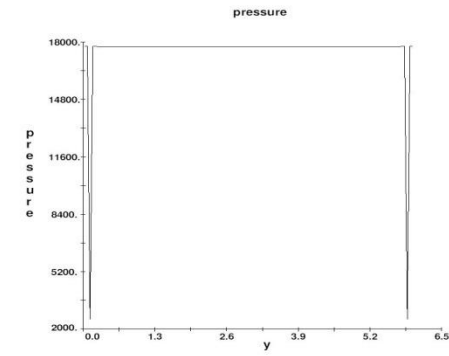
Şekil 6.45 : $t=6-11$ sn aralığında y eksenı boyunca sol uç bölgedeki basınçlar.



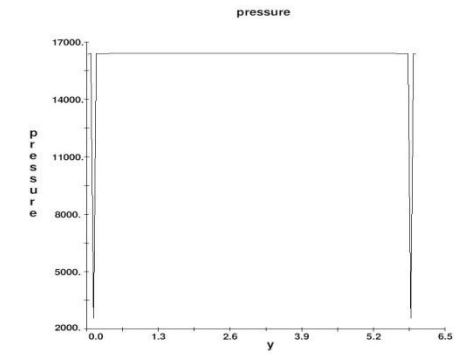
60



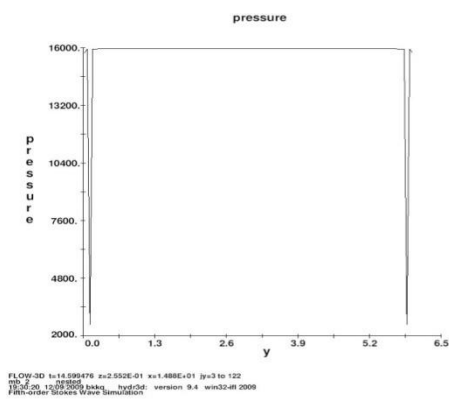
63



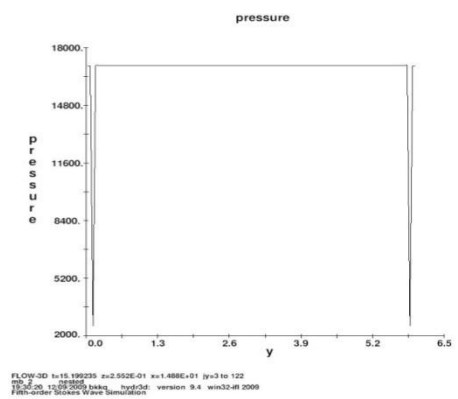
74



77

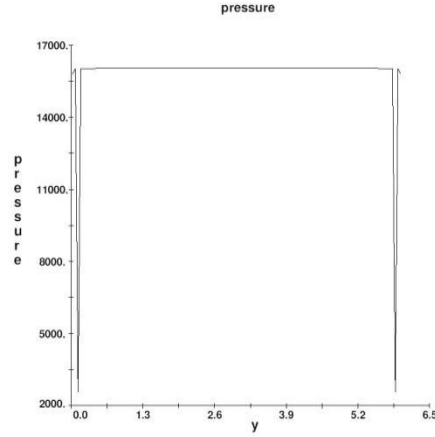


81



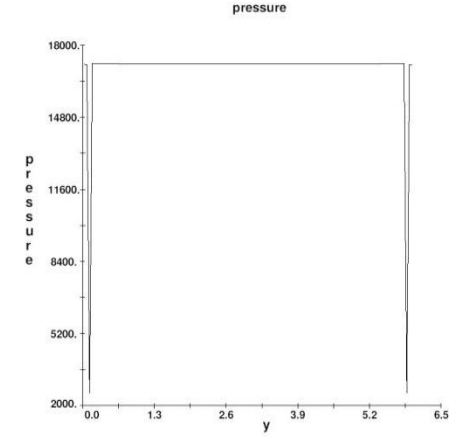
84

Şekil 6.46 : t=12-16 sn aralığında y eksenı boyunca sol uç bölgedeki basınçlar.



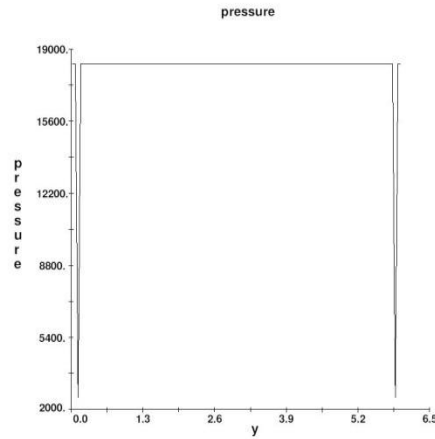
FLOW-3D t=17.000859 z=2.552E-01 x=1.488E+01 jy=3 to 122
m0.2 10/30/09
19:30:20 12/09/2009 bakak_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

88



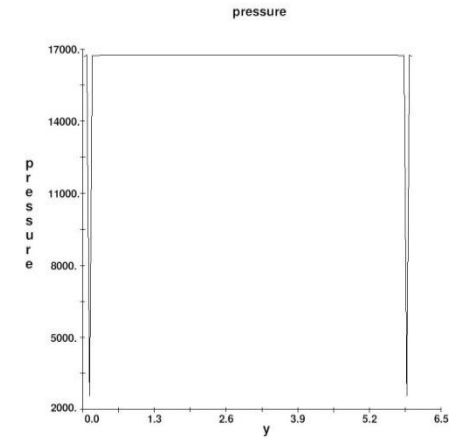
FLOW-3D t=17.998747 z=2.552E-01 x=1.488E+01 jy=3 to 122
m0.2 10/30/09
19:30:20 12/09/2009 bakak_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

91



FLOW-3D t=18.000443 z=2.552E-01 x=1.488E+01 jy=3 to 122
m0.2 10/30/09
19:30:20 12/09/2009 bakak_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

94



FLOW-3D t=19.397425 z=2.552E-01 x=1.488E+01 jy=3 to 122
m0.2 10/30/09
19:30:20 12/09/2009 bakak_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

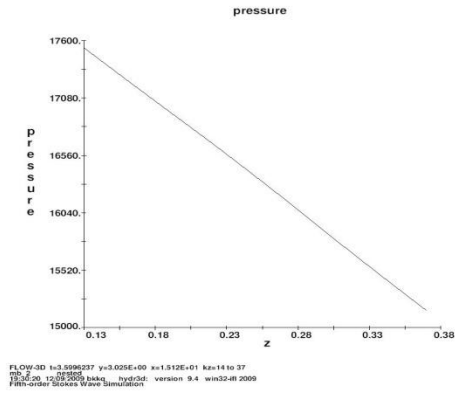
98

Şekil 6.47 : $t=17-20$ sn aralığında y eksenı boyunca sol uç bölgedeki basınçlar.

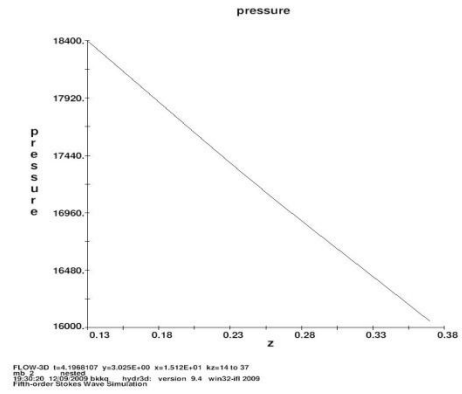
Borunun sağ, üst ve alt uç bölgeler için basınç değişim analizleri EK-A'da sunulmuştur.

6.1.5.5 250 mm çaplı borunun boyuna merkez ve enine sağ uç bölgesi için z eksenı doğrultusunda noktasal basınç analizi

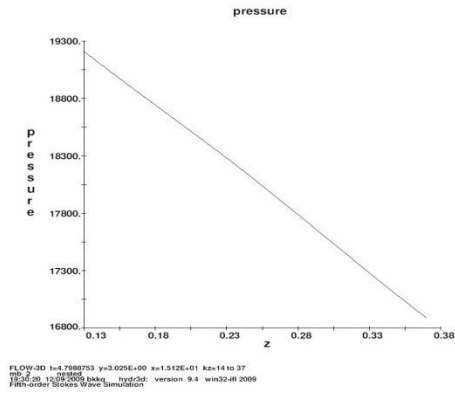
Borunun sağ uç bölgesindeki basınç değişimi ile sağ uç bölgesindeki z koordinatındaki basınç değişim değerleri birbiriyle paralellik taşımaktadır. Seçilen noktasal kesitte derinlik azaldıkça basınç azalmaktadır. Borunun sol uç noktası civarında ise basınçta küçük değişiklikler görülmektedir. Şekil 6.48' den Şekil 6.50' ye kadar detaylı bir şekilde incelenmiştir.



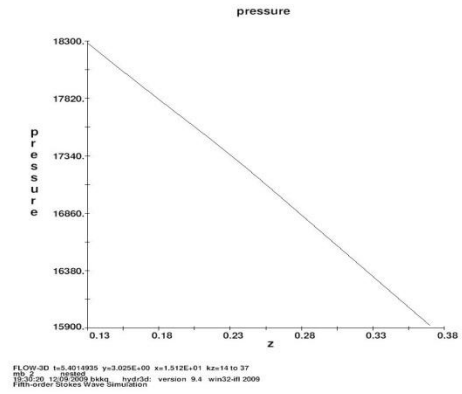
19



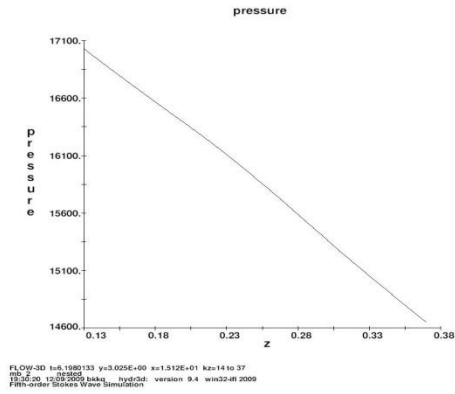
22



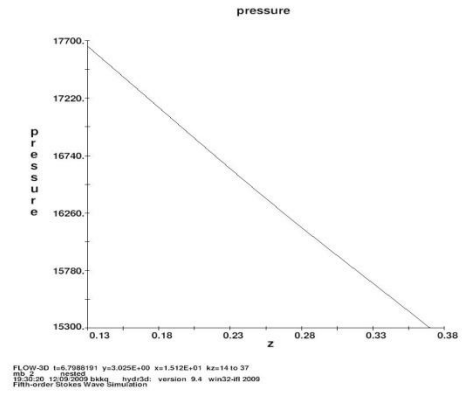
25



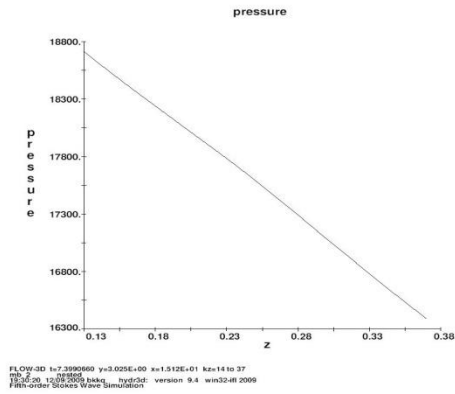
28



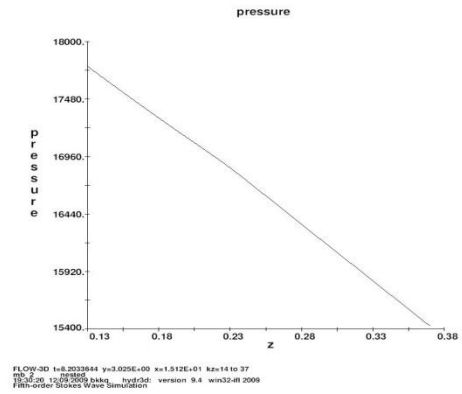
32



35

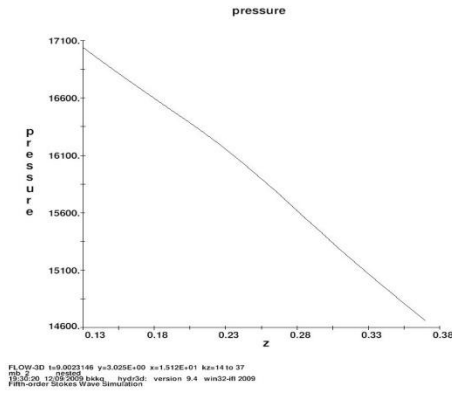


38

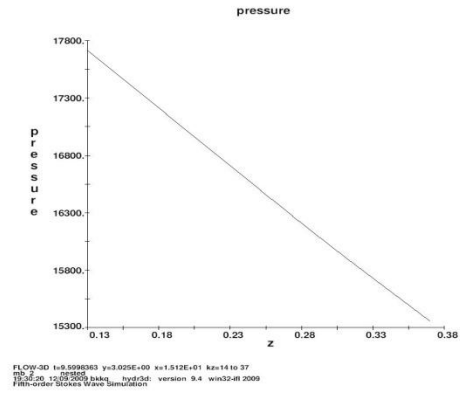


42

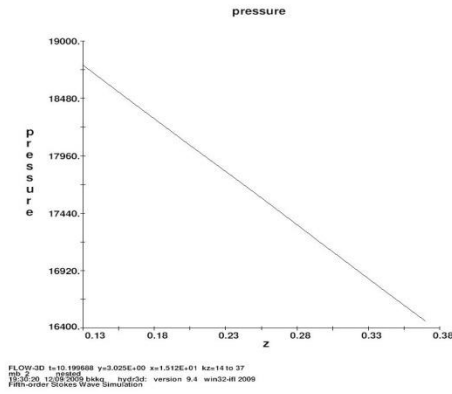
Şekil 6.48 : t=4-8 sn aralığında z eksenı boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar.



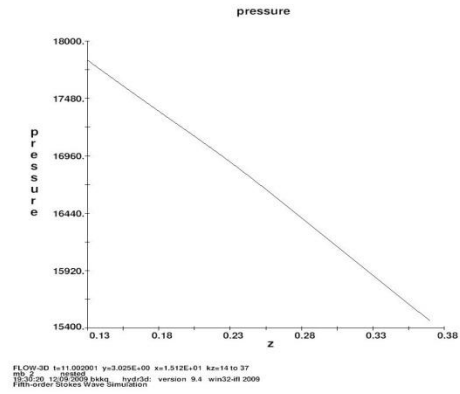
46



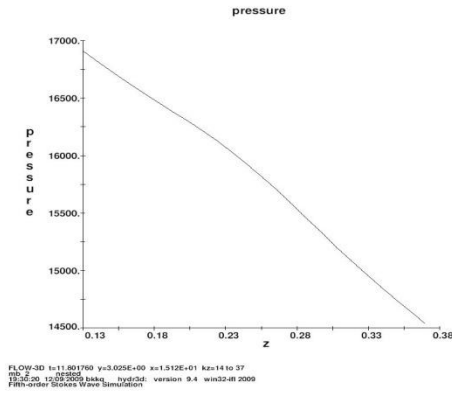
49



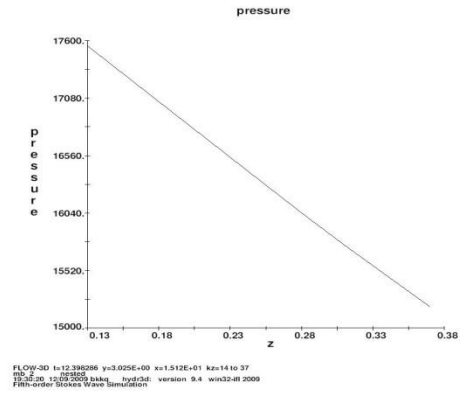
52



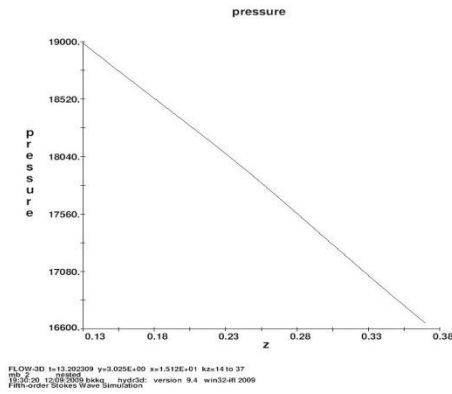
56



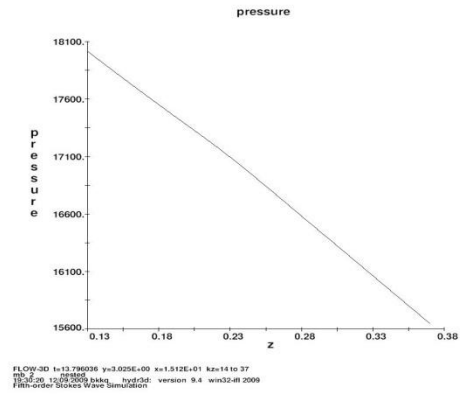
60



63

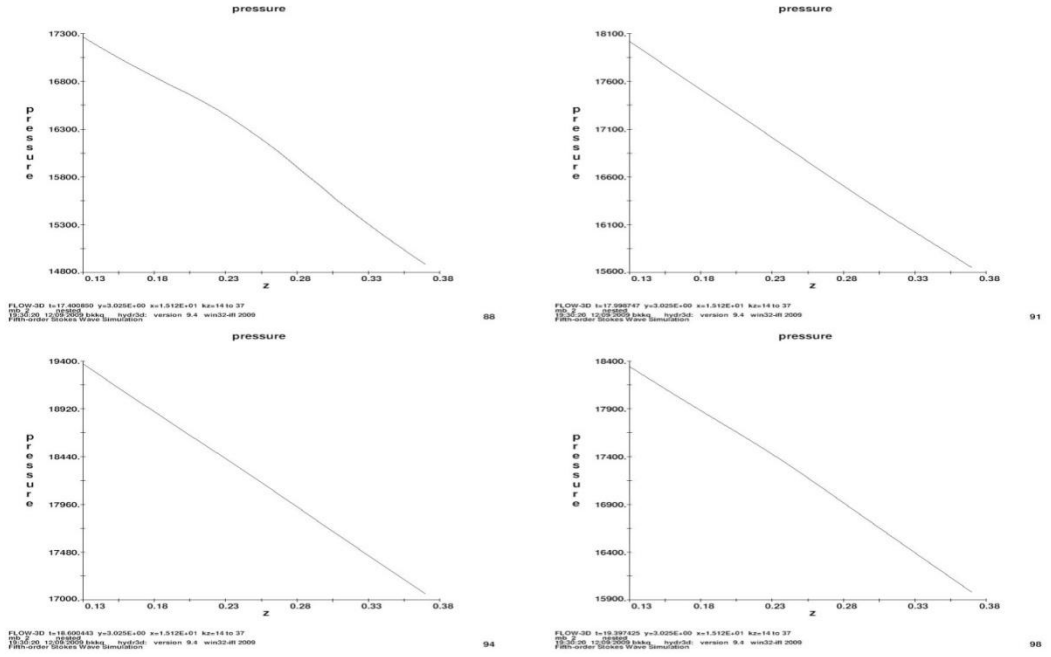


67



70

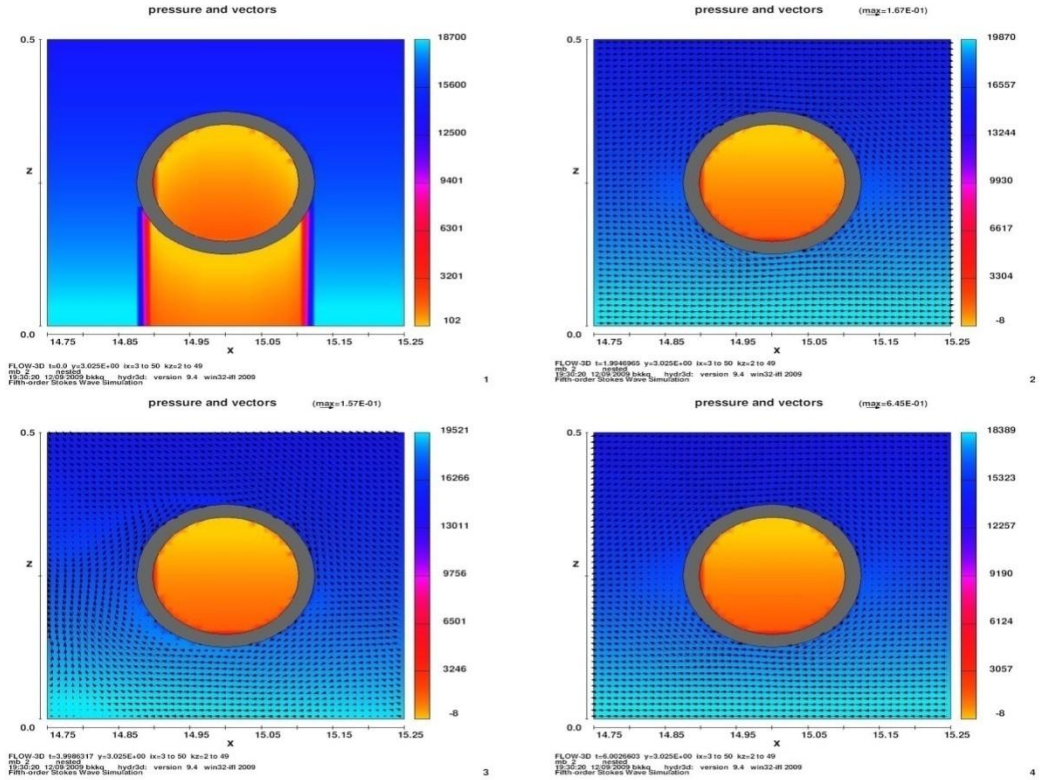
Şekil 6.49 : $t=9-14$ sn aralığında z eksenı boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar.



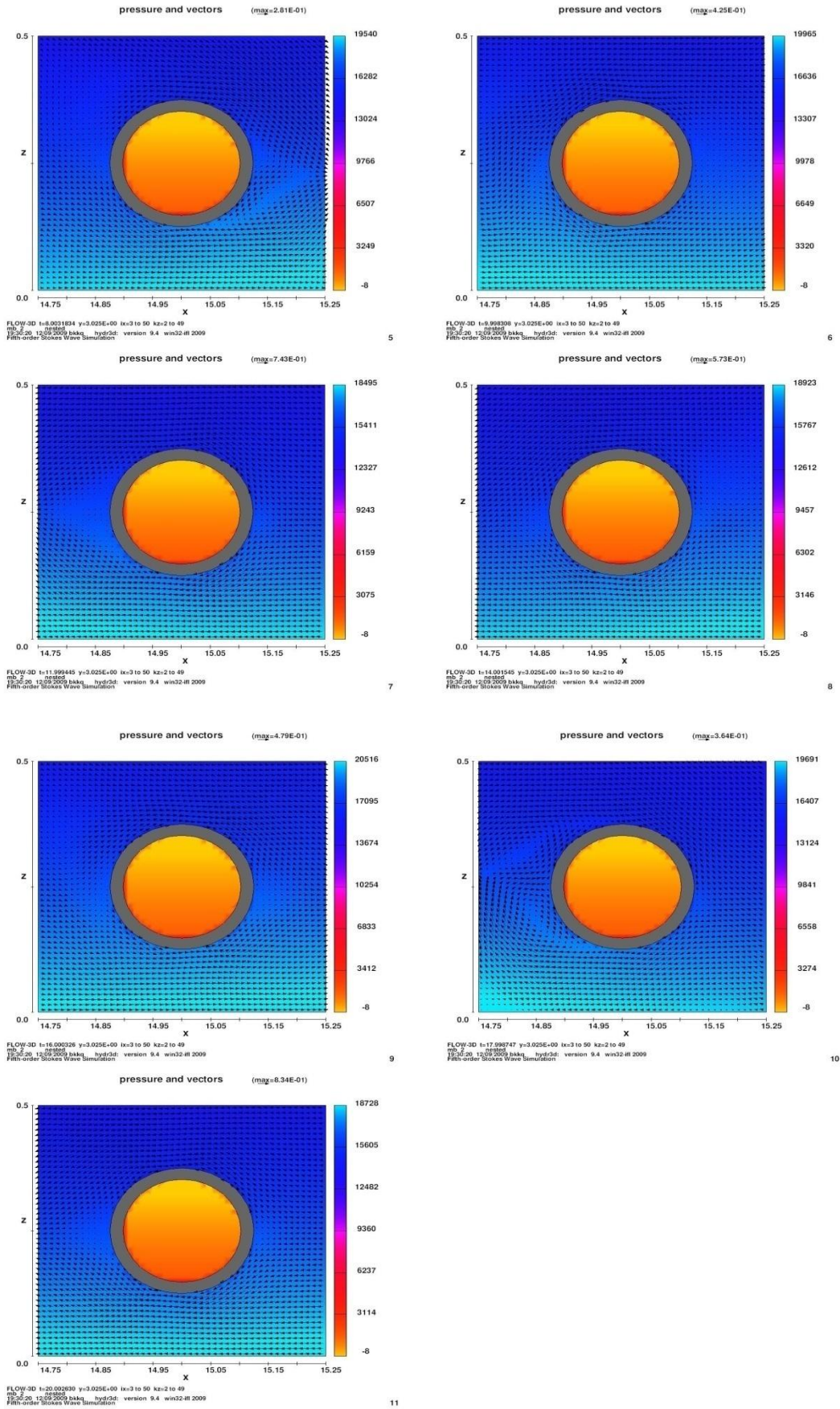
Şekil 6.50 : $t=18-20$ sn aralığında z eksenı boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar.

6.1.5.6 250 mm çaplı borunun xz düzleminde merkez kesidinin basınç analizi

Borunun merkez kesidi referans alınarak değişen basınç hız vektörleriyle gösterilmiştir. Basınç değişimi Şekil 6.47 ve Şekil 6.48’ de detaylı olarak incelenmiştir.



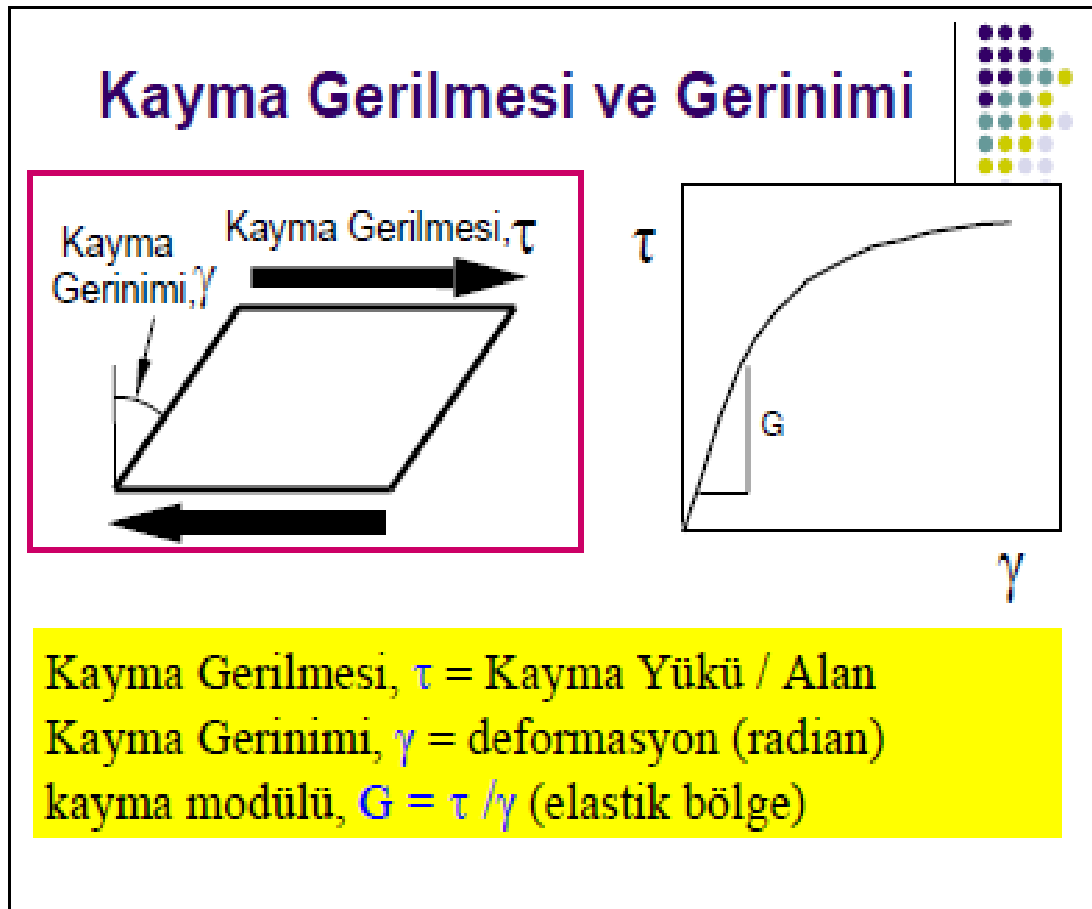
Şekil 6.51 : $t=0-6$ sn aralığında xz merkez kesidinde basınç değişimi.



Şekil 6.52 : t=8-20 sn aralığında xz merkez kesidinde basınç değişimi.

6.1.6 250 mm çaplı borunun kayma gerilmesi analizi

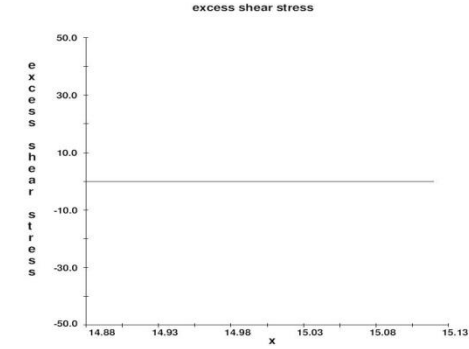
Bir yüzeye etkiyen net bileşke kuvvetin yüzeye paralel bileşeninin yüzeyde oluşturduğu gerilme kayma gerilmesidir. Şekil 6.10' da belirtilen analiz bölgelerinde üç boyutlu basınç analizi yapılmış ve bu analizler kesitsel ve noktasal olarak incelenmiştir. Şekil 6.53' de kayma gerilmesi bileşenleri gösterilmiştir. Diğer simülasyonlarla olan karşılaştırmalar yine aynı bölge için yapılmış, çap değişiminin ve dalganın konumudaki değişikliklerle kayma gerilmelerindeki artım veya azalım analiz edilmiştir. Kayma gerilmesinde de diğer simülasyonlarda olduğu gibi çevri kopmalarının etkisi büyüktür.



Şekil 6.53 : Kayma gerilmesi ve parametreleri.

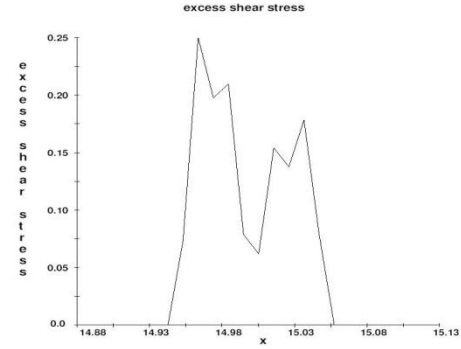
6.1.6.1 250 mm çaplı borunun boyuna merkez alt uç bölgesindeki kayma gerilmesi analizi

Borunun alt boyuna merkez bölgesindeki kayma gerilmelerindeki değişim grafiksel olarak Şekil 6.54 ve 6.55' de 10 eşit zaman diliminde incelenmiştir.



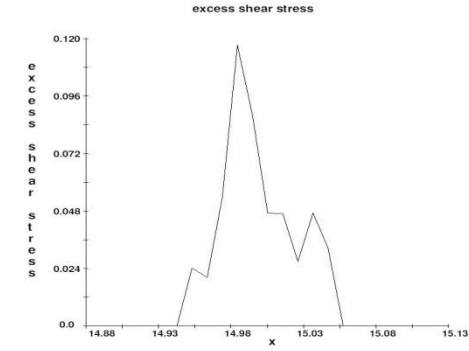
FLOW-3D t=0.0 z=1.302E-01 ix=15 to 38 y=3.025E+00
 10/2/2012 12:09:25 baki_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
 Fifth-order Stokes Wave Simulation

1



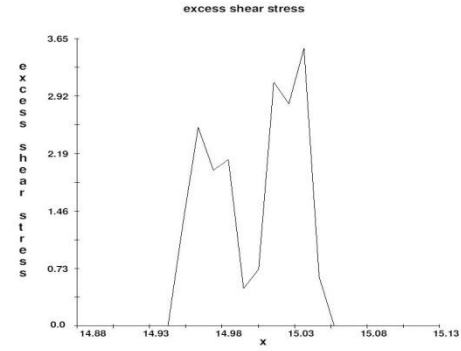
FLOW-3D t=1.984695 z=1.302E-01 ix=15 to 38 y=3.025E+00
 10/2/2012 12:09:25 baki_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
 Fifth-order Stokes Wave Simulation

2



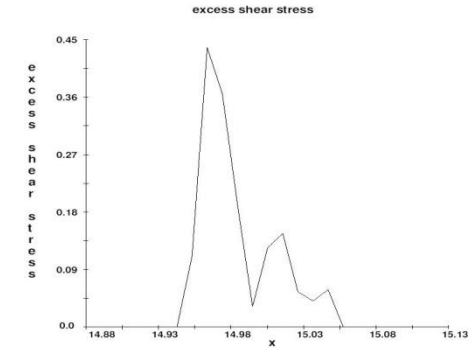
FLOW-3D t=3.9986317 z=1.302E-01 ix=15 to 38 y=3.025E+00
 10/2/2012 12:09:25 baki_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
 Fifth-order Stokes Wave Simulation

3



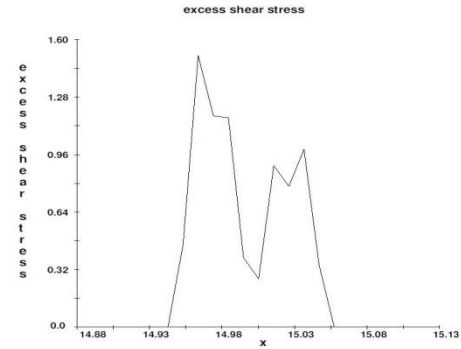
FLOW-3D t=6.0026603 z=1.302E-01 ix=15 to 38 y=3.025E+00
 10/2/2012 12:09:25 baki_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
 Fifth-order Stokes Wave Simulation

4



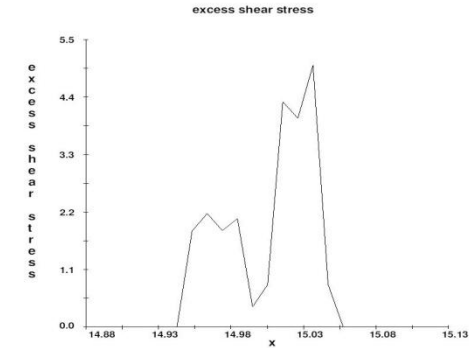
FLOW-3D t=8.0031834 z=1.302E-01 ix=15 to 38 y=3.025E+00
 10/2/2012 12:09:25 baki_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
 Fifth-order Stokes Wave Simulation

5



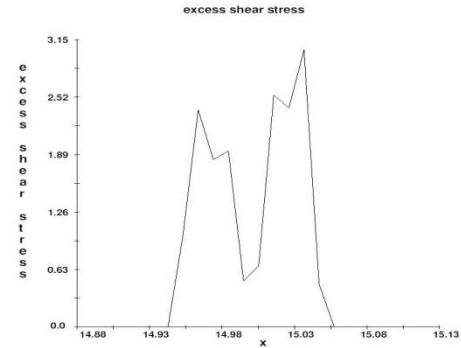
FLOW-3D t=9.968308 z=1.302E-01 ix=15 to 38 y=3.025E+00
 10/2/2012 12:09:25 baki_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
 Fifth-order Stokes Wave Simulation

6



FLOW-3D t=11.998445 z=1.302E-01 ix=15 to 38 y=3.025E+00
 10/2/2012 12:09:25 baki_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
 Fifth-order Stokes Wave Simulation

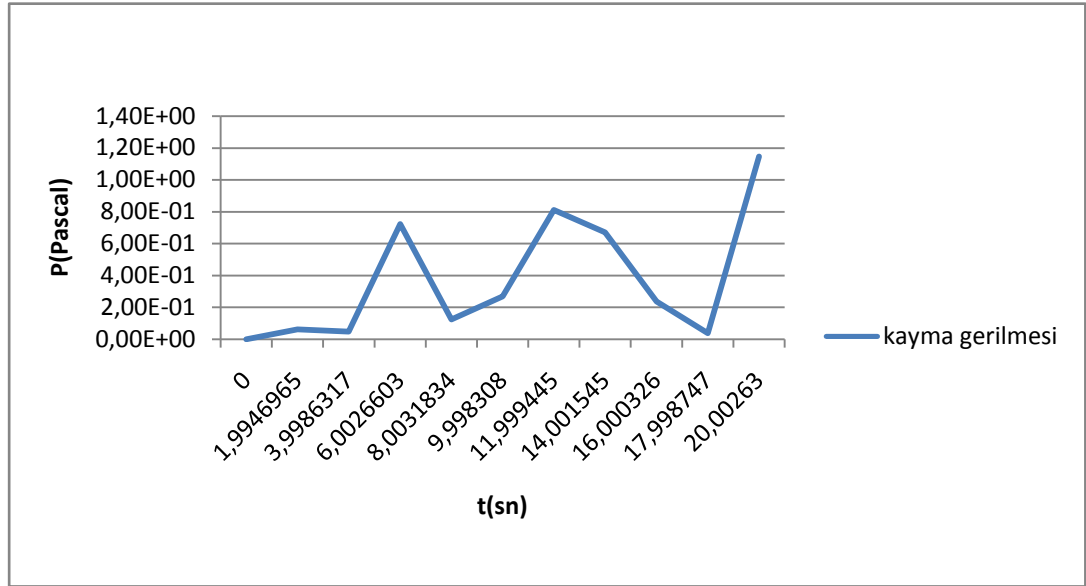
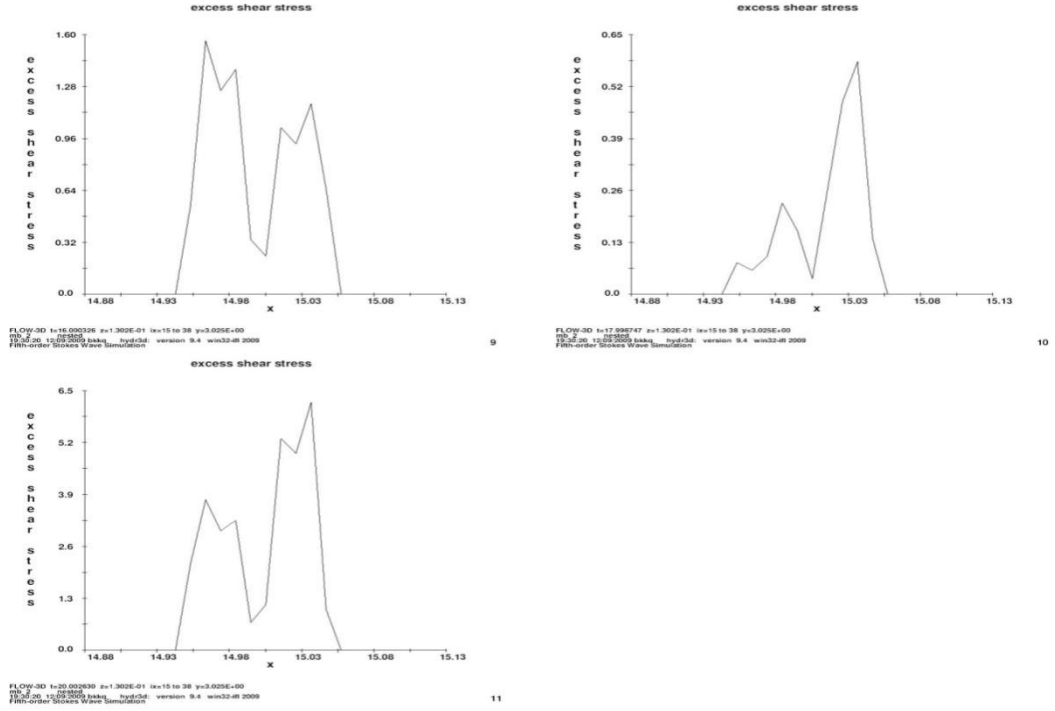
7



FLOW-3D t=14.001545 z=1.302E-01 ix=15 to 38 y=3.025E+00
 10/2/2012 12:09:25 baki_hydr3d: version 9.4 win32-48 2009
 Fifth-order Stokes Wave Simulation

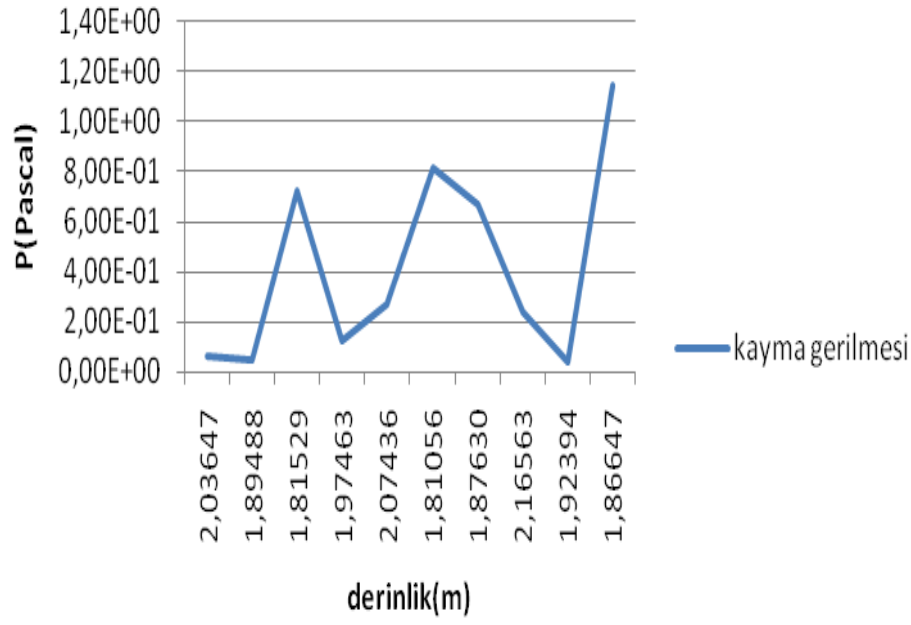
8

Şekil 6.54 : $t=0-14$ sn aralığında x eksenini boyunca alt uç bölgedeki gerilmeler.

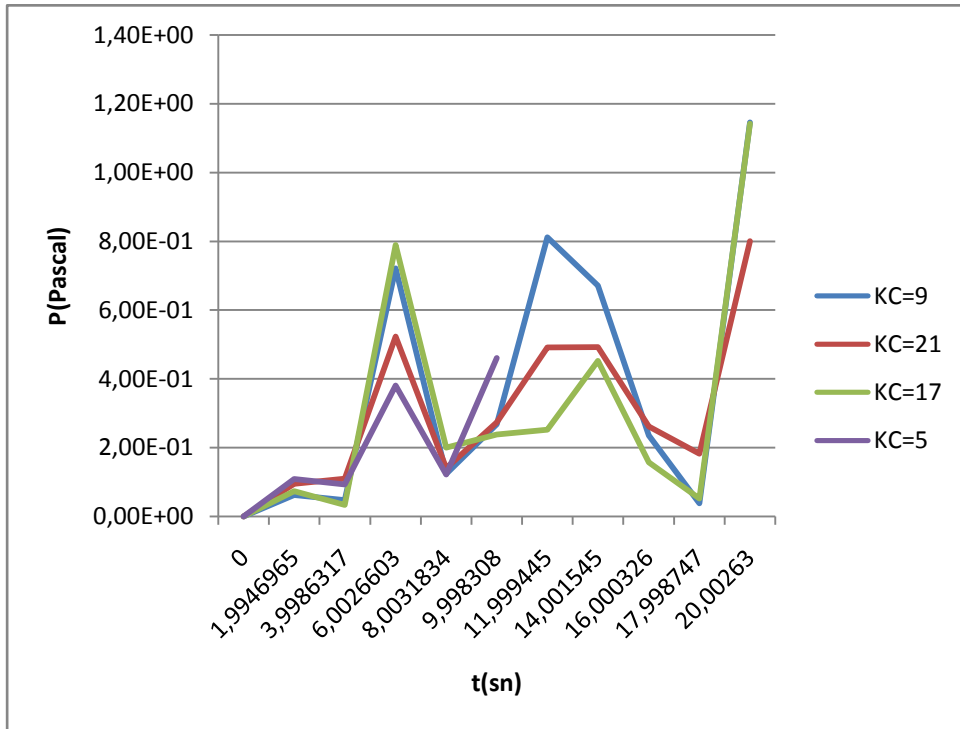


Şekil 6.56 : Borunun referans alınan alt uç noktasındaki zamana bağlı kayma gerilmesi değişimleri.

Şekil 6.56' da derinliğe göre değişen kayma gerilmeleri gösterilmiştir. Şekil 6.57' de ise diğer simülasyonlarla kayma gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir.



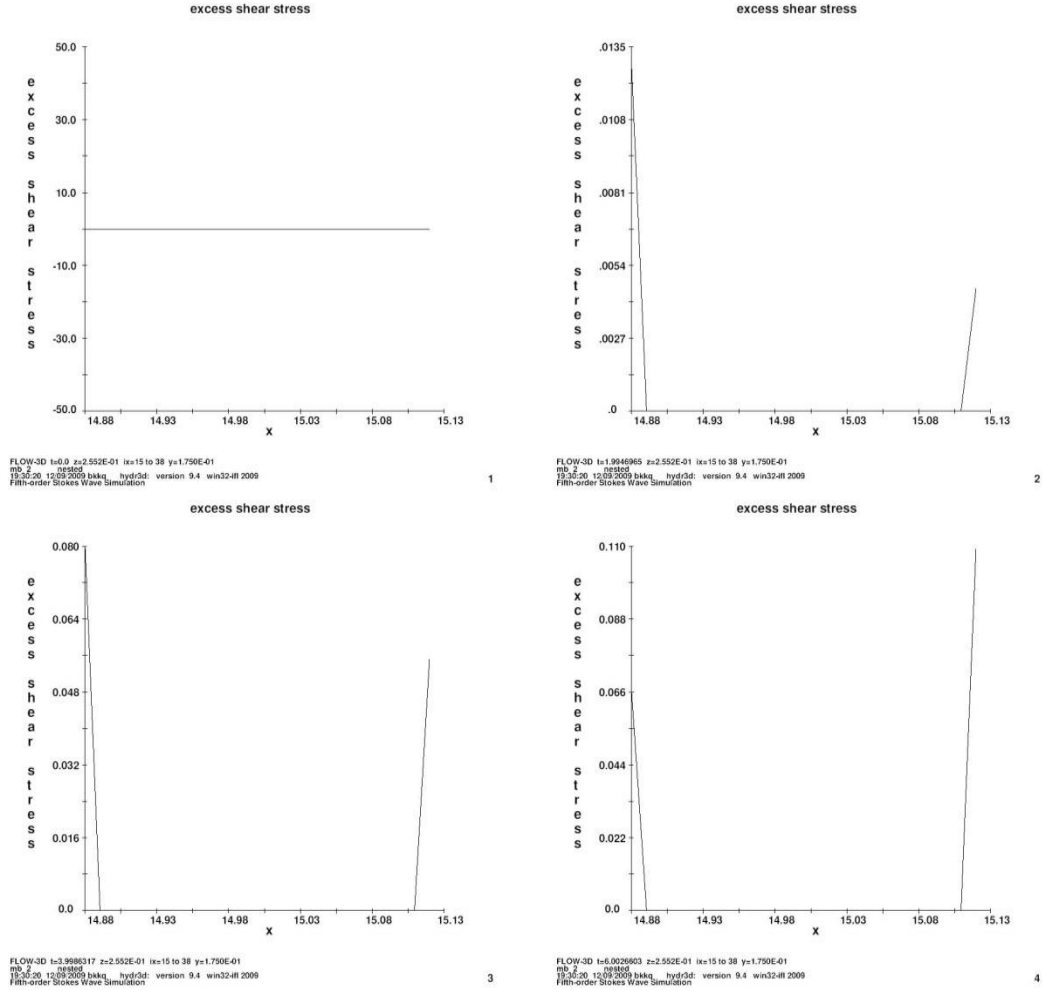
Şekil 6.57 : Derinliğe göre değişen alt uç noktadaki kayma gerilmeleri



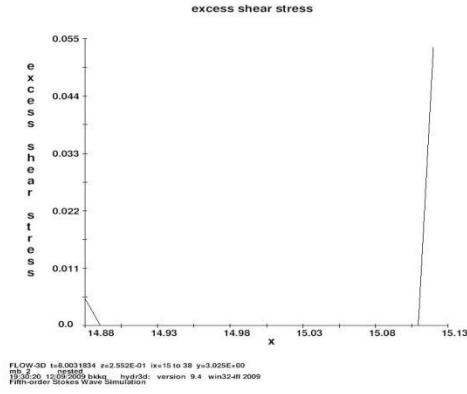
Şekil 6.58 : Diğer simülasyonlardaki kayma gerilmeleriyle karşılaştırma.

6.1.6.2 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki sağ-sol uç bölgeleri için x eksenini doğrultusunda kayma gerilmesi analizi

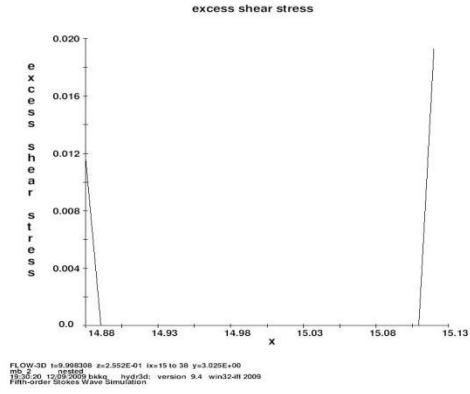
Borunun boyuna merkezinin sağ ve sol uç noktalarındaki x koordinatı boyunca değişen kayma gerilmesi değerleri Şekil 6.59’ da ve 6.60’ da incelenmiştir. Boru iç çeperine kadar olan kayma gerilmesi değerlerinin giderek azaldığı görülmektedir.



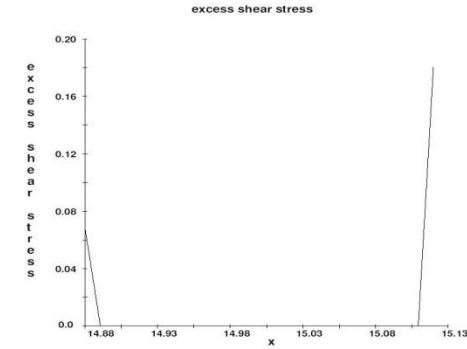
Şekil 6.59 : t=0-6 sn aralığında x eksenini boyunca sağ sol uç bölgedeki gerilmeler.



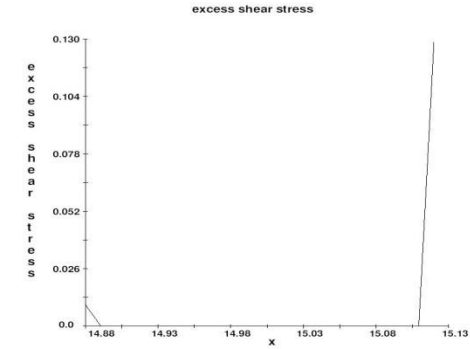
5



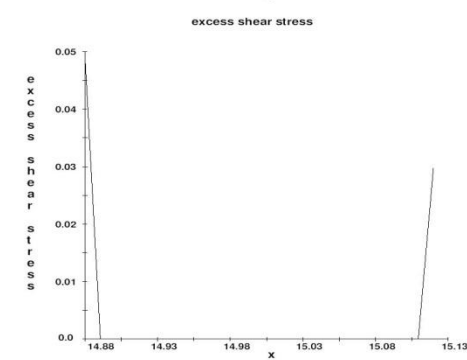
6



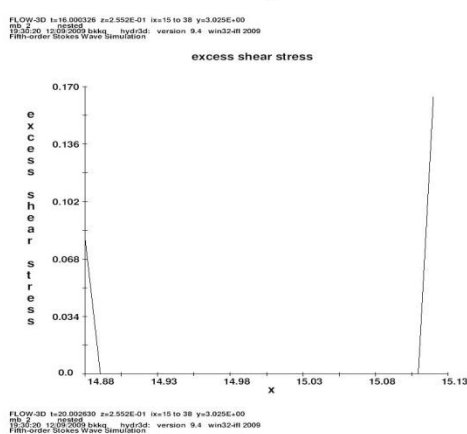
9



10



11



Şekil 6.60 : $t=8-20$ sn aralığında x eksenı boyunca sağ sol uç bölgedeki gerilmeler.

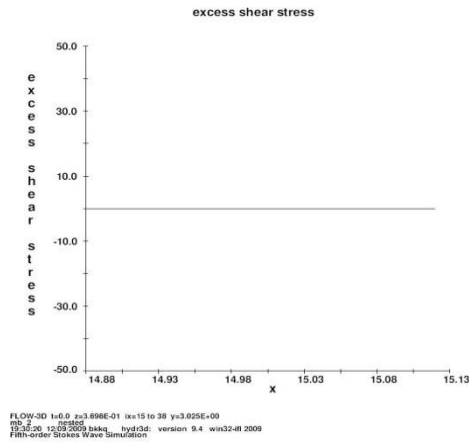
Çizelge 6.2 : Sağ ve sol uç noktalarındaki değişen kayma gerilmesi değerleri

t(sn)	derinlik(m)	sol-sağ x koordinatı (m)	y koordinatı(m)	z koordinatı(m)	kayma gerilmeleri (pascal)
0	1.98968	14.88021	3.02500	0.25521	0.00E+00
0	1.98968	15.11979	3.02500	0.25521	0.00E+00
1.994697	2.03647	14.88021	3.02500	0.25521	1.09E-02
1.994697	2.03647	15.11979	3.02500	0.25521	6.01E-03
3.998632	1.89488	14.88021	3.02500	0.25521	7.27E-02
3.998632	1.89488	15.11979	3.02500	0.25521	6.23E-02
6.00266	1.81529	14.88021	3.02500	0.25521	5.44E-02
6.00266	1.81529	15.11979	3.02500	0.25521	1.26E-01
8.003183	1.97463	14.88021	3.02500	0.25521	5.09E-03
8.003183	1.97463	15.11979	3.02500	0.25521	5.33E-02
9.998308	2.07436	14.88021	3.02500	0.25521	1.15E-02
9.998308	2.07436	15.11979	3.02500	0.25521	1.93E-02
11.99945	1.81056	14.88021	3.02500	0.25521	6.70E-02
11.99945	1.81056	15.11979	3.02500	0.25521	1.80E-01
14.00155	1.87630	14.88021	3.02500	0.25521	9.46E-03
14.00155	1.87630	15.11979	3.02500	0.25521	1.29E-01
16.00033	2.16563	14.88021	3.02500	0.25521	4.80E-02
16.00033	2.16563	15.11979	3.02500	0.25521	2.98E-02
17.99875	1.92394	14.88021	3.02500	0.25521	1.24E-01
17.99875	1.92394	15.11979	3.02500	0.25521	1.18E-01
20.00263	1.86647	14.88021	3.02500	0.25521	7.91E-02
20.00263	1.86647	15.11979	3.02500	0.25521	1.64E-01

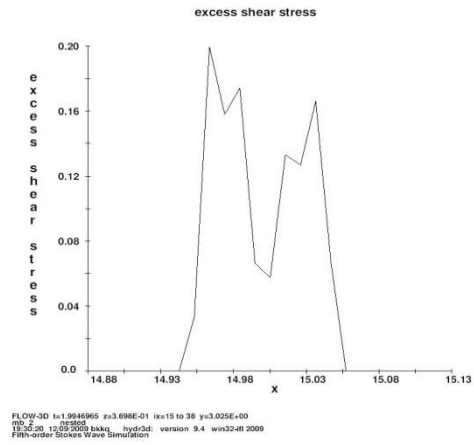
Çizelge 6.2’ de borunun sağ ve sol uç noktalarındaki kayma gerilmelerinin farklılığı grafiği incelediğimizde karşımıza çıkmaktadır. Bu farklılığın sebebi dalgadaki vorteks kopmalarının boru etrafındaki basıncı değiştirmesidir. Dalga tepesinden dalga çukuruna doğru olan geçişlerde borunun sağ uç bölgesinde kayma gerilmesinin arttığı tersi durumda ise yani dalga çukurundan dalga tepesine doğru olan geçişlerde borunun sol uç bölgesindeki kayma gerilmelerinin sağ uç bölgedeki kayma gerilmelerinden büyük çıktığı görülmüştür.

6.1.6.3 250 mm çaplı borunun boyuna merkezindeki üst uç bölgesi için x ekseninde doğrultusunda kayma gerilmesi analizi

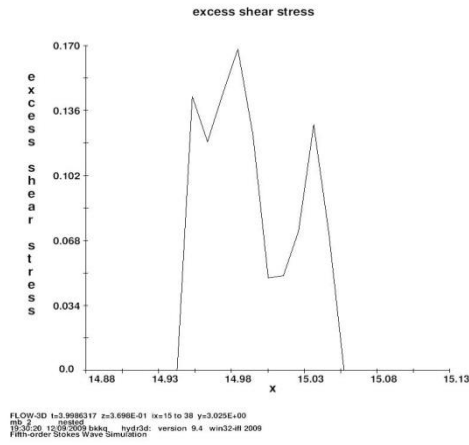
Borunun boyuna merkezinin üst uç bölgesinin x koordinatı boyunca değişen kayma gerilmesi değerleri Şekil 6.58 ve 6.59’ da incelenmiştir. Boruya yaklaştıkça kayma gerilmesi artmakta borunun üst bölgesinde ani bir azalış göstermektedir.



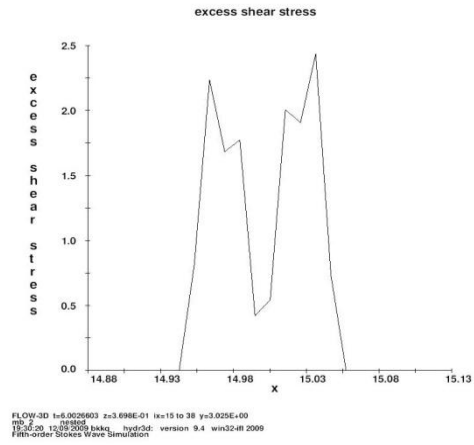
1



2



3



4

Şekil 6.61 : t=0-6 sn aralığında boyuna merkez üst uç bölgedeki kayma gerilmeleri.



113

Çizelge 6.3 : Üst ve alt uç noktalarındaki değişen kayma gerilmesi değerleri

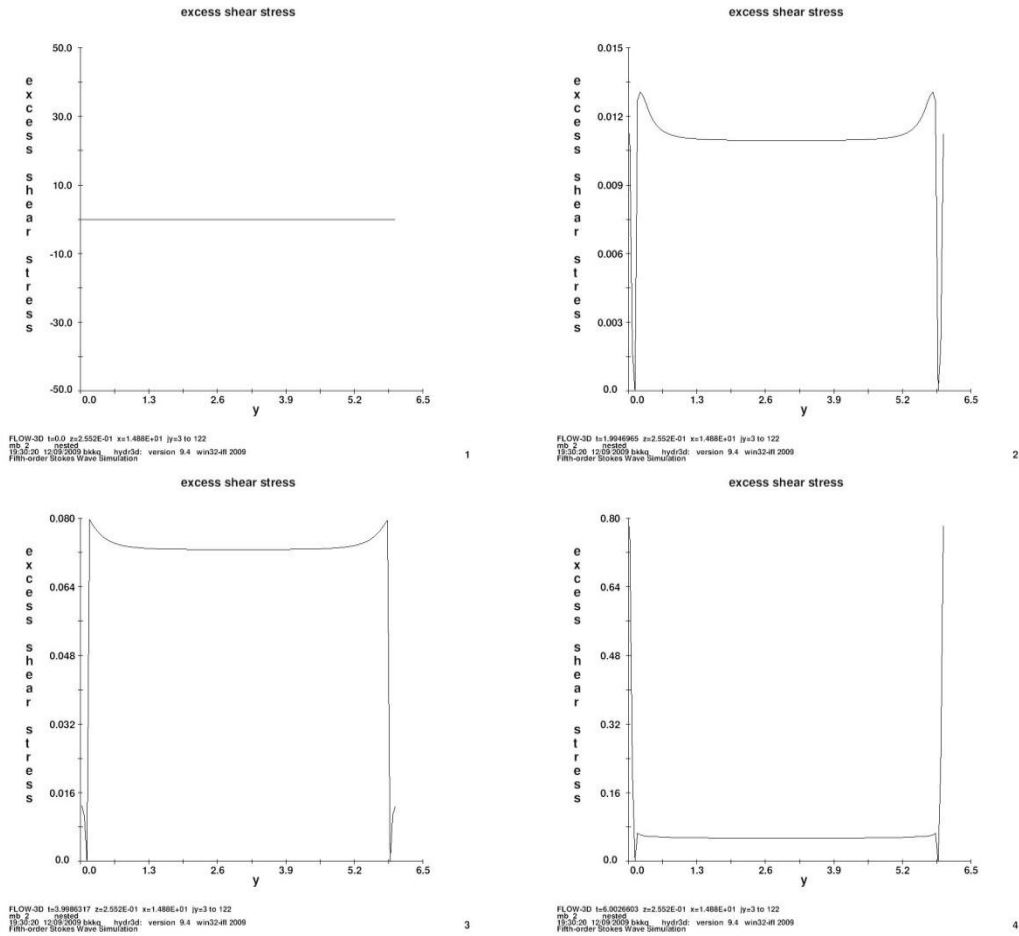
t(sn)	derinlik(m)	alt-üst z koordinatı (m)	y koordinatı(m)	x koordinatı(m)	kayma gerilmeleri (pascal)
0	1.98968	0.13021	3.02500	15.00521	0.00E+00
0	1.98968	0.36979	3.02500	15.00521	0.00E+00
1.994697	2.03647	0.13021	3.02500	15.00521	6.20E-02
1.994697	2.03647	0.36979	3.02500	15.00521	5.76E-02
3.998632	1.89488	0.13021	3.02500	15.00521	4.72E-02
3.998632	1.89488	0.36979	3.02500	15.00521	4.85E-02
6.00266	1.81529	0.13021	3.02500	15.00521	7.22E-01
6.00266	1.81529	0.36979	3.02500	15.00521	5.44E-01
8.003183	1.97463	0.13021	3.02500	15.00521	1.24E-01
8.003183	1.97463	0.36979	3.02500	15.00521	6.22E-02
9.998308	2.07436	0.13021	3.02500	15.00521	2.68E-01
9.998308	2.07436	0.36979	3.02500	15.00521	2.71E-01
11.99945	1.81056	0.13021	3.02500	15.00521	8.12E-01
11.99945	1.81056	0.36979	3.02500	15.00521	6.13E-01
14.00155	1.87630	0.13021	3.02500	15.00521	6.71E-01
14.00155	1.87630	0.36979	3.02500	15.00521	5.38E-01
16.00033	2.16563	0.13021	3.02500	15.00521	2.36E-01
16.00033	2.16563	0.36979	3.02500	15.00521	2.81E-01
17.99875	1.92394	0.13021	3.02500	15.00521	3.85E-02
17.99875	1.92394	0.36979	3.02500	15.00521	1.82E-02
20.00263	1.86647	0.13021	3.02500	15.00521	1.15E+00
20.00263	1.86647	0.36979	3.02500	15.00521	9.29E-01

Borunun dalga durumundaki üst ve alt uç bölgelerindeki kayma gerilme değerlerini inceleyecek olursak dalga tepesinden dalga çukuruna doğru olan harekette borunun alt bölgesindeki kayma gerilmelerinin üst uç bölgeye göre fazla olduğu tersi durumda ise yani dalga çukurundan dalga tepesine doğru olan harekette üst uç bölgedeki gerilmelerin alt uç bölgedeki gerilmelere göre fazla olduğu sonucuna varabiliriz. Çizelge 6.3’ te de bu değerlerin nasıl değiştiği açık bir şekilde görülmektedir.

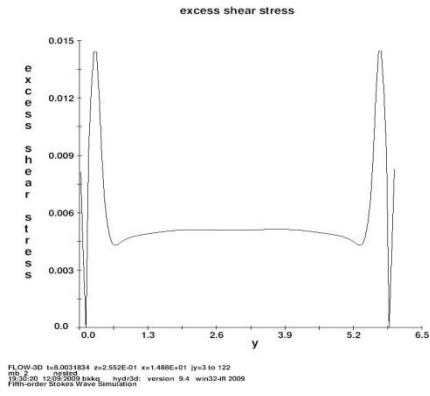
Örneğin $t=8.003$ 'te dalga tepesinden dalga çukuruna doğru bir hareket vardır ve alttaki gerilme borunun üst uç noktasındaki gerilmeden büyüktür.

6.1.6.4 250 mm çaplı borunun sol uç bölgesi için y eksenini doğrultusunda noktasal kayma gerilmesi analizi

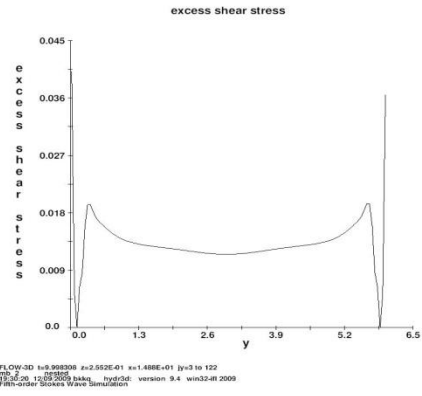
Borunun y koordinatındaki sol uç bölgesi için kayma gerilmesi değişimleri Şekil 6.63 ve Şekil 6.61' de incelenmiştir. Dalga çukuruna ve tepesine yakın zaman dilimlerinde boyuna kesme gerilmesi değişimi çok büyük olmamaktadır. Derinliğin azaldığı durumda yani tepe pozisyonundan çukur pozisyonuna geçişte uç noktalardan merkeze doğru bir artış tersi durumda ise yani dalga yüksekliği arttığında ise azalış görülmektedir. Bu artış ve azalış belirgin bir şekilde anlık yüksekliğin derinliğe yakını olduğu dalga yüksekliklerine karşılık gelen zamanlarda görülmüştür. Şekil 6.61' de beşinci ve altıncı resimlerde bu belirgin bir şekilde görülmektedir.



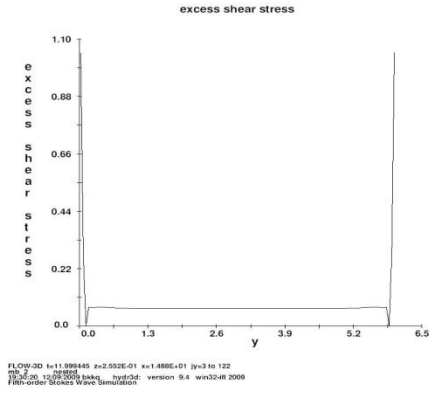
Şekil 6.63 : $t=0-6$ sn aralığında y eksenini boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler.



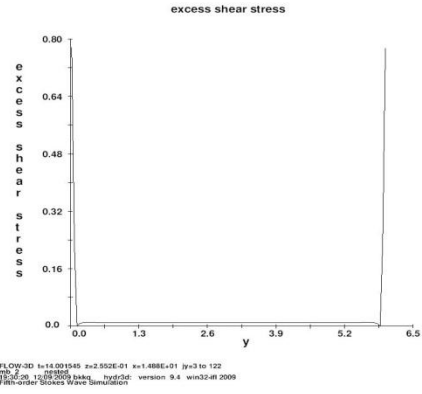
5



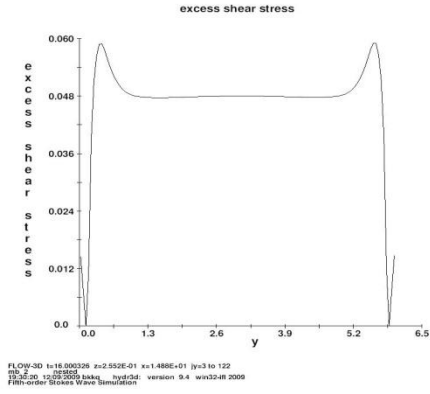
6



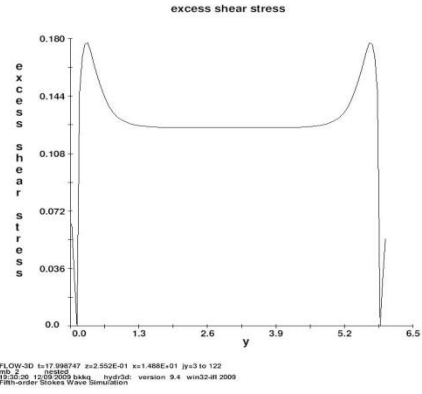
7



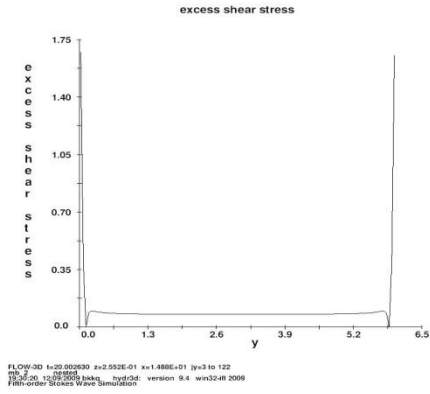
8



9



10

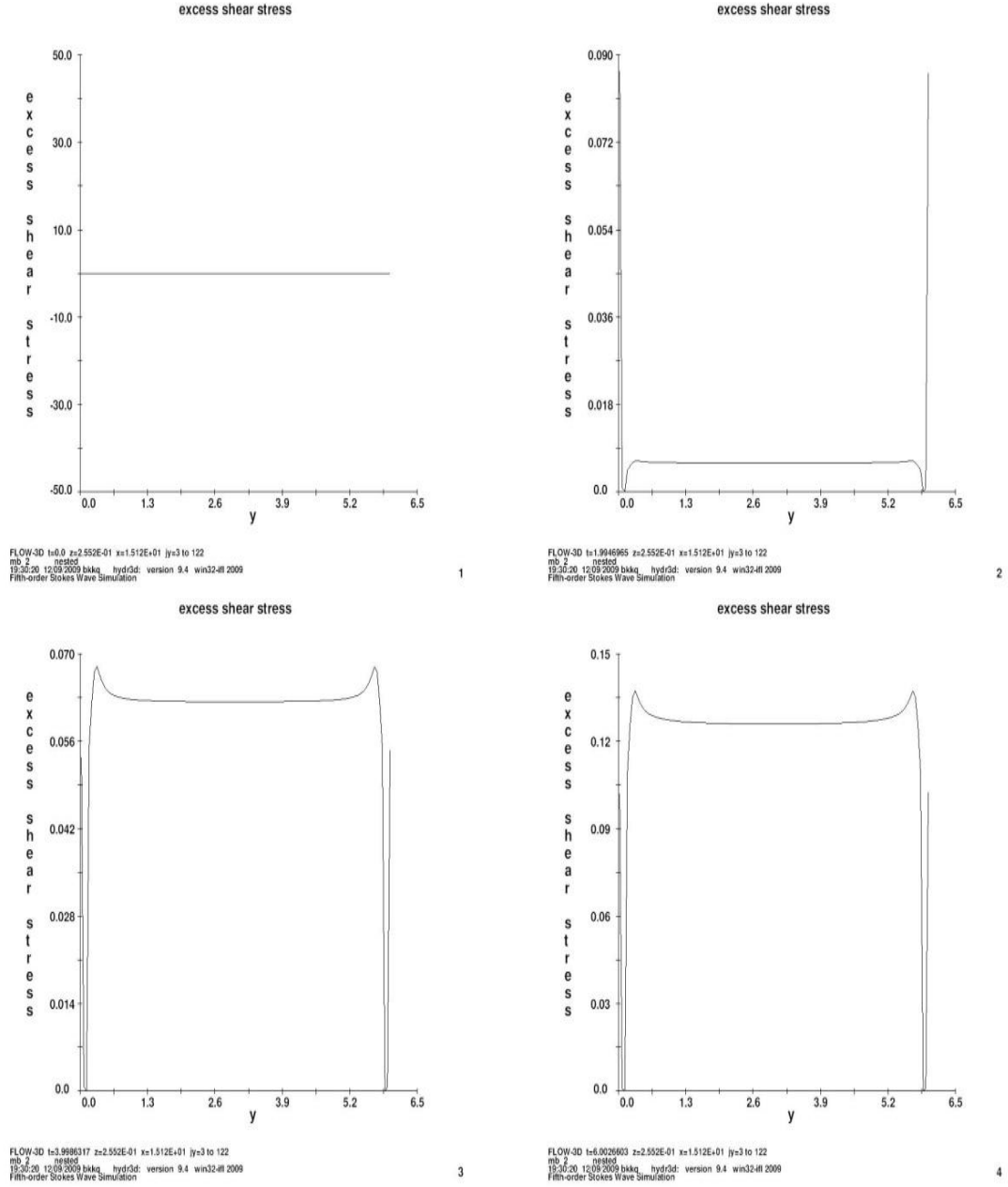


11

Şekil 6.64: $t=8-20$ sn aralığında y eksenini boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler.

6.1.6.5 250 mm çaplı borunun sağ uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda noktasal kayma gerilmesi analizi

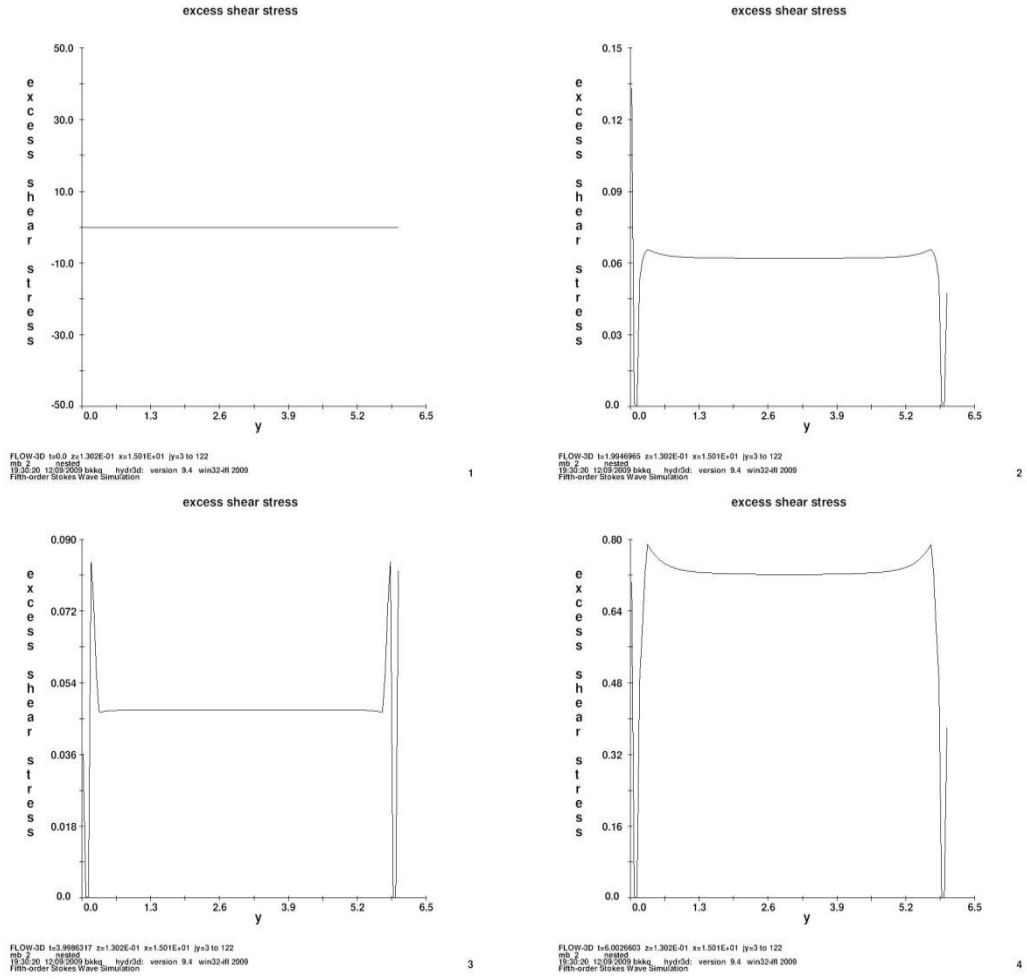
Borunun y koordinatındaki sağ uç bölgesi için kayma gerilmesi değışimleri Şekil 6.65 ve Şekil 6.66' da incelenmiştir.



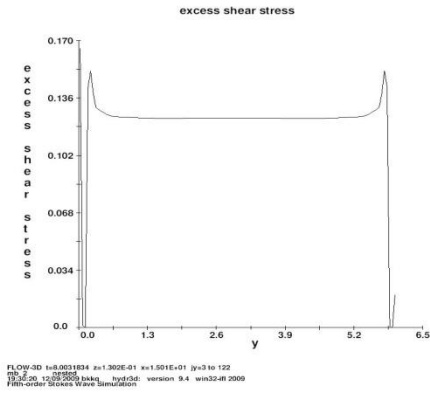
Şekil 6.65: t=0-6 sn aralığında y eksenı boyunca sağ uç bölgedeki gerilmeler.

6.1.6.6 250 mm çaplı borunun alt uç bölgesi için y eksenı doğrultusunda kayma gerilmesi analizi

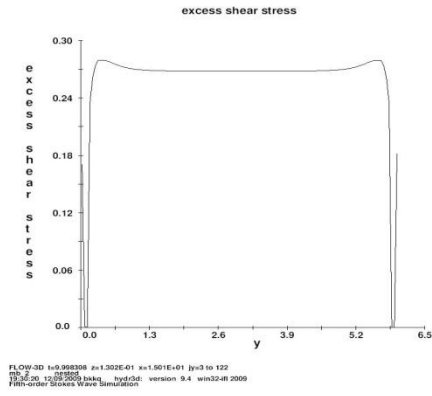
Çizelge 6.3’ de merkez kesit referans alınarak noktasal kayma gerilmeleri bulunmuş Şekil 6.67 ve Şekil 6.68’ de ise boru boyunca analiz y eksenı doğrultusunda analiz yapılmıştır.



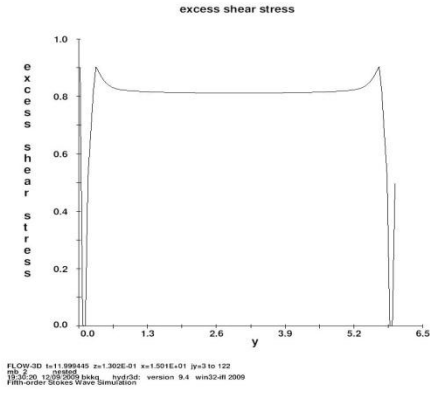
Şekil 6.67 : t=0-6 sn aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki gerilmeler.



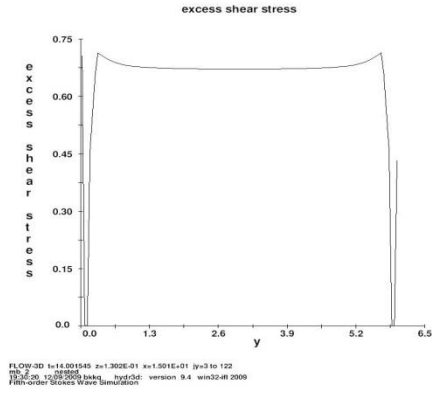
5



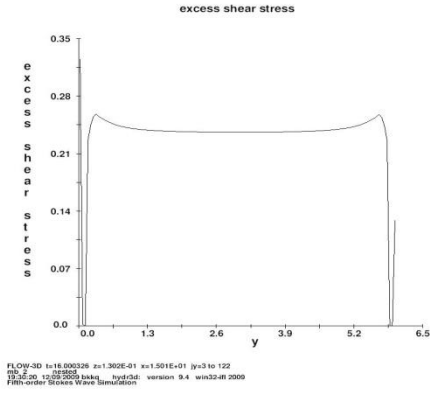
6



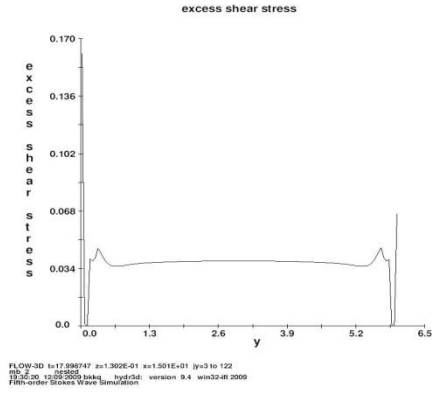
7



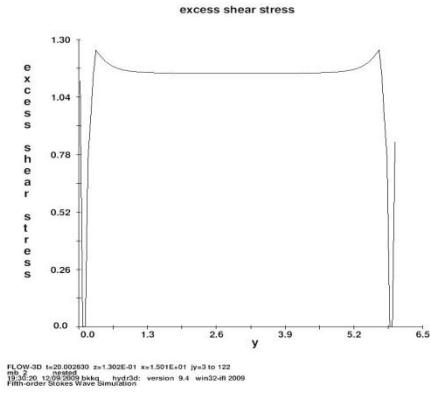
8



9



10

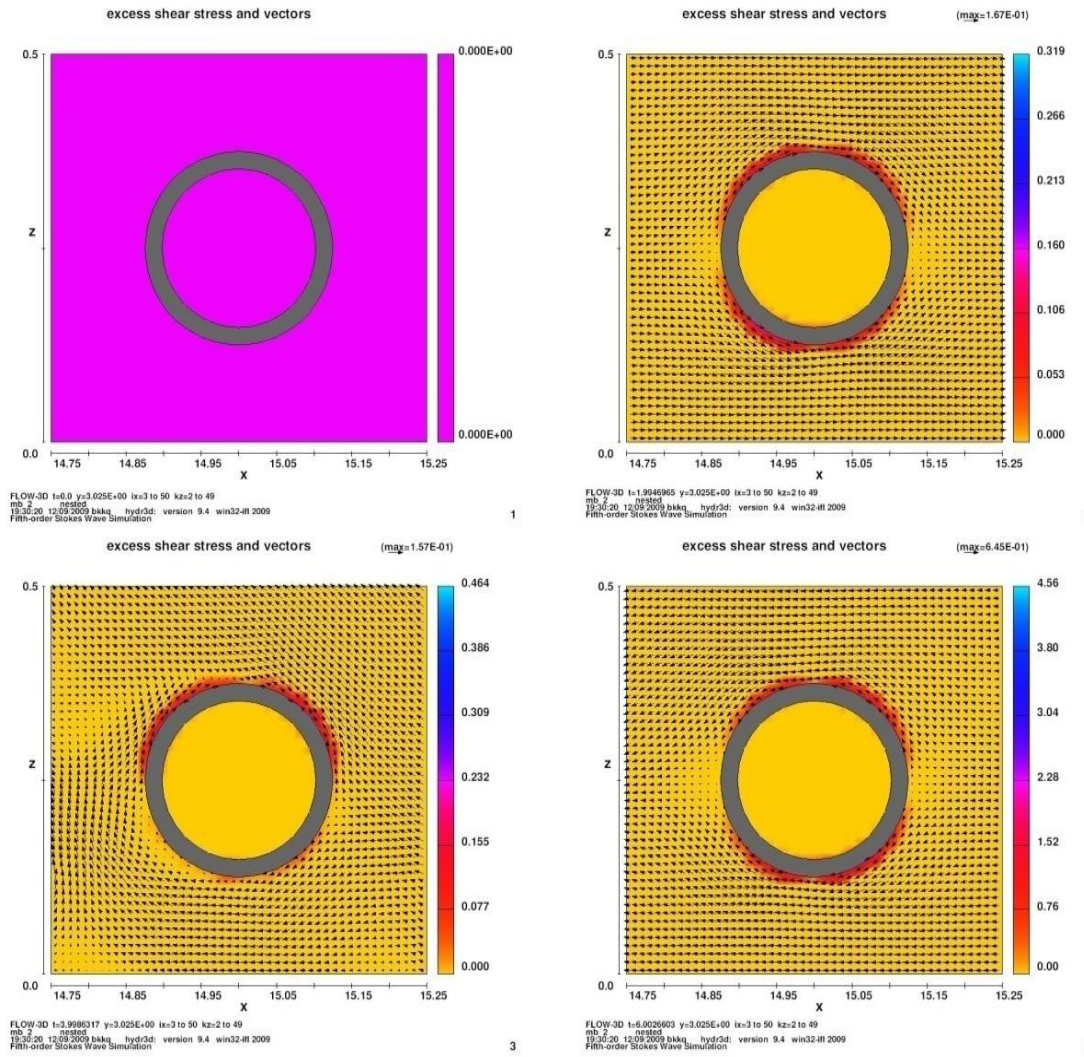


11

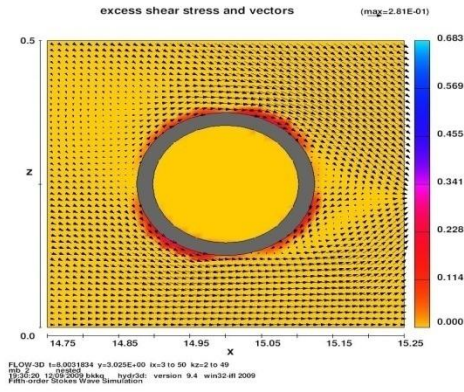
Şekil 6.68 : $t=8-20$ sn aralığında y eksenı boyunca alt uç bölgedeki gerilmeler.

6.1.6.7 250 mm çaplı borunun merkez xz kesidinde kayma gerilmesi analizi

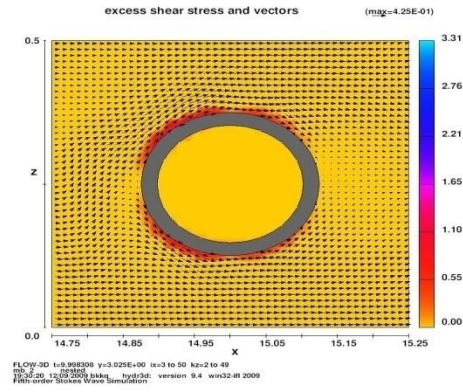
Borunun merkez xz kesidi alınarak kayma gerilmesindeki değişimler analiz edilmiştir. Şekil 6.69 ve Şekil 6.70’de detaylı olarak incelenmiştir. Kesit incelendiğinde dalganın hareketiyle değişen kayma gerilmeleri ikinci ve dördüncü saniyelerde artmış altıncı saniyede azalmıştır. Dalganın hareketiyle birlikte kayma gerilmeleri değişmiş ve özellikle dalganın çukurdan tepeye ve tepeden çukura doğru olan hareketlerde kayma gerilmelerinin arttığı gözlemlenmiştir.



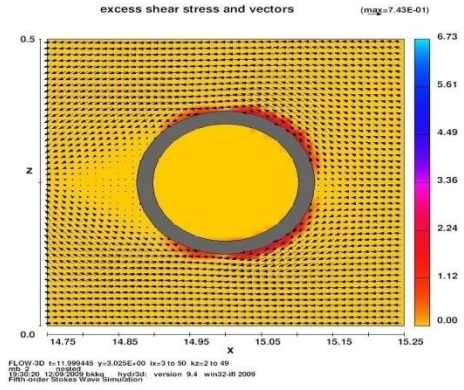
Şekil 6.69 : t=0-6 sn aralığında xz merkez kesidinde gerilme değişimi.



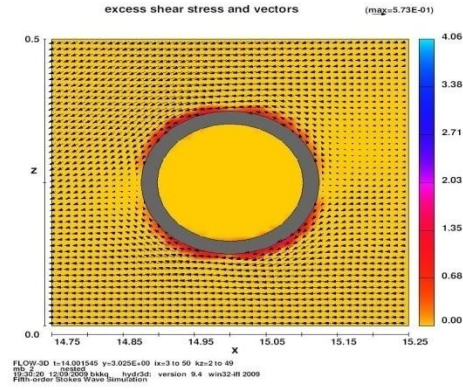
5



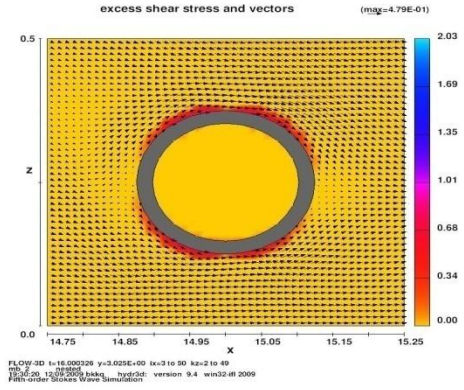
6



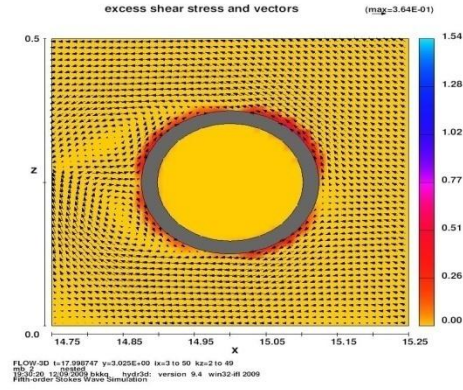
7



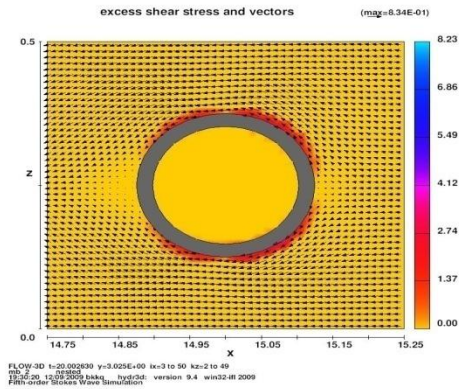
8



9



10



11

Şekil 6.70 : $t=8-20$ sn aralığında xz merkez kesidinde gerilme değişimi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Polietilen borulara etki eden basınç ve vizkoz kuvvetler boru üzerinde her kesitte aynı etkiyi göstermez. Borunun sağ ve sol uç noktalarındaki dalga ile değişen basınçlarda dalga tepesinden dalga çukuruna doğru olan harekette borunun sağ uç bölgesindeki noktasal basıncın sol uç bölgedeki basınçtan fazla olduğu bunun tersi durumda ise dalga tepesine doğru olan harekette sol uç bölgedeki noktasal basıncın sağ uç bölgedeki basınçtan her zaman fazla olduğu saptanmıştır. Dalga tepesinde basınç değeri alınan doğrusal düzlemin simetrik sol uç noktasında, dalga çukurunda ise basınç değeri alınan doğrusal düzlemin simetrik sağ uç noktasında basınç maksimum değerdedir. Bunun yanında dalga yüksekliğinin iki metreye yaklaştığı yani derinliğe yaklaştığı zamanlarda tepeden çukura bir hareket olduğunda borunun alt uç bölgesinde sol bölgeden sağ bölgeye doğru basınç artması gözlenmiştir bunun tersi durumunda yani dalga çukurundan dalga tepesine doğru olan harekette basınç sağ bölgeye yaklaştıkça artmıştır. Defleksiyon değerleri ise borunun rijit olduğu varsıyalarak yapılan analizlerde boru boyunca herhengi bir sapma değişimine rastlanmamıştır fakat sudaki sapmanın her zaman borunun uç bölgelerindeki sapmadan fazla olduğu görülmüştür. Dalga çukuru ve tepesinde görülen sapmalarda genelde 3 pik noktası tespit edilmiş bu da dalgadaki vorteks kopmalarının bir sonucu olarak gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Bloor, M.S.**, 1964. The transition to turbulence in the wake of a circular cylinder. *J. Fluid Mech.*, **19**, 290-304.
- [2] **Schewe, G.**, 1983. On the force fluctuations acting on a circular cylinder in crossflow from subcritical up to transcritical Reynolds numbers. *J. Fluid Mech.*, Benchmark Case Studies of River Flow Prediction. In GeoComputation '98. **133**, 265-285.
- [3] **Williamson, C.H.K.**, 1988. The existence of two stages in the transition to threedimensionality of a cylinder wake. *Phys. Fluids*, **31(11)**, 3165-3168.
- [4] **Cheung, J.C.K. and Melbourne, W.H.**, 1983. Turbulence effects on some aerodynamic parameters of a circular cylinder at supercritical Reynolds numbers *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **14**, 399-410.
- [5] **Honji, H.**, 1981. Streaked flow around an oscillating circular cylinder. *J. Fluid Mech.*, **107**, 509-520.
- [6] **Sarpkaya, T.**, 1986. Force on a circular cylinder in viscous oscillatory flow at Low Keulegan-Carpenter numbers. *J. Fluid Mech.*, **165**, 61-71.
- [7] **Sumer, B.M., Jensen, B.L. and Fredsøe, J.**, 1991. Effect of a plane boundary on oscillatory flow around a circular cylinder. *J. Fluid Mech.*, **225**, 271-300.
- [8] **Bearman, P.W. and Zdravkovich, M.M.**, 1978. Flow around a circular cylinder near a plane boundary. *J. Fluid Mech.*, **89**, 33-48.
- [9] **Kozakiewicz, A., Sumer, B.M. and Fredsøe, J.**, 1994. Cross-flow vibrations of cylinders in irregular oscillatory flow. ASCE, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, **120(6)**, 515-534.
- [10] **Williamson, C.H.K.**, 1985. In-line response of a cylinder in oscillatory flow. *Applied Ocean Research*, **7(2)**, 97-106.
- [11] **Kozakiewicz, A., Sumer, B.M., Fredsøe, J. and Hansen, E.A.**, 1996. Vortex regimes around a freely-vibrating cylinder in oscillatory flow. Proc. 6th Int. Offshore and Polar Engrg. Conf., Los Angeles, USA, May 25-30, 1996, **3**, 490-498.
- [12] **Tsahalis, D.T.**, 1983. The effect of seabottom proximity of the vortex-induced vibrations and fatigue life of offshore pipelines. *J. of Energy Resources Technology*, Dec. 1983, **105**, 464-468.
- [13] **Orgill, G., Barbas, S.T., Crossley, C.W. and Carter, L.W.**, 1992. Current practice in determining allowable pipeline free spans. *Proc. 11th*

Offshore Mechanics and Arctic Engineering Conf., June 7-11, 1992, Calgary, Canada, Pipeline Technology, **5-A**, 139-145.

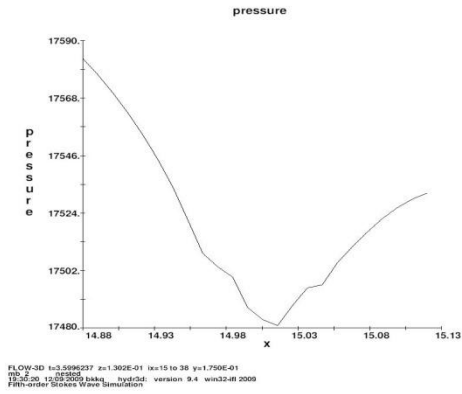
- [14] **Tsahalis, D.T.**, 1984. Vortex-induced vibrations of a flexible cylinder near a plane boundary exposed to steady and wave-induced currents. *J. of Energy Resources Technology*, June 1984, **106**, 206-213.
- [15] **Sumer, B.M., Freds0e, J. and Jacobsen, V.**, 1986. Transverse vibrations of a pipeline exposed to waves. *Proc 5th OMAE Symposium*, Tokyo, Japan, **3**, 588-596.
- [16] **Fenton, J. D.**, 1985. A Fifth-Order Stokes Theory for Steady Waves. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. **111**, No. 2. *Engineering, OMEA, The Hague*, March 19–23, 1989, ASME, vol. **2**, 253–258.
- [17] **Cokgor, S., Avci, I.**, 2001. Hydrodynamic forces on partly buried tandem, twin pipelines in current. *Ocean Engineering* **28**, 1349–1360.
- [18] **Le Méhauté, B.**, 1976. An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves. Springer-Verlag.

EKLER

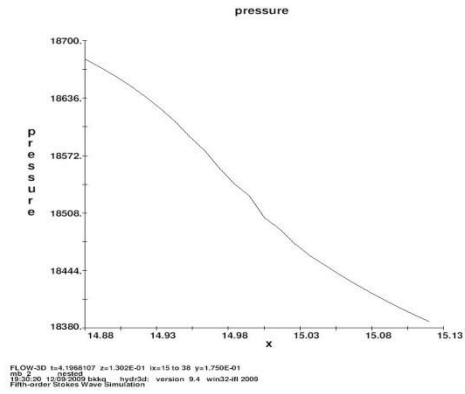
EK – A.1 : Basınç Analizleri

EK – B.1 : Kayma Gerilmesi Analizleri

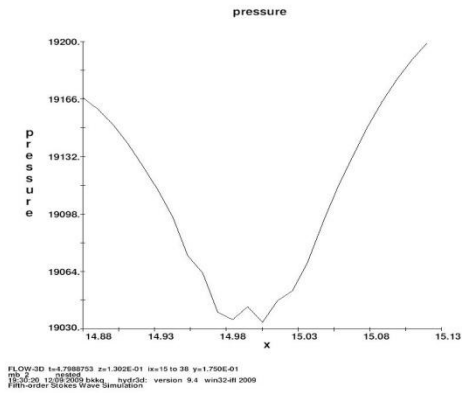
EK – A.1



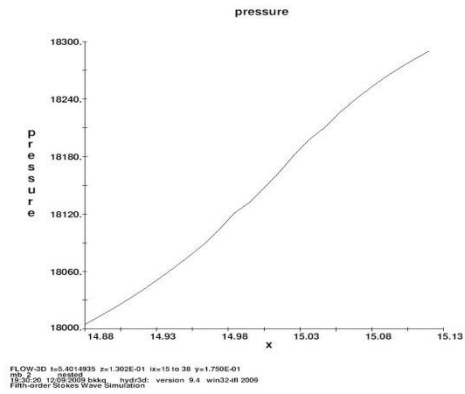
19



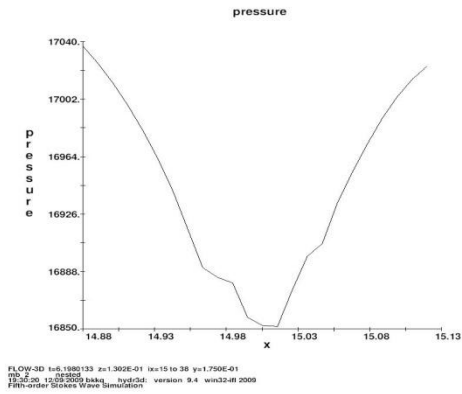
22



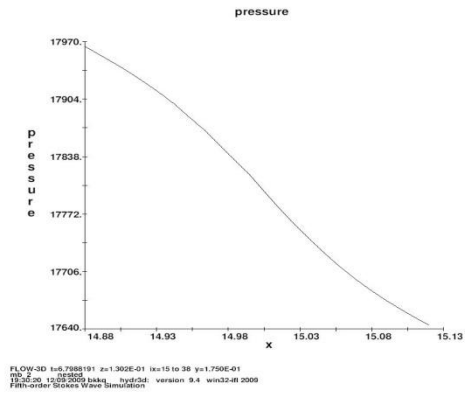
25



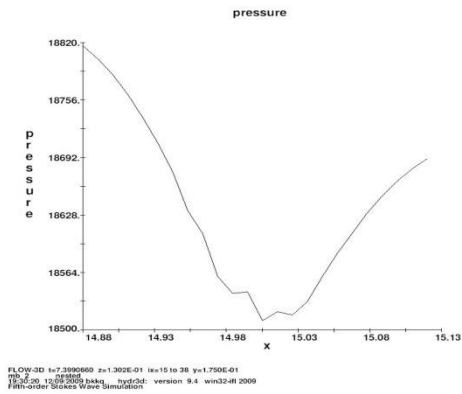
28



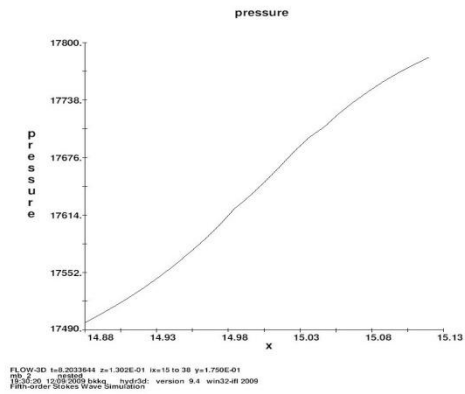
32



35

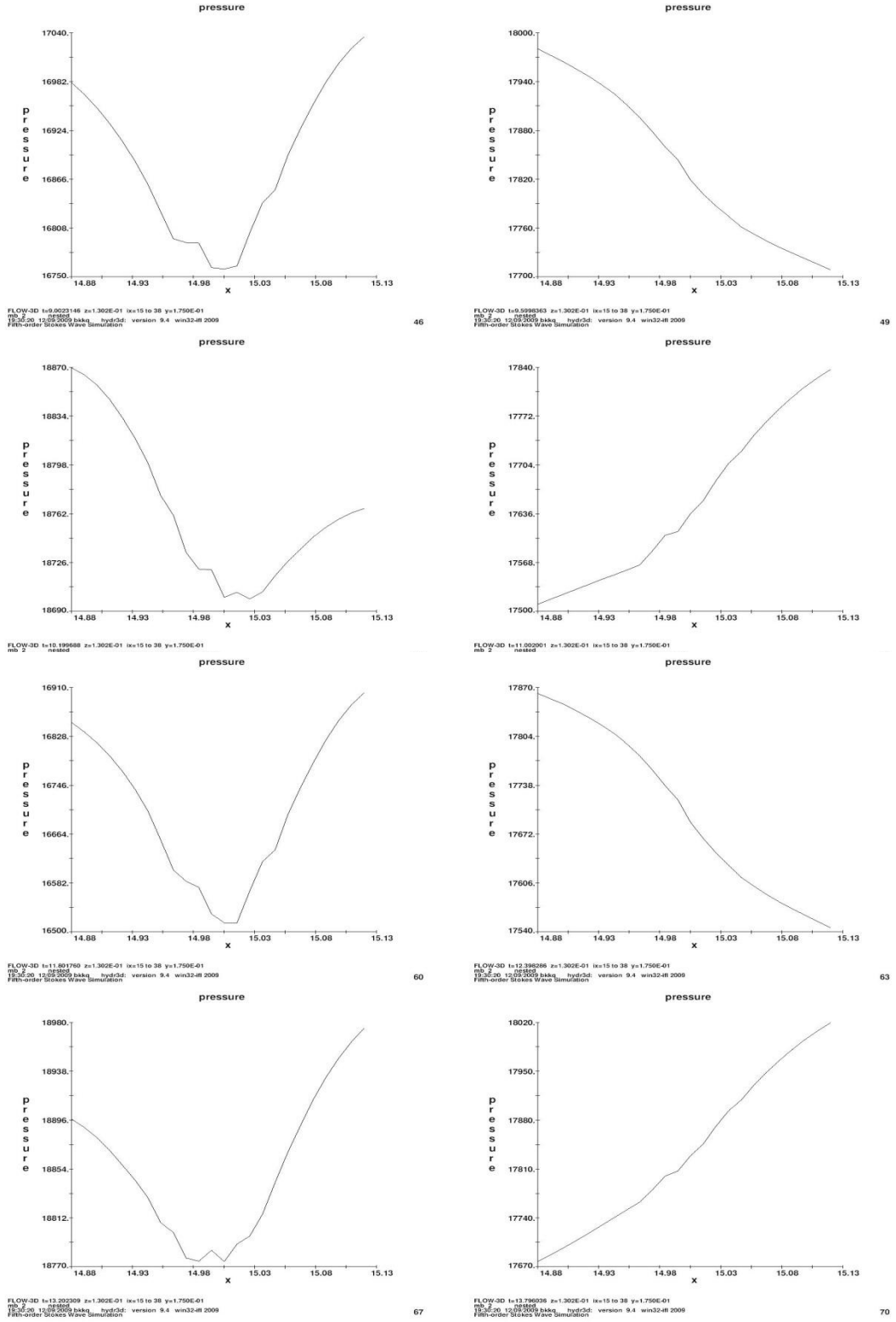


38

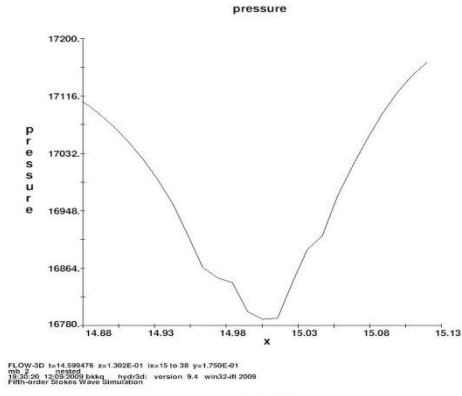


42

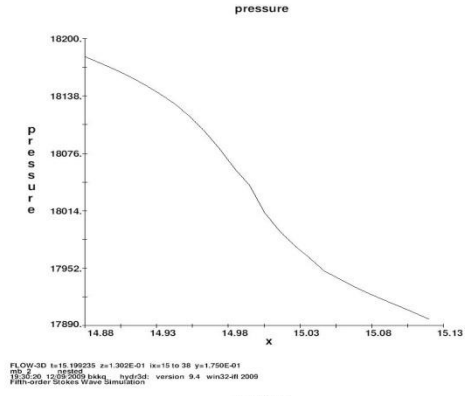
Şekil A.1 : Birinci uç bölgede x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (19-42).



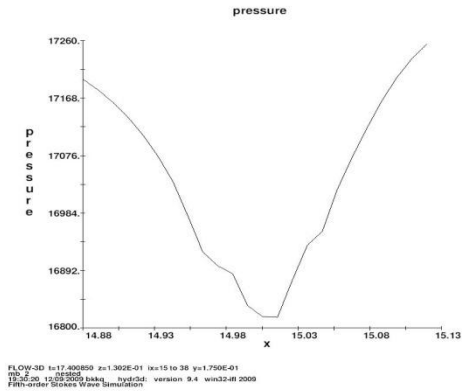
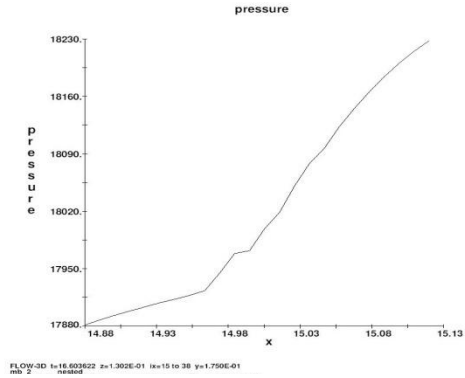
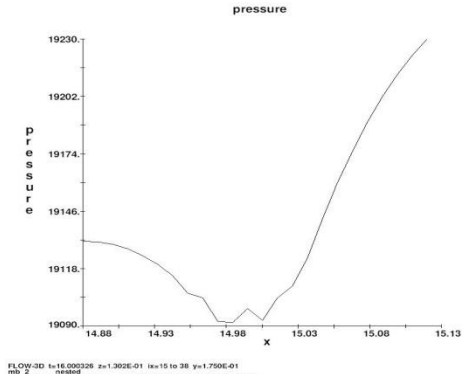
Şekil A.2 : Birinci uç bölgede x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (46-70).



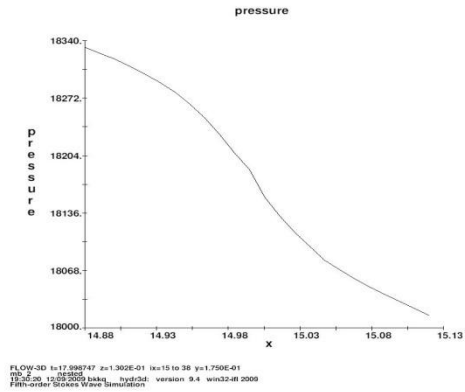
74



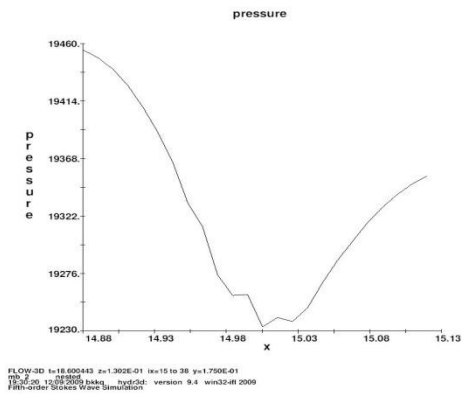
77



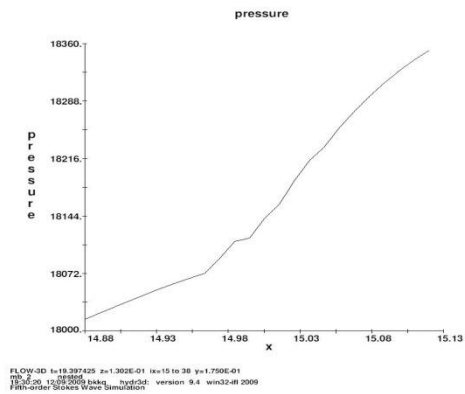
88



91

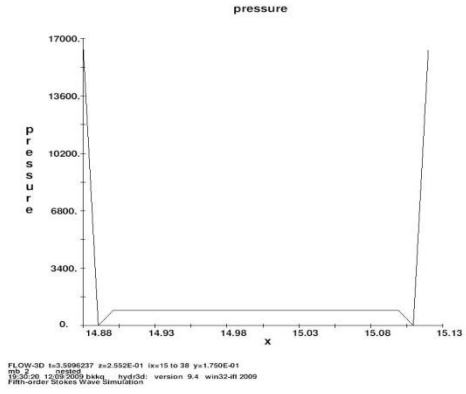


94

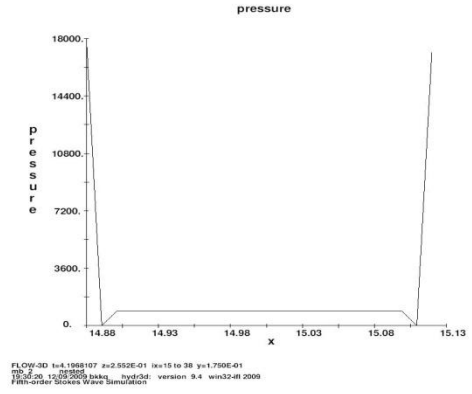


98

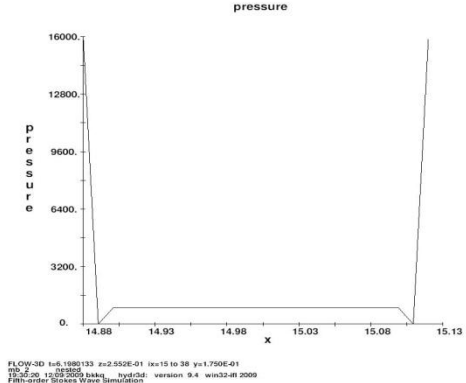
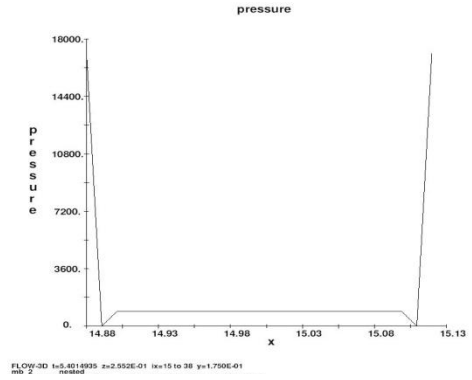
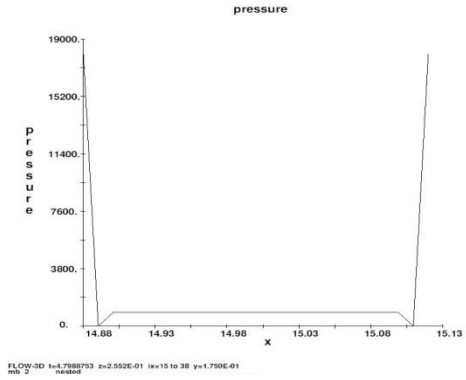
Şekil A.3 : Birinci uç bölgede x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (74-98).



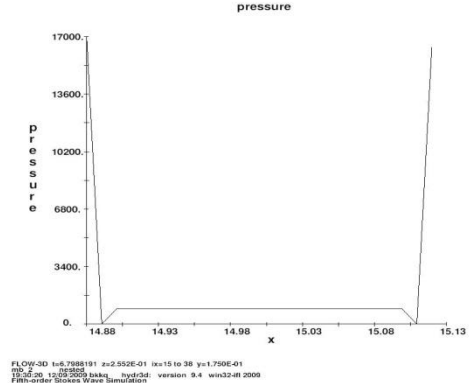
19



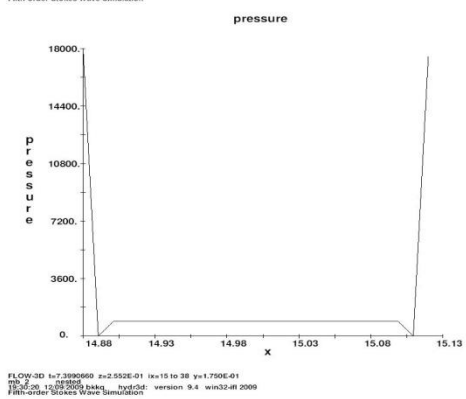
22



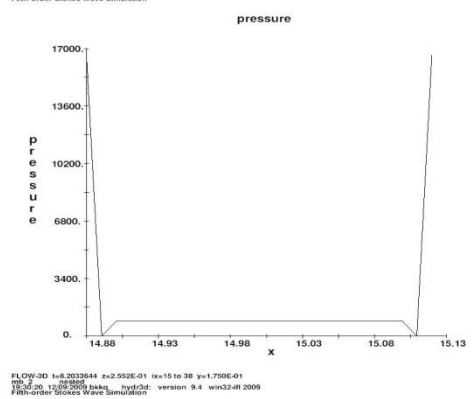
32



35

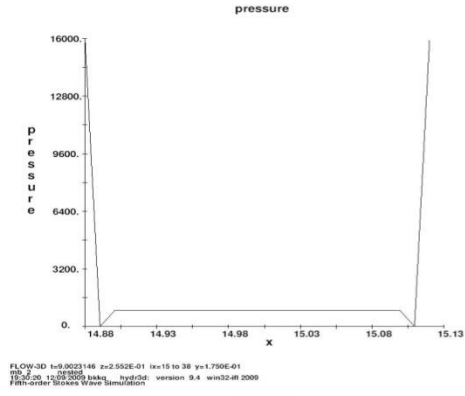


38

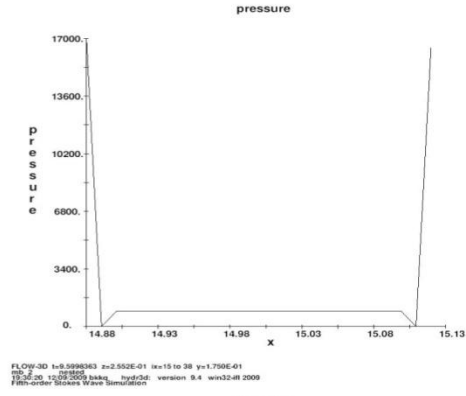


42

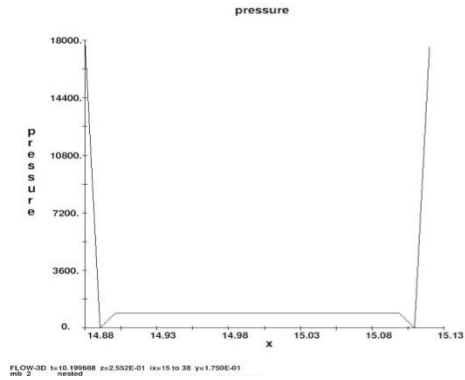
Şekil A.4 : Birinci uç bölgede x eksenı boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (19-42).



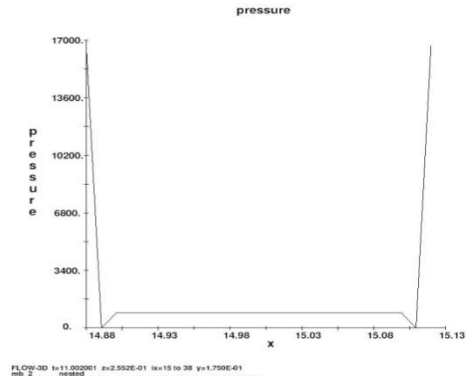
46



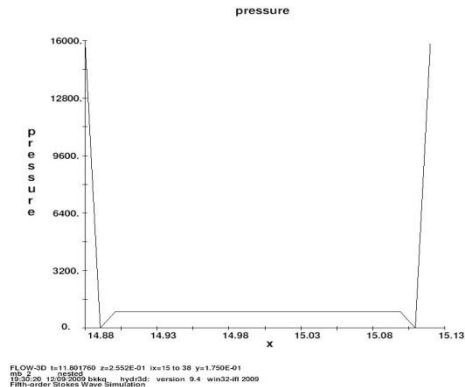
49



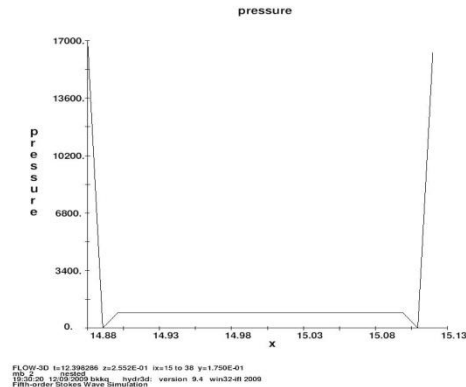
60



63

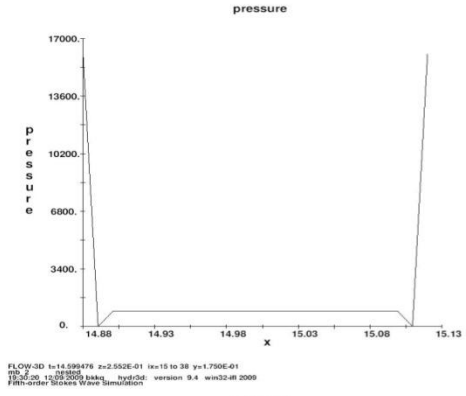


67

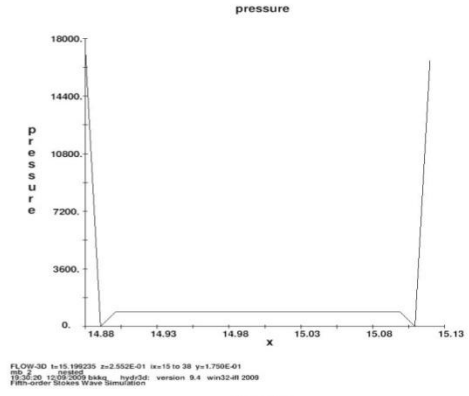


70

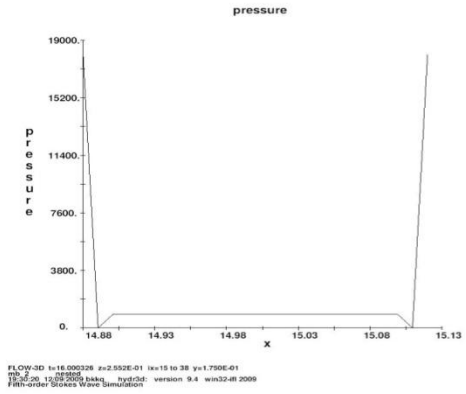
Şekil A.5 : Birinci uç bölgede x eksenı boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (46-70).



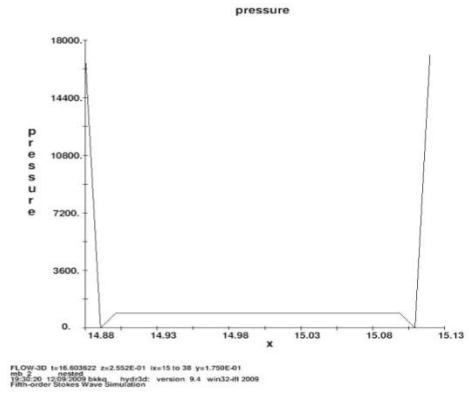
74



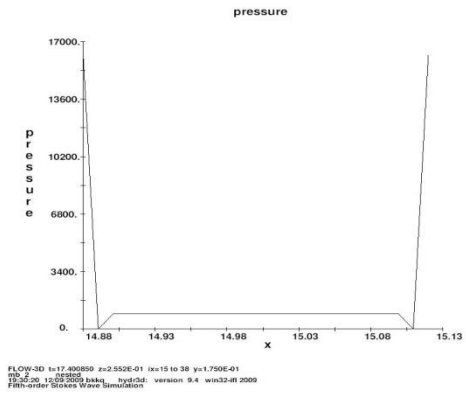
77



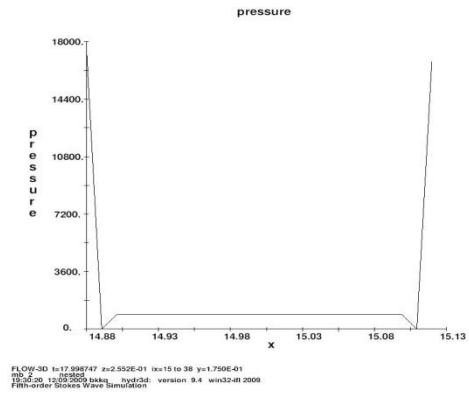
81



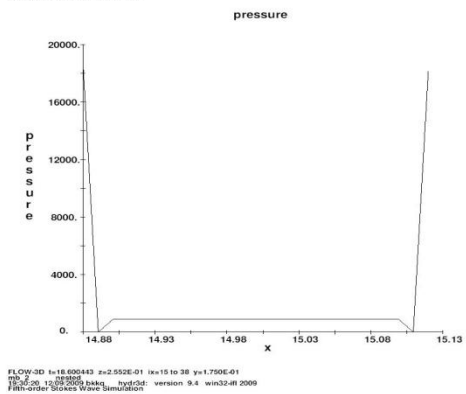
84



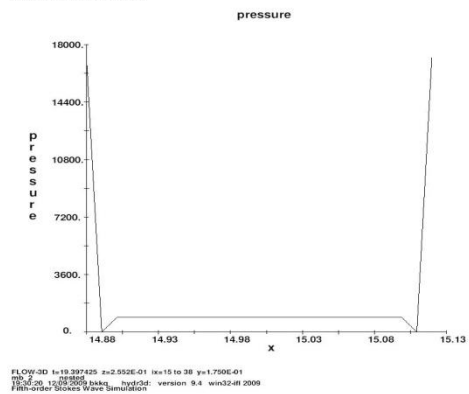
88



91

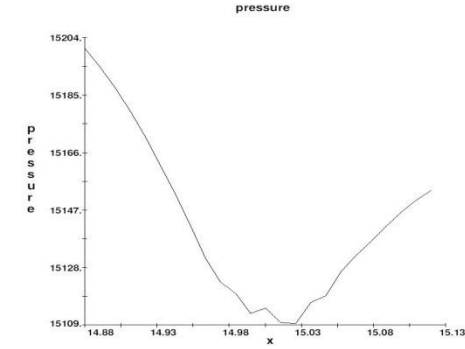


94

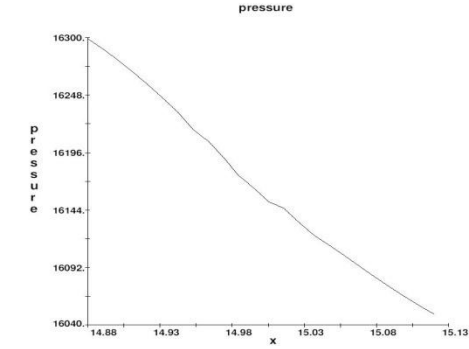


98

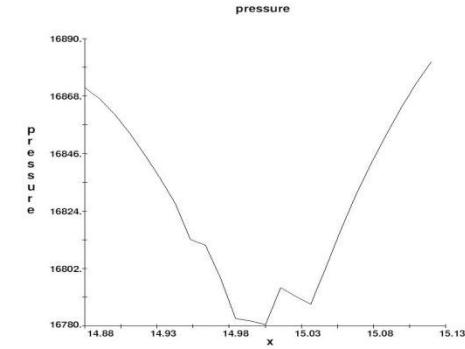
Şekil A.6 : Birinci uç bölgede x eksenı boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (74-98).



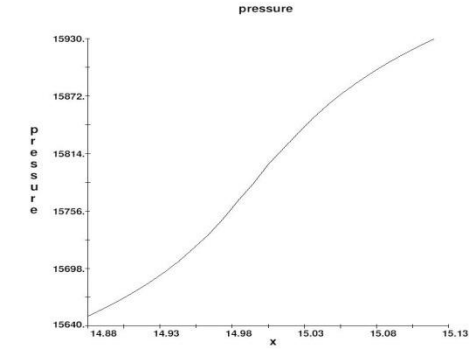
19



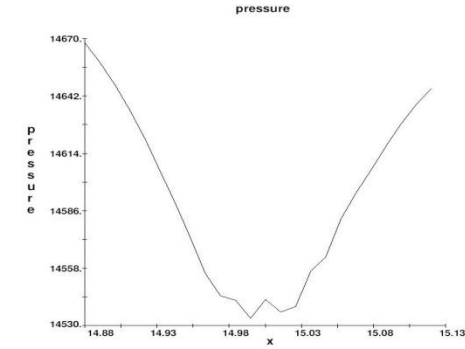
22



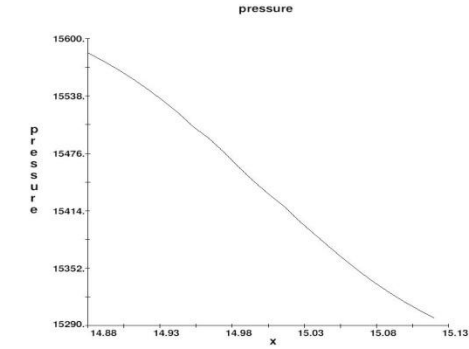
25



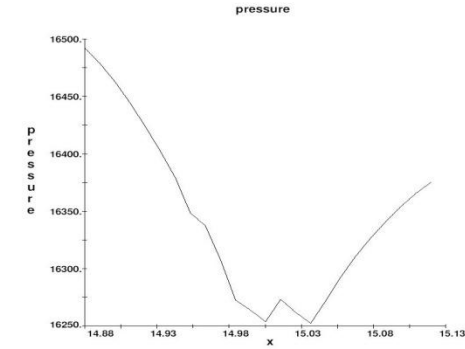
28



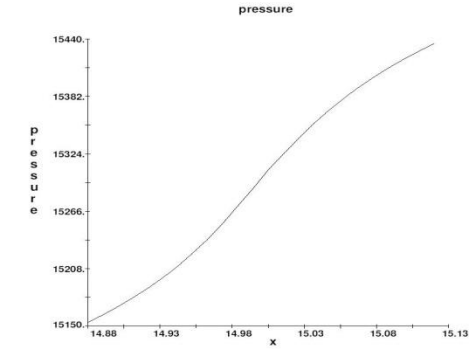
32



35

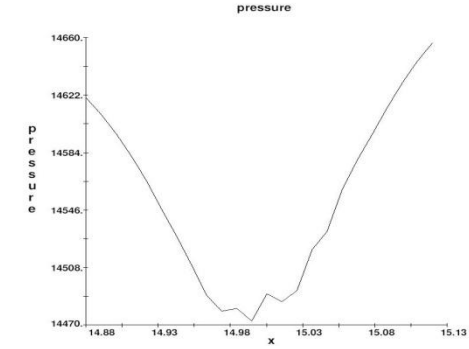


38

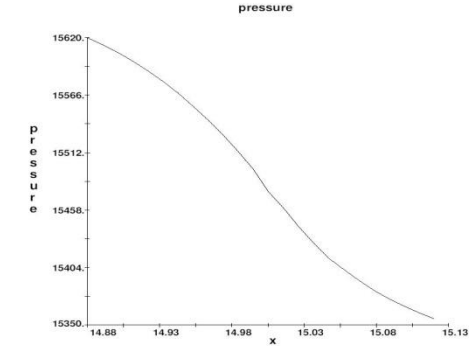


42

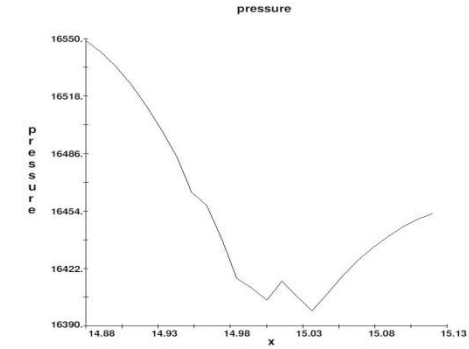
Şekil A.7 : Birinci uç bölgede x eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (19-42).



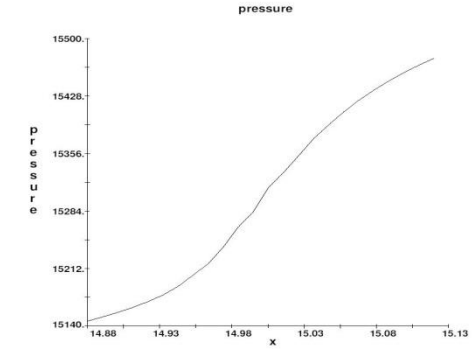
46



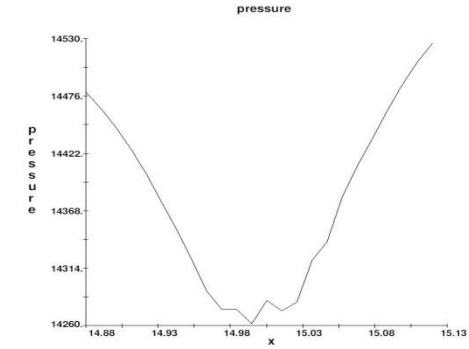
49



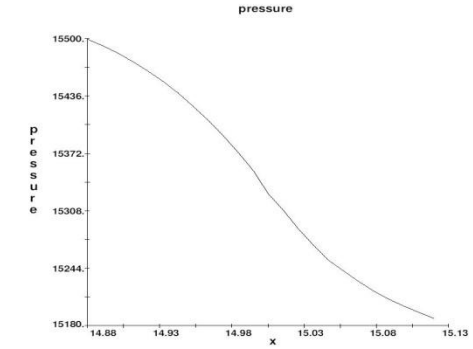
52



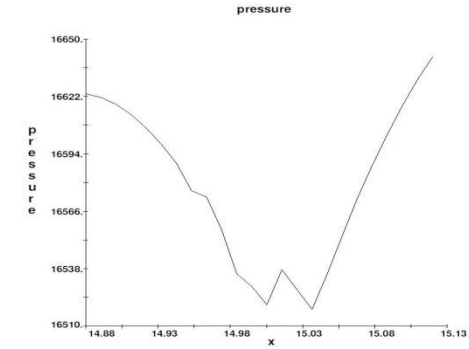
56



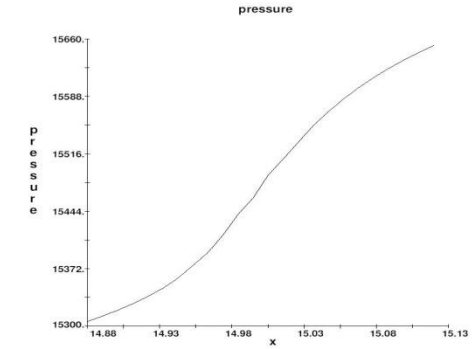
60



63

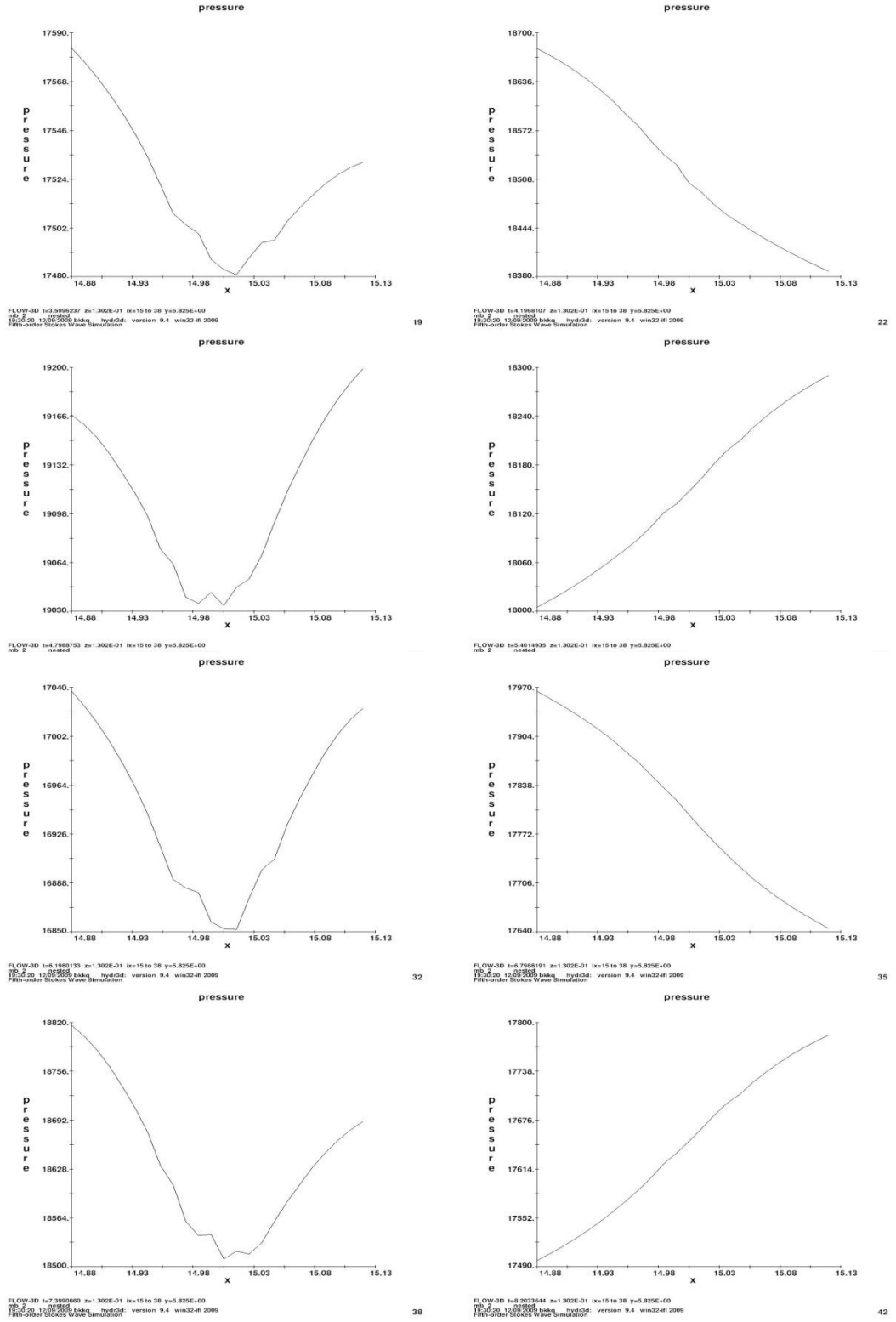


67

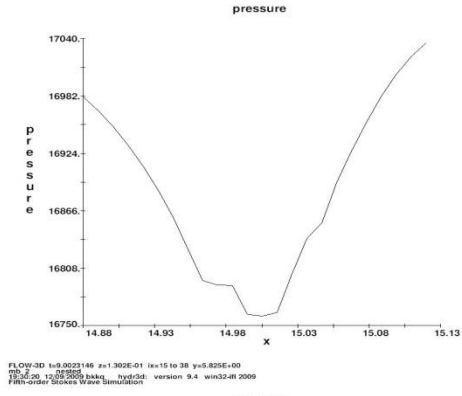


70

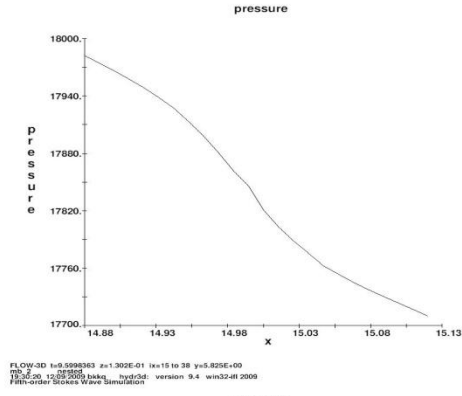
Şekil A.8 : Birinci uç bölgede x eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (46-70).



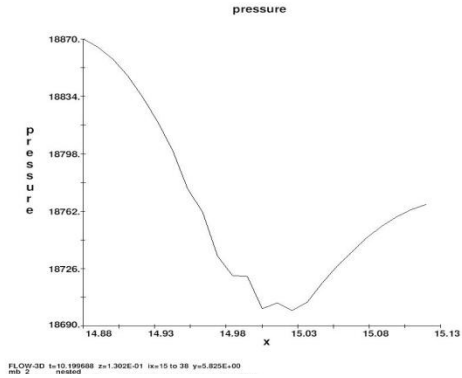
Şekil A.10 : İkinci uç bölgede x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (19-42).



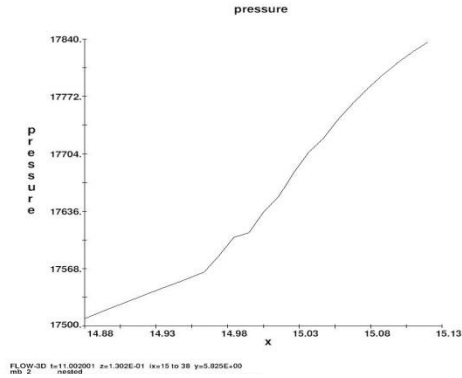
46



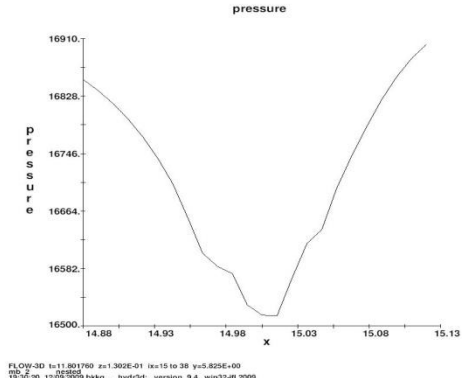
49



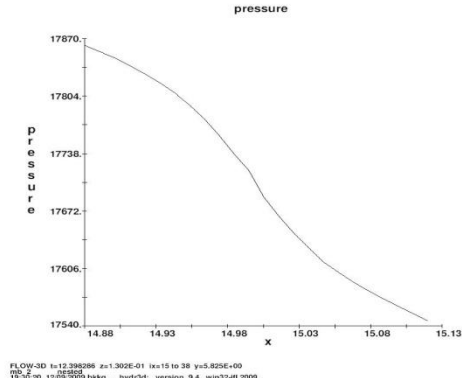
50



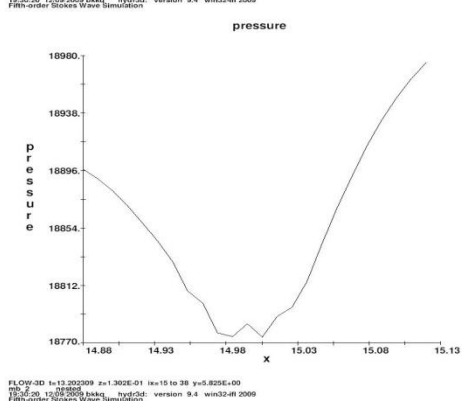
51



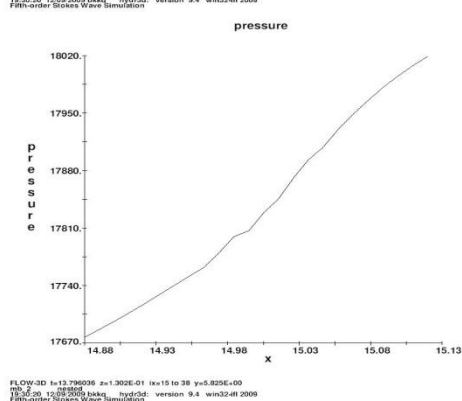
52



53

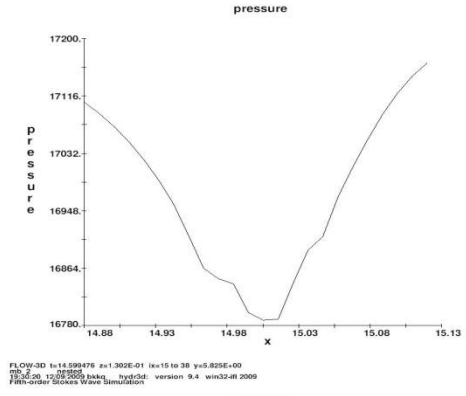


54

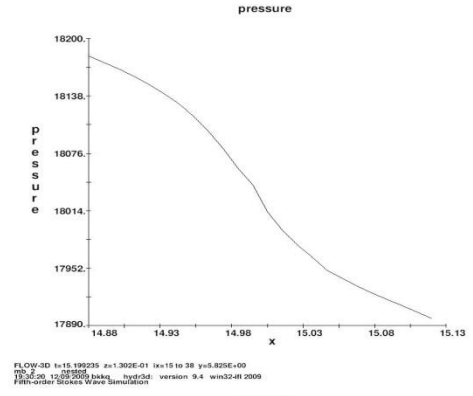


55

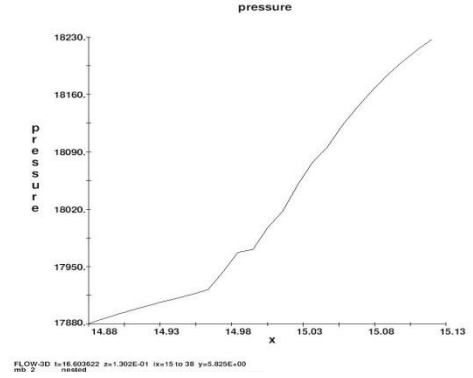
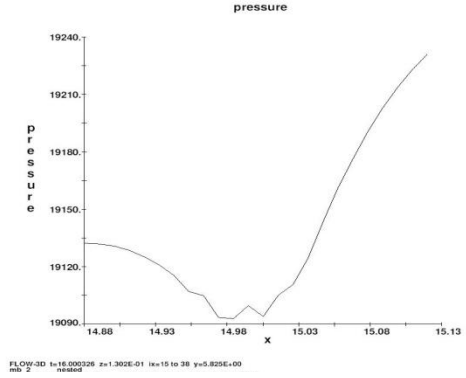
Şekil A.11: İkinci uç bölgede x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (46-70).



74

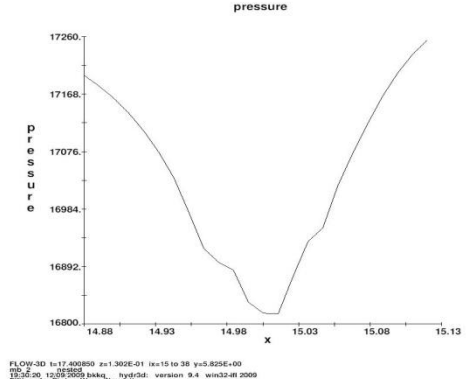


77

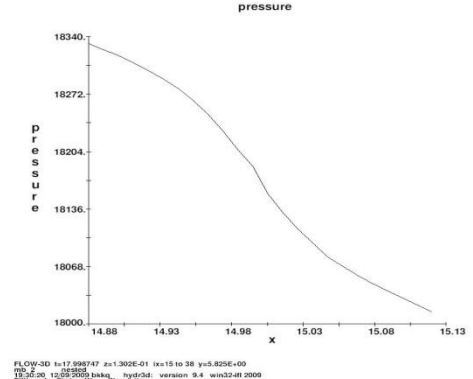


80

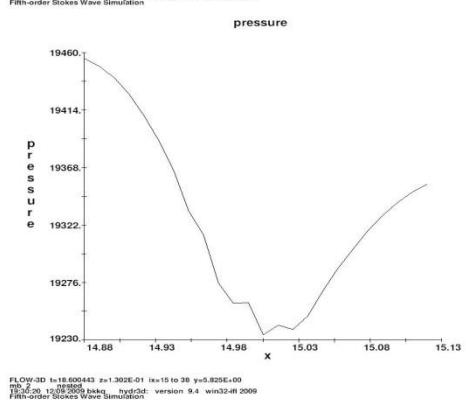
83



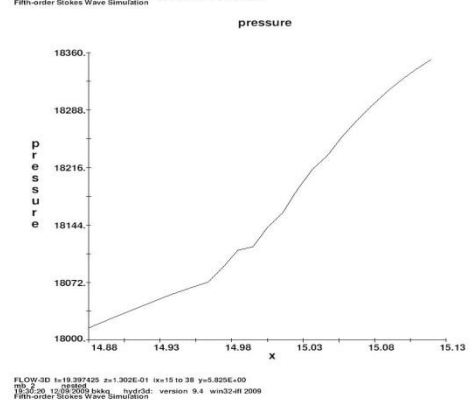
86



89

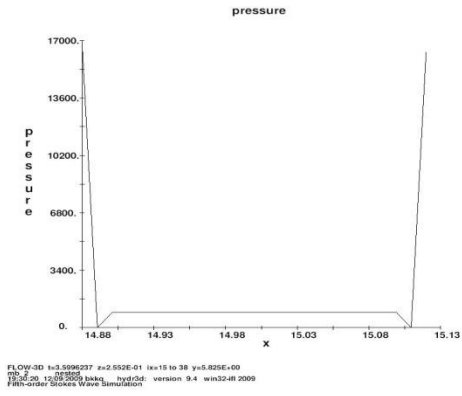


92

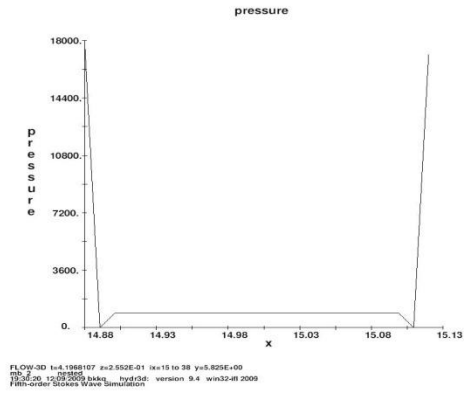


95

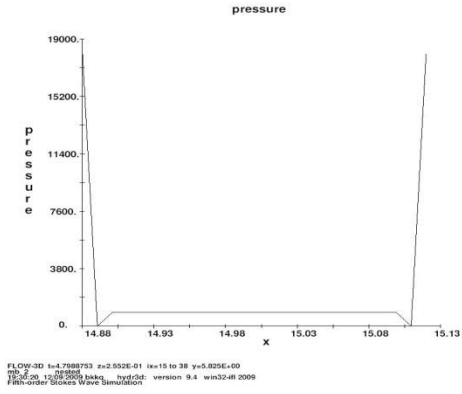
Şekil A.12 : İkinci uç bölgede x eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (74-98).



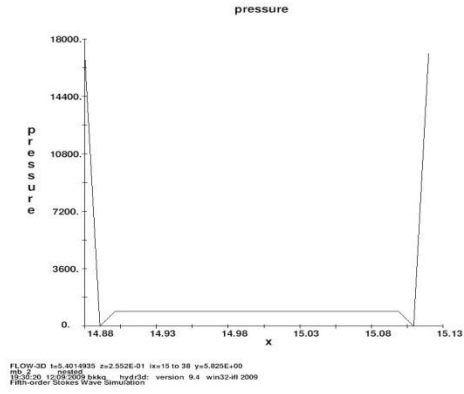
19



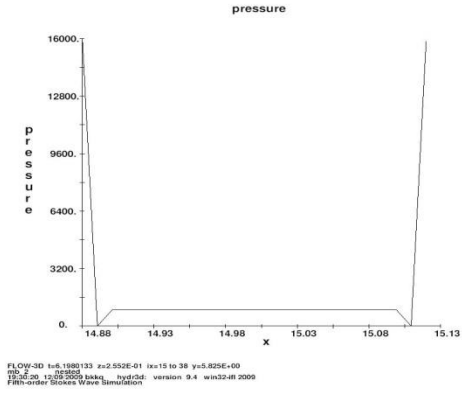
22



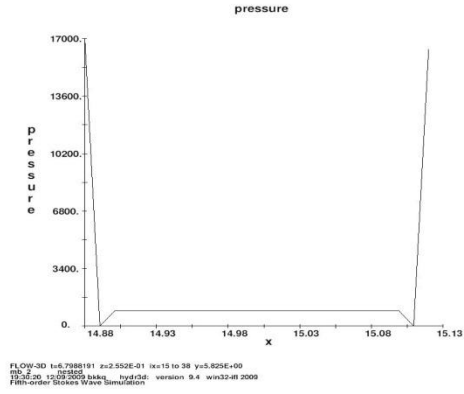
25



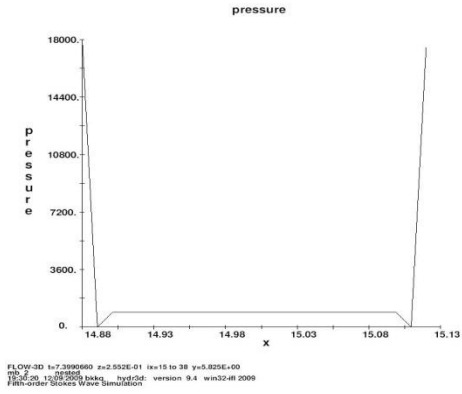
28



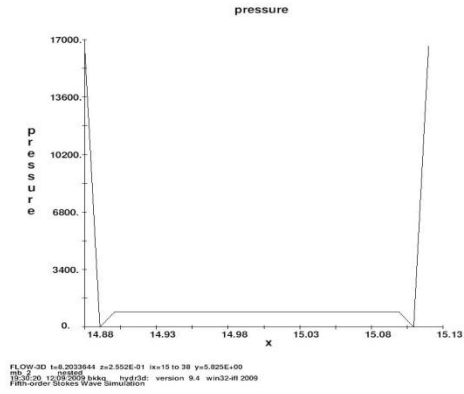
32



35

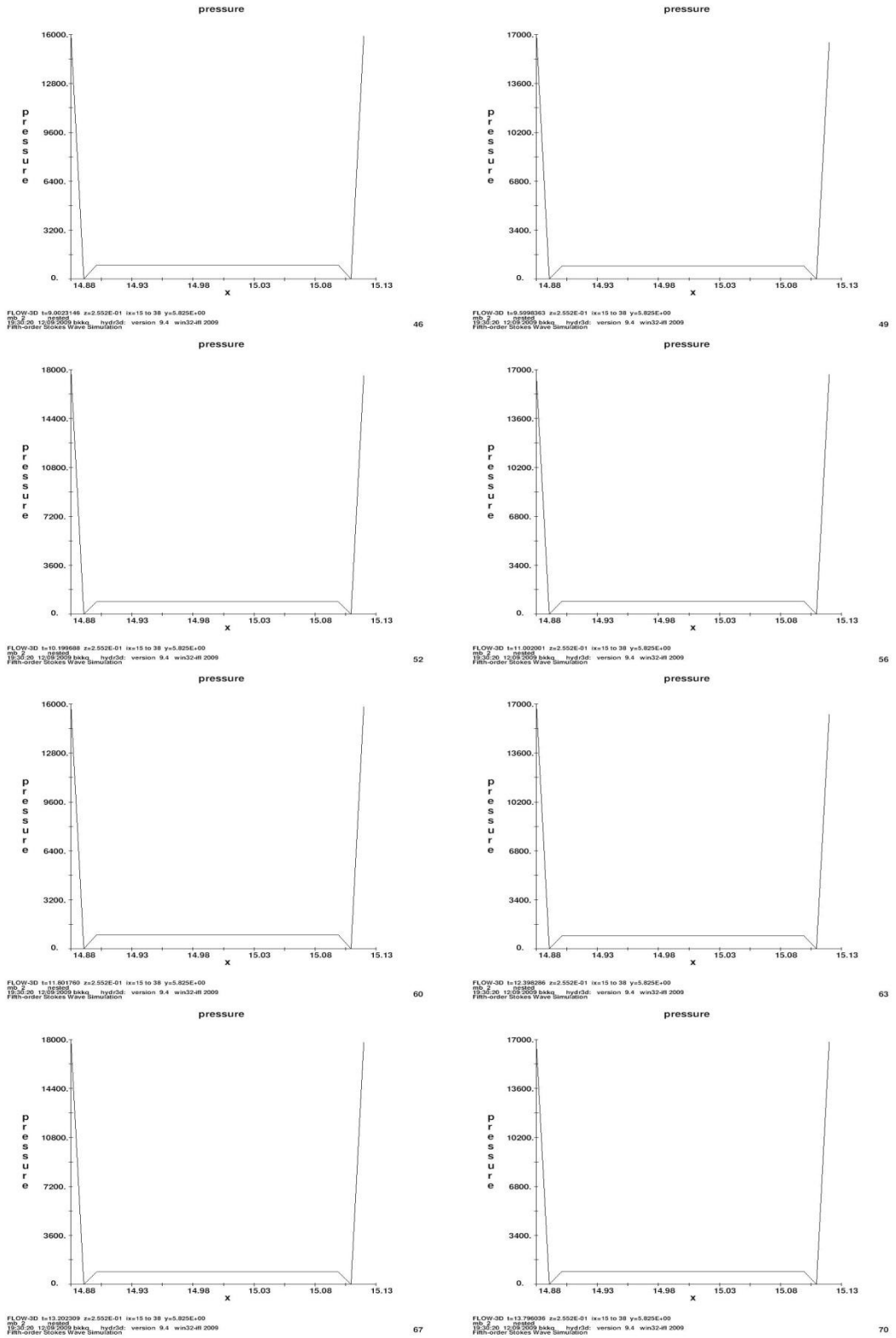


38

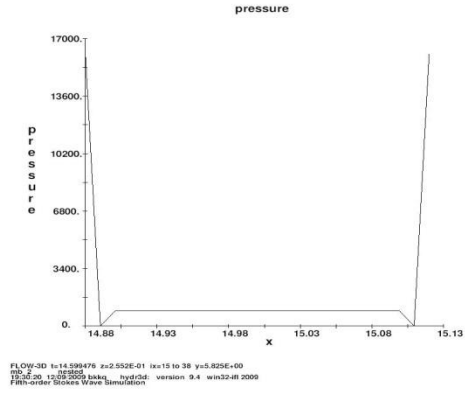


42

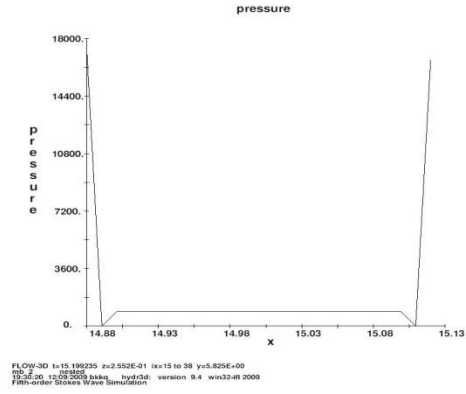
Şekil A.13 : İkinci uç bölgede x eksenı boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (19-42).



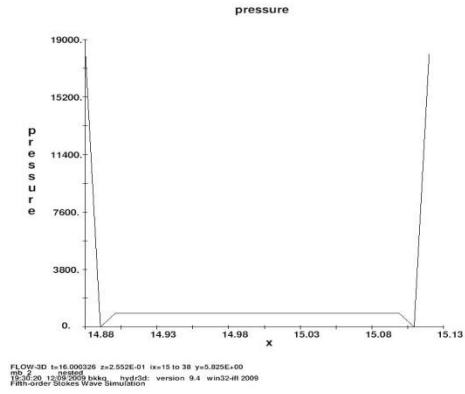
Şekil A.14 : İkinci uç bölgede x eksenı boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (46-70).



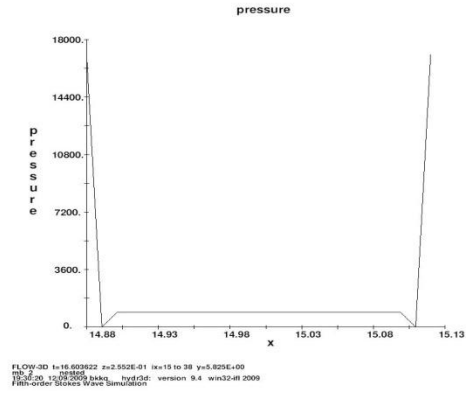
74



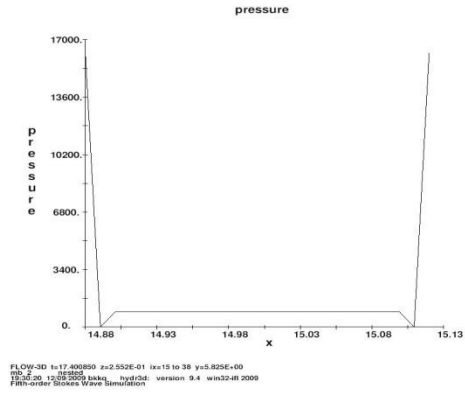
77



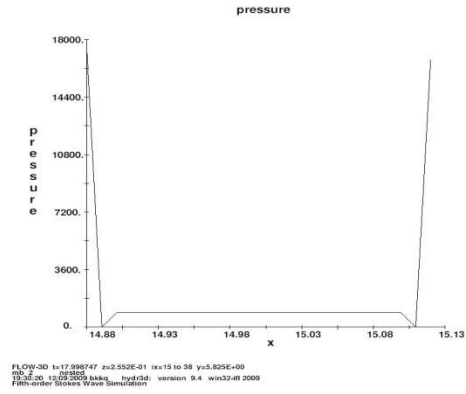
81



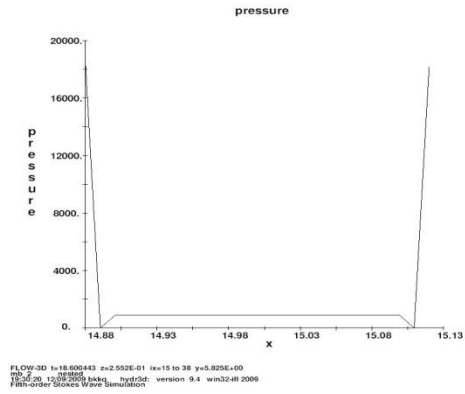
84



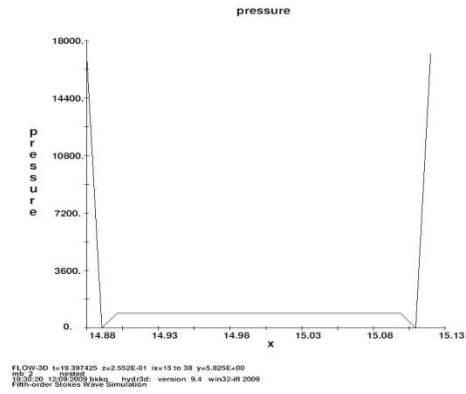
88



91

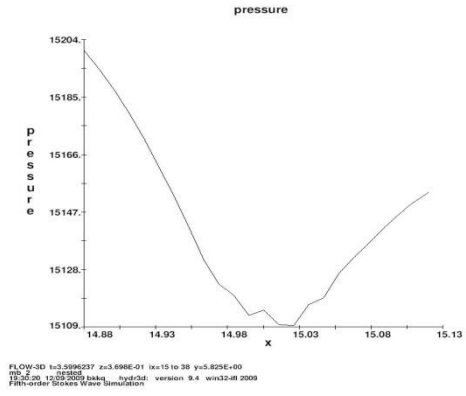


94

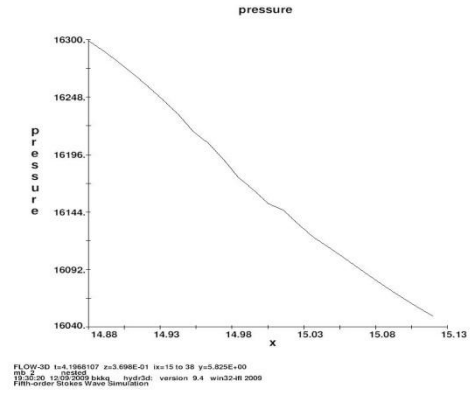


98

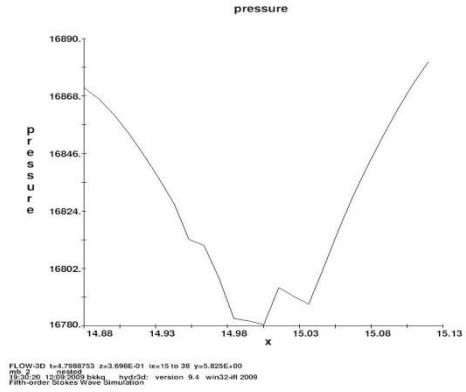
Şekil A.15 : İkinci uç bölgede x eksenini boyunca sağ-sol uç bölgedeki basınçlar (70-98).



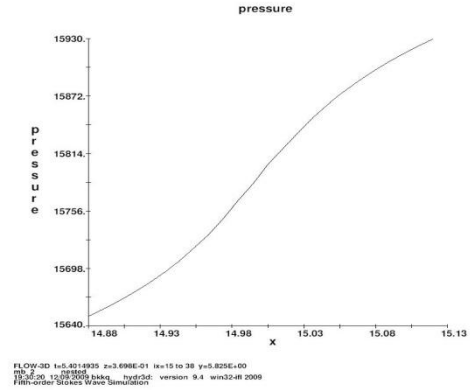
19



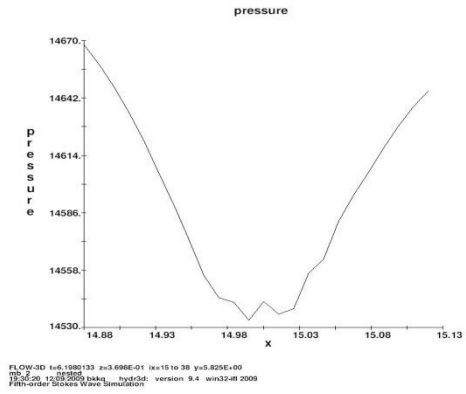
22



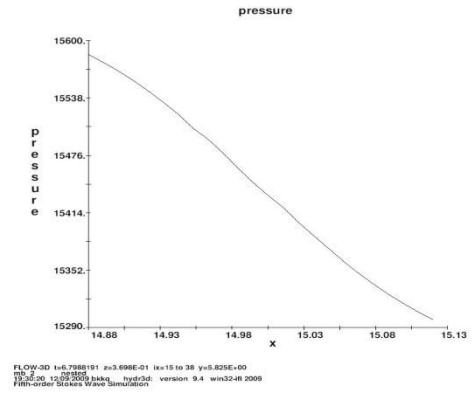
25



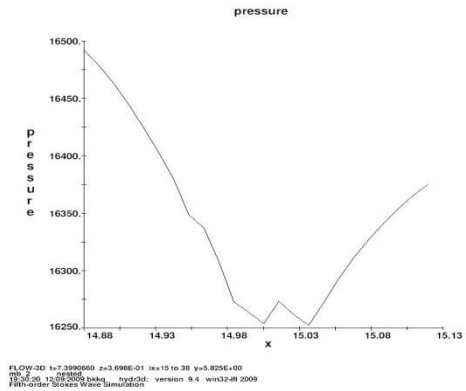
28



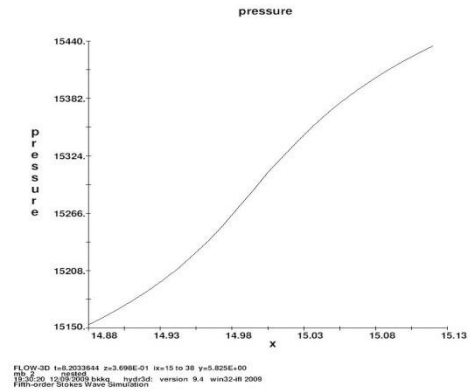
32



35

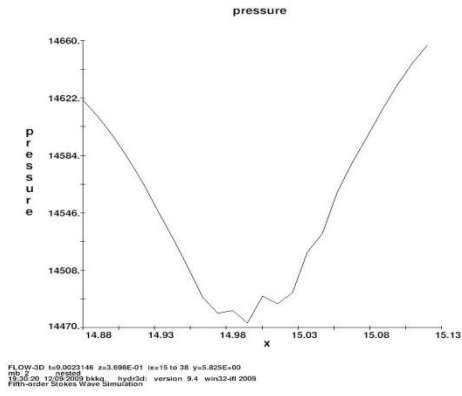


38

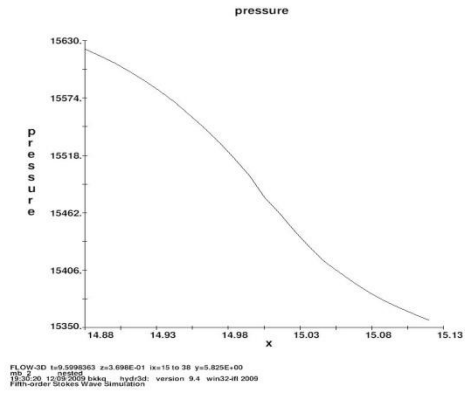


42

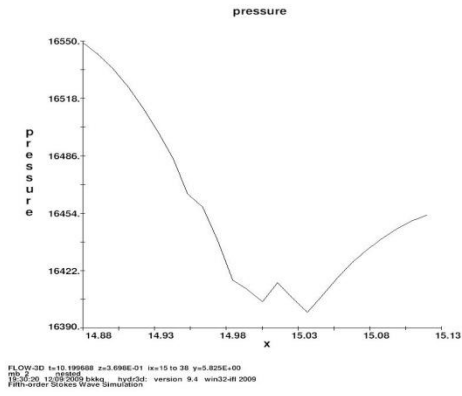
Şekil A.16 : İkinci uç bölgede x eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (19-42).



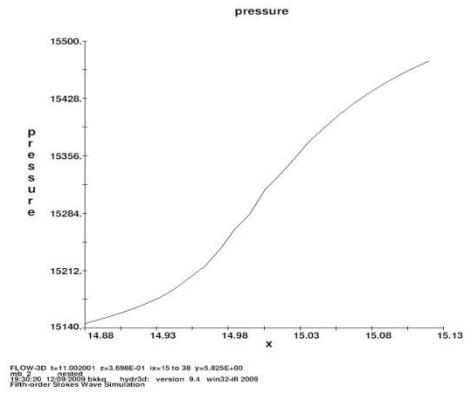
46



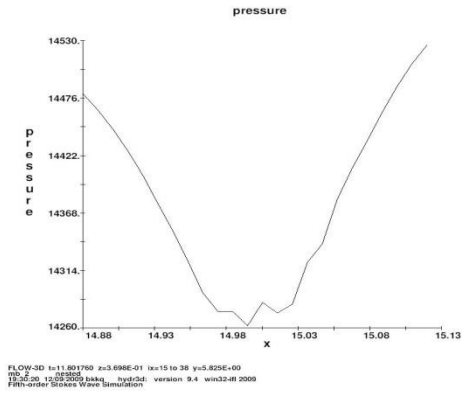
49



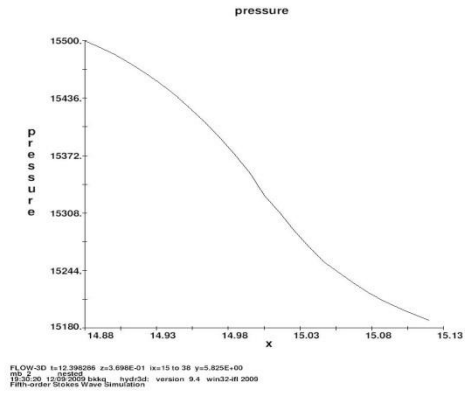
52



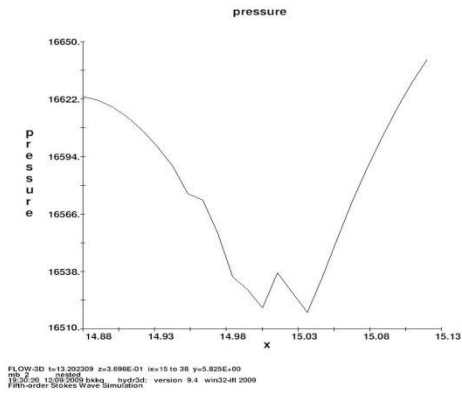
56



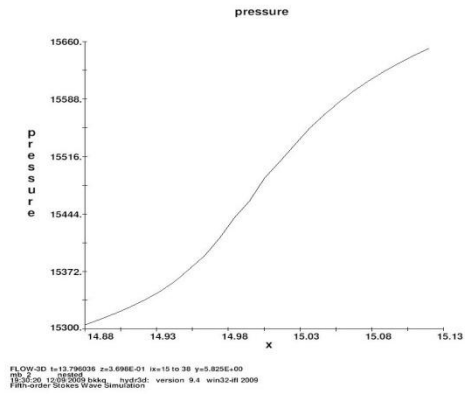
60



63

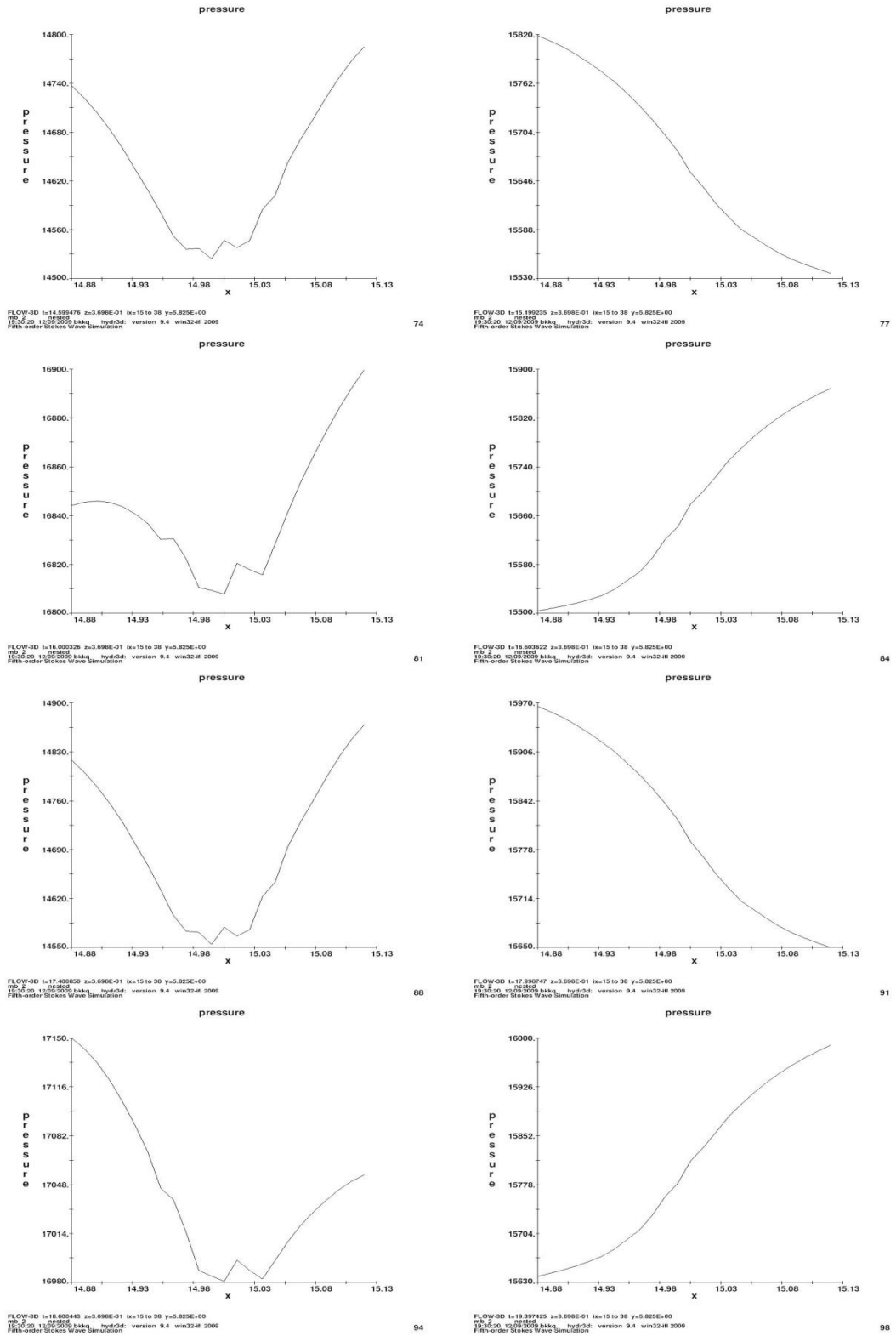


67

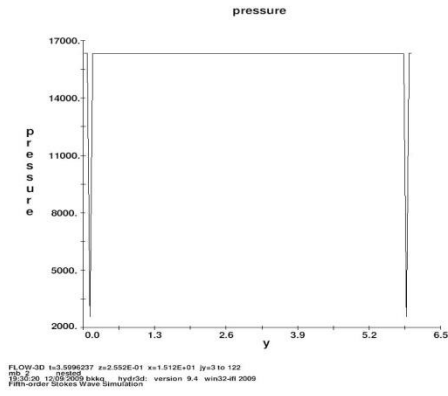


70

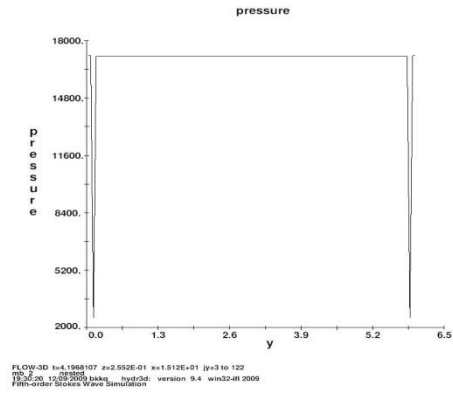
Şekil A.17 : İkinci uç bölgede x eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (46-70).



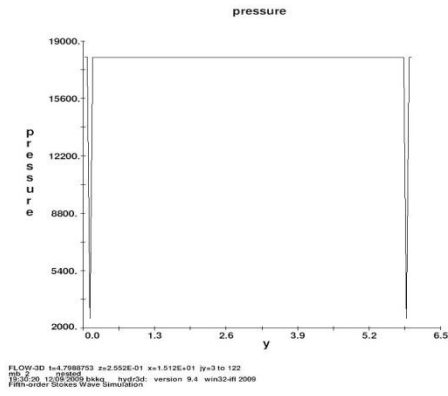
Şekil A.18 : İkinci uç bölgede x eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (74-98).



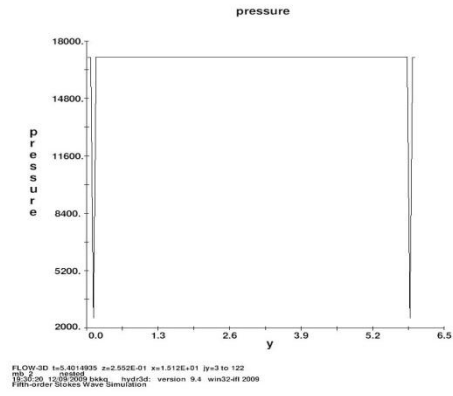
19



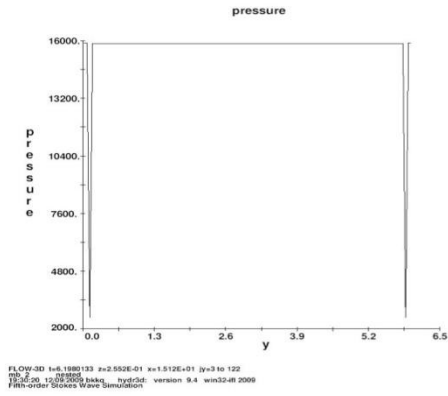
22



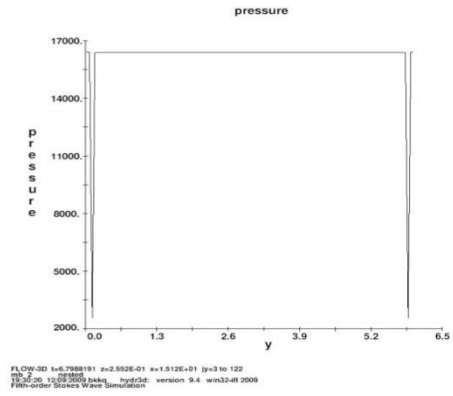
25



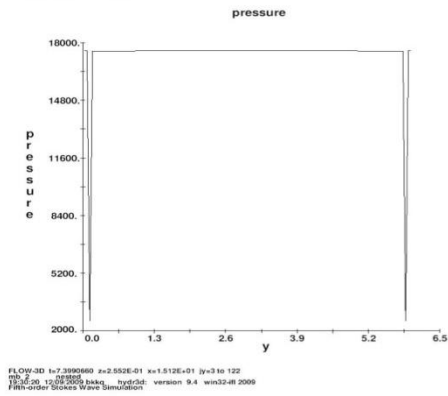
28



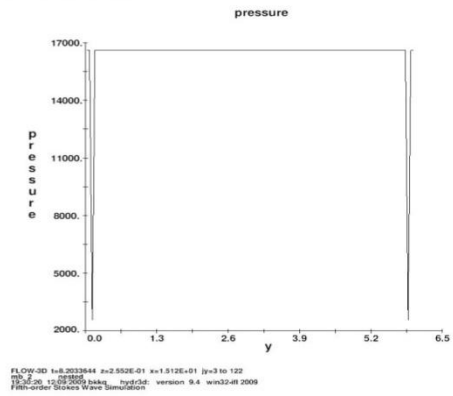
32



35

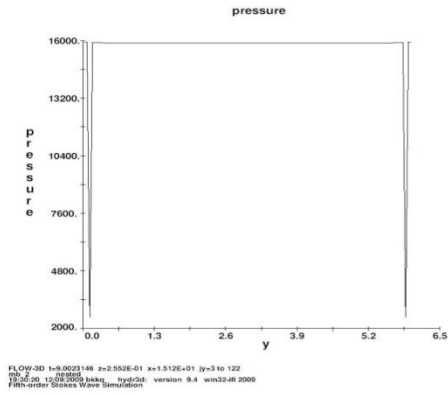


38

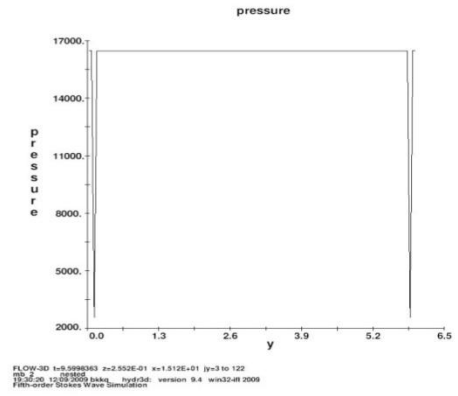


42

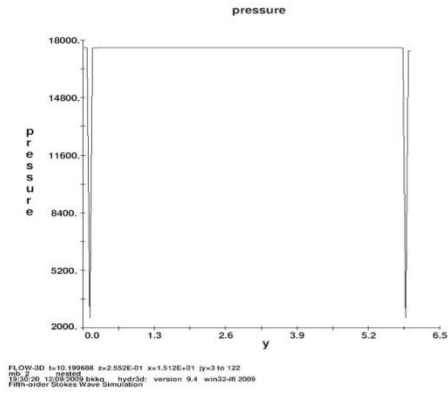
Şekil A.19 : y eksenı boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar (19-42).



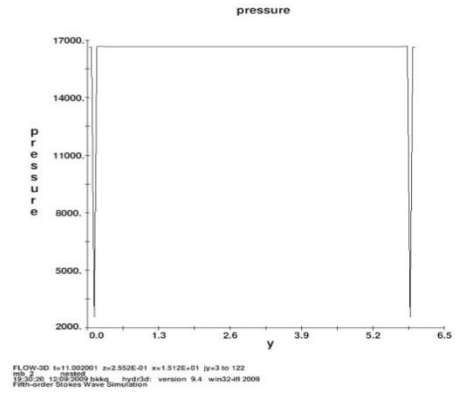
46



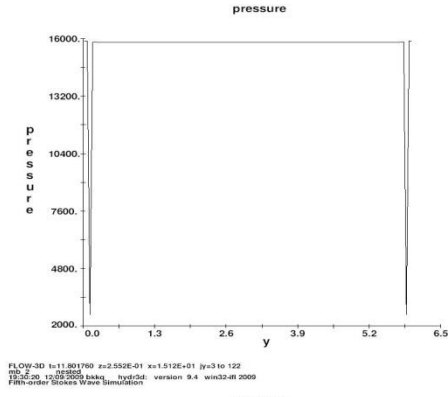
49



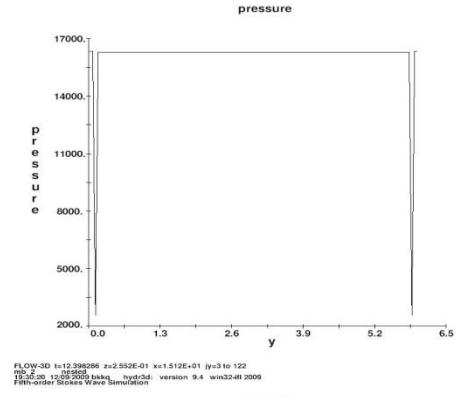
52



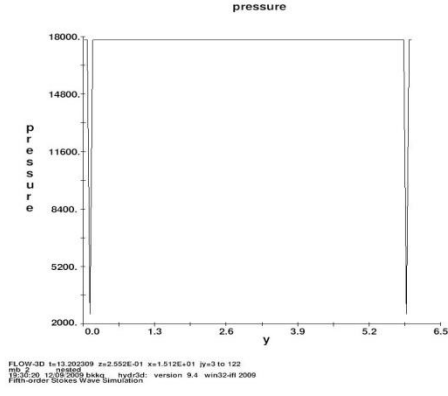
56



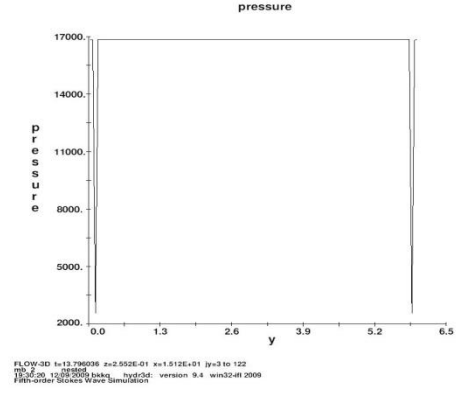
60



63

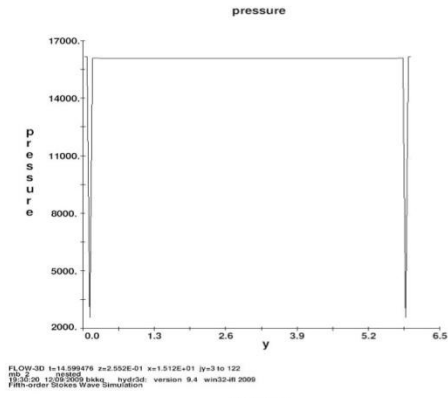


67

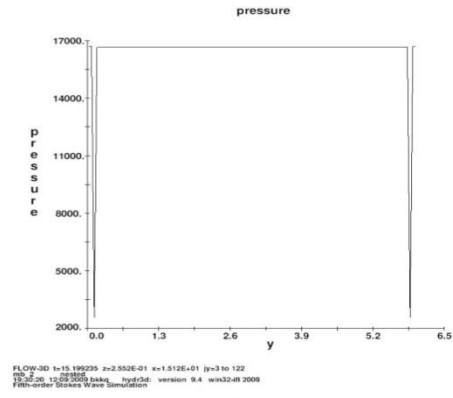


70

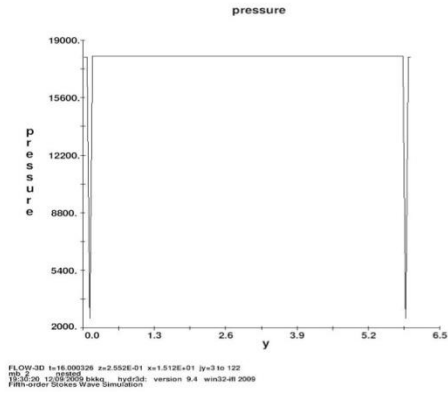
Şekil A.20 : y eksenı boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar (46-70).



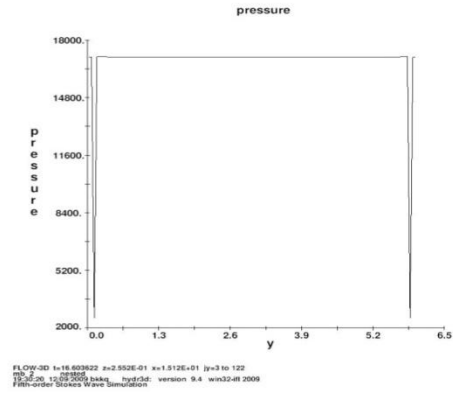
74



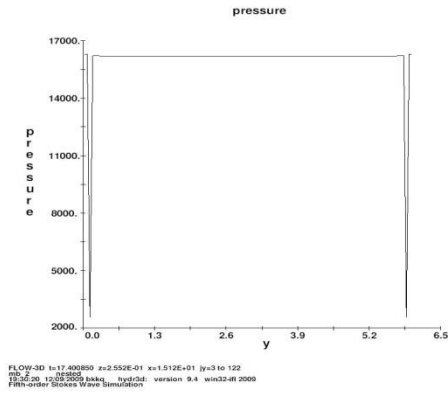
77



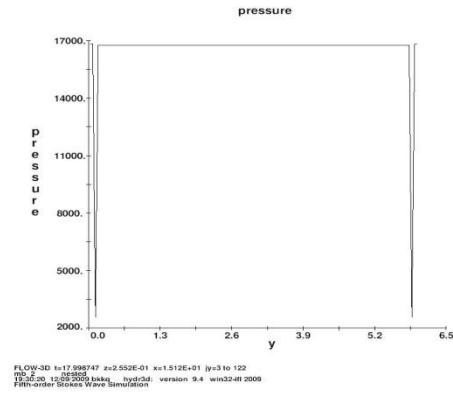
81



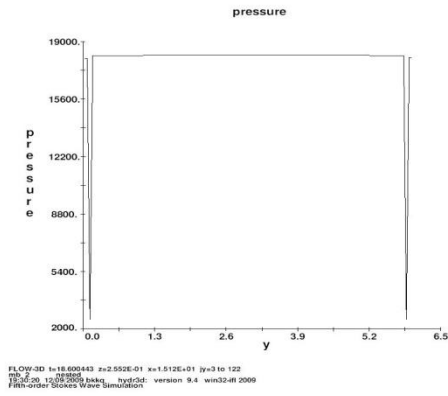
84



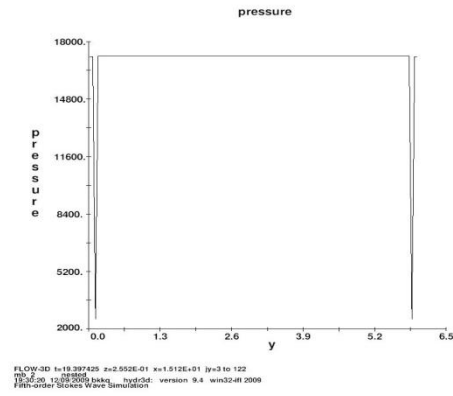
88



91

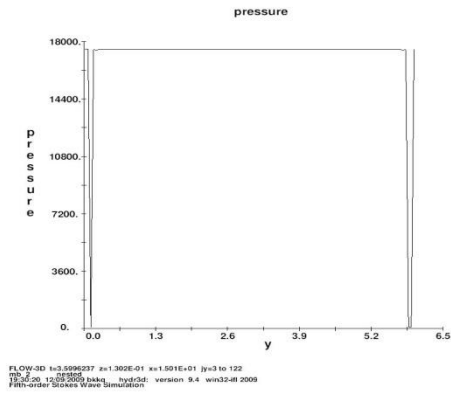


94

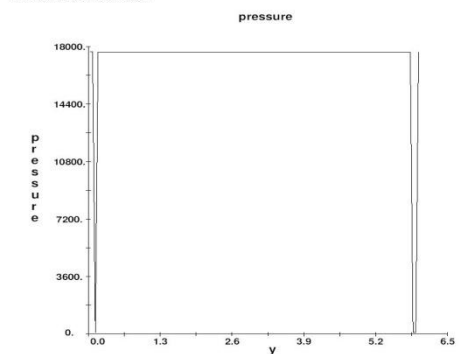
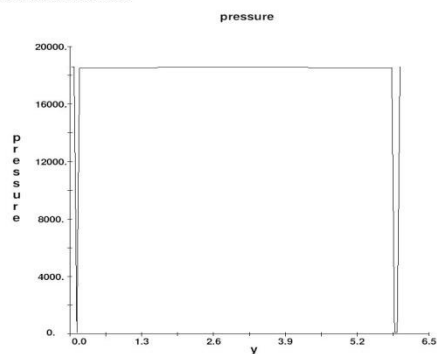
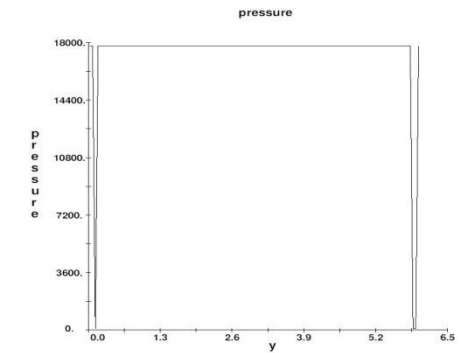
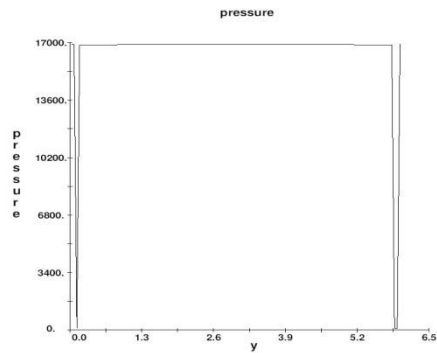
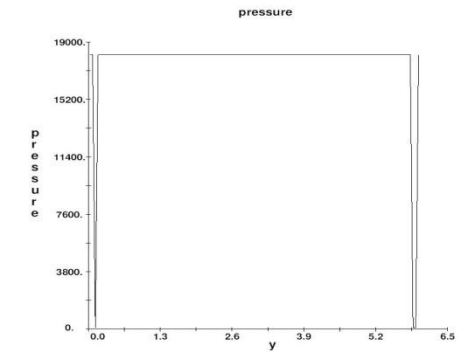
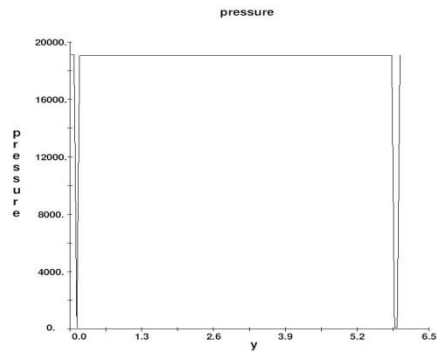
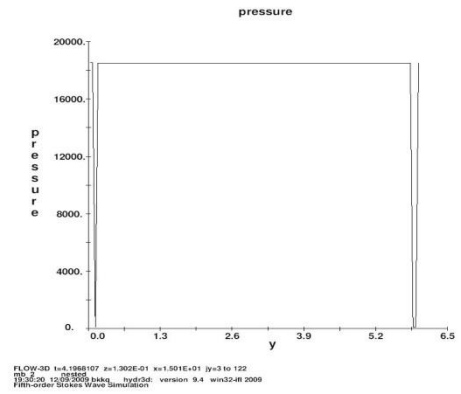


98

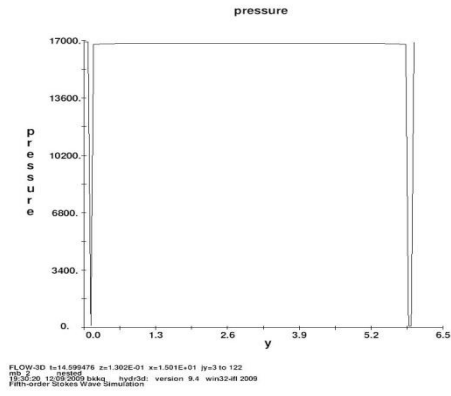
Şekil A.21 : y eksenı boyunca sağ uç bölgedeki basınçlar (74-98).



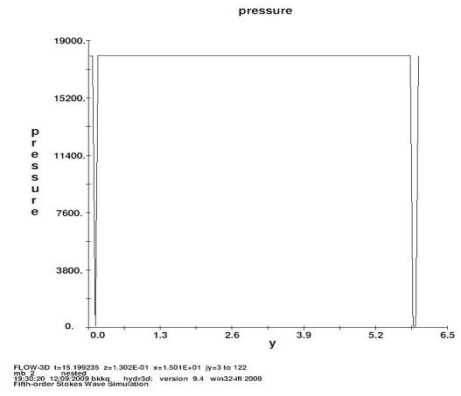
19



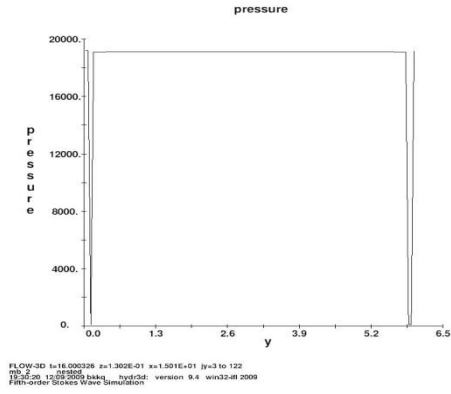
Şekil A.22 : y eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (19-42).



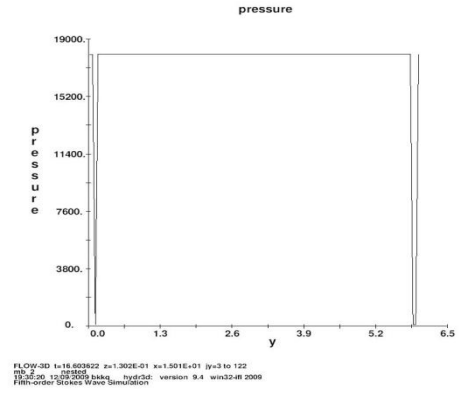
74



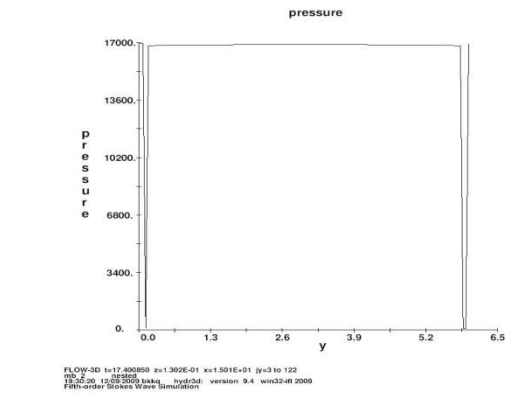
77



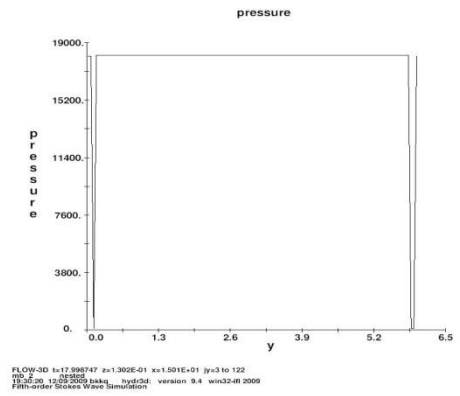
81



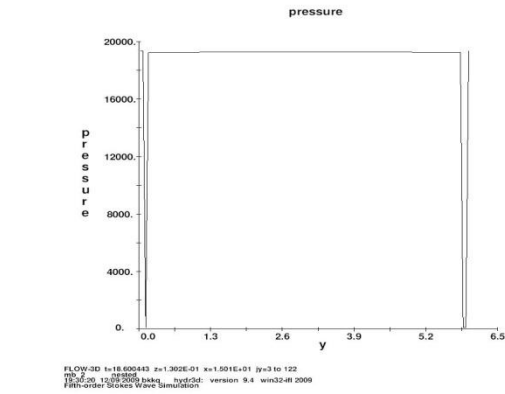
84



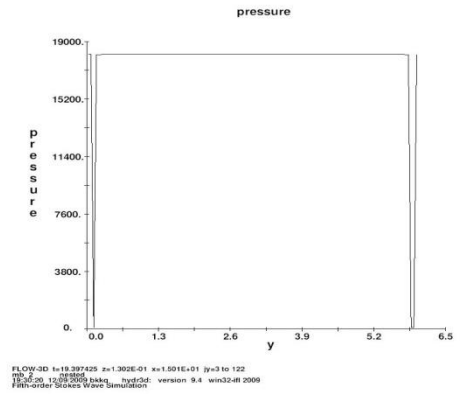
88



91

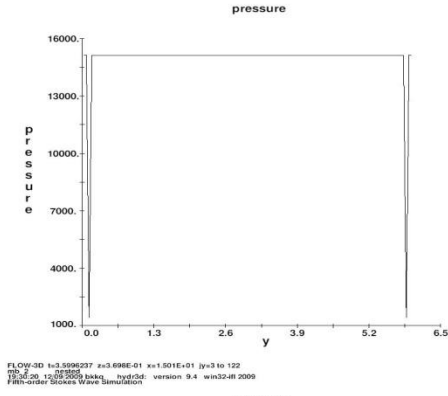


94

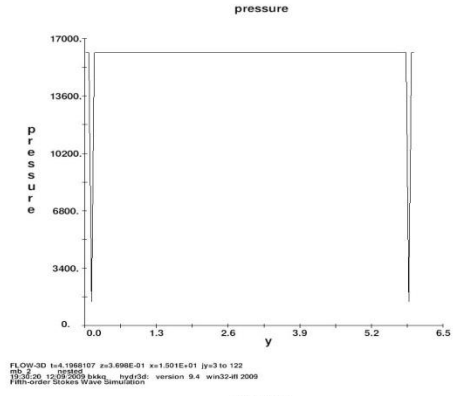


98

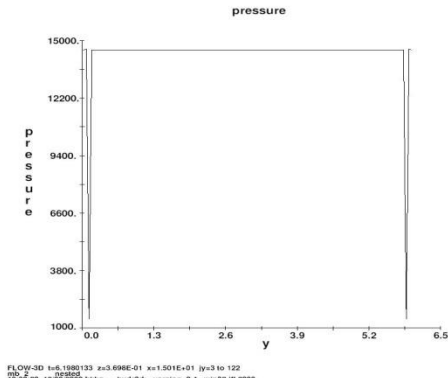
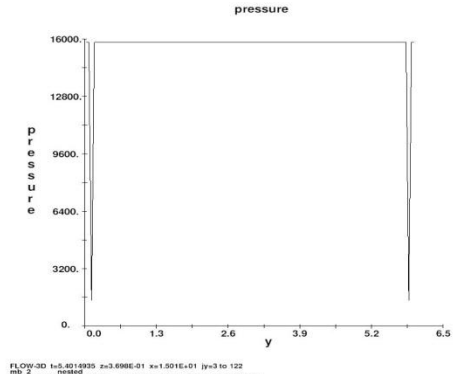
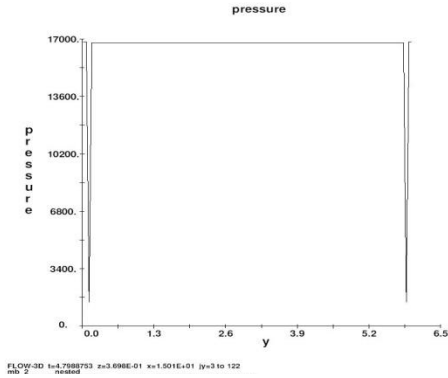
Şekil A.24 : y eksenı boyunca alt uç bölgedeki basınçlar (74-98).



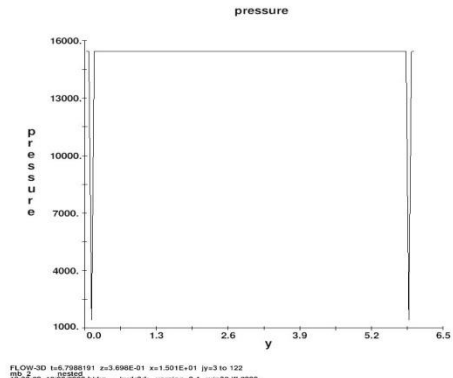
19



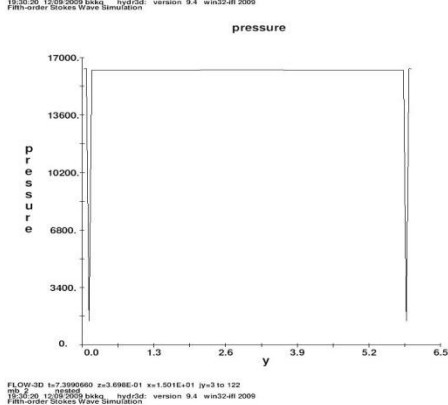
22



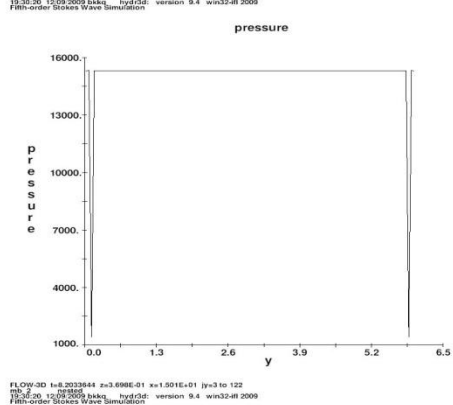
32



35

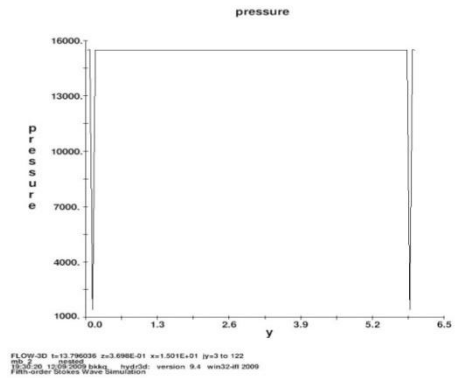
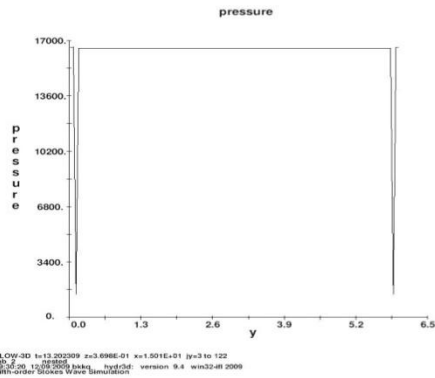
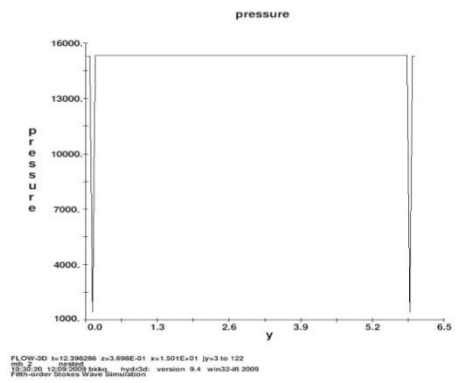
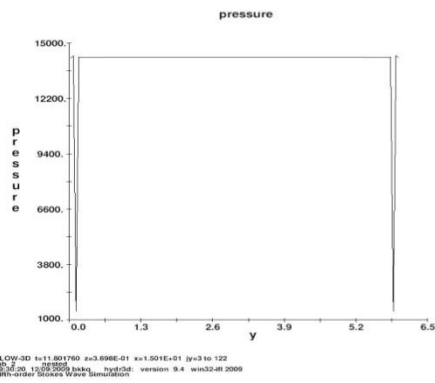
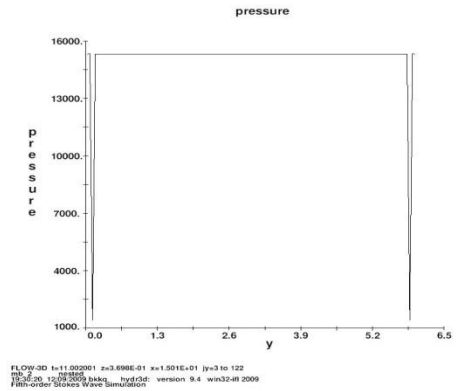
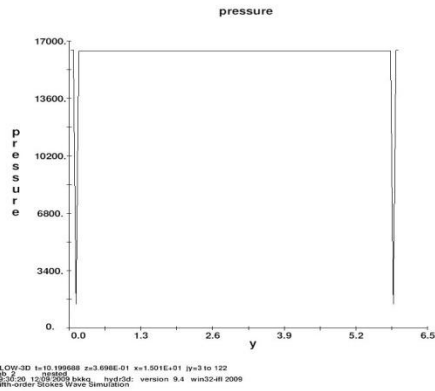
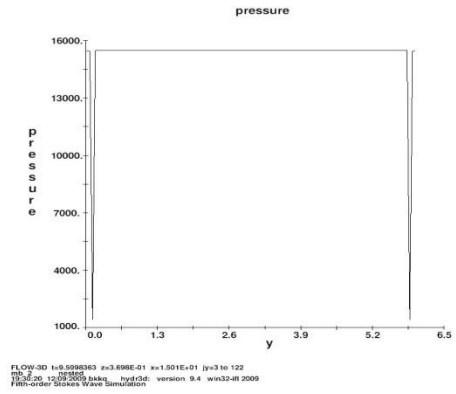
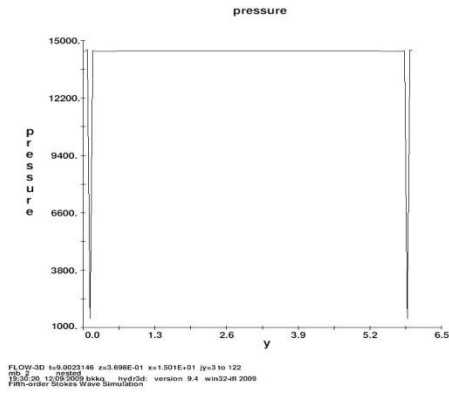


38

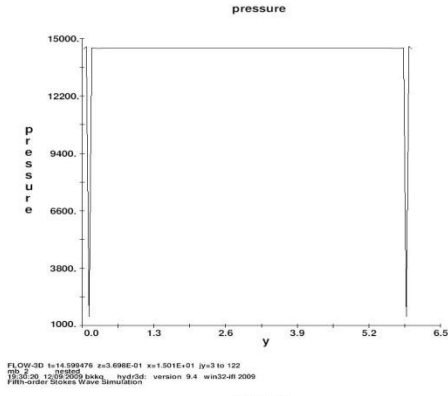


42

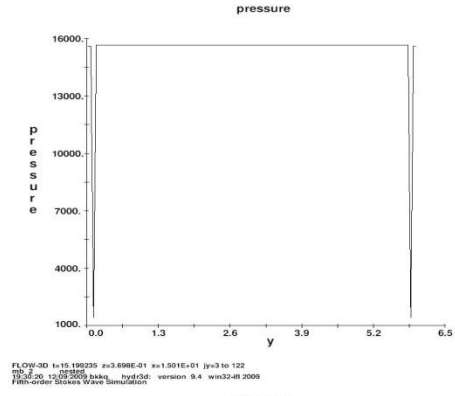
Şekil A.25 : y eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (19-42).



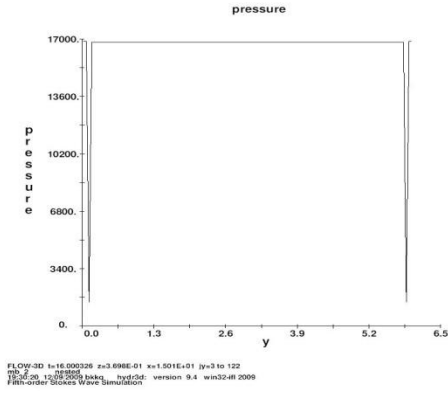
Şekil A.26 : y eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (46-70).



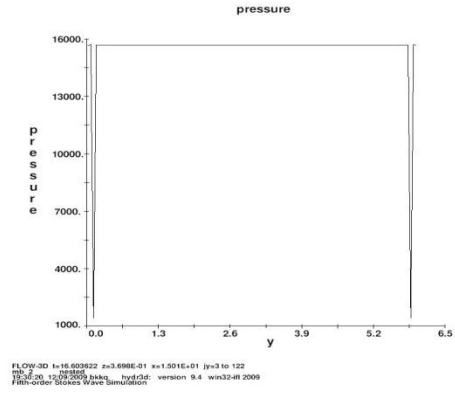
74



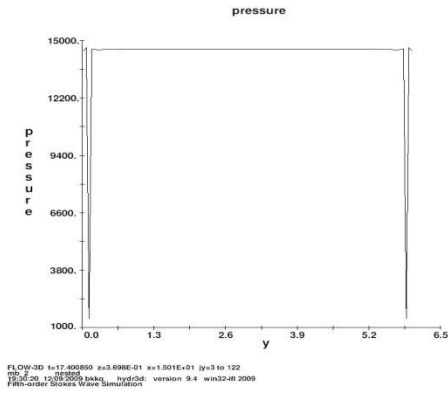
77



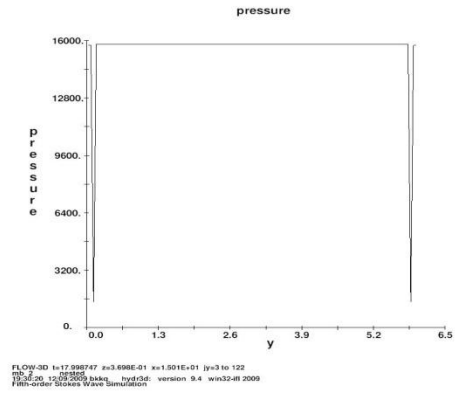
81



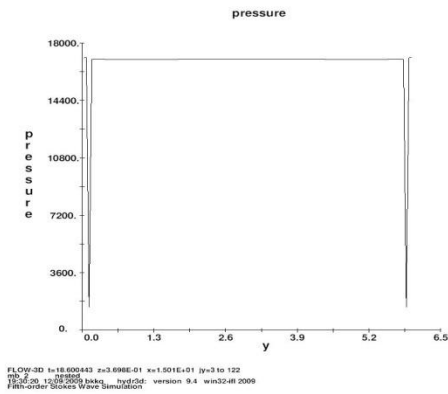
84



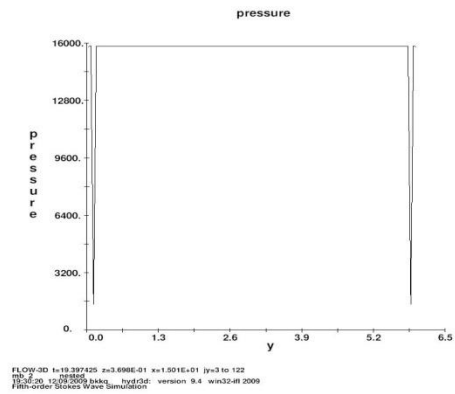
88



91

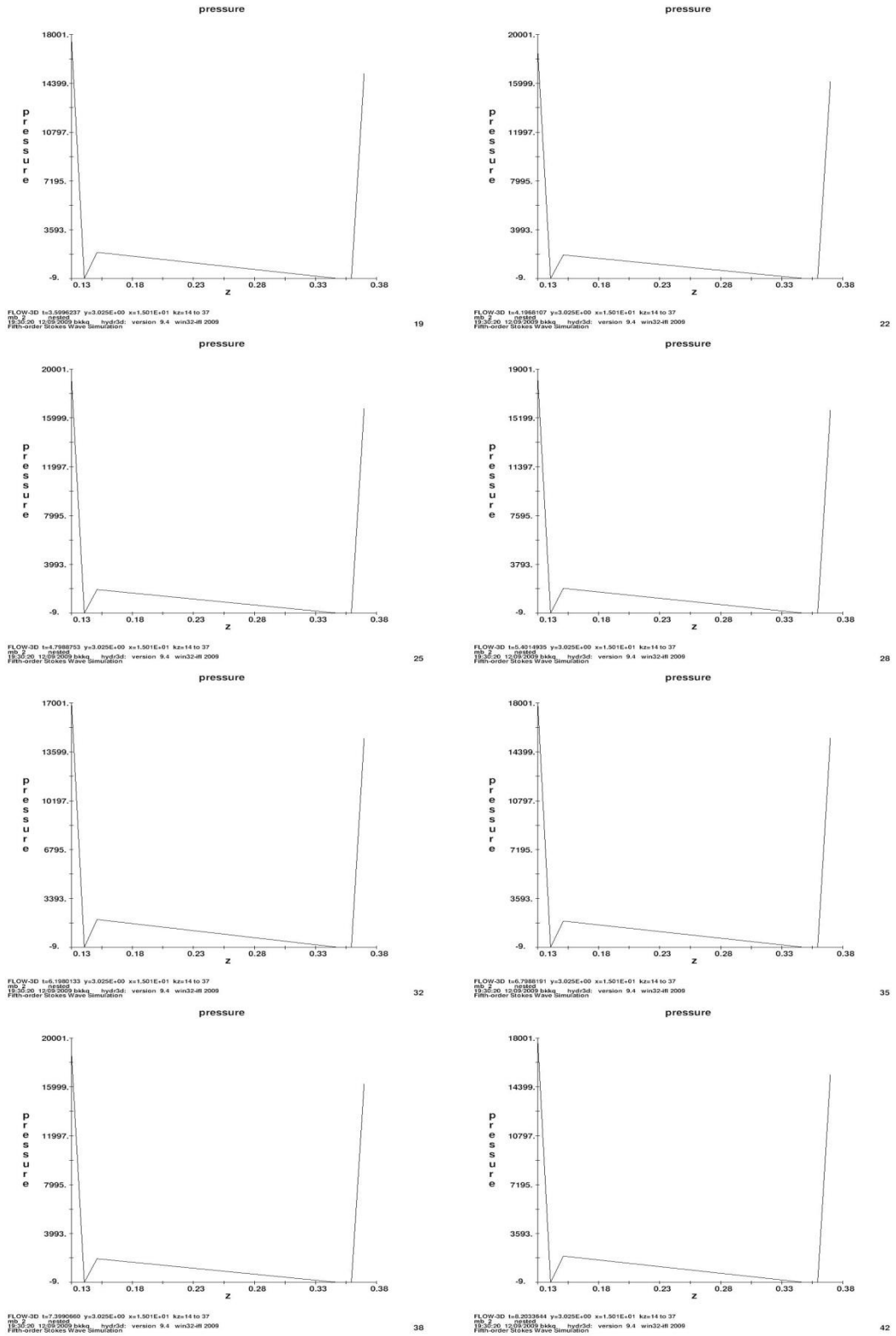


94

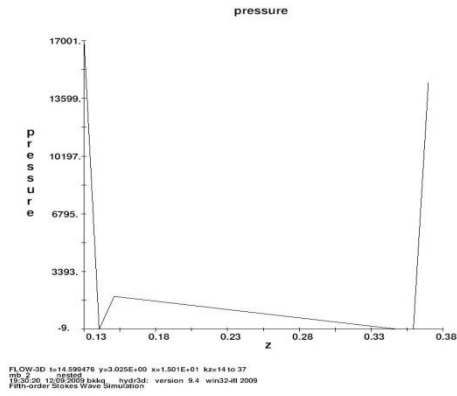


98

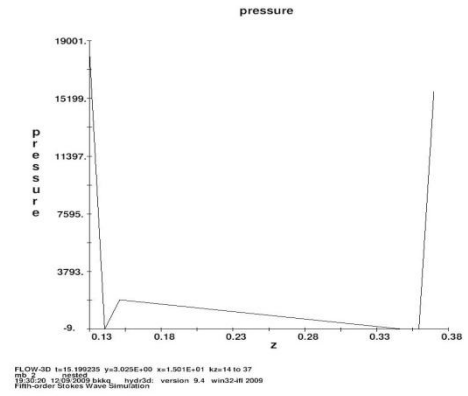
Şekil A.27 : y eksenı boyunca üst uç bölgedeki basınçlar (74-98).



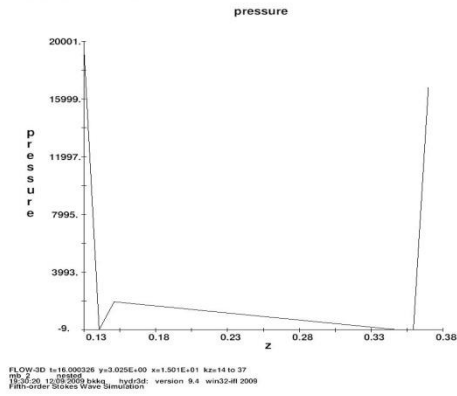
Şekil A.28 : Merkezde z eksenı boyunca üst-alt uç bölgedeki basınçlar (19-42).



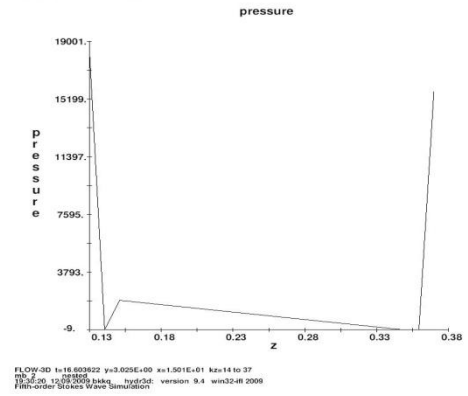
74



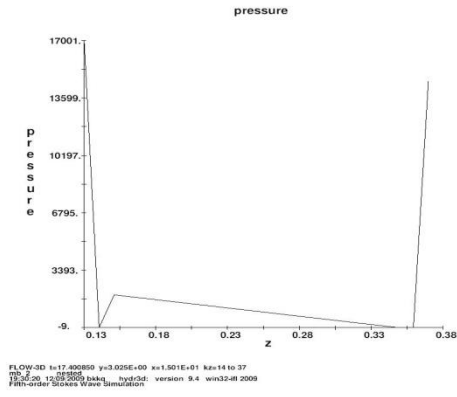
77



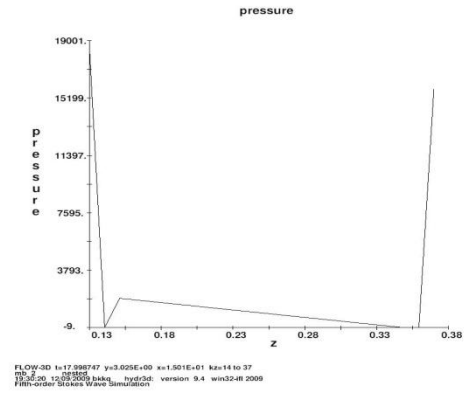
81



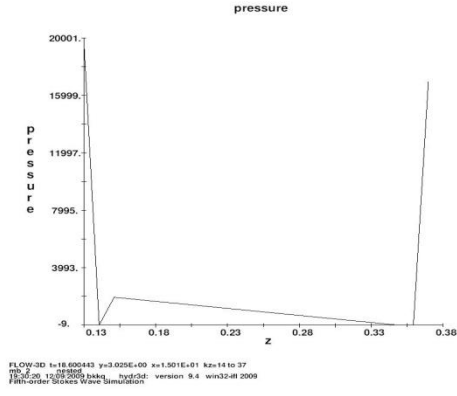
84



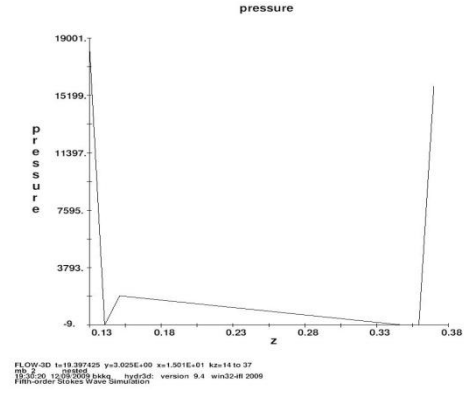
88



91

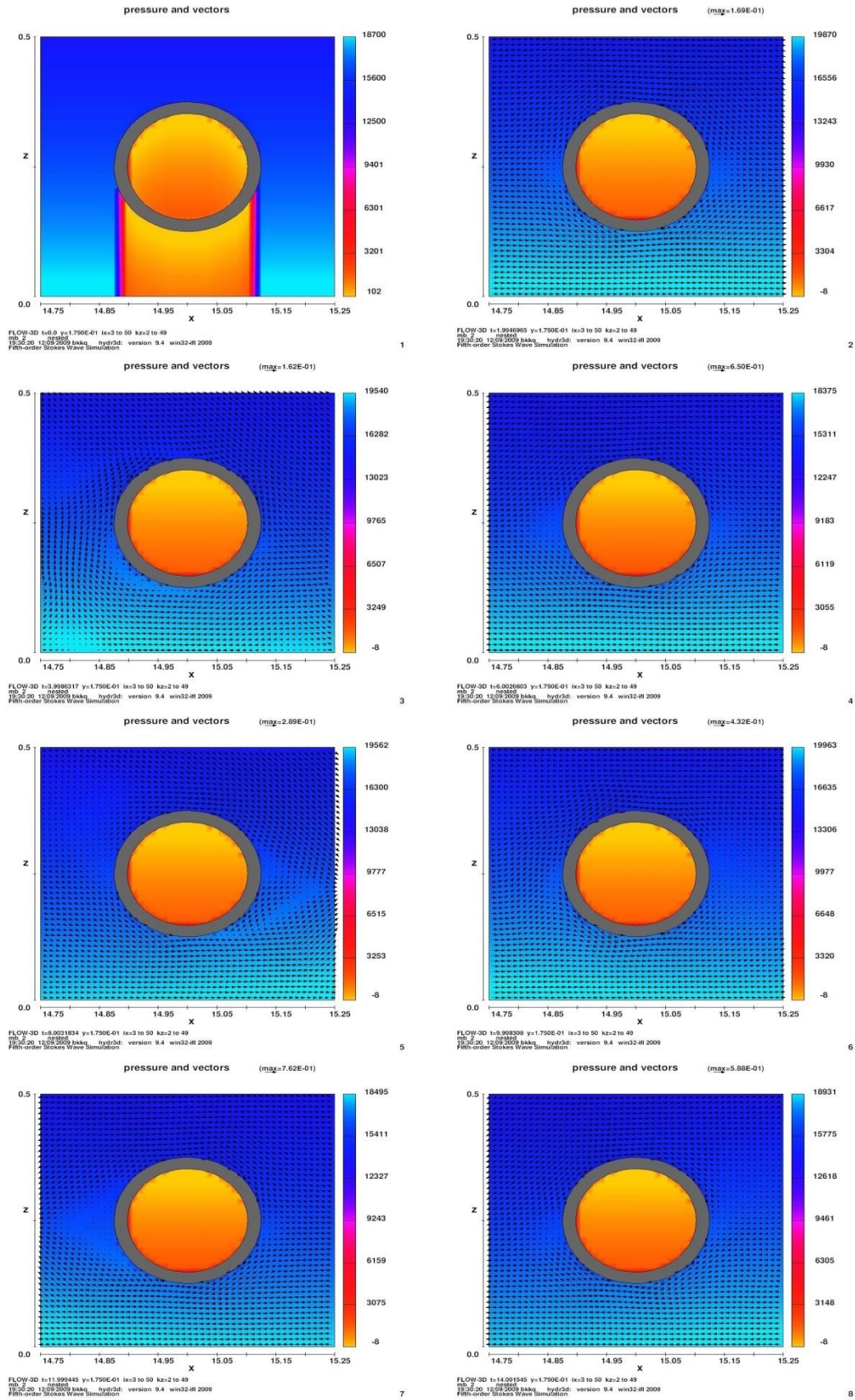


94

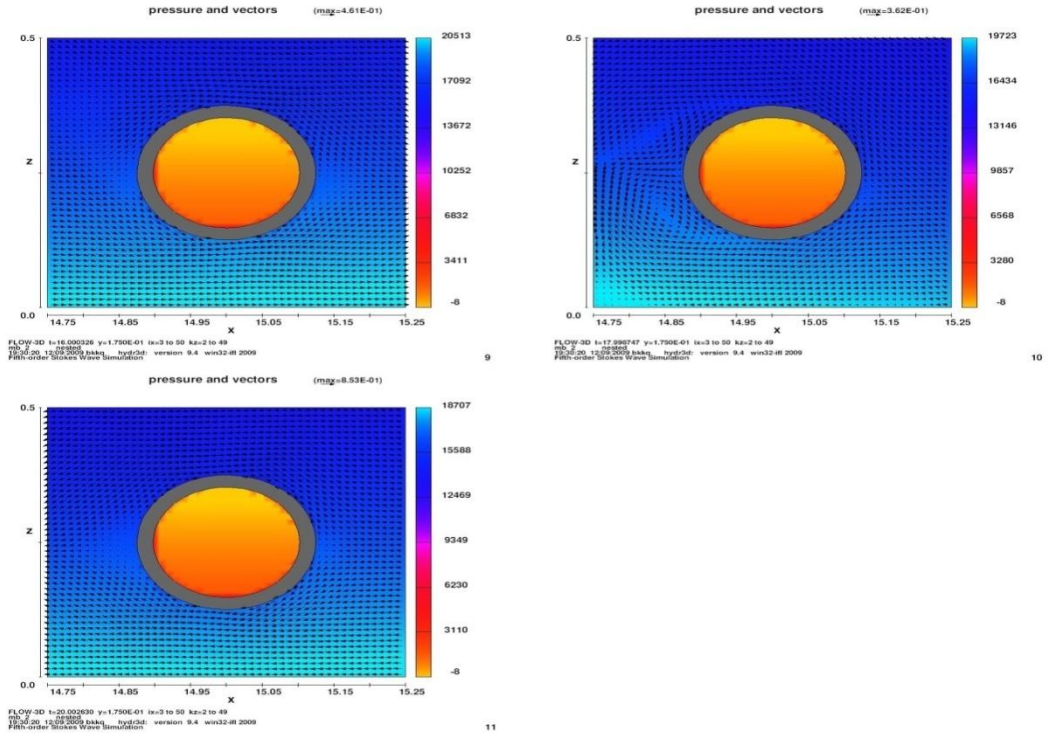


98

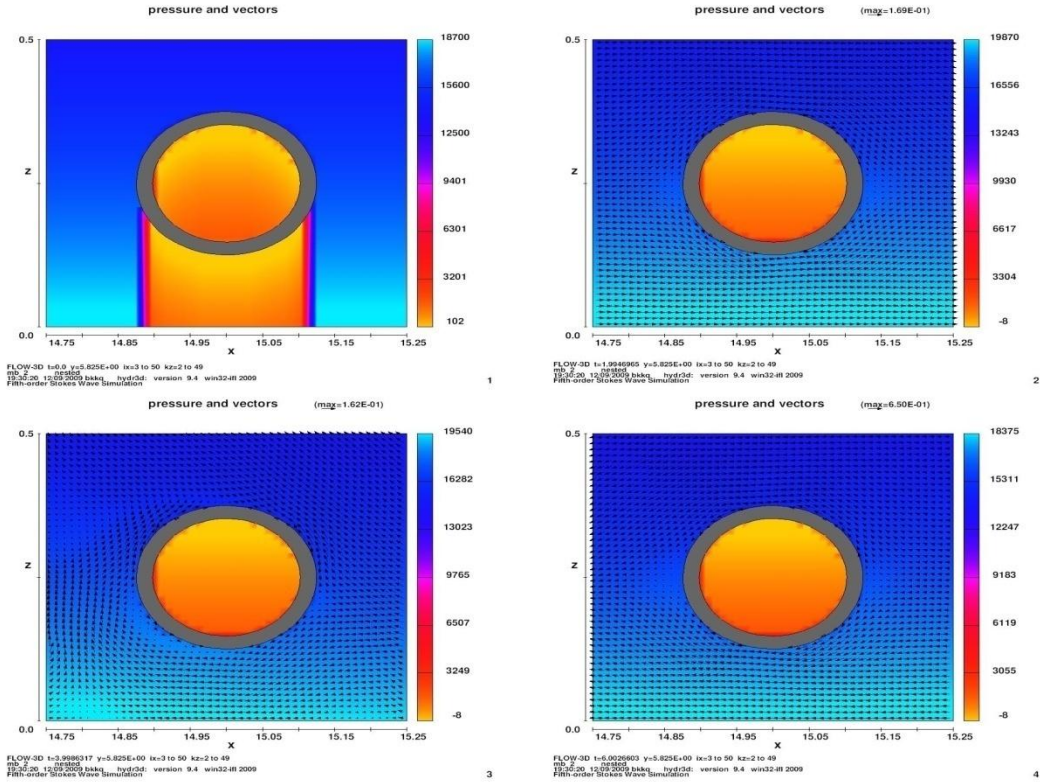
Şekil A.30 : Merkezde z eksenı boyunca üst-alt uç bölgedeki basınçlar (74-98).



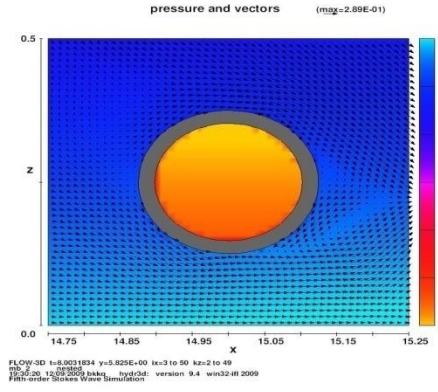
Şekil A.31 : Birinci uç bölgede xz kesidinin basınç analizi (1-8).



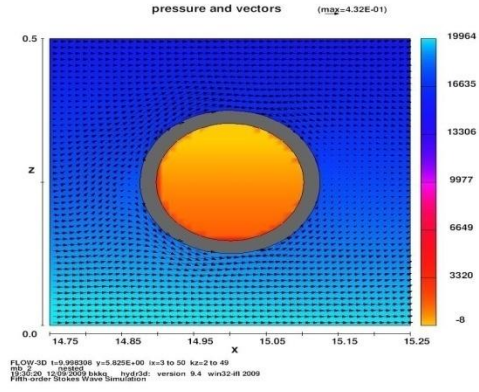
Şekil A.32 : Birinci uç bölgede xz kesidinin basınç analizi (9-11).



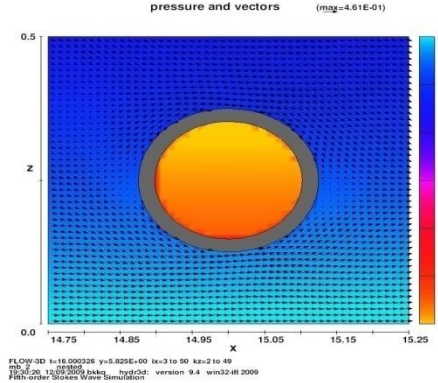
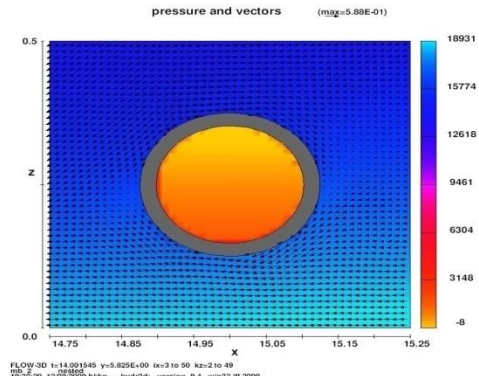
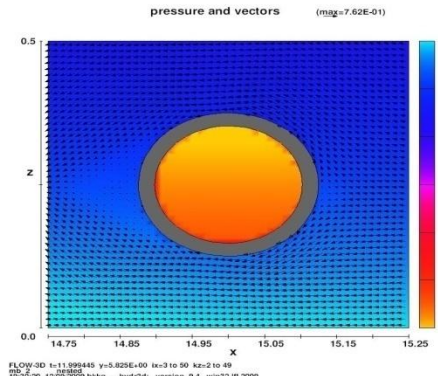
Şekil A.33 : İkinci uç bölgede xz kesidinin basınç analizi (1-4).



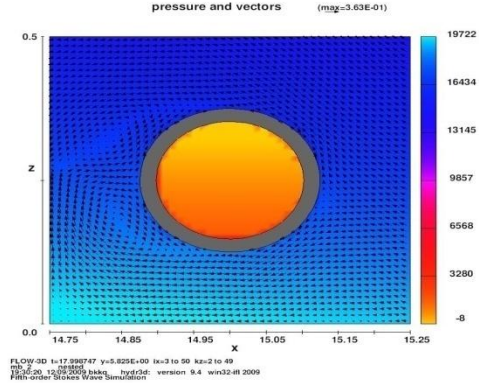
5



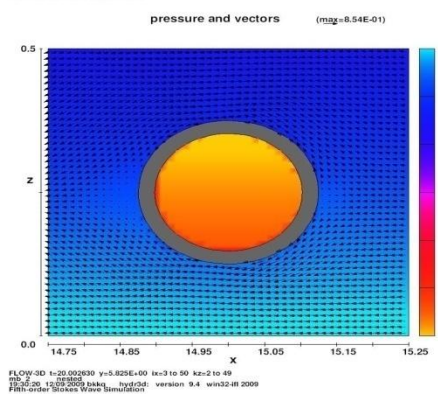
6



9

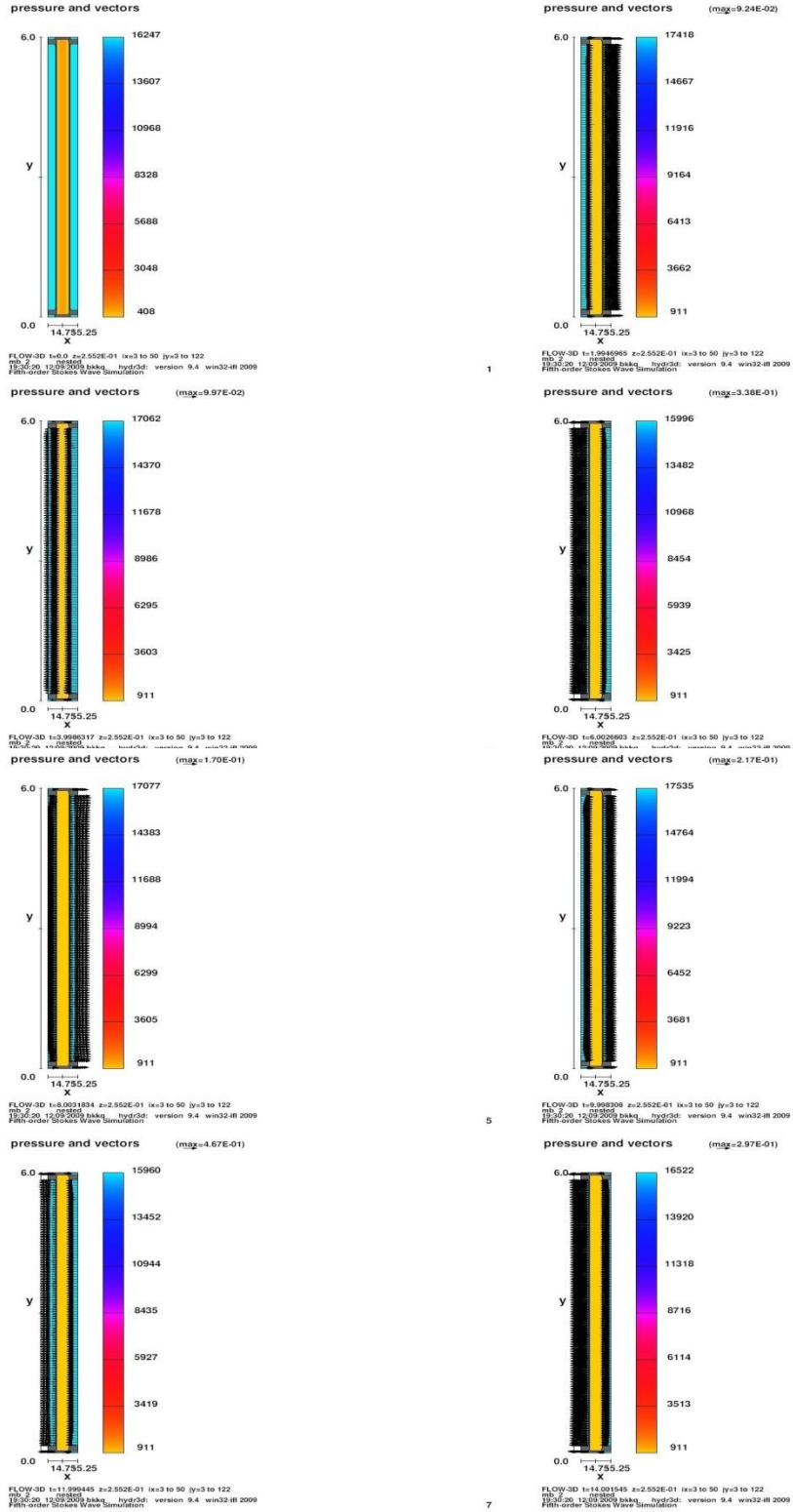


10



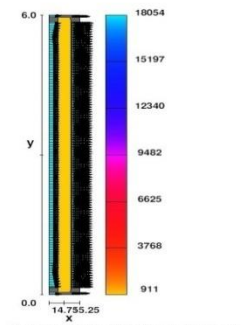
11

Şekil A.34 : İkinci uç bölgede xz kesidinin basınç analizi (5-11).



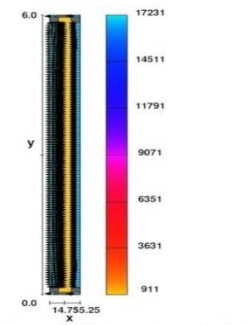
Şekil A.35: xy kesidinde merkez yükseklikteki basınç analizi (1-8).

pressure and vectors (mag=2.08E-01)



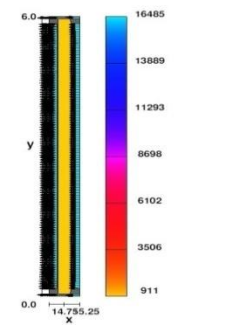
FLOW-3D t=18.000338 s=2.552E-01 ix=3 to 50 iy=3 to 122
t0=0.0 t1=18.000338 h=0.0001 hyd3d: version 9.4 win32-nt 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

pressure and vectors (mag=2.56E-01)



FLOW-3D t=17.999747 s=2.552E-01 ix=3 to 50 iy=3 to 122
t0=0.0 t1=17.999747 h=0.0001 hyd3d: version 9.4 win32-nt 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

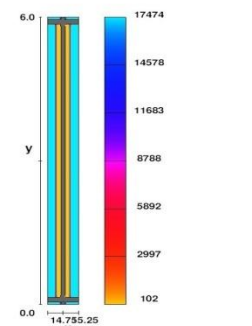
pressure and vectors (mag=5.52E-01)



FLOW-3D t=20.002630 s=2.552E-01 ix=3 to 50 iy=3 to 122
t0=0.0 t1=20.002630 h=0.0001 hyd3d: version 9.4 win32-nt 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

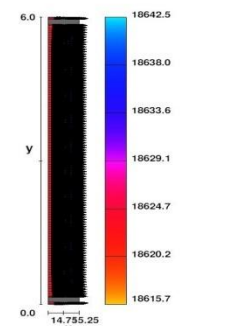
Şekil A.36 : xy kesidinde merkez yükseklikteki basınç analizi (9-11).

pressure and vectors



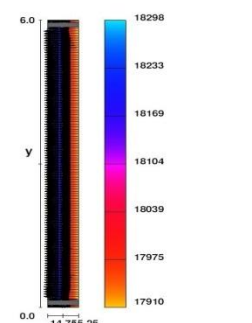
FLOW-3D t=0.0 s=1.302E-01 ix=3 to 50 iy=3 to 122
t0=0.0 t1=0.0 h=0.0001 hyd3d: version 9.4 win32-nt 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

pressure and vectors (mag=1.47E-01)



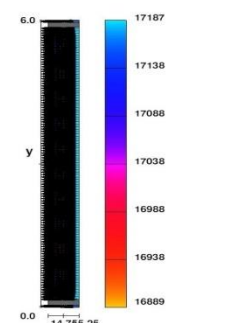
FLOW-3D t=1.994665 s=1.302E-01 ix=3 to 50 iy=3 to 122
t0=0.0 t1=1.994665 h=0.0001 hyd3d: version 9.4 win32-nt 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

pressure and vectors (mag=1.09E-01)



FLOW-3D t=3.9995317 s=1.302E-01 ix=3 to 50 iy=3 to 122
t0=0.0 t1=3.9995317 h=0.0001 hyd3d: version 9.4 win32-nt 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

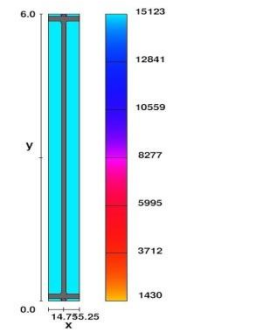
pressure and vectors (mag=5.54E-01)



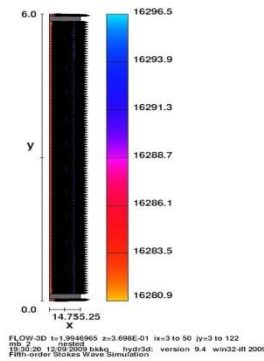
FLOW-3D t=6.002603 s=1.302E-01 ix=3 to 50 iy=3 to 122
t0=0.0 t1=6.002603 h=0.0001 hyd3d: version 9.4 win32-nt 2009
Fifth-order Stokes Wave Simulation

Şekil A.37: xy kesidinde alt uç bölgedeki basınç analizi (1-4).

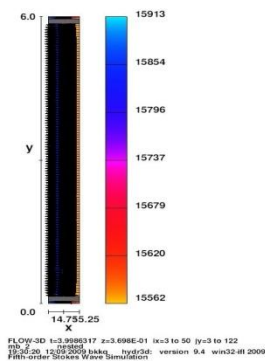
pressure and vectors



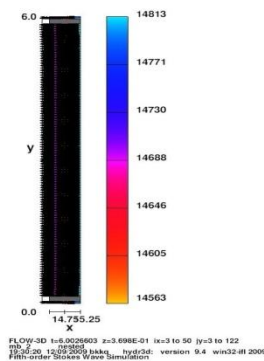
pressure and vectors (mag=1.27E-01)



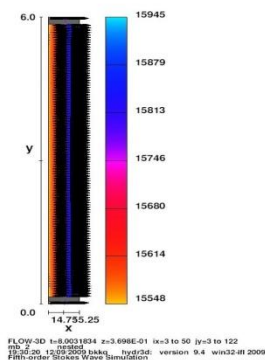
pressure and vectors (mag=1.23E-01)



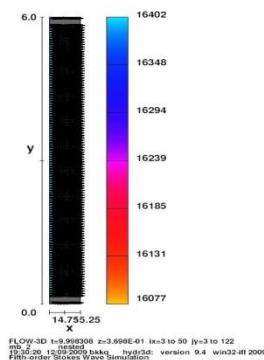
pressure and vectors (mag=4.54E-01)



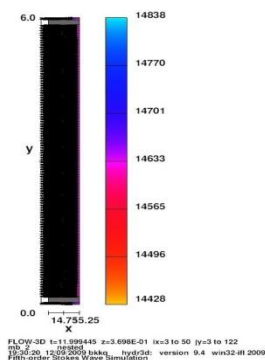
pressure and vectors (mag=2.49E-01)



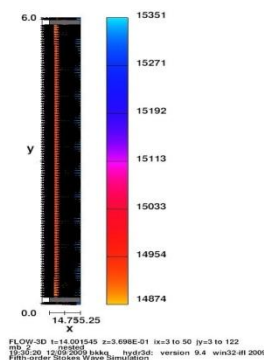
pressure and vectors (mag=3.89E-01)



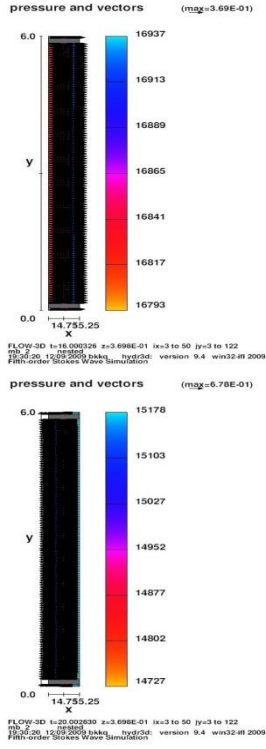
pressure and vectors (mag=5.96E-01)



pressure and vectors (mag=4.70E-01)



Şekil A.39 : xy kesidinde üst uç bölgedeki basınç analizi (1-8).

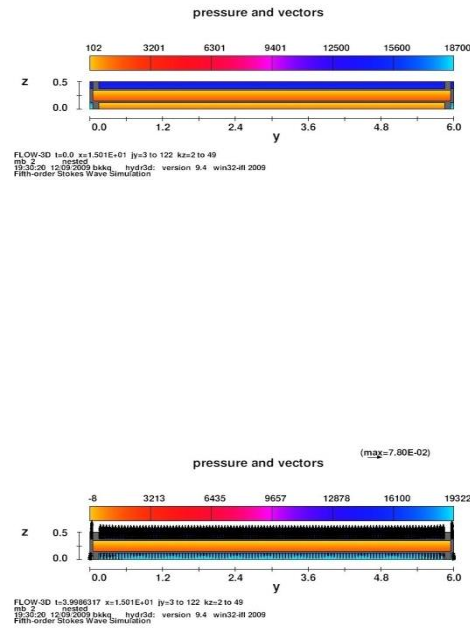


9

10

11

Şekil A.40 : xy kesidinde üst uç bölgedeki basınç analizi (9-11).



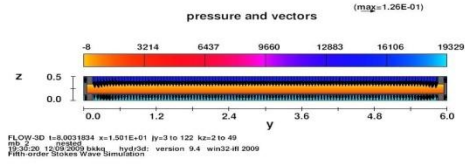
1

2

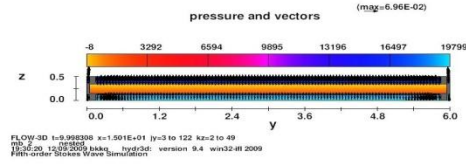
3

4

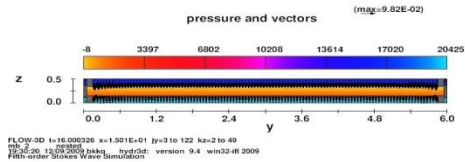
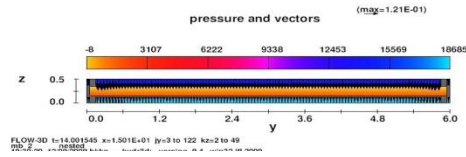
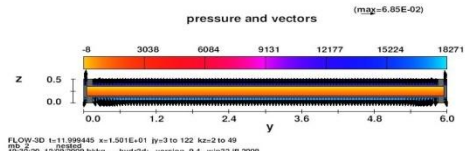
Şekil A.41 : yz kesidinde enine merkez bölgedeki basınç analizi (1-4).



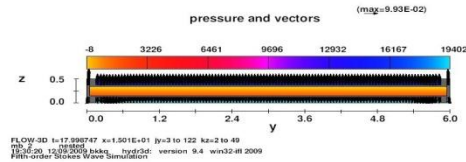
5



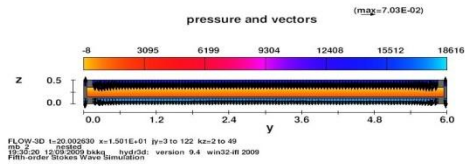
6



9

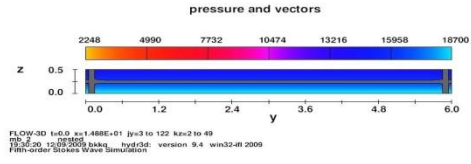


10

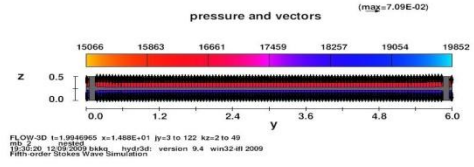


11

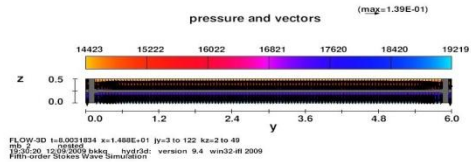
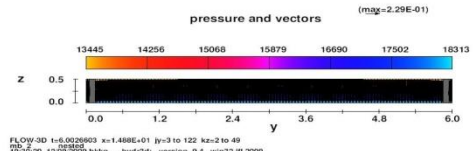
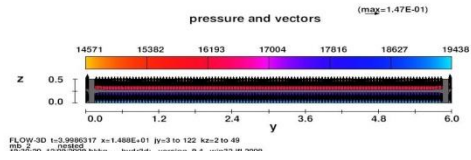
Şekil A.42 : yz kesidinde enine merkez bölgedeki basınç analizi (5-11).



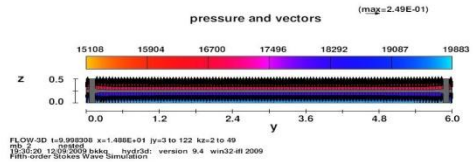
1



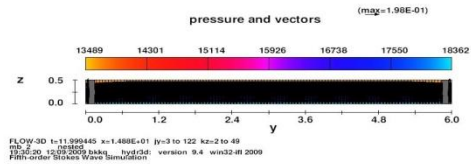
2



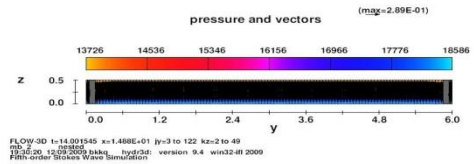
5



6

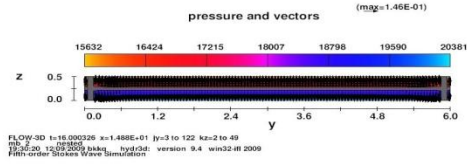


7

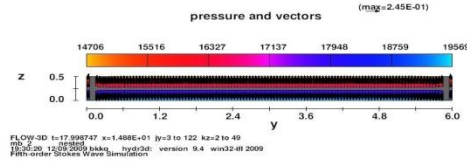


8

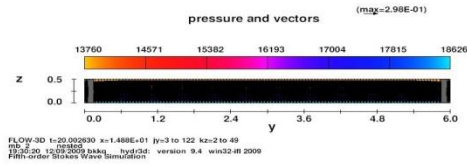
Şekil A.43 : yz kesidinde sol uç bölgedeki basınç analizi (1-8).



9

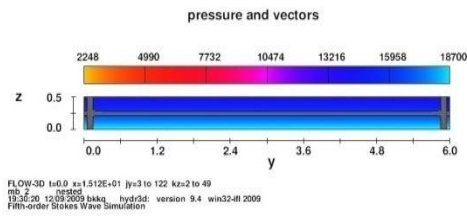


10

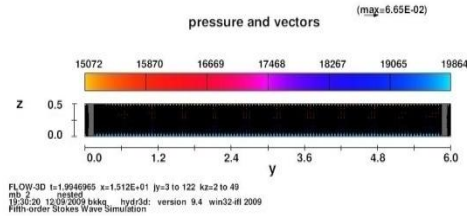


11

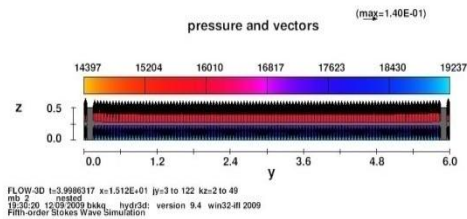
Şekil A.44 : yz kesidinde sol uç bölgedeki basınç analizi (9-11).



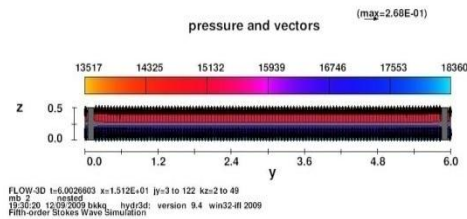
1



2

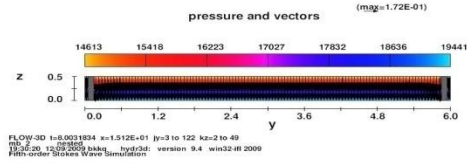


3

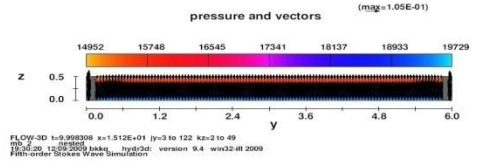


4

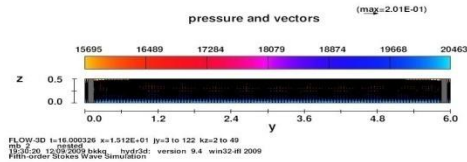
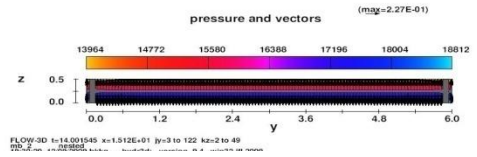
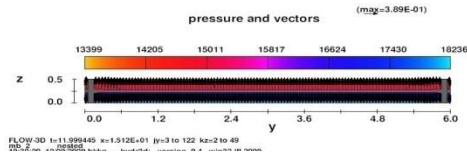
Şekil A.45: yz kesidinde sağ uç bölgedeki basınç analizi (1-4).



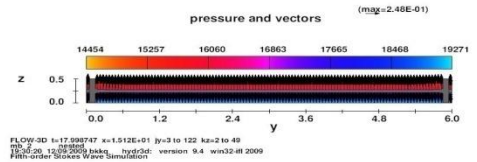
5



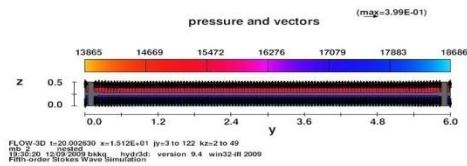
6



9



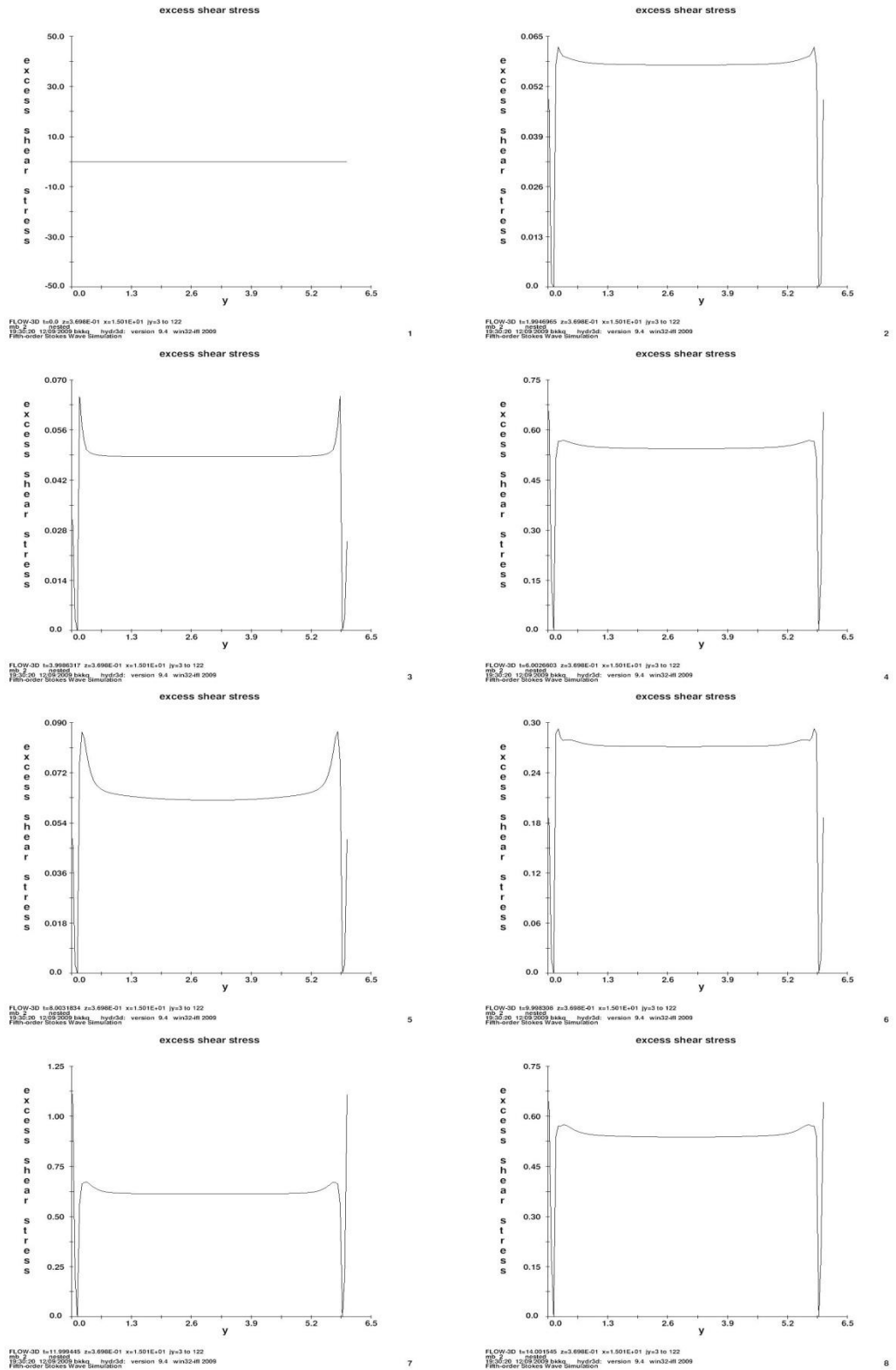
10



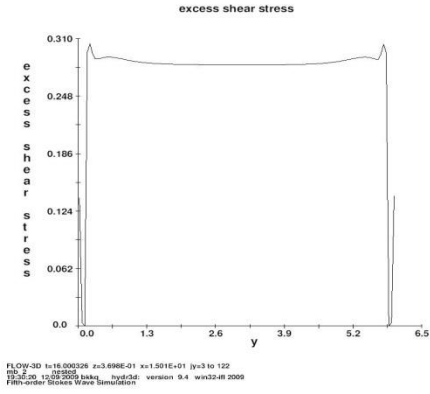
11

Şekil A.46 : yz kesidinde sağ uç bölgedeki basınç analizi (5-11).

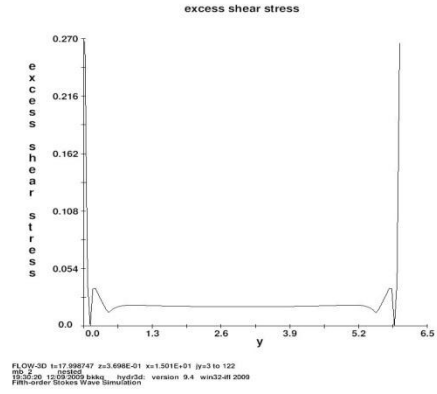
EK – B.1



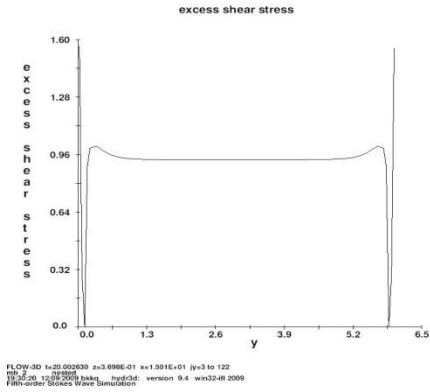
Şekil B.1 : y eksenı boyunca üst uç bölgedeki gerilmeler (1-8).



9

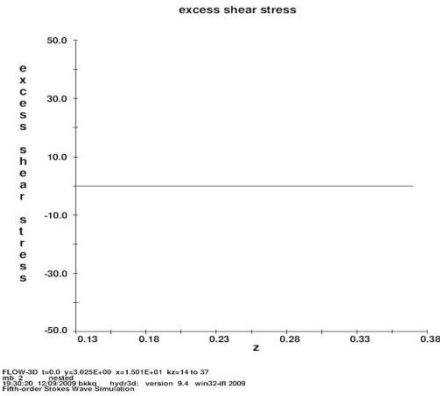


10

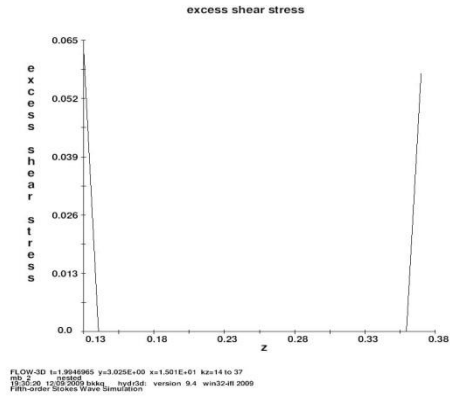


11

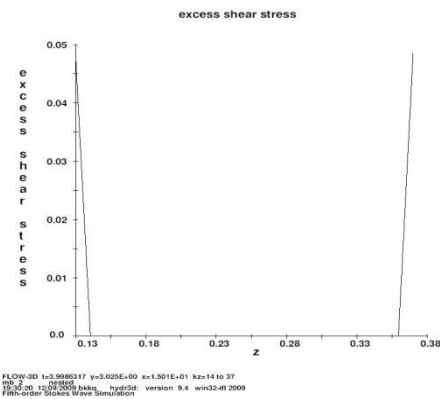
Şekil B.2: y eksenı boyunca üst uç bölgedeki gerilmeler (9-11)



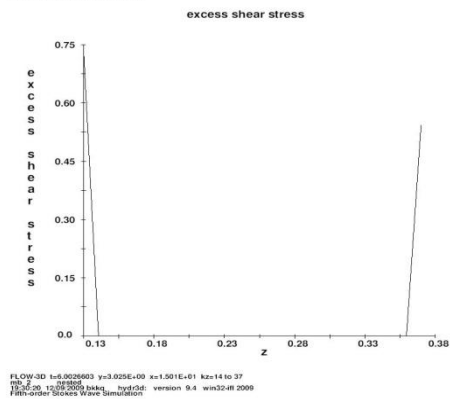
1



2

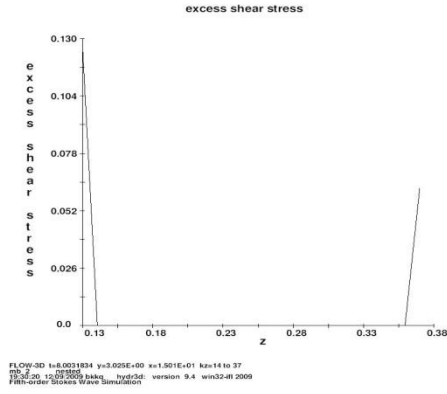


3

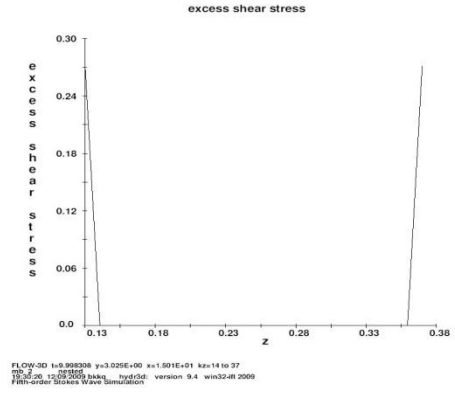


4

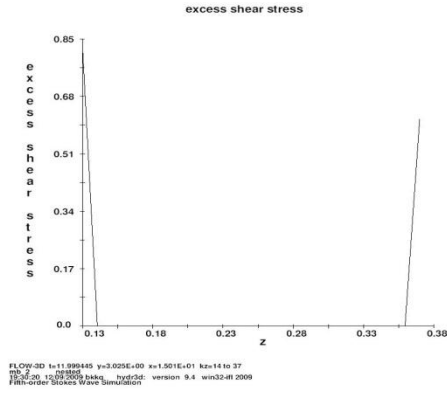
Şekil B.3 : z eksenı boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (1-4).



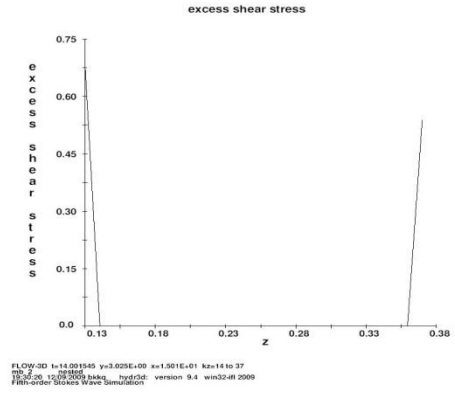
5



6

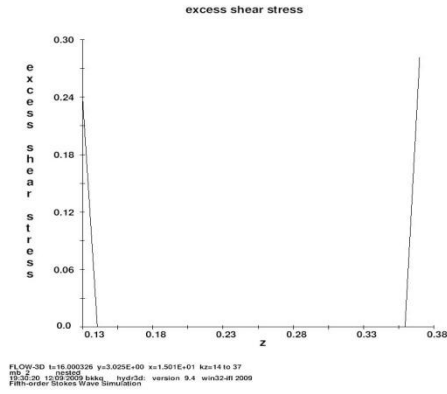


7

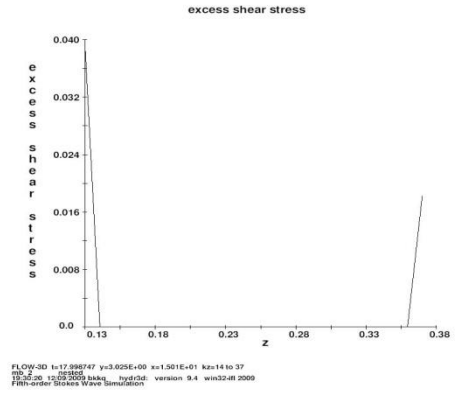


8

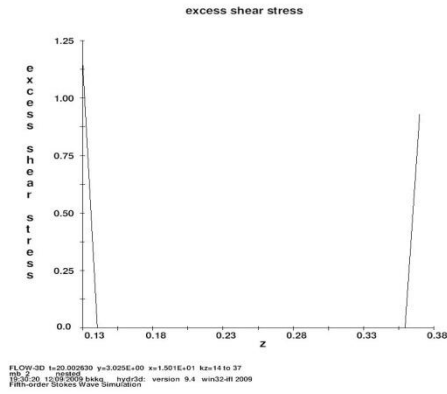
Şekil B.4 : z eksenı boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (5-8).



9

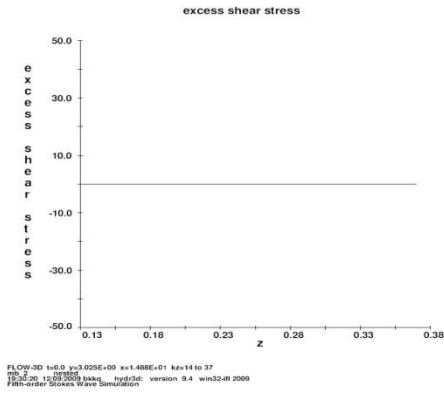


10

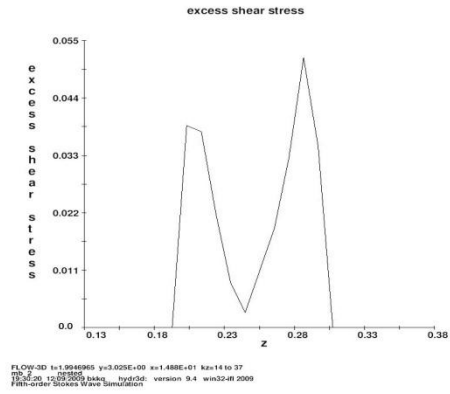


11

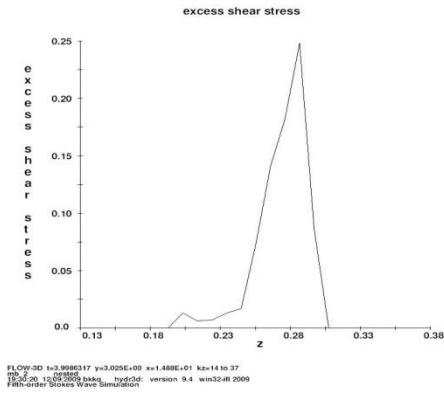
Şekil B.5 : z eksenı boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (9-11).



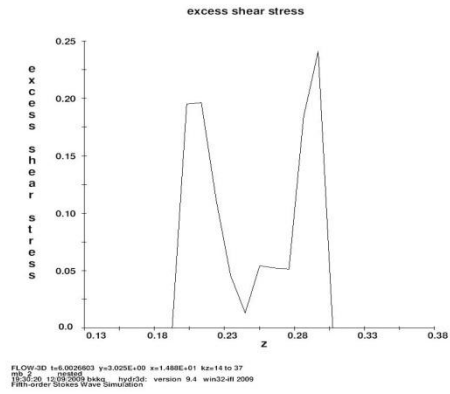
1



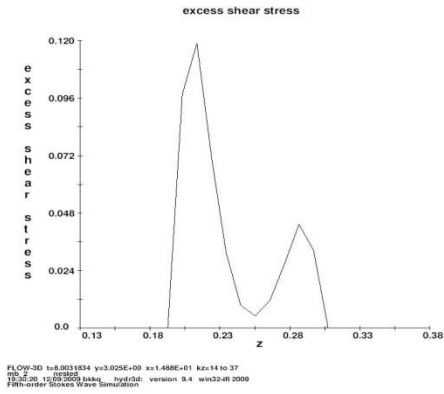
2



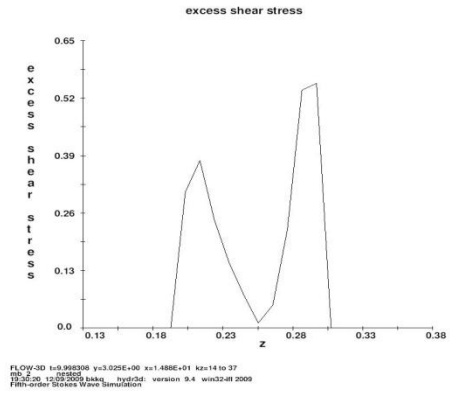
3



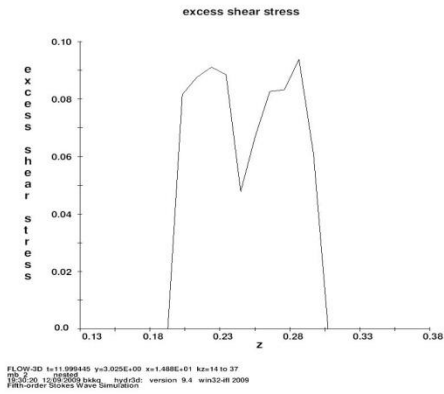
4



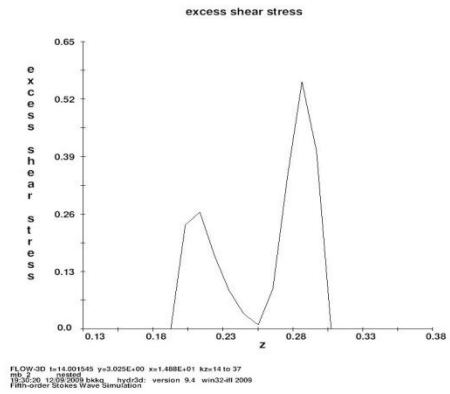
5



6

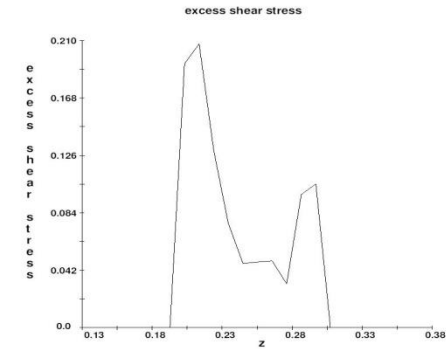


7

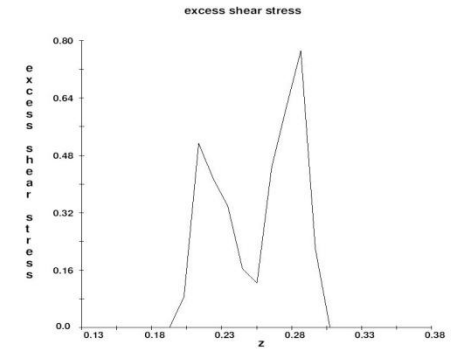


8

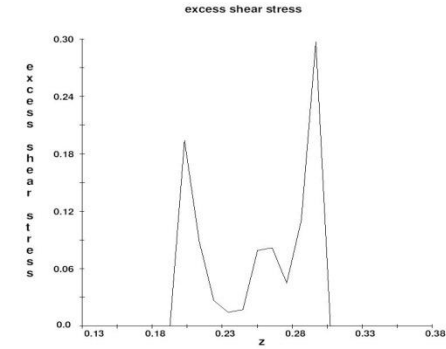
Şekil B.6 : z eksenı boyunca boyuna merkez sol uç bölgedeki gerilmeler (1-8).



9

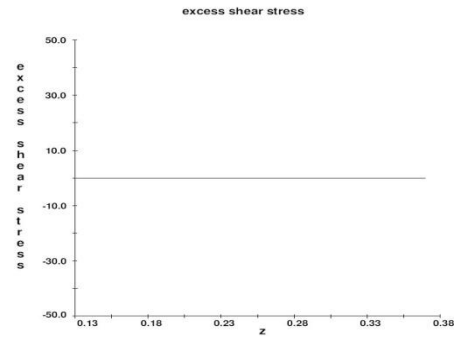


10

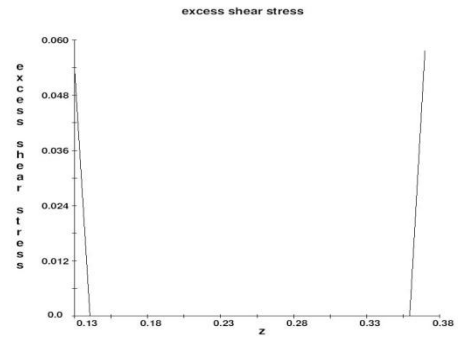


11

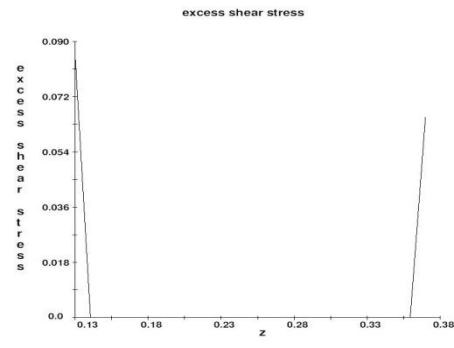
Şekil B.7 : z eksenini boyunca boyuna merkez sol uç bölgedeki gerilmeler (9-11).



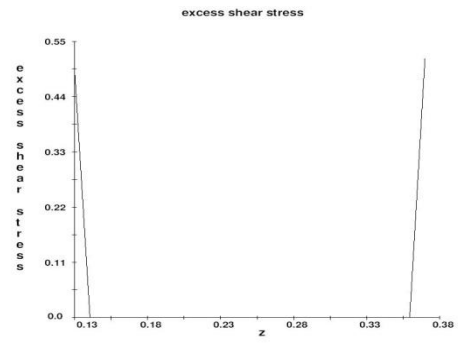
1



2

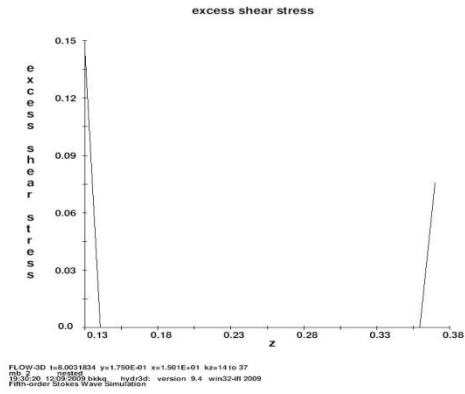


3

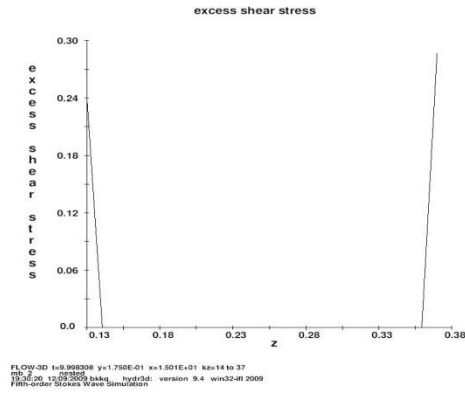


4

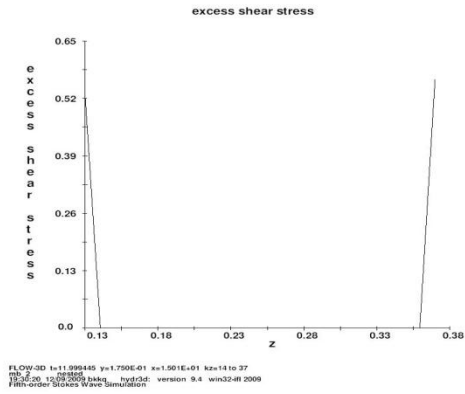
Şekil B.8 : Birinci uç bölgede z eksenini boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (1-4).



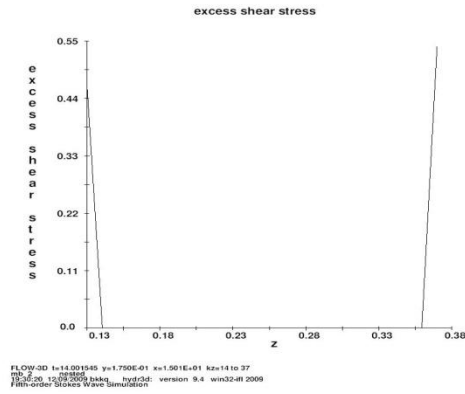
5



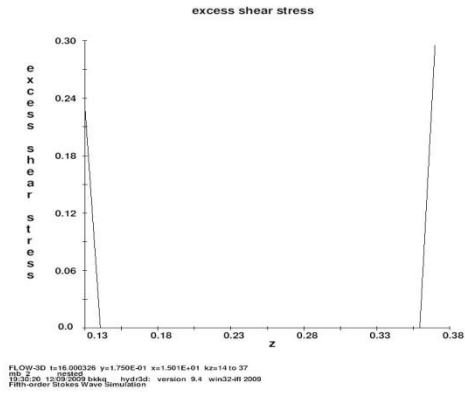
6



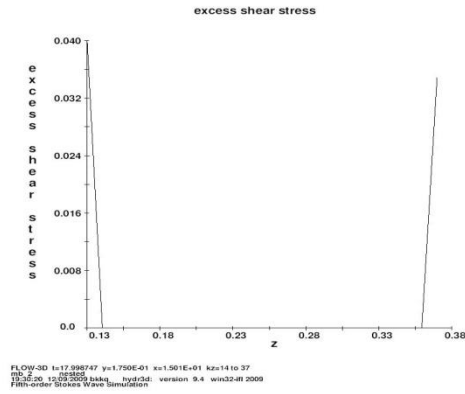
7



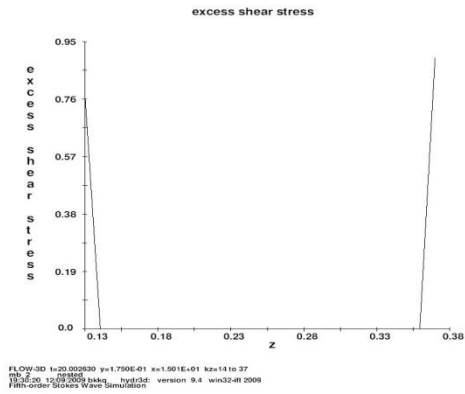
8



9

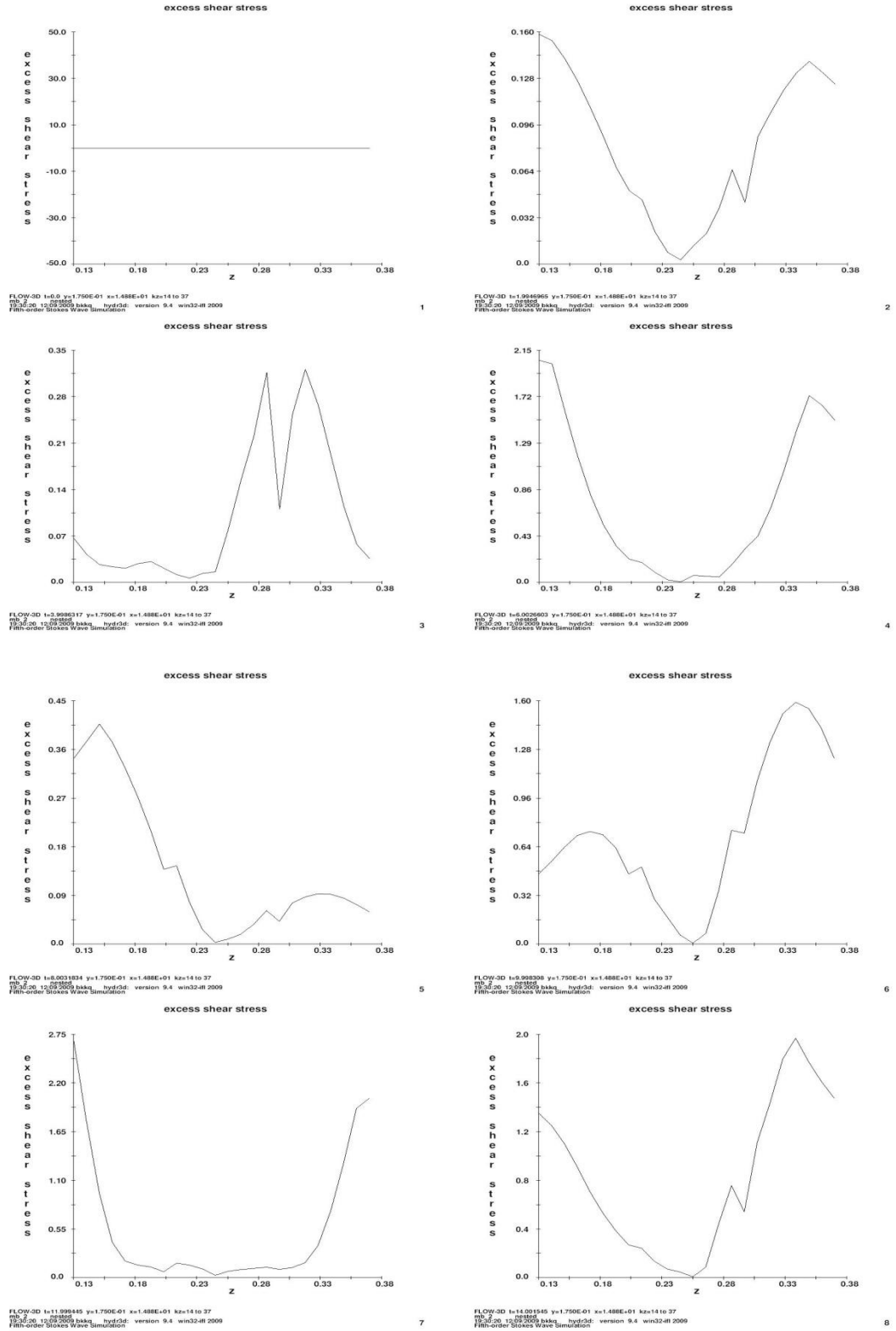


10

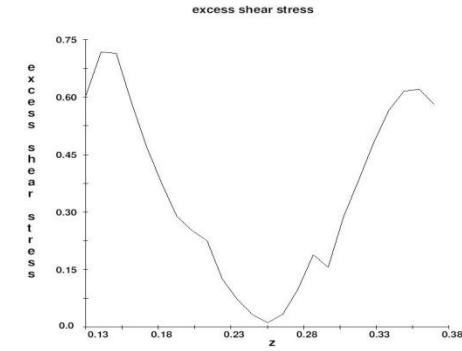


11

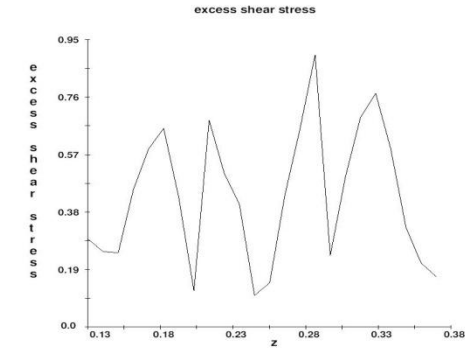
Şekil B.9 : Birinci uç bölgede z eksenı boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (5-11).



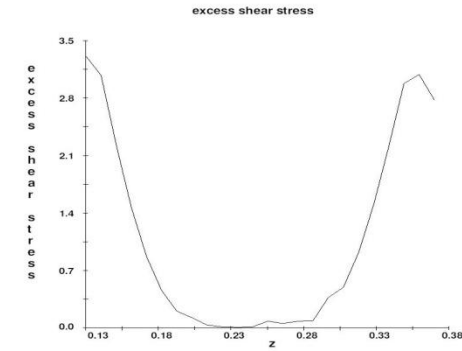
Şekil B.10 : Birinci uç bölgede z eksenı boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler (1-8).



9

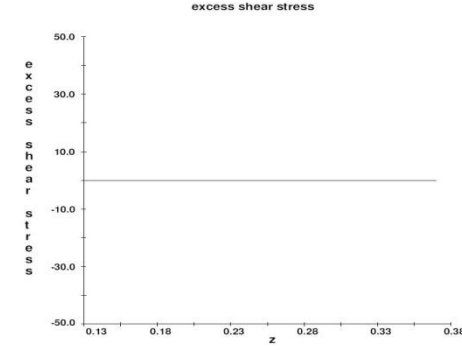


10

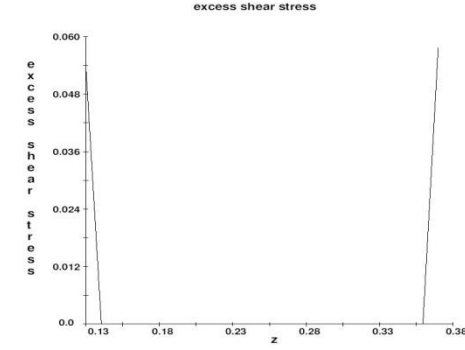


11

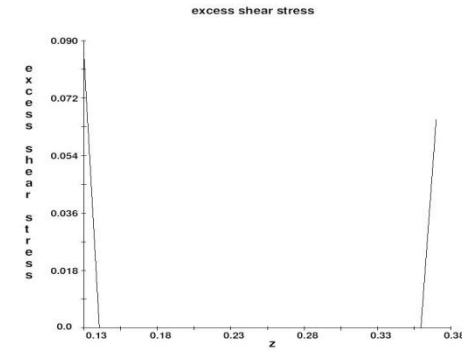
Şekil B.11 : Birinci uç bölgede z eksenı boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler (8-11).



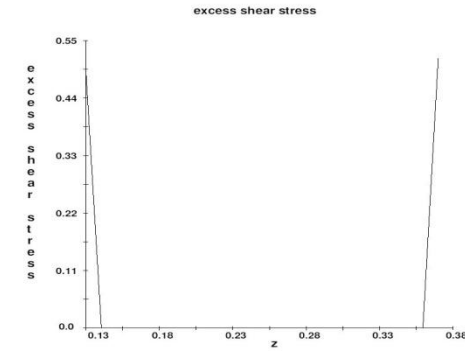
1



2

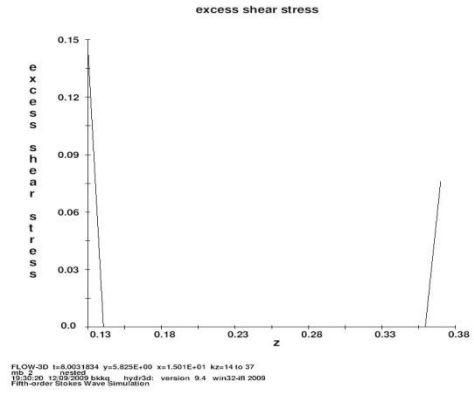


3

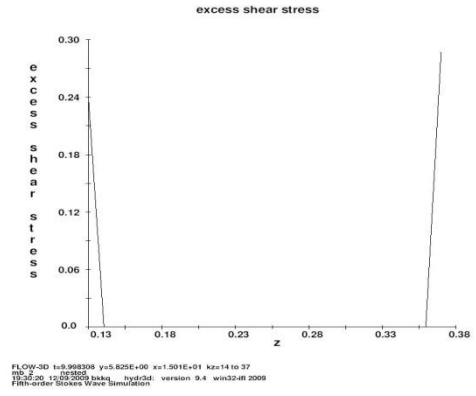


4

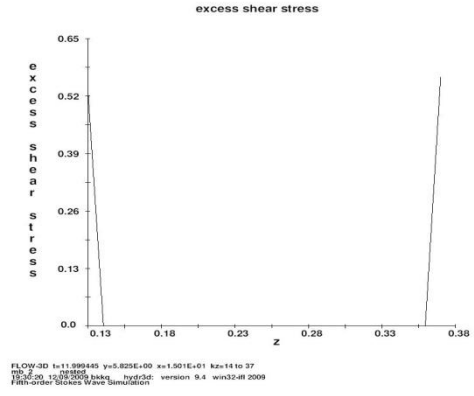
Şekil B.12 : İkinci uç bölgede z eksenı boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (1-4).



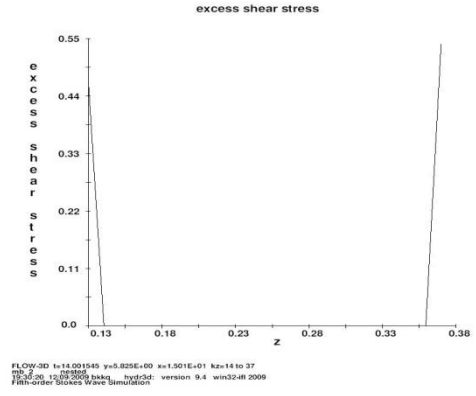
5



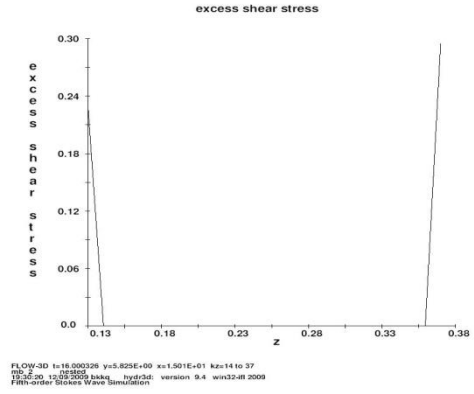
6



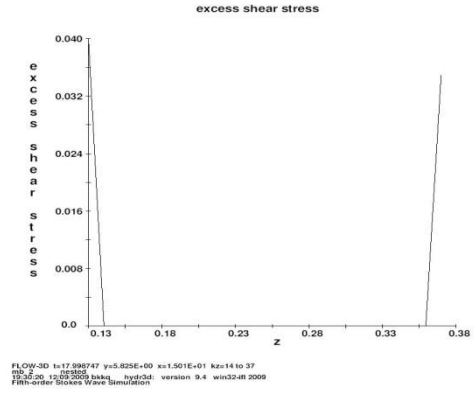
7



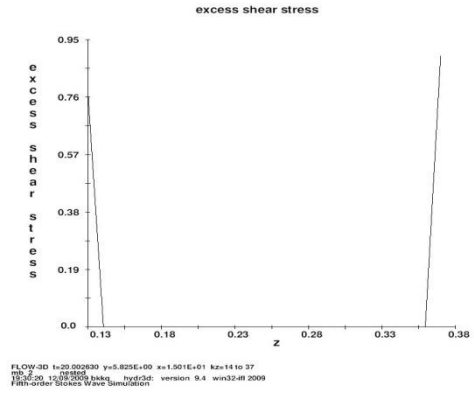
8



9

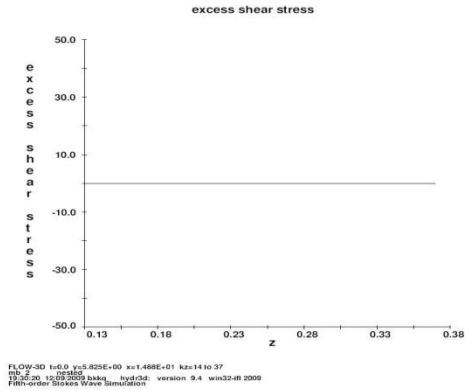


10

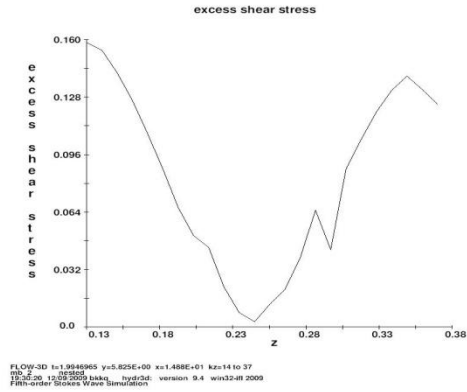


11

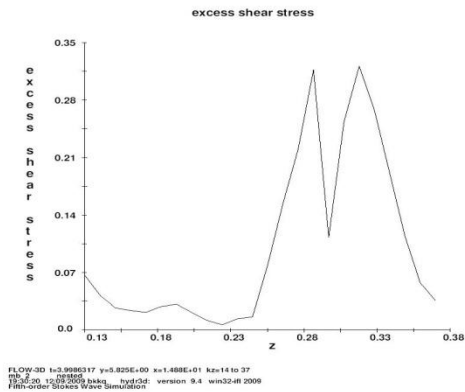
Şekil B.13 : İkinci uç bölgede z eksenı boyunca üst-alt uç bölgedeki gerilmeler (5-11).



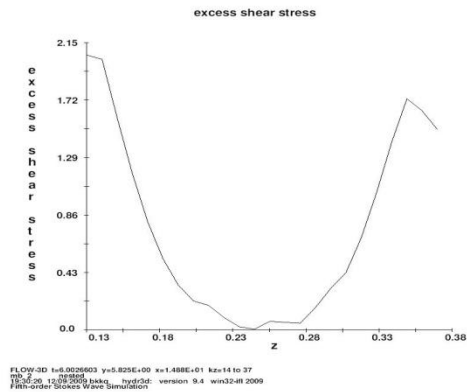
1



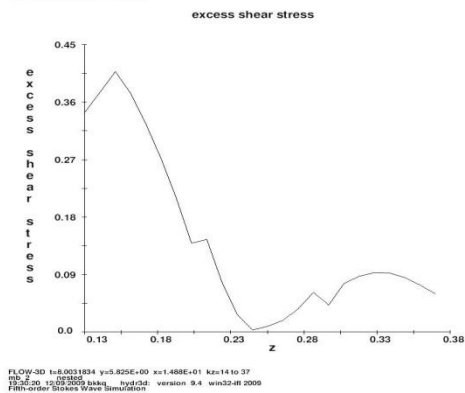
2



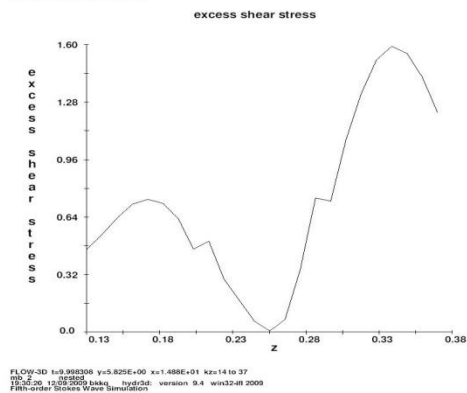
3



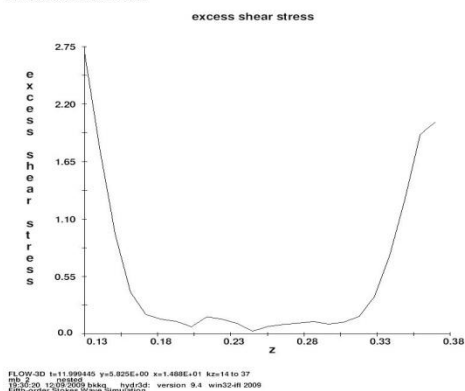
4



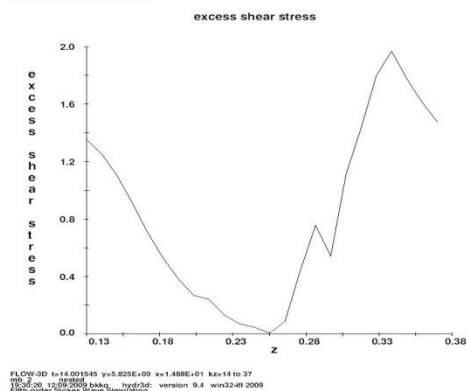
5



6

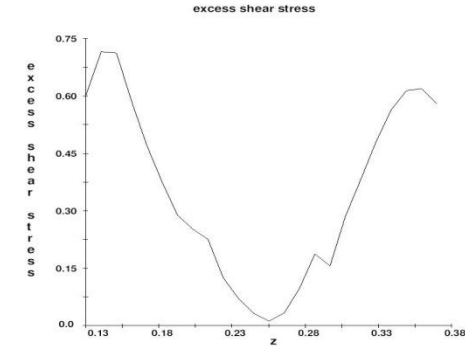


7

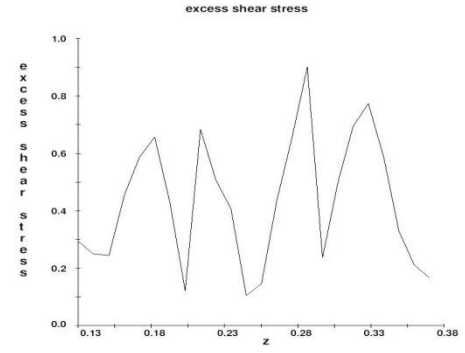


8

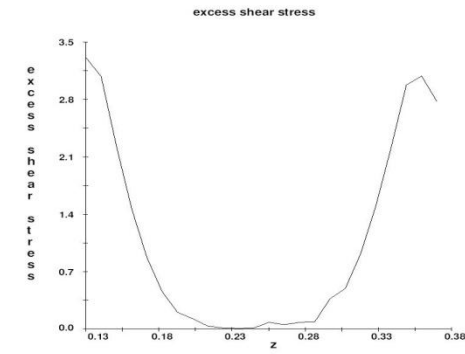
Şekil B.14 : İkinci uç bölgede z eksenı boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler (1-8).



9

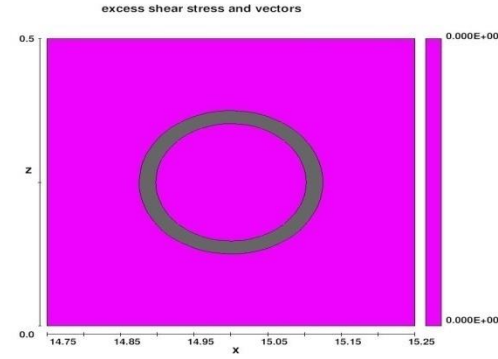


10

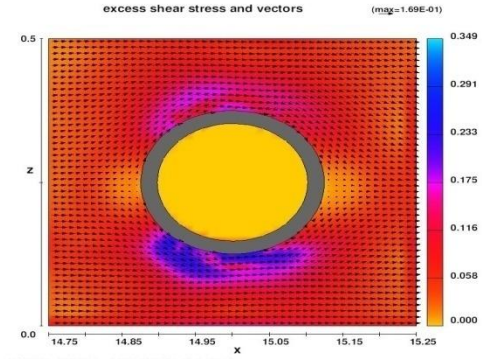


11

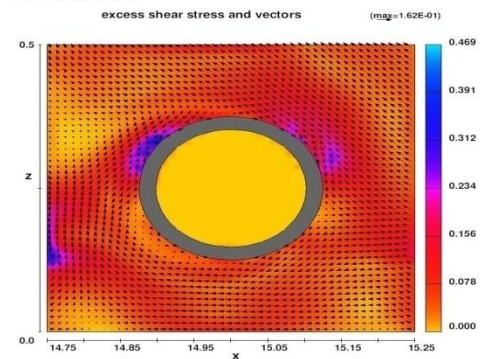
Şekil B.15 : İkinci uç bölgede z eksenı boyunca sol uç bölgedeki gerilmeler (9-11).



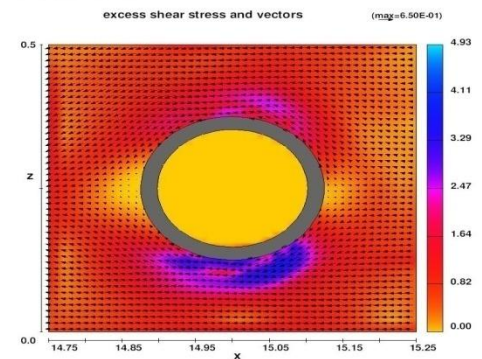
1



2

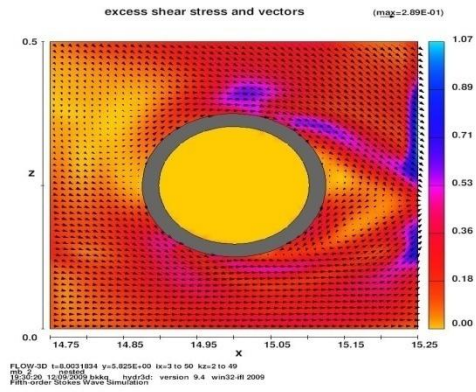


3

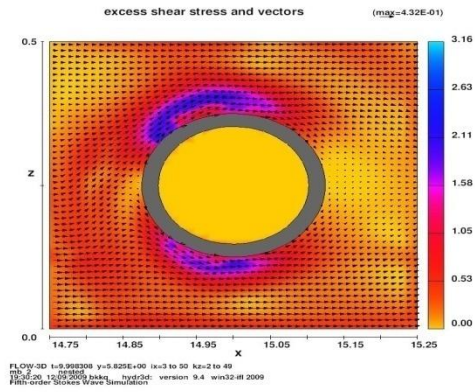


4

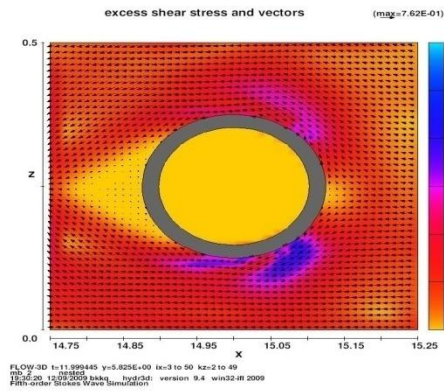
Şekil B.16 : İkinci uç bölgede xz kesidinin gerilme analizi (1-4).



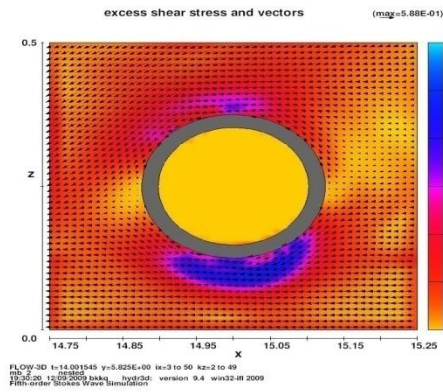
5



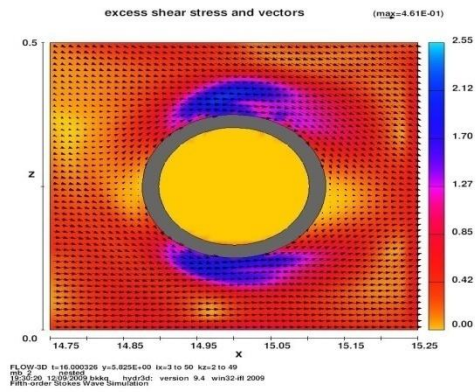
6



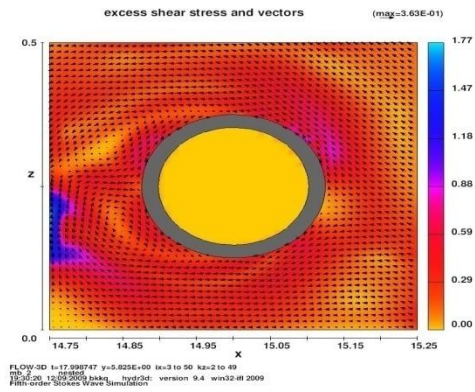
7



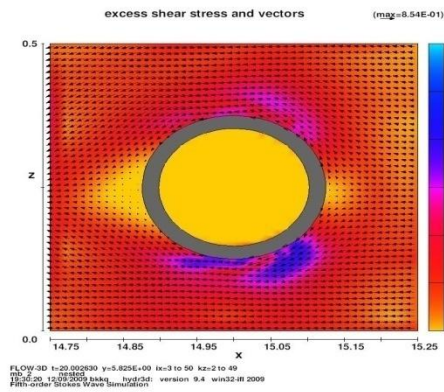
8



9

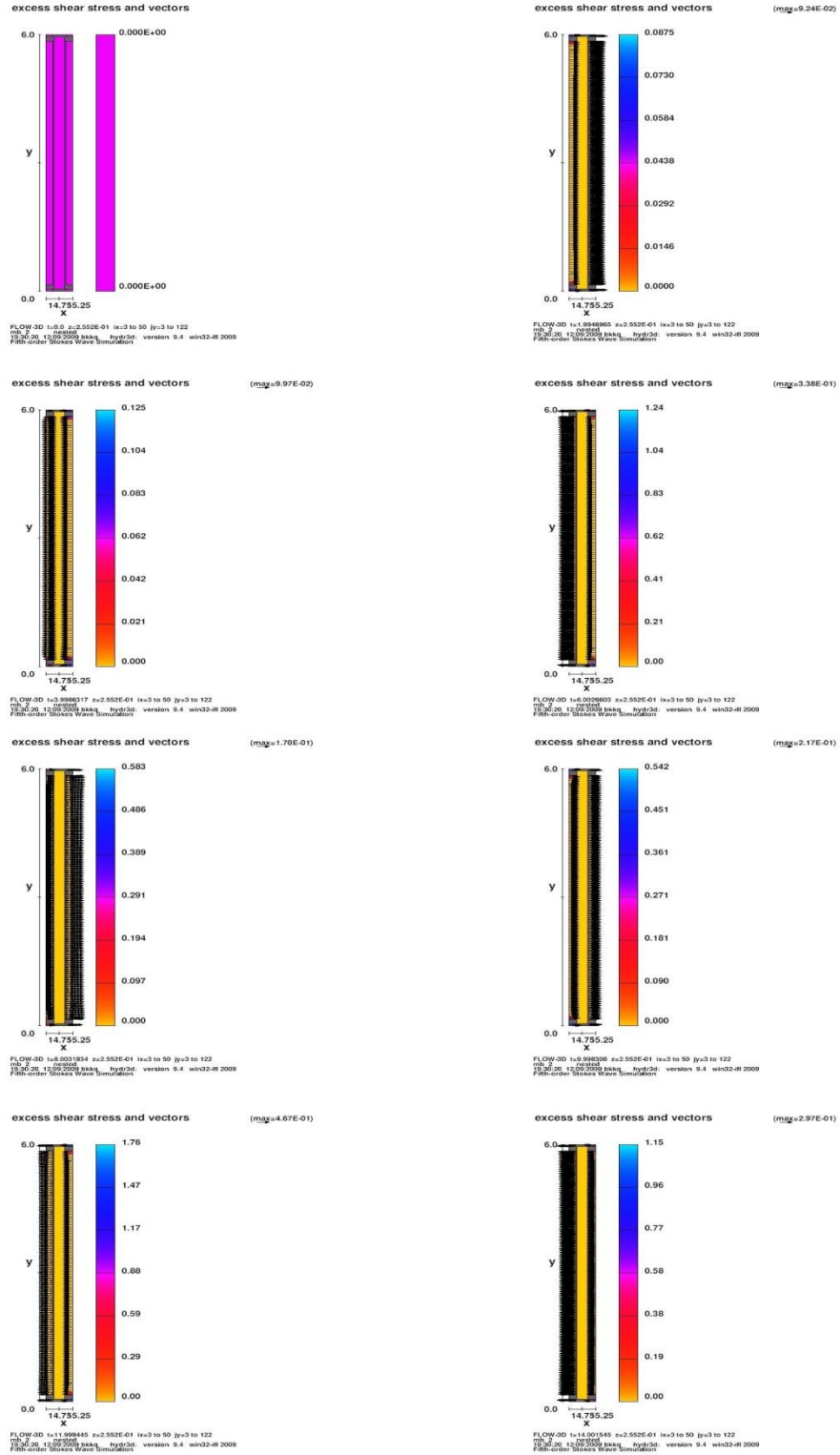


10

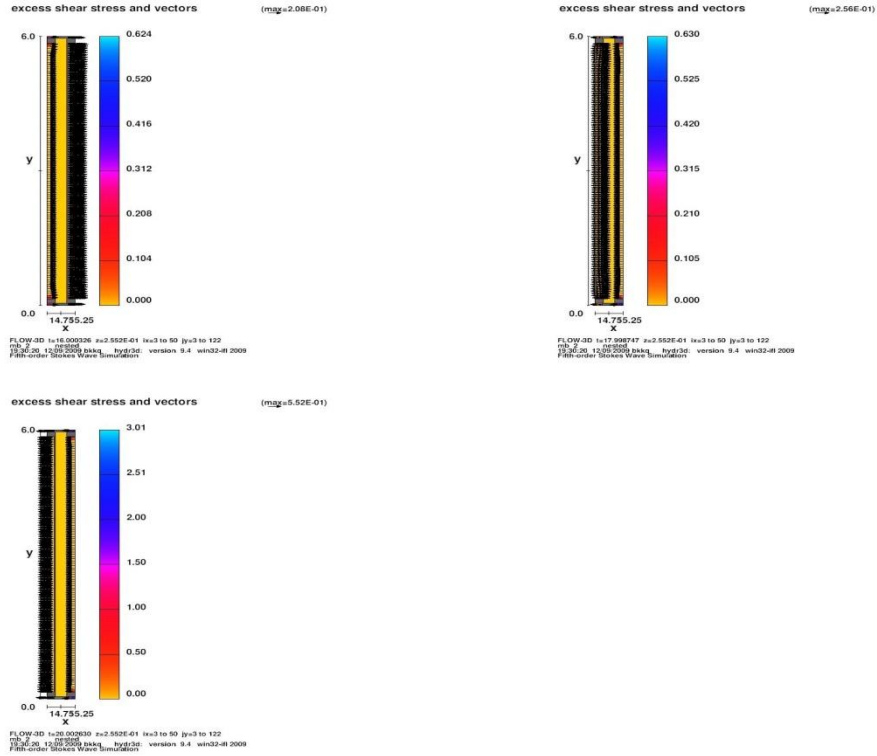


11

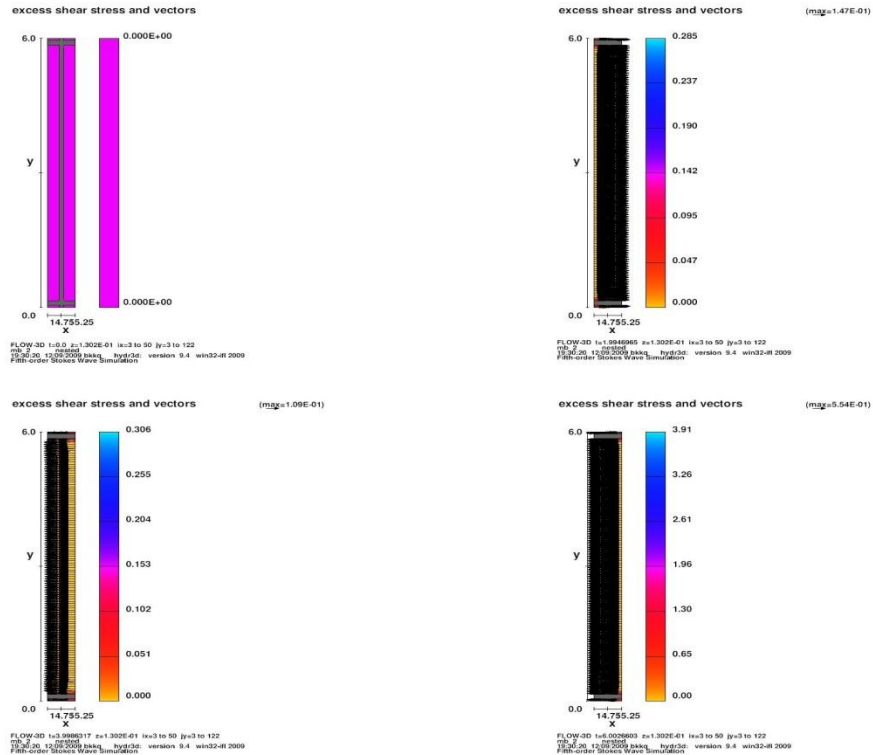
Şekil B.17 : İkinci uç bölgede xz kesidinin gerilme analizi (5-11).



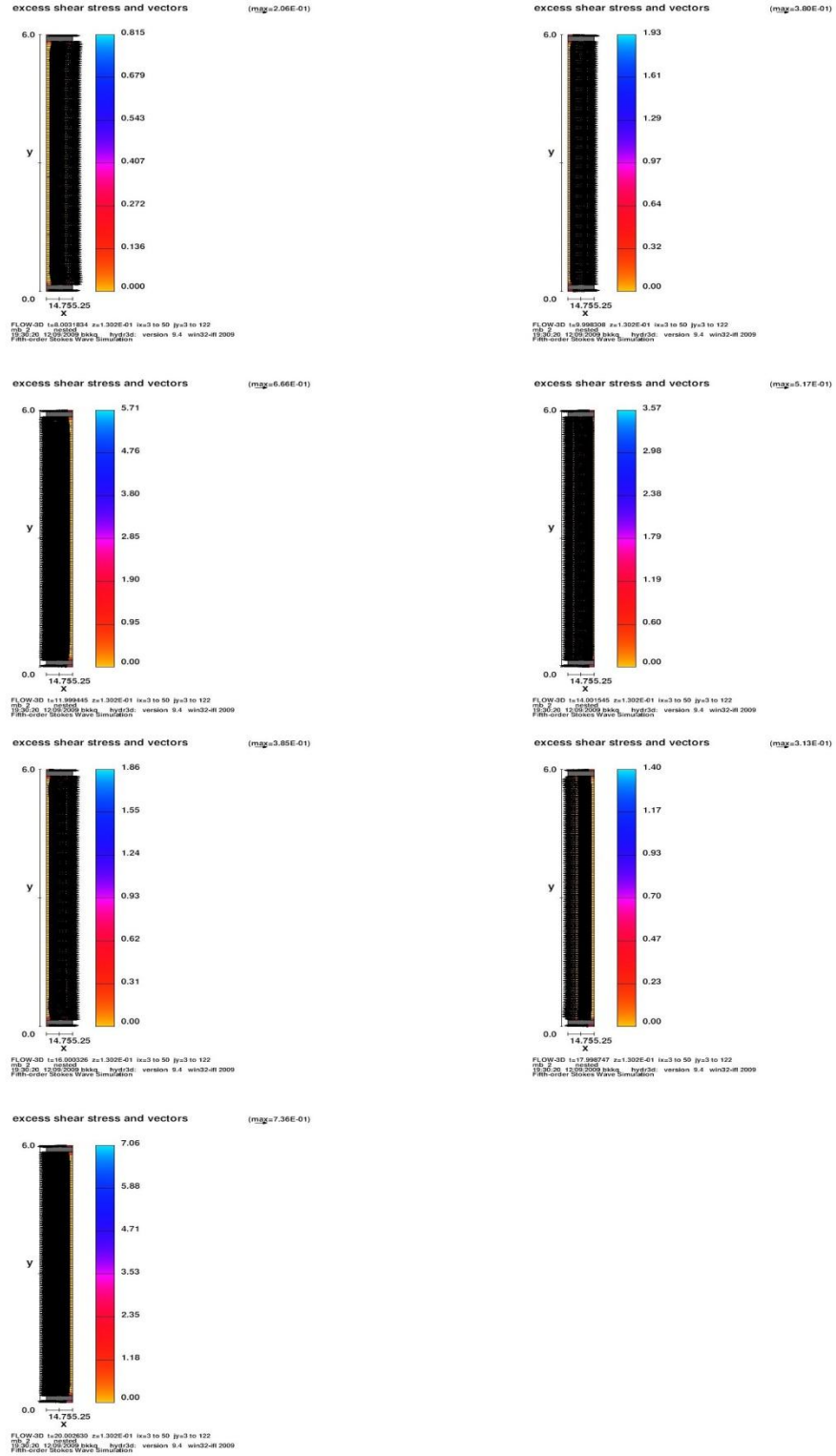
Şekil B.18 : xy kesidinde merkez bölgedeki gerilme analizi (1-8).



ŞEKİL B.19 : xy kesiminde merkez bölgedeki gerilme analizi (9-11).

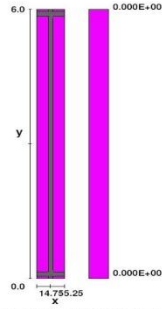


Şekil B.20 : xy kesidinde alt uç bölgedeki gerilme analizi (1-4).



Şekil B.21 : xy kesiminde alt uç bölgedeki gerilme analizi (5-11).

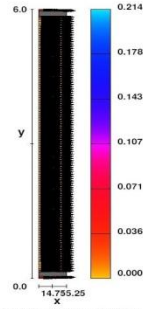
excess shear stress and vectors



FLOW-3D t=0.0 z=3.698E-01 ix=3 to 50 jy=3 to 122
10/26/20 15:00:00 hskt hpyr3d version 9.4 win32-nt 2009
Fish-crater Shock Wave Simulation

excess shear stress and vectors

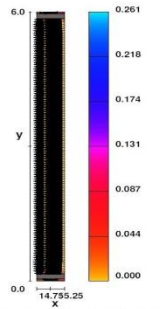
(mag=1.27E-01)



FLOW-3D t=1.9945965 z=3.698E-01 ix=3 to 50 jy=3 to 122
10/26/20 15:00:00 hskt hpyr3d version 9.4 win32-nt 2009
Fish-crater Shock Wave Simulation

excess shear stress and vectors

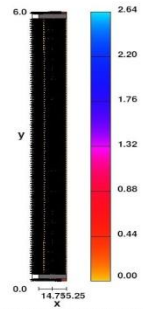
(mag=1.23E-01)



FLOW-3D t=3.3998517 z=3.698E-01 ix=3 to 50 jy=3 to 122
10/26/20 15:00:00 hskt hpyr3d version 9.4 win32-nt 2009
Fish-crater Shock Wave Simulation

excess shear stress and vectors

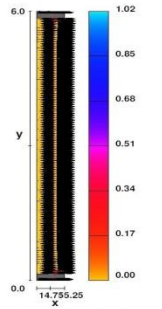
(mag=4.54E-01)



FLOW-3D t=5.9945953 z=3.698E-01 ix=3 to 50 jy=3 to 122
10/26/20 15:00:00 hskt hpyr3d version 9.4 win32-nt 2009
Fish-crater Shock Wave Simulation

excess shear stress and vectors

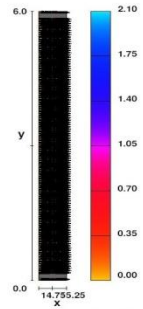
(mag=2.49E-01)



FLOW-3D t=8.0031834 z=3.698E-01 ix=3 to 50 jy=3 to 122
10/26/20 15:00:00 hskt hpyr3d version 9.4 win32-nt 2009
Fish-crater Shock Wave Simulation

excess shear stress and vectors

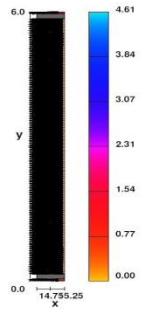
(mag=3.89E-01)



FLOW-3D t=8.2883308 z=3.698E-01 ix=3 to 50 jy=3 to 122
10/26/20 15:00:00 hskt hpyr3d version 9.4 win32-nt 2009
Fish-crater Shock Wave Simulation

excess shear stress and vectors

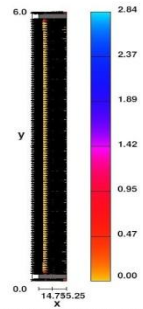
(mag=5.96E-01)



FLOW-3D t=11.999445 z=3.698E-01 ix=3 to 50 jy=3 to 122
10/26/20 15:00:00 hskt hpyr3d version 9.4 win32-nt 2009
Fish-crater Shock Wave Simulation

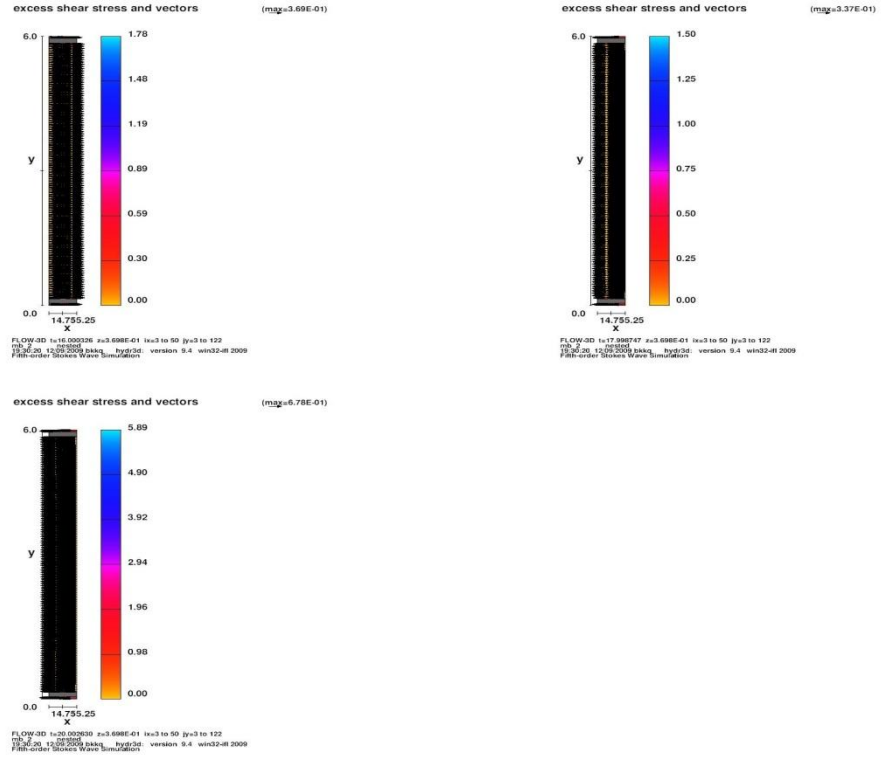
excess shear stress and vectors

(mag=4.70E-01)

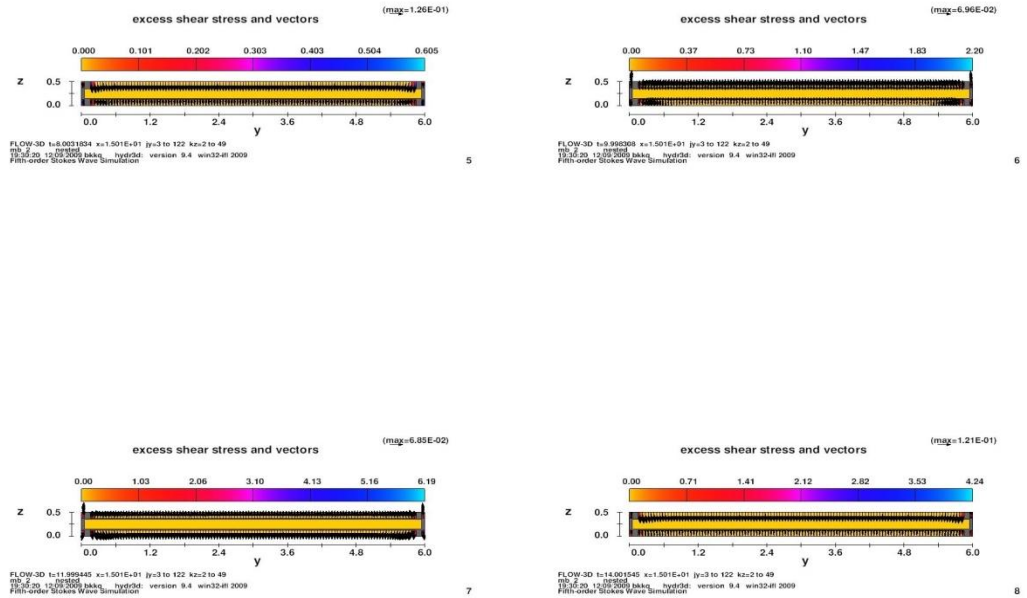


FLOW-3D t=11.999445 z=3.698E-01 ix=3 to 50 jy=3 to 122
10/26/20 15:00:00 hskt hpyr3d version 9.4 win32-nt 2009
Fish-crater Shock Wave Simulation

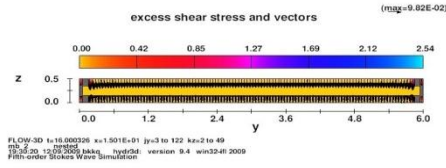
Şekil B.22 : xy kesidinde üst uç bölgedeki gerilme analizi (1-8).



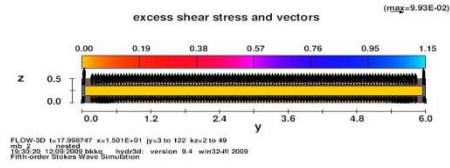
Şekil B.23 : xy kesidinde üst uç bölgedeki gerilme analizi (9-11).



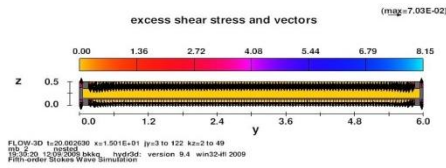
Şekil B.24 : yz kesidinde merkez bölgedeki gerilme analizi (1-8).



9

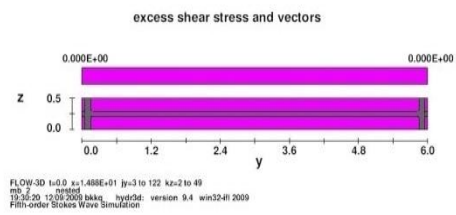


10

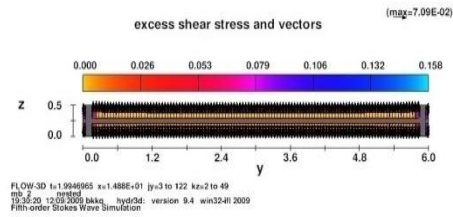


11

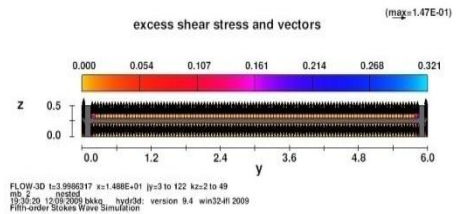
Şekil B.25 : yz kesidinde merkez bölgedeki gerilme analizi (9-11).



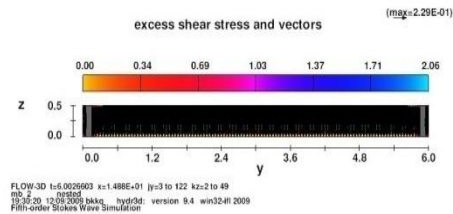
1



2

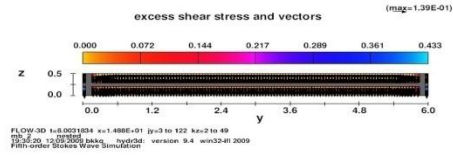


3

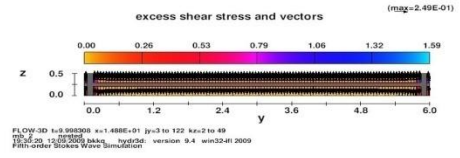


4

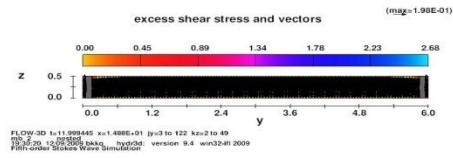
Şekil B.26 : yz kesidinde sol uç bölgedeki gerilme analizi (1-4).



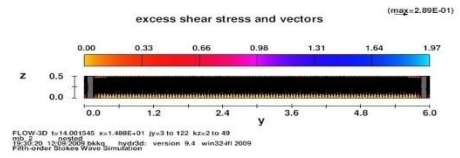
5



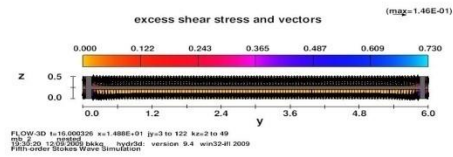
6



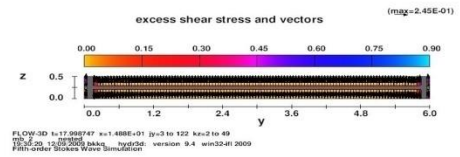
7



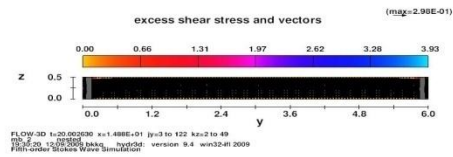
8



9



10

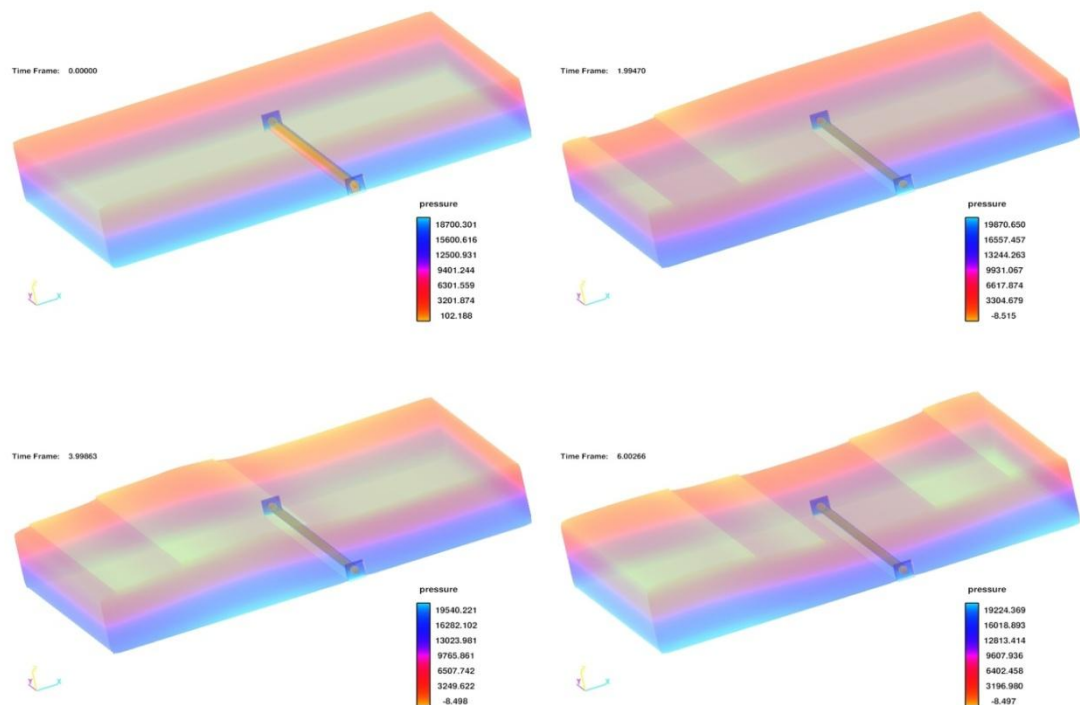


11

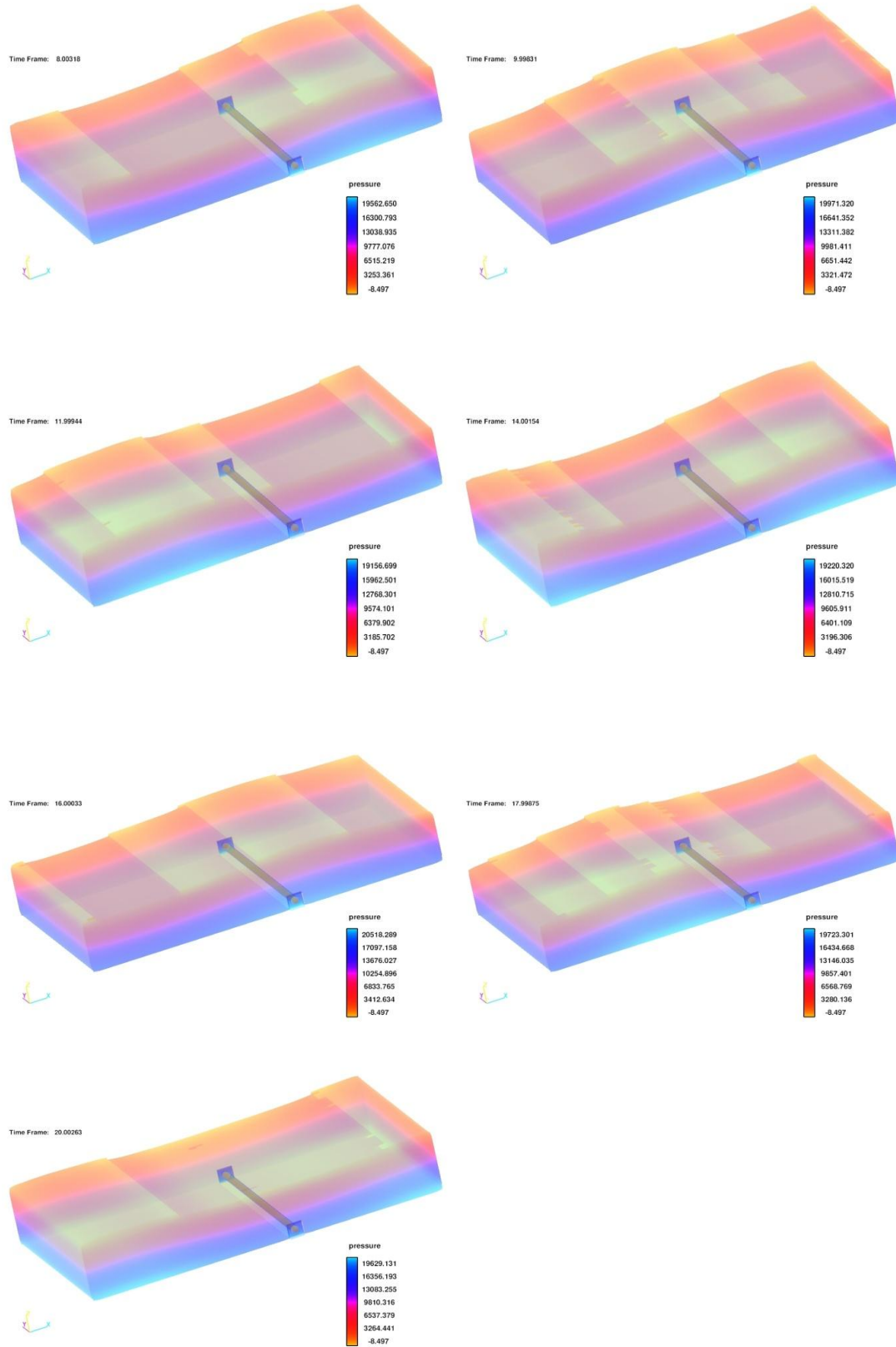
Şekil B.27 : yz kesidinde sol uç bölgedeki gerilme analizi (5-11).



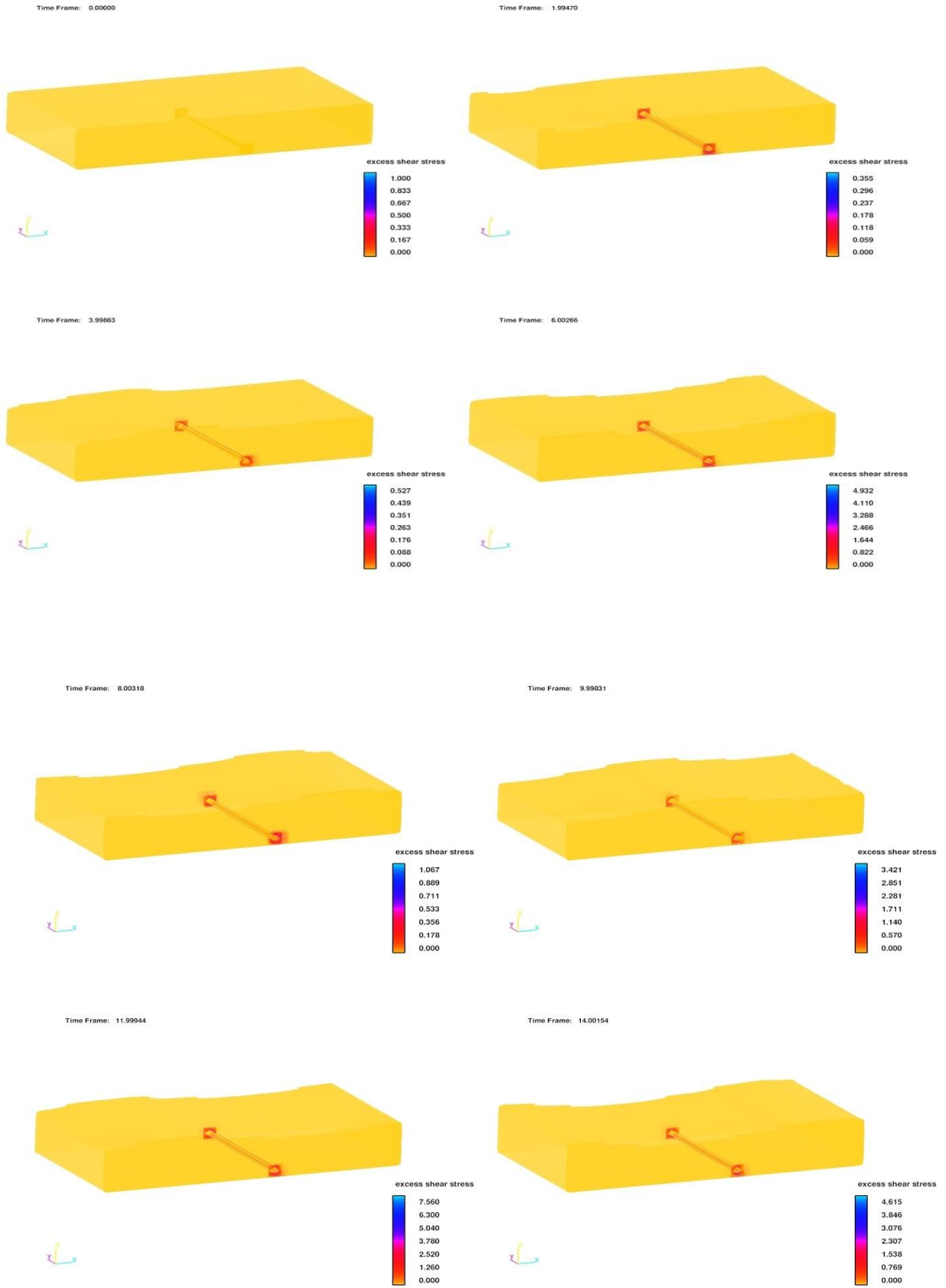
Şekil B.29 : yz kesidinde sağ uç bölgedeki gerilme analizi (9-11).



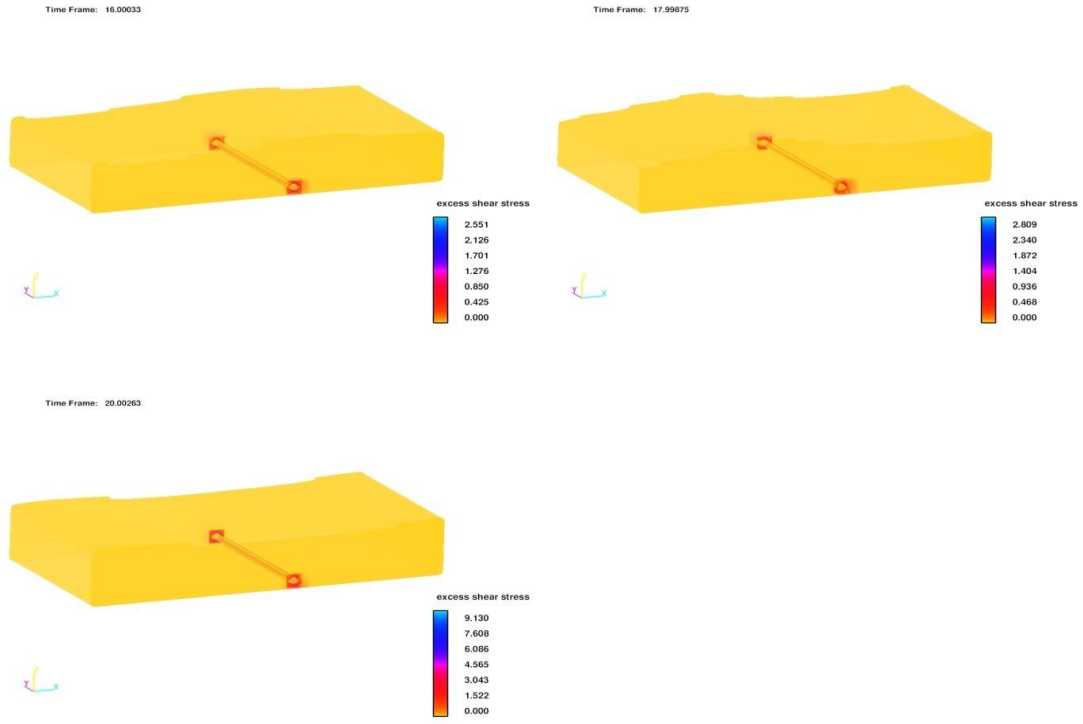
Şekil B.30 : 0-6 sn aralığında basınç değişimi.



Şekil B.31 : 16-20 sn aralığında basınç değişimi.



Şekil B.32 : 0-14 sn aralığında gerilme değişimi.



Şekil B.33 : 14-20 sn aralığında gerilme değişimi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Rıdvan Fırat Bayhan
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 03.02.1981
Adres: Yeniköy Sait Halim Paşa Cad. No:73
Sarıyer/İSTANBUL
Lisans Üniversitesi: Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü,İTÜ İstanbul