

Nehirlerde Köprü Yan Ayakları Sebebiyle Oluşan Daralmanın Oyulma ve Akım Karakteristiklerine Etkisi ve Oyulmayı Azaltıcı Düzeneklerin Araştırılması

Program Kodu: 3501

Proje No: 111M377

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Mete Köken

MAYIS 2014
ANKARA

ÖNSÖZ

Köprü yan ayağı etrafında oluşan oyulmanın büyüklüğü ve biçiminin tespiti köprünün ekonomik ve güvenli dizayn edilebilmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Özellikle dar nehirlerde, nehrin iki yakasındaki köprü yan ayakları nehir kesitini daha da daraltarak oyulmanın şekli ve büyüklüğünü etkilemektedir. Köprü yan ayakları birbirlerine yaklaştıkça; bu yapıların etrafında oluşan atnalı vorteks sistemleri ve ayrışmış kesme tabakası içerisinde akım yönünde ilerleyen vorteks tüpleri de birbirleriyle etkileşebilmektedir. Bu noktada literatürde tekil bir köprü yan ayağı için elde edilmiş olan bilgiler yetersiz kalmaktadır. Mevcut Proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
TABLO ve ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÖZET.....	1
ABSTRACT	2
1-GİRİŞ	3
2-GENEL BİLGİLER.....	4
3-GEREÇ ve YÖNTEM	6
3.1 Deney Düzenineğinin Hazırlanması ve Ön Deneyler	6
3.2 Hız Ölçüm Deneyleri.....	8
3.3 Batimetri Ölçüm Deneyleri.....	10
3.4 Zamana Bağlı Oyulma Deneyleri.....	35
3.5 Yatay Plakalı Deneyler	42
3.6 Zamana Bağlı Plakalı Oyulma Deneyleri.....	49
3.7 Düz Zemin Koşullarında Yapılan Benzetimler	55
3.7.1 Sayısal Model	55
3.7.2 Benzetim Sonuçlarının Doğrulanması	56
3.7.3 Ayak Etrafındaki Akım Yapıları ve Ayrışmış Kesme Tabakası	61
3.7.4 Ayak Etrafında Zemindeki Sürtünme Gerilmesi ve Basınç Çalkantısı Dağılımı	64
3.8 Aşınmış Zemin Koşullarında Yapılan Benzetimler	66
3.8.1 Ayak Etrafındaki Akım Yapıları ve Ayrışmış Kesme Tabakası	66
3.8.2 Ayak Etrafında Zemindeki Sürtünme Gerilmesi ve Basınç Çalkantısı Dağılımı	69
4-SONUÇ	71
REFERANSLAR.....	73
EK A	74

TABLO VE ŞEKİL LİSTESİ

Tablo 2.1 Deneylerde kullanılacak köprü yan ayağı uzunlukları ve bunlara karşılık gelen daralma oranları.	5
Tablo 3.1 Ayaklar için deneylerden elde edilen parametreler	31
Tablo 3.2 Yatay plakalı deneylerde kullanılan boyutlar	43
Şekil 1.1 a) Deney düzeneğinin üstten görünümü ve hesaplamalarda kullanılan boyutlar, b) Köprü yan ayağı etrafındaki akımda mevcut olan başlıca yapılar.	4
Şekil 2.1 Deneylerde kullanılan ADV cihazı.	5
Şekil 2.2 Ultrasonik batimetri belirleme cihazı.	6
Şekil 3.1 Sediman kanalı genel görünümü ve sediman hazmesi dışındaki bölgede uygulanan taban pürüzlülüğü.....	6
Şekil 3.2 Eğimli yüzeyli köprü yan ayağı modeli üstten görünüş (sol) ve kesit görünüşleri (sağ). (Uzunluklar santimetre cinsinden verilmiştir.).....	7
Şekil 3.3 Düz zemin deneyleri için hazırlanan eğimli yüzeyli köprü yan ayağı modeli ($L_a= 12.8$ cm)	8
Şekil 3.4 ADV cihazı ile yapılan hız ölçüm noktalarının plan görünümü	9
Şekil 3.5 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, ayak etrafında $z/D=0.1$ derinliğinde ortalama akım için deneysel olarak elde edilen eksenel hız değerleri ve akım çizgileri.....	9
Şekil 3.6 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, ayak etrafında $z/D=0.5$ derinliğinde ortalama akım için deneysel olarak elde edilen eksenel hız değerleri ve akım çizgileri.....	9
Şekil 3.7 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, ayak etrafında $z/D=0.1$ derinliğinde deneysel olarak elde edilen türbülans kinetik enerjisi dağılımı.....	10
Şekil 3.8 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, ayak etrafında $z/D=0.5$ derinliğinde deneysel olarak elde edilen türbülans kinetik enerjisi dağılımı.....	10
Şekil 3.9 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterni.	11
Şekil 3.10 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	13
Şekil 3.11 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	14
Şekil 3.12 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	15

Şekil 3.13 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	16
Şekil 3.14 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	17
Şekil 3.15 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	18
Şekil 3.16 Daralma oranı $2L/W=0.252$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	19
Şekil 3.17 Daralma oranı $2L/W=0.252$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	20
Şekil 3.18 Daralma oranı $2L/W=0.252$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	21
Şekil 3.19 Daralma oranı $2L/W=0.319$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	22
Şekil 3.20 Daralma oranı $2L/W=0.319$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	23
Şekil 3.21 Daralma oranı $2L/W=0.319$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	24
Şekil 3.22 Daralma oranı $2L/W=0.385$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	25
Şekil 3.23 Daralma oranı $2L/W=0.385$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	26
Şekil 3.24 Daralma oranı $2L/W=0.385$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	27
Şekil 3.25 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	28

Şekil 3.26 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	29
Şekil 3.27 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.....	30
Şekil 3.28 Maksimum oyulma noktasının yerinin r ve α 'ya bağlı olarak ifadesi.....	31
Şekil 3.29 2,4 ve 8 saatlik deneyler sonucu elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliği z_m/D 'nin daralma oranı $2L/W$ ile değişimi	32
Şekil 3.30 2,4 ve 8 saatlik deneyler sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktanın boyutsuz yarıçap r/D 'nin daralma oranı $2L/W$ ile değişimi.....	32
Şekil 3.31 Tüm deney süreleri sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktayı belirleyen boyutsuz yarıçapı r/D 'nin daralma oranı $2L/W$ ile değişimi	33
Şekil 3.32 2,4 ve 8 saatlik deneyler sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktayı belirleyen α açısının daralma oranı $2L/W$ ile değişimi.....	33
Şekil 3.33 2,4 ve 8 saatlik deneyler sonucu elde edilen oyulma çukurunun köprü yan ayağı ucu hizasındaki boyutsuz uzunluğu X_m 'in daralma oranı $2L/W$ ile değişimi	34
Şekil 3.34 2,4 ve 8 saatlik deneyler sonucu elde edilen boyutsuz oyulma hacmi V_s/D^3 'ün daralma oranı $2L/W$ ile değişimi	34
Şekil 3.35 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için zamana bağlı deneylerin alındığı kesitler (Uzunluklar cm olarak verilmiştir.)	36
Şekil 3.36 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için zamana I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	36
Şekil 3.37 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için zamana II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	37
Şekil 3.38 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için zamana III. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	37
Şekil 3.39 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için zamana IV. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	38
Şekil 3.40 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için zamana V. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	38
Şekil 3.41 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için zamana bağlı deneylerin alındığı kesitler (Uzunluklar cm olarak verilmiştir.)	39
Şekil 3.42 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için zamana I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	39
Şekil 3.43 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için zamana II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	40

Şekil 3.44 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için zamana III. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	40
Şekil 3.45 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için zamana IV. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	41
Şekil 3.46 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için zamana V. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	41
Şekil 3.47 Plakalı deneylerde kullanılan başlıca parametreler	42
Şekil 3.48 Saatlik oyulma deneyleri sonunda daralma oranı $2L/W=0.319$ için $Z_c/D=-0.25$ 'e yerleştirilen $B_c=5$ cm'lik yatay plakalı deney sonucu	42
Şekil 3.49 Farklı rölatif ayak uzunlukları L_a/B_c için her bir plaka rölatif gömü derinliği Z_c/D 'de yatay plakasız duruma göre oyulma miktarında yüzdesel olarak azalma miktarı	45
Şekil 3.50 Farklı daralma oranları için optimum plaka boyutlarında elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin $ds_{max,c}/D$, rölatif plaka alanı θ ile değişimi.....	46
Şekil 3.51 Farklı daralma oranları için optimum plaka boyutlarında elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin $ds_{max,c}/D$, $\theta(L_a/B_c)$ ile değişimi.....	46
Şekil 3.52 Her bir daralma oranlarında farklı rölatif ayak uzunluğunda L_a/B_c 'de elde edilen optimum boyutsuz plaka gömülme derinliği $(Z_c/D)_{opt}$	47
Şekil 3.53 Her bir daralma oranlarında optimum Z_c/D 'deki farklı rölatif ayak uzunlukları için elde edilen oyulma miktarındaki azalmanın yüzdesel olarak değişimi	47
Şekil 3.54 Farklı daralma oranlarında en az oyulma miktarını veren plakalı ve plakasız durumlarda elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliği	48
Şekil 3.55 Maksimum oyulma noktasının yerinin r ve α 'ya bağlı olarak ifadesi.....	48
Şekil 3.56 Dört saatlik deney süresi sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktayı belirleyen boyutsuz yarıçap r/D 'nin daralma oranı $2L/W$ ile değişimi.....	49
Şekil 3.57 Dört saatlik deney süresi sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktayı belirleyen α açısının daralma oranı $2L/W$ ile değişimi.....	49
Şekil 3.58 Plakalı ve plakasız durumlar için zamana bağlı deneylerin alındığı kesitler.....	51
Şekil 3.59 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için yatay plakasız deney sonucunda I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	51
Şekil 3.60 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için yatay plakalı deney sonucunda I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri	52
Şekil 3.61 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için yatay plakasız deney sonucunda II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	52
Şekil 3.62 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için yatay plakalı deney sonucunda II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri	53

Şekil 3.63 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için yatay plakasız deney sonucunda I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	53
Şekil 3.64 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için yatay plakalı deney sonucunda I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri	54
Şekil 3.65 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için yatay plakasız deney sonucunda II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.....	54
Şekil 3.66 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için yatay plakalı deney sonucunda II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri	55
Şekil 3.67 En kısa daralma oranı için sayısal benzetimde kullanılan model boyutları ve ayak etrafındaki hesap ağının görünümü.....	56
Şekil 3.68 Zeminden $0.1D$ yukarıda köprü yan ayağı etrafındaki yatay bir kesitteki boyutsuz türbülans kinetik enerjisinin dağılımı: a) Deney, b) Sayısal benzetim	57
Şekil 3.69 Zeminden $0.1D$ yukarıda, kesit 1'de, boyutsuz aksenal hız dağılımı (üçgen deney, kare ise hız benzetim verisini göstermektedir)	58
Şekil 3.70 Zeminden $0.1D$ yukarıda, kesit 2'de, boyutsuz aksenal hız dağılımı (üçgen deney, kare ise hız benzetim verisini göstermektedir)	58
Şekil 3.71 Zeminden $0.1D$ yukarıda, kesit 3'de, boyutsuz aksenal hız dağılımı (üçgen deney, kare ise hız benzetim verisini göstermektedir)	59
Şekil 3.72 Zeminden $0.5D$ yukarıda, kesit 1'de, boyutsuz aksenal hız dağılımı (üçgen deney, kare ise hız benzetim verisini göstermektedir)	59
Şekil 3.73 Zeminden $0.5D$ yukarıda, Kesit 2'de, boyutsuz aksenal hız dağılımı (üçgen deney, kare ise hız benzetim verisini göstermektedir)	60
Şekil 3.74 Zeminden $0.5D$ yukarıda, Kesit 3'de, boyutsuz aksenal hız dağılımı (üçgen deney, kare ise hız benzetim verisini göstermektedir)	60
Şekil 3.75 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar.....	62
Şekil 3.76 En büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar.....	63
Şekil 3.77 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ (sol) ve en büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ (sağ) için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz düşey vortisite dağılımı: a) Serbest yüzeyde; b) Serbest yüzeyden $0.9D$ aşağıda	64
Şekil 3.78 Köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz sürtünme gerilmesi dağılımı: a) En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, b) En büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ için (Şekildeki düz çizgi ile gösterilen dağılım $w_c/U^2 = 0.007$ dir.).....	65
Şekil 3.79 Köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz basınç çalkantısı dağılımı: a) En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, b) En büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ için	66

- Şekil 3.80 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar (8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında) 68
- Şekil 3.81 En küçük daralma oranı $2L/W=0.452$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar (8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında) 68
- Şekil 3.82 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ (sol) ve en büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ (sağ) için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz düşey vortisite dağılımı.(8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında): a) Serbest yüzeyde; b) Serbest yüzeyden $0.9D$ aşağıda 69
- Şekil 3.83 Köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz sürtünme gerilmesi dağılımı.(8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında): a) En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, b) En büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ için 70
- Şekil 3.84 Köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz basınç çalkantısı dağılımı.(8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında): a) En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, b) En büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ için 71

ÖZET

Köprü yan ayağı etrafında oluşan oyulmanın büyüklüğü ve biçiminin tespiti köprünün ekonomik ve güvenli dizayn edilebilmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Özellikle dar nehirlerde, nehrin iki yakasındaki köprü yan ayakları nehir kesitini daha da daraltarak oyulmanın şekli ve büyüklüğünü etkilemektedir. Köprü yan ayakları birbirlerine yaklaştıkça; bu yapıların etrafında oluşan atnalı vorteks sistemleri ve ayrılmış kesme tabakası içerisinde akım yönünde ilerleyen vorteks tüpleri de birbirleriyle etkileşebilmektedir. Bu noktada literatürde tekil bir köprü yan ayağı için elde edilmiş olan bilgiler yetersiz kalmaktadır.

Literatürdeki birçok çalışmada tekil köprü yan ayağı veya tekil köprü ayağı etrafında oluşan oyulma şekli ve maksimum oyulma derinliği farklı hidrolik durumlar ve değişik köprü yan ayağı boyutları için incelenmiştir (Melville, 1997). Ne var ki literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmaların ancak çok azında tekil köprü ayakları ve/veya yan ayakları için oyulmaya sebep olan akımın fiziği incelenmiştir (Baker, 1980; Dargahi, 1989; Koken ve Constantinescu 2008a, 2008b, 2009; Koken 2011 gibi). Bu bağlamda farklı daralma oranlarında ($2L/W$ Bkz. Şekil 1.1a) karşılıklı iki köprü yan ayağının çevresinde oluşacak olan akımı ve bu koşullar altında oyulmaya etki eden akım yapılarını ve bu yapıların birbirleriyle etkileşimini inceleyen kapsamlı bir çalışma yoktur. Halbuki bu konuda detaylı bir bilgiye sahip olmak özellikle dar nehirlerde inşa edilecek olan köprülerin güvenliği açısından çok önemlidir. Ancak bu şekilde köprü yan ayakları için olası aşırı oyulmaya karşı daha etkin önlemler alınabilir. Bu çalışma kapsamında oyulma azaltıcı düzenek olarak yatay ince plakalar (collars) ayaklar etrafında kullanılacaktır.

Bu çalışma, düz bir kanalın karşılıklı iki yanına yerleştirilen köprü yan ayakları etrafında oluşan akım yapılarının farklı daralma oranları için ($2L/W$) farklı oyulma safhalarında deneysel ve sayısal olarak incelenmesini içermektedir. Köprü yan ayakları etrafında oluşan atnalı vorteks sistemi bu bölgede oyulmaya etki etmektedir (Bkz. Şekil 1.1b). Bunun dışında köprü yan ayağı üzerinden yayılan vorteks tüpleri de ayrılmış kesme tabakasında (detached shear layer) ilerlerken üzerinden geçtiği bölgedeki zemin gerilmesinde artışa neden olmakta ve oyulmaya katkı sağlamaktadır. Köprü yan ayakları birbirine yaklaştıkça her iki ayak etrafında oluşan atnalı vorteks sistemi ve ayrılmış kesme tabakasında ilerleyen vorteks tüpleri birbirleri ile etkileşmeye başlamakta ve oluşan karmaşık mekanizma oyulmanın şekli ve büyüklüğünü etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: daralma, köprü yan ayağı, sayısal modelleme, DES, taban oyulması, türbülanslı akım, atnalı vorteksi

ABSTRACT

Describing the shape and the maximum height of the scour hole forming around bridge abutments has vital importance for the economic and safe design of the bridges. Especially in narrow rivers the bridge abutments on both sides of the river, contract the cross section and affect the pattern and magnitude of scour forming around those structures. As the bridge abutments get closer to each other the horseshoe vortex system forming around these structures start interacting with each other. Moreover the vortex tubes convected in the detached shear layers at both sides may start interacting. At this point the information related to the flow physics obtained for a single abutment in literature is insufficient.

In various studies in the literature, the scouring pattern and the maximum scour depth forming around an isolated bridge abutment for different hydraulic conditions and shapes are investigated (Melville, 1997). However, only in limited number of studies in the literature flow physics which caused this scouring process is investigated for an isolated bridge abutment or pier (Baker, 1980; Dargahi, 1989; Koken and Constantinescu 2008a, 2008b, 2009, Koken 2011). From this perspective there is not any elaborate study investigating the effects of the contraction ratio ($2L/W$ see Figure 1.1a) on the flow field and turbulent flow structures forming around bridge abutments which are connected on the opposite sides of a channel. However having a detailed knowledge related to this subject one can take the necessary precautions for the excessive scour which may occur around bridge abutments in narrow rivers. Within the scope of this project collars will be used around abutments to reduce scour.

This study involves numerical and experimental investigation of the turbulent flow structures forming around bridge abutments connected on opposite sides of a channel at different contraction ratios ($2L/W$) and at different stages of the scouring process. The horseshoe vortex system forming around the bridge abutment has a direct effect in scour forming around those structures (see Figure 1.1b). Apart from those structures vortex tubes shedding from the tip of the abutment induces high bed shear stress values beneath themselves and thus contribute scouring as they are convected inside the detached shear layers. As the bridge abutments at both sides of the channel get closer to each other the horseshoe vortex system that wraps around the abutment and the vortex tubes that are convected in the detached shear layers on both sides will start interacting with each other. The complex mechanism that occur because of these interactions will affect the maximum scour depth and the scouring pattern observed around the abutments.

Keywords: contraction, bridge abutment, numerical modeling, DES, scour, turbulent flow, horseshoe vortex

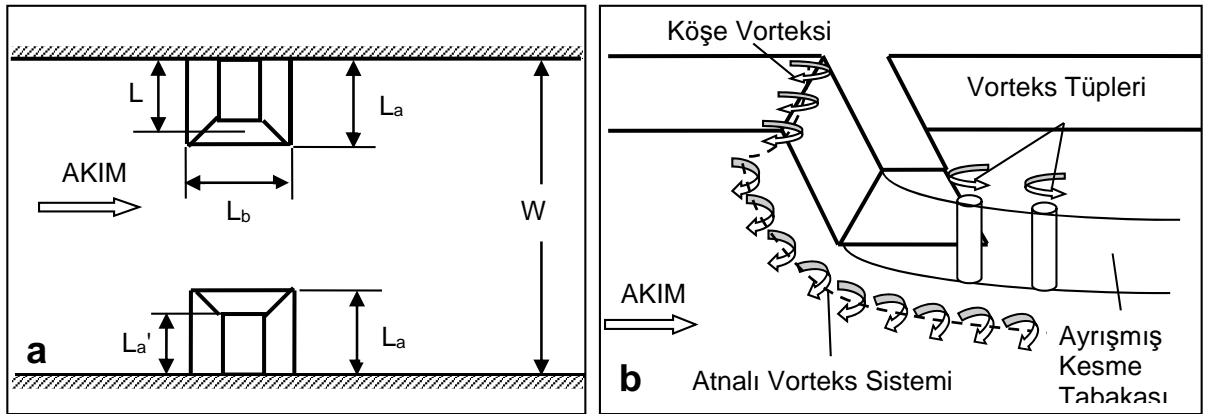
1- GİRİŞ

Nehirlerde köprü yan ayakları etrafında oluşan oyulmaların şekli ve büyüklüğünün tespit edilmesi köprü dizaynı için azami önem içermektedir. Ne var ki bu hesaplamalarda çoğunlukla ampirik formüller kullanılmış ve oyulmayı oluşturan etkenler detaylı bir şekilde incelenmemiştir. Halbuki gerçekte köprü yan ayakları etrafında oluşan döngüsel yapılar birbirleriyle etkileşerek oyulmayı karmaşık bir hale getirmektedir. Özellikle dar nehirlerde nehrin her iki yanına inşa edilen köprü yan ayağı nehrin kesitini daraltmakta ve her iki köprü yan ayağı etrafında oluşan döngüsel yapılar birbirleri ile etkileşmektedir.

Bu çalışma ile farklı daralma oranları için karşılıklı inşa edilmiş iki köprü yan ayağının oluşturduğu akım yapıları ve bu yapıların etkisiyle ortaya çıkan oyulma farklı oyulma safhalarında incelenmiştir. Böyle bir araştırmayı sadece deneysel olarak yapmak yeterli olmayacaktır; bunun yanında üç boyutlu sayısal modelleme tekniklerinin kullanılması, oluşan bu karmaşık akım koşullarının detaylı bir şekilde incelenebilmesine imkan sağlayacaktır. Fakat üç boyutlu sayısal çözümün literatürde çokça kullanılan RANS modellemesi ile yapılması da uygun değildir. Böyle bir akımda ortaya çıkacak olan döngüsel yapılar ancak LES ya da DES gibi modelleme yöntemleri ile gerçekçi bir şekilde çözümlenebilir.

Nehirlerin zeminindeki malzemelerin hareketli hale geçmesine sebep olan en önemli etken tabana etki eden yüksek zemin gerilmesidir. Ne var ki günümüzde mevcut deneysel tekniklerle taban gerilmesi sağlıklı bir şekilde ölçülememektedir. Bunun birinci önemli sebebi mevcut deneysel tekniklerle zeminde ancak noktasal ölçümlerin alınabilmesi ve bu yüzden de tüm zemini kapsayacak detaylı ölçümlerin yapılamamasıdır. İkinci sebep ise deneysel tekniklerle zemin gerilmeleri hesaplanırken logaritmik hız profili kabulünün esas alınmasıdır. Halbuki bu kabul özellikle akım ayrışmasının yoğun olarak mevcut olduğu durumlarda (köprü yan ayağı etrafındaki akımda olduğu gibi) geçersizdir. Bu projede kullanılan sayısal benzetim tekniği logaritmik hız profili kabulü yapmadan tüm zemin boyunca viskoz alt tabakayı direkt olarak çözmektedir. Bu sebeplerle, farklı uzunluklardaki köprü yan ayağının çevresinde oyulmanın farklı safhalarında oluşan taban gerilmeleri sayısal benzetim sayesinde çok daha gerçekçi bir şekilde hesaplanabilmiştir. Bu gerilmelerin dağılımlarına göre tabanın hangi bölgelerinde daha fazla oyulma olabileceği tespit edilmiş ve bu sayede oyulmaya karşı tedbir alınması gereken riskli bölgeler tespit edilmiştir. Köprü yıkılmalarının en önemli nedenlerinden bir tanesi de taşkınlar sırasında köprü ayakları etrafında oluşan aşırı oyulmalardır. Ayaklar etrafında oyulmaya en çok maruz kalacak olan bölgelerin önceden bilinmesi durumunda, bu bölgelerde “riprap” başta olmak üzere farklı oyulma önleyici tedbirlerin alınabilir.

Oyulamaya karşı ayaklar etrafında riprap kullanımı etkin bir yöntem olmakla birlikte bir taşkın esnasında riprap tabakaları da yıkılabilmekte ve köprü ayakları oyulmaya açık hale gelebilmektedir. Bu sebeple köprü yan ayakları etrafında kalıcı yapı elemanı olarak yatay ve ince plakaların kullanılması oyulmanın azaltılması için etkin ve ekonomik bir yöntem olarak düşünülebilir. Bu çalışma kapsamında köprü yan ayakları etrafında oyulmayı önleyici ince yatay plakalar da test edilmiş ve bu plakaların kullanımı ile ilgili çeşitli bağıntılar oluşturulmuştur.



Şekil 1.1 a) Deney düzeneğinin üstten görünümü ve hesaplamalarda kullanılan boyutlar, b) Köprü yan ayağı etrafındaki akımda mevcut olan başlıca yapılar.

2- GENEL BİLGİLER

30 aylık bu proje kapsamında yapılan çalışmalar deneysel ve sayısal çalışmalar olarak iki ana grup altında toplanabilir. Deneysel çalışmalarda kullanılmış olan köprü yan ayağı uzunlukları ve bunlara karşılık gelen daralma oranları Tablo 2.1'de verilmiştir. Bu tabloda L_a' , L_a ve L sırasıyla köprü yan ayağının; su serbest yüzeyi seviyesindeki, zemin seviyesindeki ve orta su derinliği seviyesindeki uzunluklarını temsil etmektedir. W ise kanal genişliğini temsil etmektedir (Şekil 1a). Deneysel çalışmalar kapsamında düz zemin koşullarında en küçük daralma oranı için iki farklı yatay düzlemde hız ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler çalışmanın ikinci kısmında sayısal benzetim sonuçlarının doğrulanması amacıyla da kullanılmıştır. Hız ölçümlerinin tamamı 50 MHz Sontek Micro ADV akustik hız ölçüm cihazıyla yapılmıştır (Şekil 2.1). Daha sonra Tablo 1'de verilen farklı daralma oranları için; 2, 4 ve 8 saatlik oyulma sürelerinde üç boyutlu taban batimetrisi elde edilmiştir. Bu ölçümler de Seatek 5 MHz ultrasonik batimetri belirleme cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2.2). Bu cihaz aynı anda 32 farklı noktada batimetri ölçümü alınmasına imkan vermektedir. Bunun dışında iki farklı daralma oranında köprü yan ayağı etrafındaki değişik kesitlerde sürekli kayıt alınarak oyulma çukurunun gelişimi incelenmiştir. Deneysel

çalışmanın son safhasında ise 54 farklı konfigürasyonda yatay plakalı deneyler yapılmış ve yatay plakaların oyulma miktarını azaltmadaki etkinliği incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, iki farklı daralma oranında düz ve aşınmış zemin koşullarında sayısal benzetimleri yapılarak her iki durumda ayaklar etrafında oluşan akım yapıları incelenmiştir. Farklı oyulma safhalarında ayaklar etrafında oluşan döngüsel yapıların birbirleri ile etkileşimi ve zemin gerilmesine olan katkıları ortaya konmuştur.

Tablo 2.1 Deneylerde kullanılacak köprü yan ayağı uzunlukları ve bunlara karşılık gelen daralma oranları.

Deney No:	L_a' (cm)	L_a (cm)	L (cm)	2L/W
1	5.0	12.8	8.9	0.119
2	10.0	17.8	13.9	0.185
3	15.0	22.8	18.9	0.252
4	20.0	27.8	23.9	0.319
5	25.0	32.8	28.9	0.385
6	30.0	37.8	33.9	0.452



Şekil 2.1 Deneylerde kullanılan ADV cihazı.



Şekil 2.2 Ultrasonik batimetri belirleme cihazı (sol) ve sekizli transducer (sağ).

3- GEREÇ VE YÖNTEM

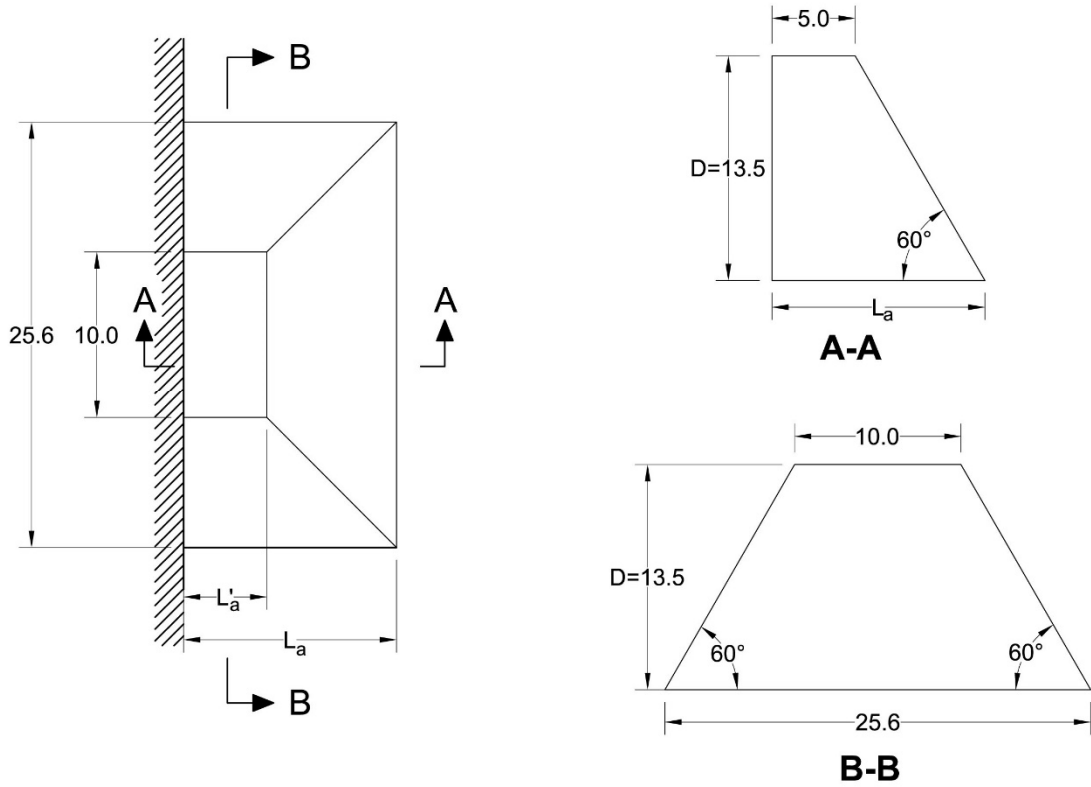
3.1 Deney Düzenekinin Hazırlanması ve Ön Deneyler:

Proje kapsamındaki deneylerin tamamı ODTÜ İnşaat Mühendisliği Hidromekanik Laboratuvarında bulunan 25 m uzunluğunda, 1.5 m genişliğinde ve 0.5 m yüksekliğindeki kanalda yapılmıştır. Kanalda 6 m uzunluğunda ve 0.5 m yüksekliğinde bir sediment haznesi bulunmaktadır. Kanalin sediman haznesi ortalama tane çapı $d_{50} = 1.5$ mm olan malzeme ile doldurulmuş; ayrıca kanal tabanının diğer kısımlarına da aynı malzeme çimento şerbetiyle yapıştırılarak kanal boyunca özdeş bir pürüzlülük sağlanmıştır (Bakınız Şekil-3.1). Kanala verilen su debisi küçük değerlerden başlayarak yavaş yavaş artırılmış ve kanal taban malzemesinin ilk harekete geçtiği kritik su derinliği ve debisi tesbit edilmiştir. Kanaldaki ortalama hız, kritik hızın %90'ı olacak şekilde deneylerde kullanılacak olan su serinliği, $D = 13.5$ cm, debi ise $Q = 67$ lt/s olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Sediman kanalı genel görünümü ve sediman haznesi dışındaki bölgede uygulanan taban pürüzlülüğü.

Proje kapsamında yapılan deneylerde test edilecek eğimli yüzeyli köprü yan ayağı modellerinin boyutlarına karar verilmiştir. Köprü yan ayağının kanal duvarı boyunca, zemindeki ve su seviyesindeki uzunlukları sırasıyla 25.6 cm ve 10.0 cm olarak seçilmiş ve köprü yan ayağı duvarları ise her üç yönde de zeminle 60 derecelik açı yapacak şekilde dizayn edilmiştir (Şekil-3.2). Köprü yan ayağı uzunluğu, L_a , değişken olup her bir deney setinde 5'er cm aralıklarla uzatılmıştır. Deneylerde kullanılan köprü yan ayağı uzunlukları ve bunlara karşılık gelen daralma oranları Tablo 2.1'de verilmiştir. İlk model kanal üzerine yerleştirilmiş ve düz zemin koşullarında iki farklı düzlemde hız dağılımı ölçüm deneylerine başlanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2 Eğimli yüzeyli köprü yan ayağı modeli üstten görünüş (sol) ve kesit görünüşleri (sağ). (Uzunluklar santimetre cinsinden verilmiştir.)

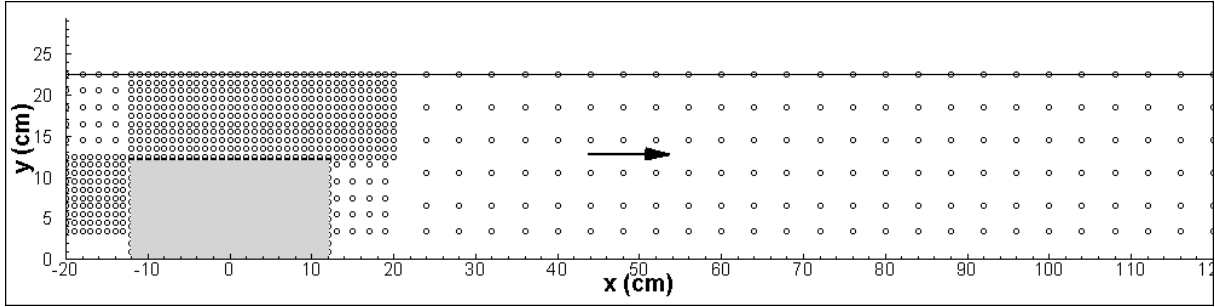


Şekil 3.3 Düz zemin deneyleri için hazırlanan eğimli yüzeyli köprü yan ayağı modeli ($L_a = 12.8\text{cm}$).

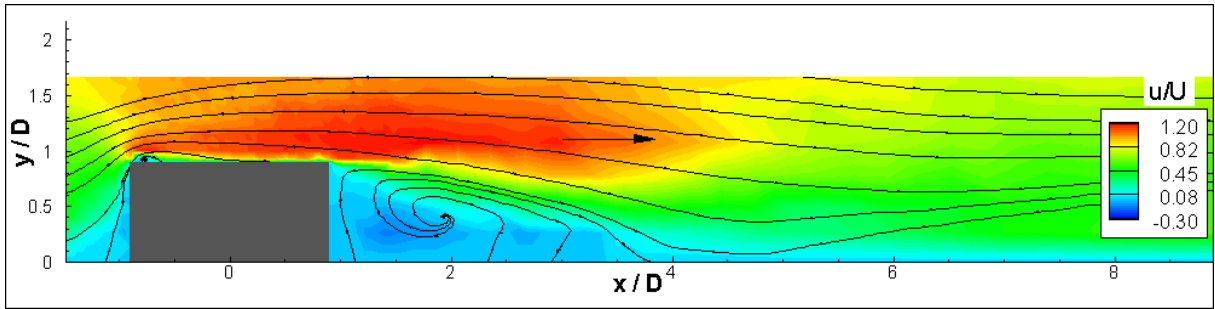
3.2 Hız Ölçüm Deneyleri:

En küçük daralma oranı için, ($2L/W=0.119$) ayaklardan biri etrafında akustik hız ölçüm cihazı (ADV) kullanılarak iki farklı yatay düzlemde hız ölçümleri kaydedilmiştir. Bu ölçümler her iki köprü yan ayağı etrafındaki akım koşullarının özdeş olması sebebiyle ayaklardan sadece birisi etrafında alınmıştır. Ölçüm düzlemlerinden ilki orta derinlikte ($z/D=0.5$) ve ikincisi ise tabana yakın bir derinlikte ($z/D=0.1$). ADV cihazı kullanılarak düzlemlerin her birinde ayak etrafındaki yaklaşık 800 farklı noktada ve her bir noktada 25-30 saniye süresince 25 Hz'lik örnekleme oranıyla (bir saniyede 25 ölçüm) hız ölçümleri kaydedilmiştir. Her bir düzlemdeki ölçüm yaklaşık olarak 10-12 saat sürmüştür ve iki gün içerisinde tamamlanabilmiştir. Ölçüm yapılan noktaların pozisyonu Şekil 3.4'te verilmiştir. Atnalı vorteksinin bulunduğu ve ayrışmanın olduğu bölgelerde daha yoğun veri kaydedilmiştir. Kanal yan duvarına ADV cihazının ölçüm uçlarından biri değdiği için çok yaklaşılamamış ve ilk ölçüm duvardan yaklaşık olarak 3.5 cm mesafede alınabilmiştir. Fakat köprü yan ayağı duvarları eğimli olduğu için bu duvarlara cihazın yaklaşımında herhangi bir problem yaşanmamıştır. Kaydedilen değerlere korelasyon filtresi uygulanarak korelasyonu %70'den küçük olan veriler ayıklanmıştır. Daha sonra her bir noktada elde edilen verilerin ortalaması alınarak köprü yan ayağı etrafındaki ortalama akım koşulları elde edilmiştir. Tabana yakın derinlikteki akım yönündeki boyutsuz ortalama hız dağılımı ve akım çizgileri Şekil 3.5'te verilmiştir. Kanal içerisinde, köprü yan ayaklarının oluşturduğu daralma bölgesinde aksel hızlarda artış gözlemlenmektedir. Köprü yan ayağının memba ve mansap kısımlarında ise bu bölgelerde oluşan resirkülasyon sebebiyle negatif aksel hızlar oluşmaktadır. Köprü yan ayağı mansabında oluşan resirkülasyon bölgesi

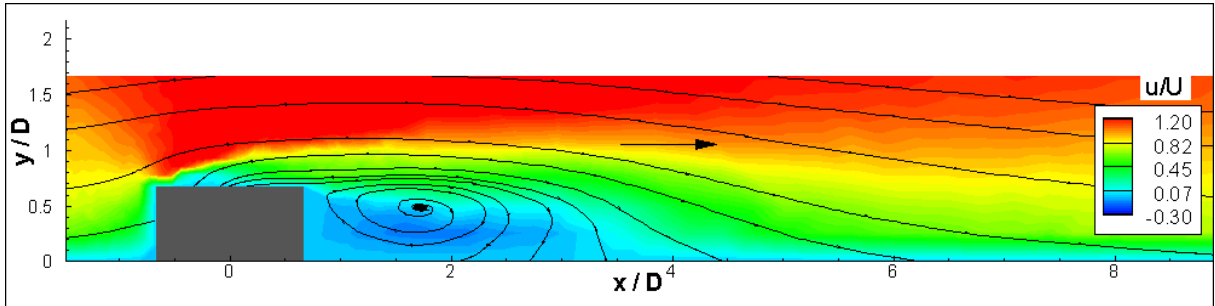
akım çizgilerinden de görülmektedir. Bu bölgenin uzunluğu yaklaşık olarak $3.4 x/D$ kadardır. Köprü yan ayağının akım yönündeki duvarının memba kısmında da küçük fakat kararlı bir vorteks oluşumu gözlemlenmiştir. Orta derinlikteki hızlar tabana yakın derinliktekine kıyasla daha yüksektir (Şekil 3.6). Bu derinlikte resirkülasyon bölgesinin uzunluğu yaklaşık olarak $3.1 x/D$ 'dir.



Şekil 3.4 ADV cihazı ile yapılan hız ölçüm noktalarının plan görünümü.



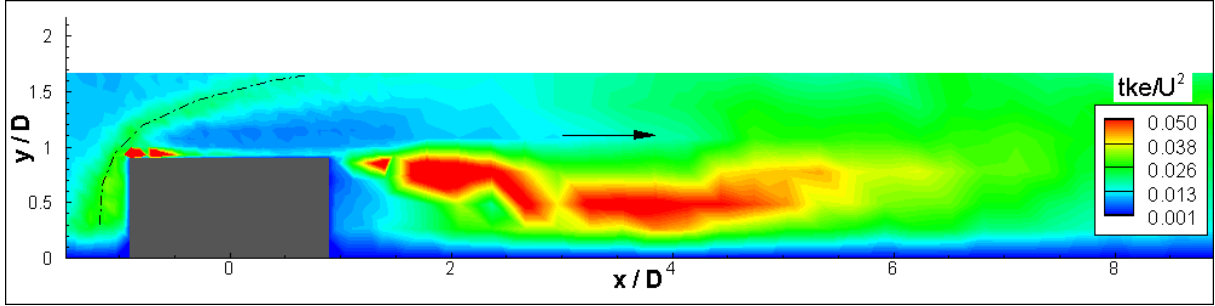
Şekil 3.5 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, ayak etrafında $z/D=0.1$ derinliğinde ortalama akım için deneysel olarak elde edilen aksenal hız değerleri ve akım çizgileri.



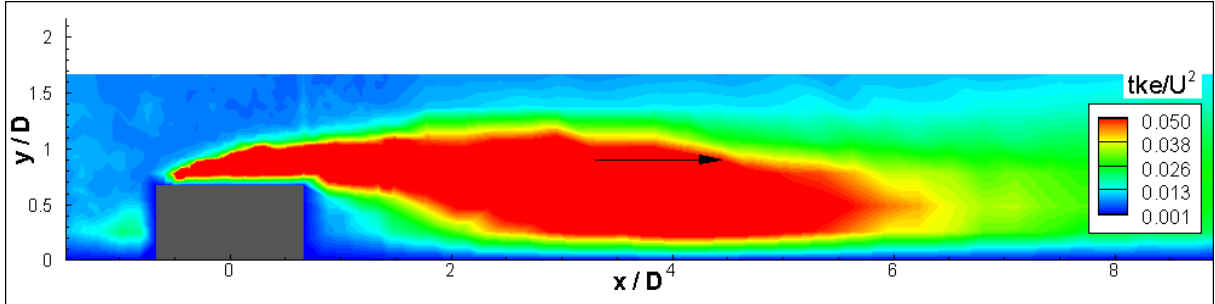
Şekil 3.6 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, ayak etrafında $z/D=0.5$ derinliğinde ortalama akım için deneysel olarak elde edilen aksenal hız değerleri ve akım çizgileri.

Tabana yakın $z/D=0.1$ derinliğinde elde edilen boyutsuz türbülans kinetik enerjisi dağılımı Şekil 3.7'de verilmiştir. Bu derinlikte köprü yan ayağının mansabındaki ayrılmış kesme tabakası boyunca ve köprü yan ayağının akım yönündeki duvarının memba kısmında gözlemlenen vorteksin bulunduğu bölgedeki türbülans kinetik enerjisi değerlerinde yoğun bir artış gözlemlenmiştir. Ölçümlerin alınmış olduğu derinlik köprü yan ayağı etrafındaki atnalı

vorteksini kesen bir derinlik olup atnalı vorteksinin eksenini boyunca (Şekil 3.7'de kesikli çizgilerle gösterilen doğrultu) türbülans kinetik enerjisi değerlerinde de önemli bir artış söz konusudur. Orta derinlikteki boyutsuz türbülans kinetik enerjisi değerleri köprü yan ayağının akım yönündeki duvarı boyunca ve ayrılmış kesme tabakasını takip eden geniş bir bant boyunca artmıştır (Şekil 3.8). Bu derinlikte gözlemlenen maksimum türbülans kinetik enerjisi değeri zemine yakın olan bölgedekinin yaklaşık olarak iki katıdır.



Şekil 3.7 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, ayak etrafında $z/D=0.1$ derinliğinde deneysel olarak elde edilen türbülans kinetik enerjisi dağılımı.

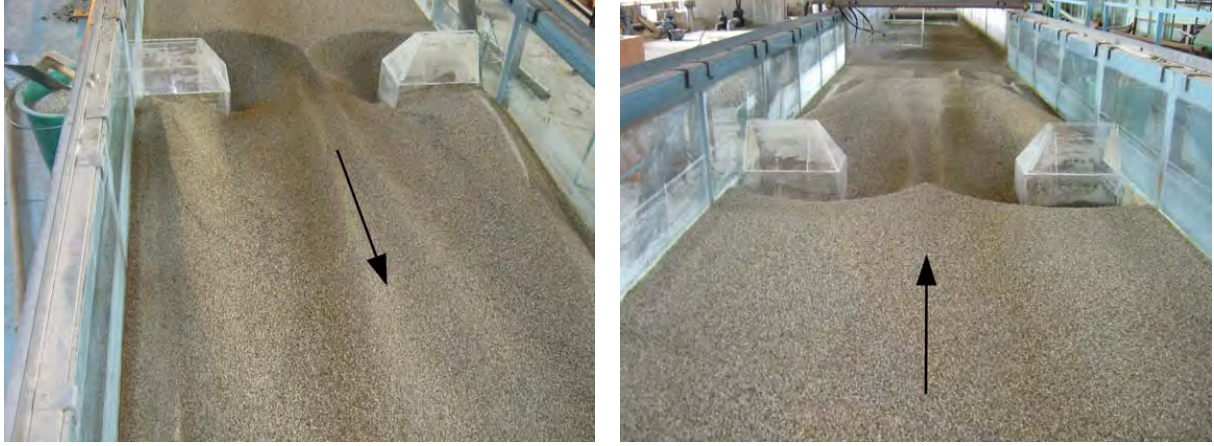


Şekil 3.8 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için, ayak etrafında $z/D=0.5$ derinliğinde deneysel olarak elde edilen türbülans kinetik enerjisi dağılımı.

3.3 Batimetri Ölçüm Deneyleri:

Tüm daralma oranları için $t=2, 4$ ve 8 saatlik oyulma deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.9). Bu çalışmada $2, 4$ ve 8 saat gibi zaman periyotlarının kullanılmasının sebebi, pratikte çoğunlukla meydana gelebilecek yağış sürelerinin ve bunların neden olabileceği feyzan sürelerinin bu değerler arasında bulunmasıdır. Dolayısıyla 8 saat süreli deney neticelerinden elde edilecek olan maksimum oyulma derinlikleri, köprü yan ayaklarının temellerinin projelendirilmesinde güvenle kullanılabilir. Akustik batimetri ölçüm cihazı yardımı ile her bir deney koşulunda 3 boyutlu oyulma paternleri çıkarılmıştır. Oyulma paterni kanal eksenini boyunca simetrik olduğundan batimetri ölçümleri kanalın yarısı için yapılmıştır. Dijital ortama aktarılan ayaklar etrafında oluşan oyulma paternlerinin üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti Şekiller 3.10 – 3.27'de verilmiştir.

Bu şekiller üzerinde eş yükselti eğrileri de gösterilmiştir. Bu eğrilerden sürekli olanlar birikimi kesikli olanlar ise oyulmayı temsil etmektedir. Şekiller üzerindeki göstergelerde belirtilen z/D değerleri ise akım derinliği, D , ile boyutsuzlaştırılmış oyulma/birikme derinlikleridir. Bu şekiller ve oyulma çukurlarının üç boyutlu verileri incelendiği zaman maksimum oyulmaların, ayakların en uç kısımlarının memba bölgesinde meydana geldiği ve boyutsuz oyulma derinliklerinin zamanla artan daralma oranı ile arttığı görülmektedir.



Şekil 3.9 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterni.

Deneyler sonrasında elde edilen üç boyutlu oyulma şekillerinden, oyulma problemleri ile ilgili önemli değişkenlerin değerleri elde edilmiş ve kıyaslanabilir geometri değerleri ile birlikte Tablo 3.1'de sunulmuştur. Buna göre boyutsuz maksimum oyulma derinliği (z_m/D), maksimum oyulma derinliğinin noktasal yerinin koordinatlarını belirlemede yardımcı boyutsuz yarıçap (r/D) ve açı (α) (Şekil 3.28), oyulma çukurunun akım yönündeki boyutsuz maksimum uzunluğu (X_m/D) (Şekil 3.10) ve boyutsuz oyulma hacmi (V_s/D^3) önemli değişkenler olarak Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Bu değişkenlerin boyutsuz ayak uzunluğu ile ilişkileri Şekiller 3.29-3.34'te incelenmiş ve ilişkiyi yansıtan denklemler şekiller üzerinde korelasyon katsayıları ile birlikte gösterilmiştir.

Şekil 3.29'da boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin, z_m/D , farklı deney sürelerinde daralma oranı, $2L/W$, ile değişimi gösterilmiştir. Deneylerde test edilen her bir daralma oranı için z_m/D değeri, deney süresinin artması ile artış göstermektedir. Ayrıca sabit bir deney süresi için de z_m/D değerinin $2L/W$ değeri ile hemen hemen doğrusal olarak arttığı söylenebilir. İlgili parametreler arasındaki bu doğrusal değişimlerin oldukça yüksek korelasyon katsayılarına sahip olan denklemleri şekil üzerinde verilmiştir.

Şekiller 3.30, 3.31 ve 3.32'te maksimum oyulma derinliğinin noktasal yerinin koordinatlarını belirleyen r/D ve α (Şekil 3.28) değişkenlerinin daralma oranı ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 3.30'da boyutsuz yarıçap, r/D 'nin daralma oranı ile değişimi gösterilmiş ve her bir deney süresi

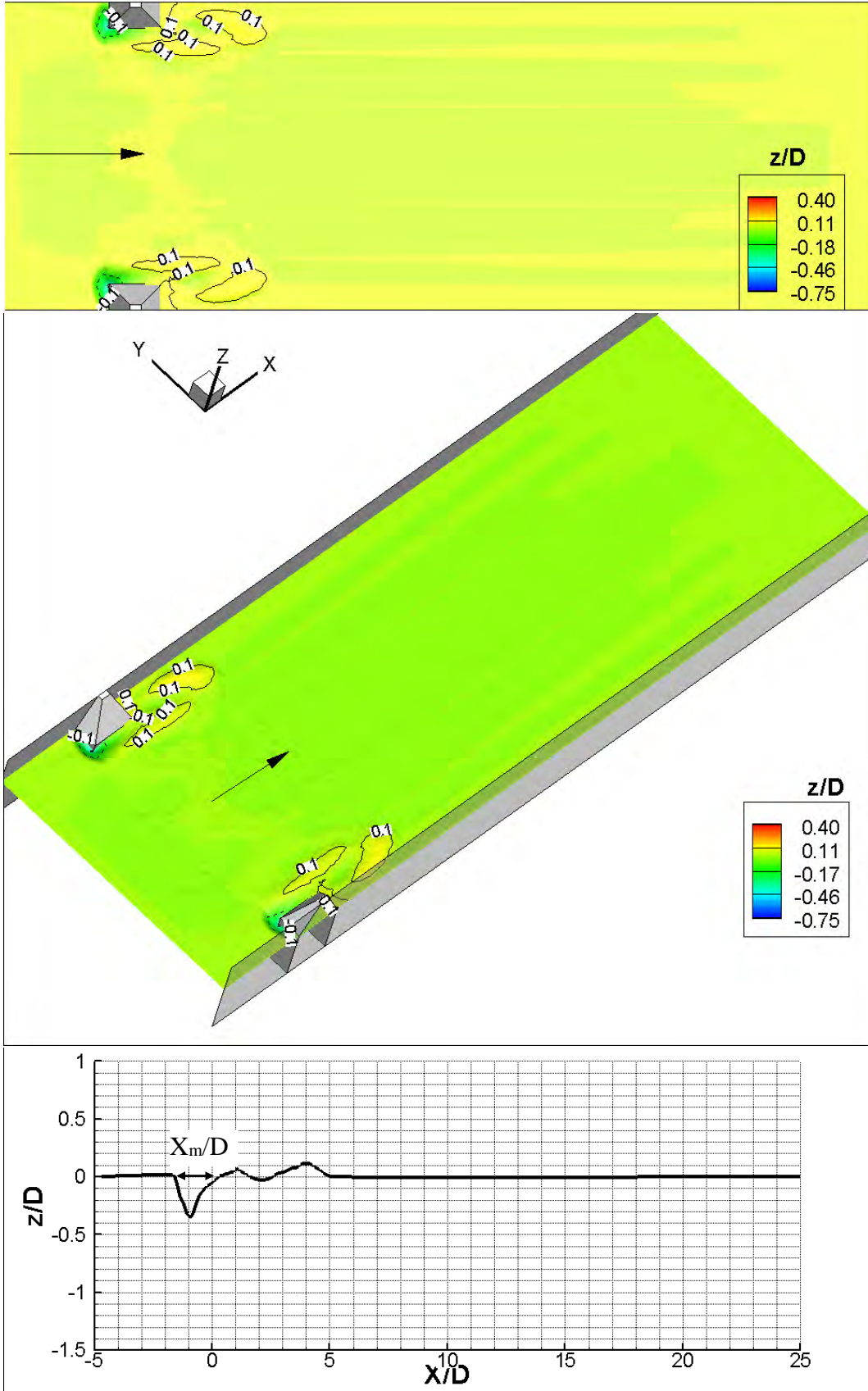
için ayrı ayrı iki değişken arasındaki ilişki doğrusal denklemlerle ifade edilmiştir. Farklı deney süreleri için boyutsuz yarıçap r/D ile daralma oranı $2L/W$ arasında elde edilen doğrusal ilişkide çok fazla bir değişim görülmemektedir. Dolayısıyla boyutsuz yarıçapın daralma oranı ile olan değişiminin zamandan bağımsız olduğu söylenebilir. Bu yüzden Şekil 3.31'da deney süresinden bağımsız olarak, elde edilen tüm deney verileri kullanılarak r/D ile $2L/W$ arasında bulunan doğrusal ilişki tek bir denklemle ifade edilmiştir. Elde edilen denklemin korelasyon katsayısı oldukça yüksektir.

Şekil 3.32'de maksimum oyulmanın yerini belirleyen α açısının, daralma oranı $2L/W$ ile değişimi farklı deney süreleri için gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, α açısı değişimi ile deney süresi artışı arasında düzenli bir ilişki görülememiştir; bununla birlikte tüm deney sürelerinde, α açısı, artan daralma oranı $2L/W$ ile artmaktadır ve bu açı tüm durumlar için 90 dereceden küçüktür. Sonuç olarak, r/D ve α parametreleri incelendiğinde iki değişkenin de deney süresinden ziyade ayak boyu ile düzenli bir değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Buradan elde edilen bir diğer önemli husus, maksimum oyulma noktasının her zaman köprü yan ayağının memba tarafında oluştuğudur.

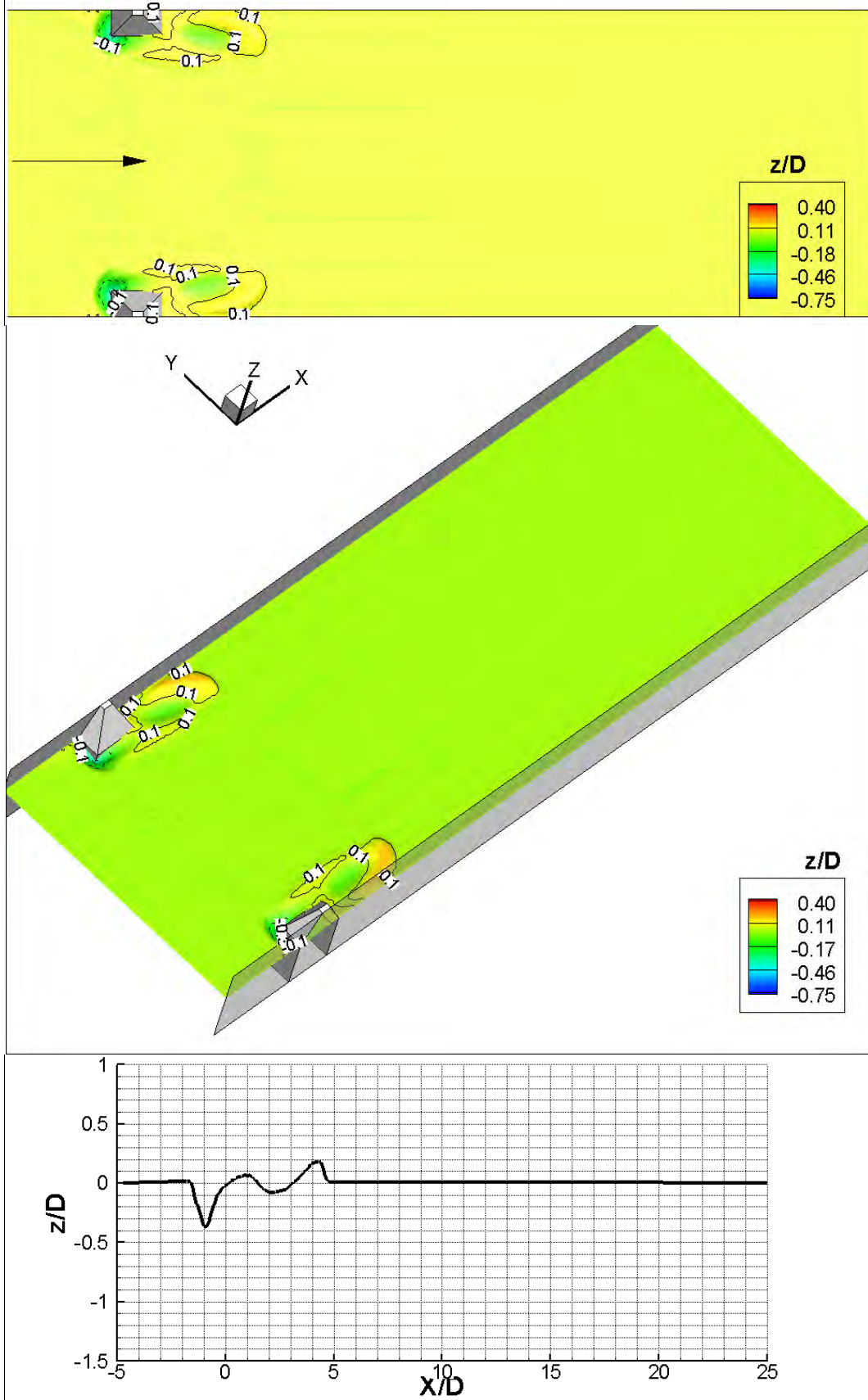
Şekil 3.33'de oyulma çukurunun köprü yan ayağı ucu hizasında akım yönündeki boyutsuz uzunluğunun (X_m/D), daralma oranı ($2L/W$) ile değişimi gösterilmiştir. Oyulma çukurunun köprü yan ayağı burnu hizasındaki uzunluğu Şekiller 3.10-3.27'deki boy kesit grafiklerinde görülmektedir. Her bir ayak boyu için X_m/D 'nin değeri deney süresi arttıkça genel olarak artmakla beraber bazı ayak boyları için bunun tersi geçerli olup genel bir ilişkiden bahsetmek mümkün değildir. Bununla birlikte, verilen bir deney süresi için ise X_m/D 'nin değeri doğrusal bir şekilde artan $2L/W$ ile artmaktadır. Bu ilişkilerin, Şekil 3.33'de de görüleceği üzere, yüksek korelasyon katsayıları ile gerçekleştiği söylenebilir.

Şekil 3.34'te ise boyutsuz oyulma hacminin (V_s/D^3) daralma oranı ile ilişkisi gösterilmiştir. Burada oyulma hacimleri elde edilen üç boyutlu batimetri verilerinden sayısal entegrasyon teknikleri kullanılarak hesaplanmış ve akım derinliğinin kübüne (D^3) bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, her bir ayak boyu için, boyutsuz oyulma hacminin deney süresinin artması ile artış gösterdiği ve verilen bir deney süresi için, V_s/D^3 'ün daralma oranının artışı ile parabolik bir artış gösterdiği saptanmıştır. Boyutsuz oyulma hacmi ve daralma oranı arasındaki ilişkisi ikinci dereceden denklemlerle oldukça yüksek korelasyon katsayıları ile sağlanmış (her bir set için $R^2 > 0.99$) ve şekil üzerinde gösterilmiştir.

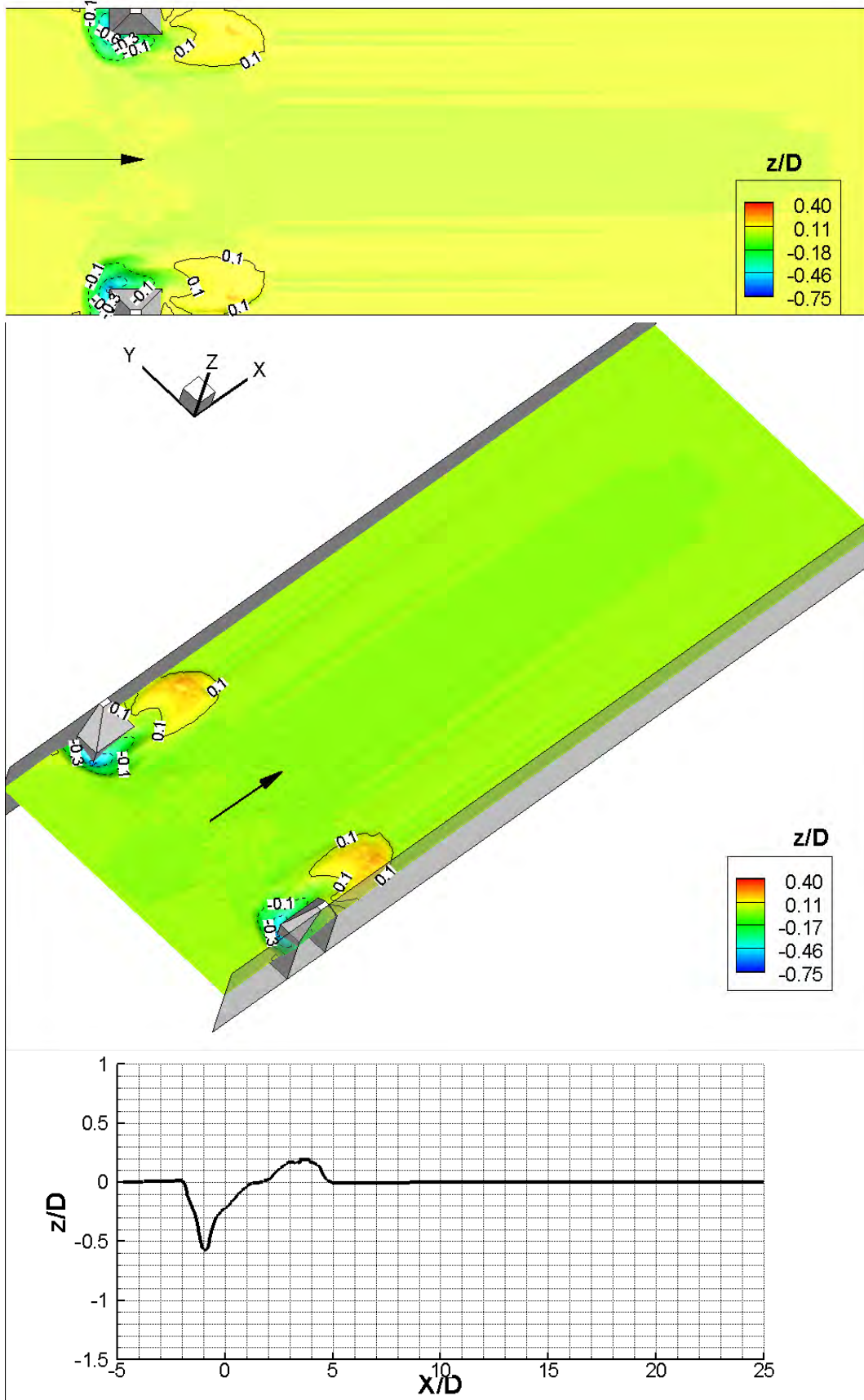
Sonuç olarak, Şekiller 3.29-3.34 kullanılarak, daralma oranı bilinen bir ayağın etrafında meydana gelebilecek maksimum oyulma derinliği, bunun plan üzerindeki yeri, oyulma çukurunun boyu ve oyulan hacim hesaplanabilir. Bu veriler kullanılarak ayak temelinin projelendirilmesi yapılabilir, ayak etrafında riprap ile korunması gereken bölgeler tespit edilebilir.



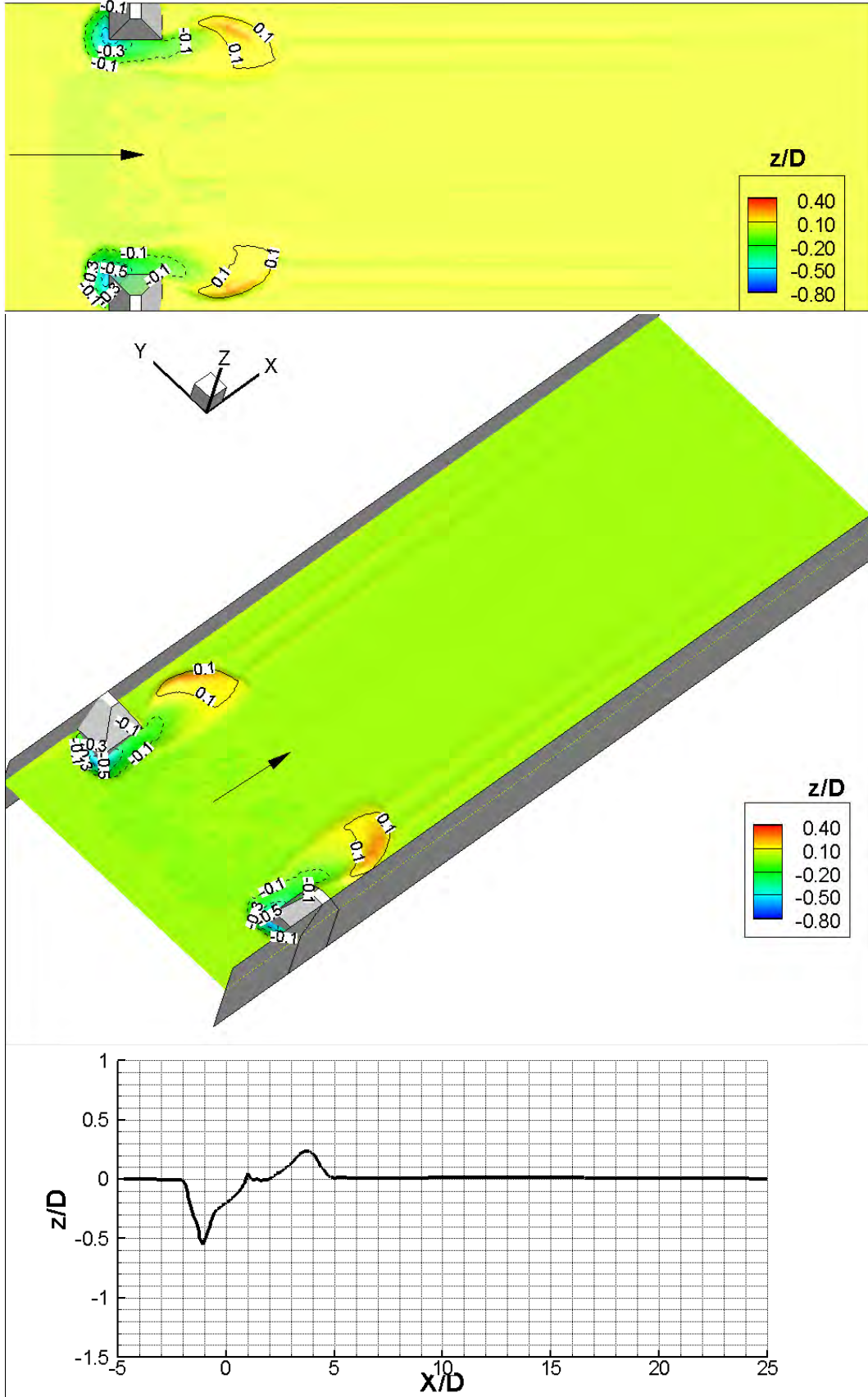
Şekil 3.10 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



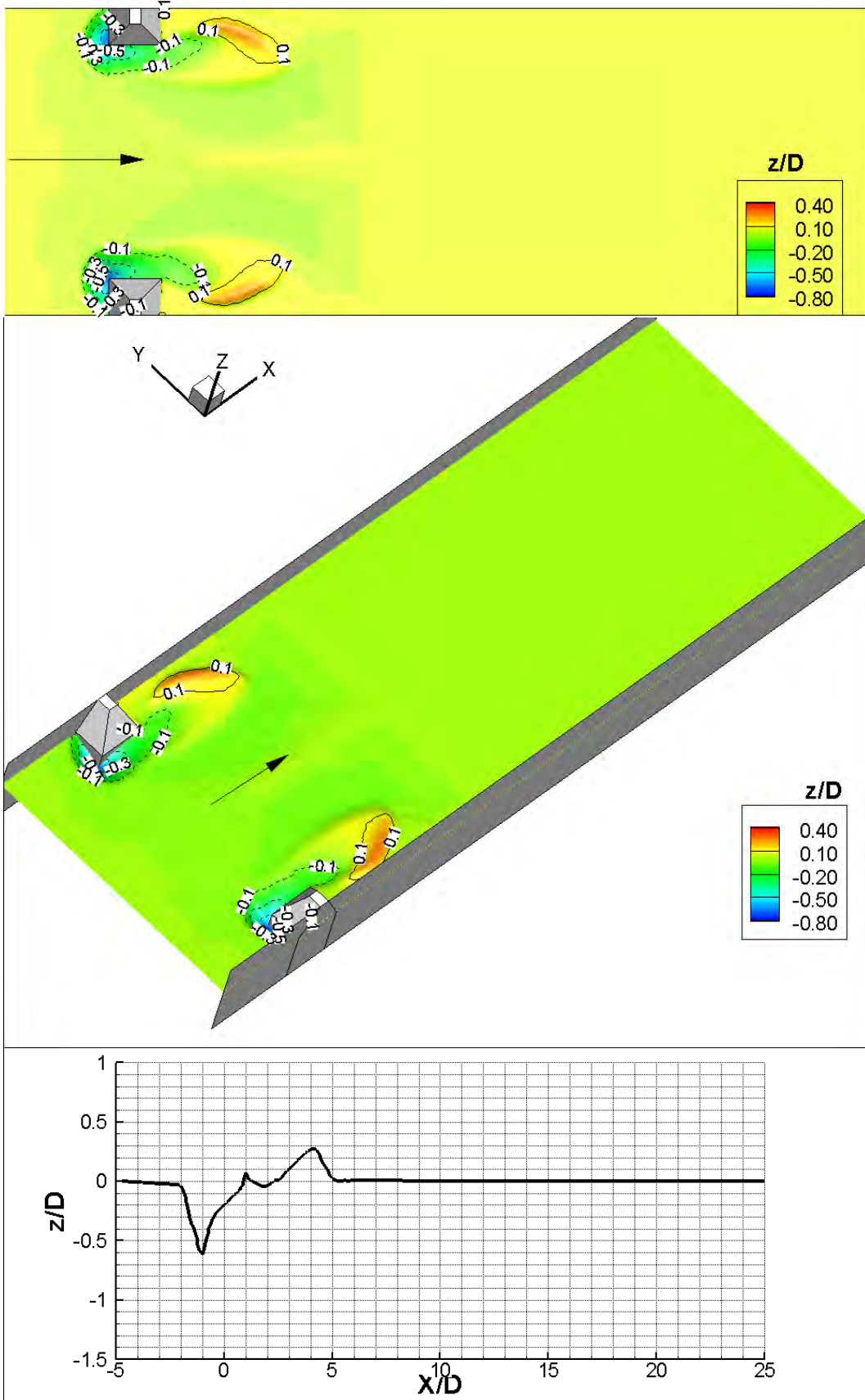
Şekil 3.11 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



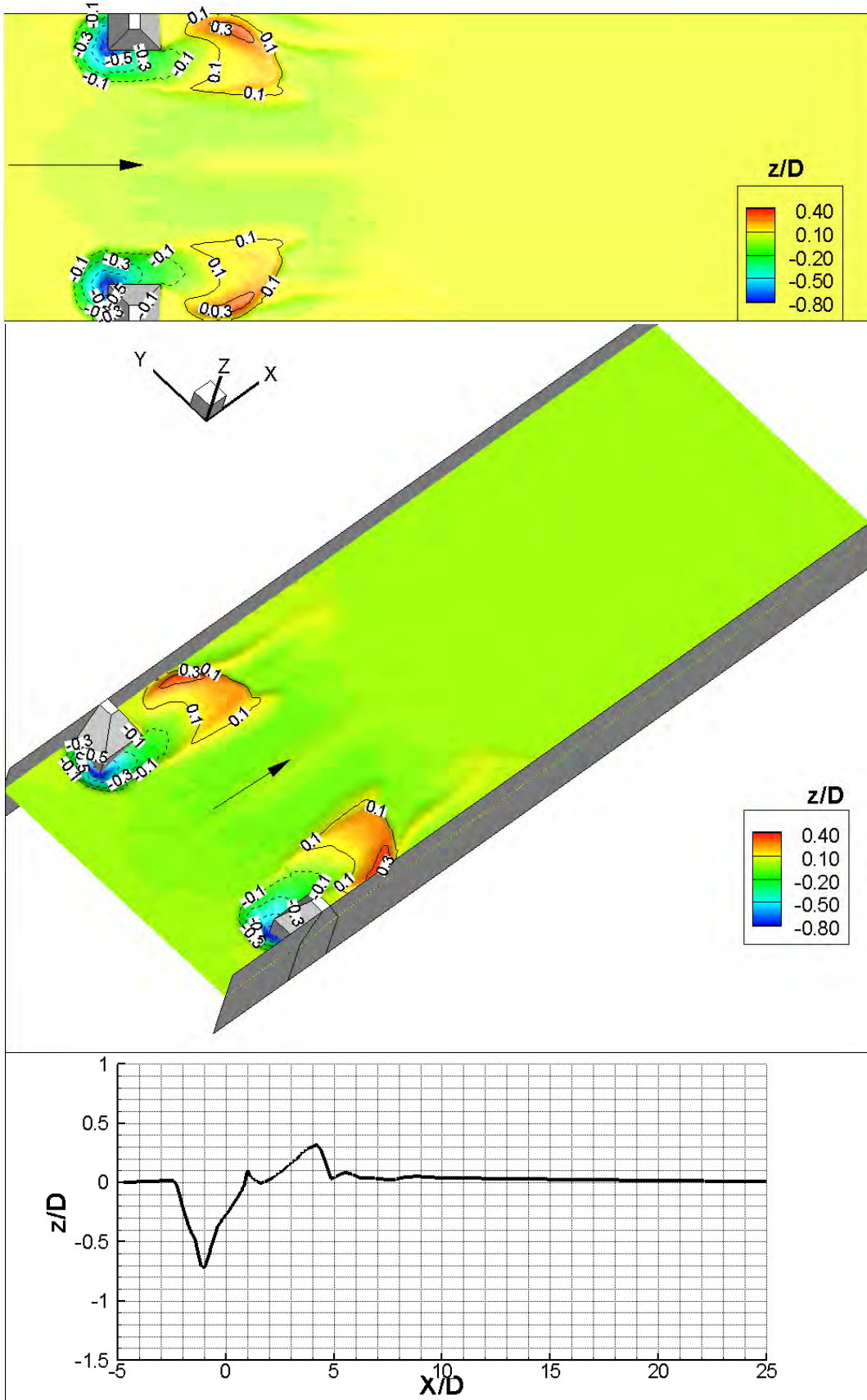
Şekil 3.12 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



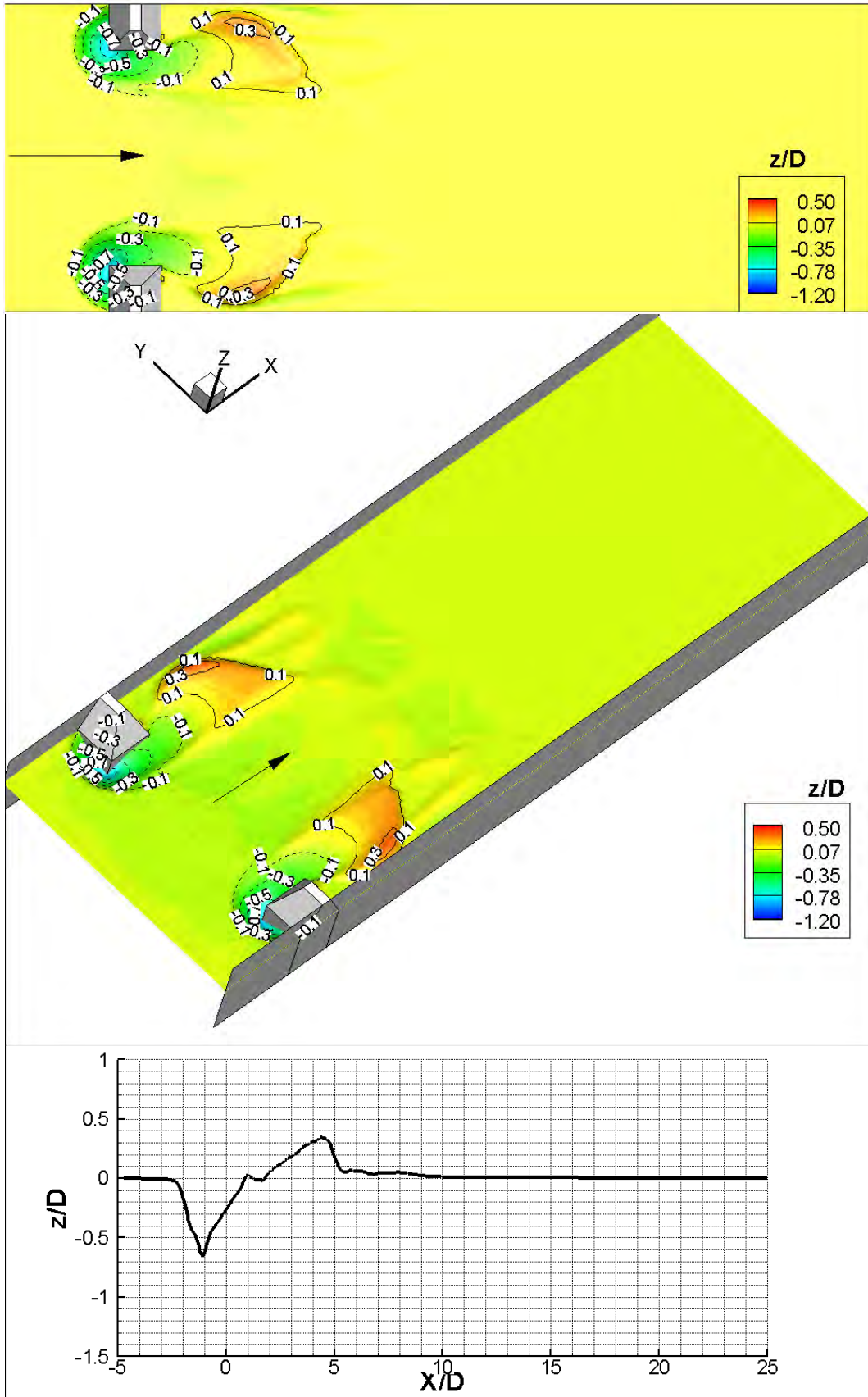
Şekil 3.13 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



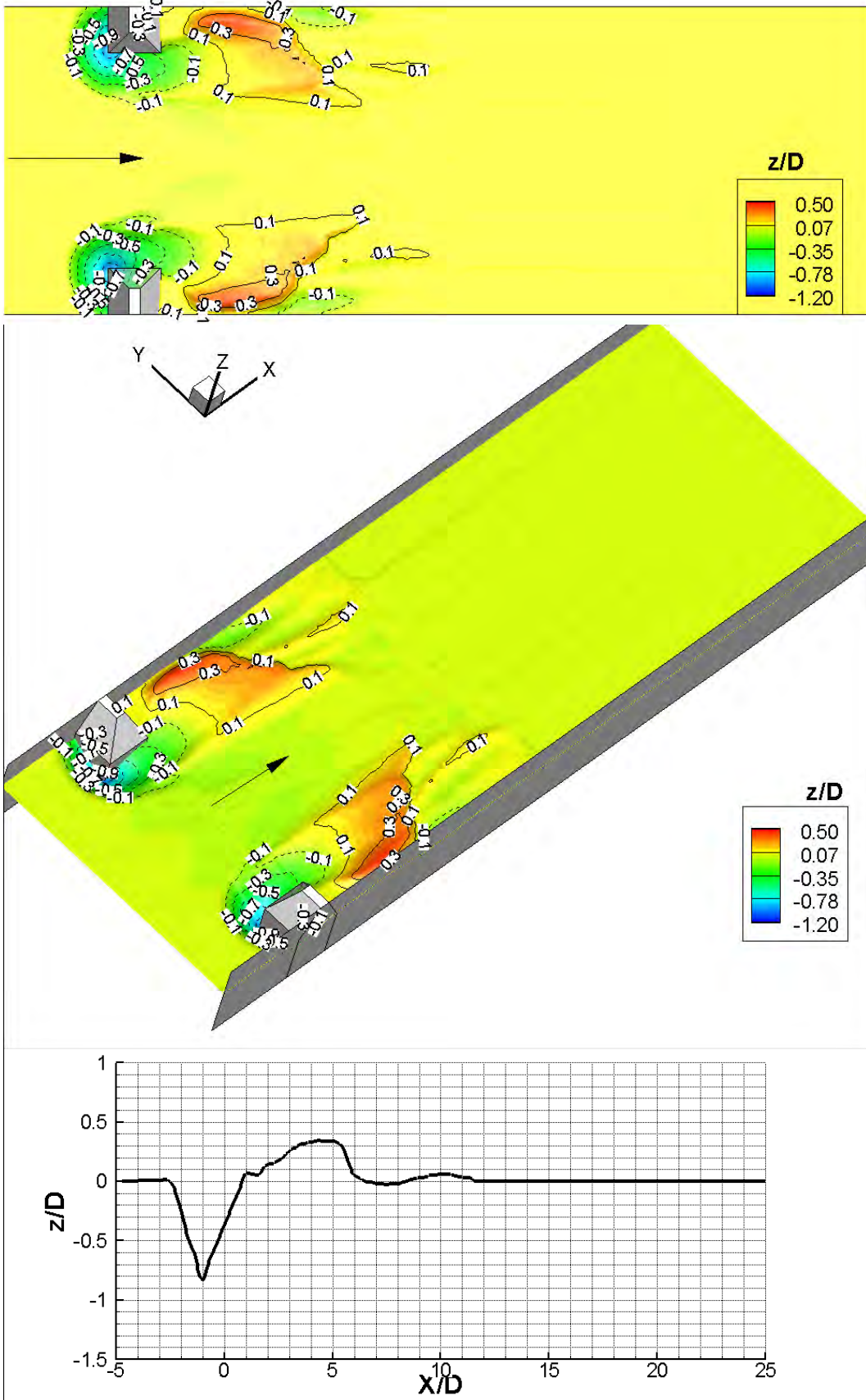
Şekil 3.14 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



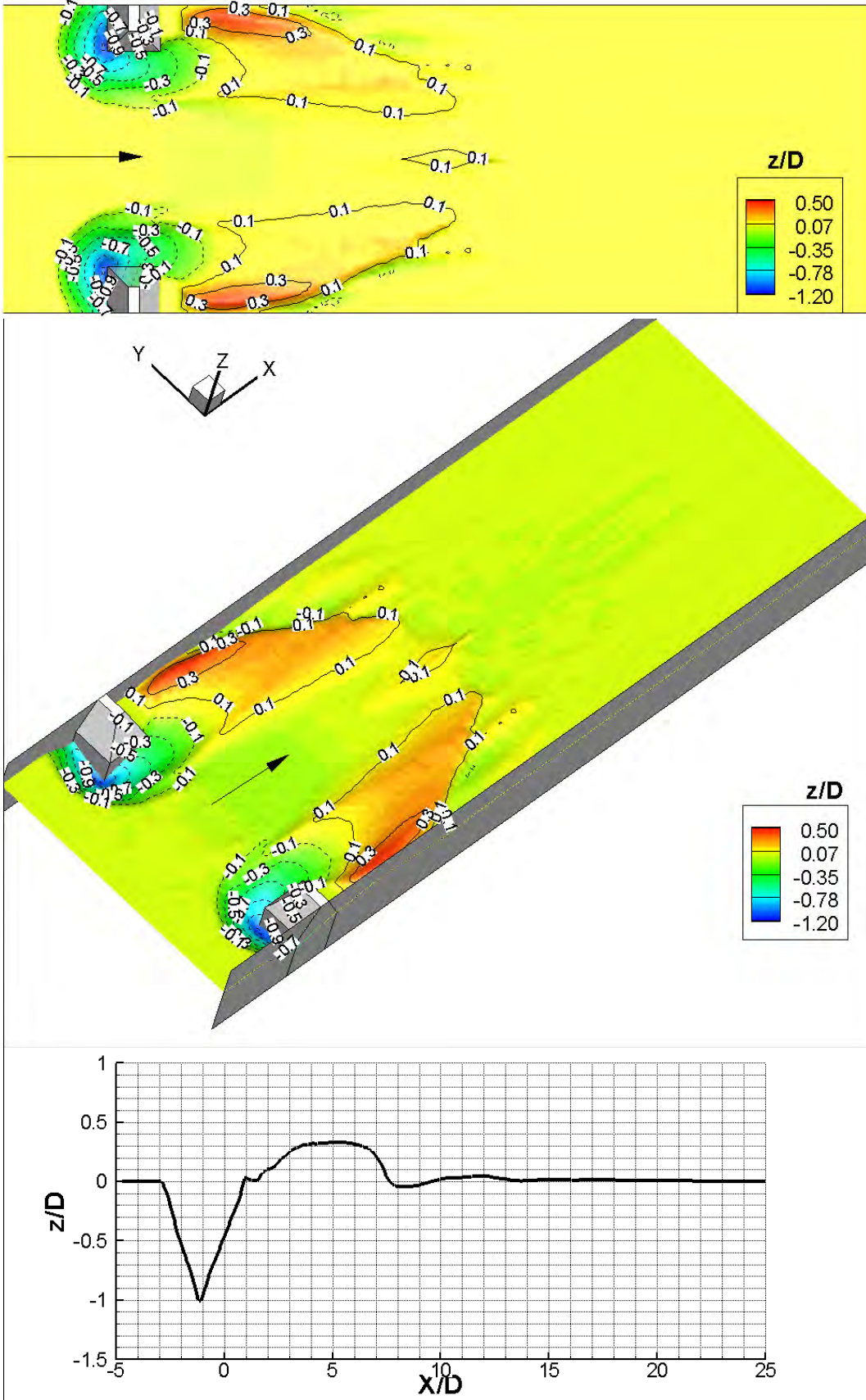
Şekil 3.15 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



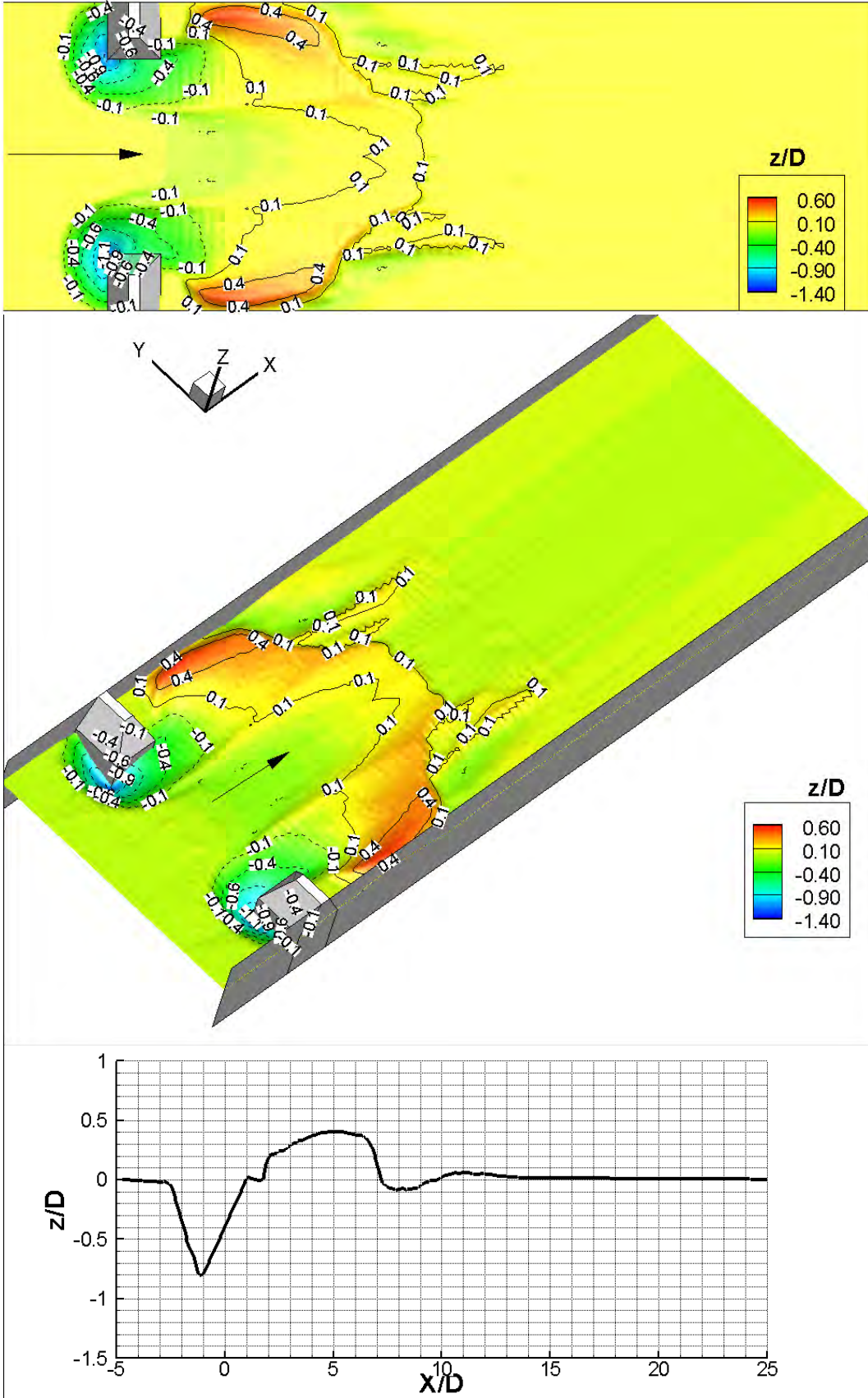
Şekil 3.16 Daralma oranı $2L/W=0.252$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



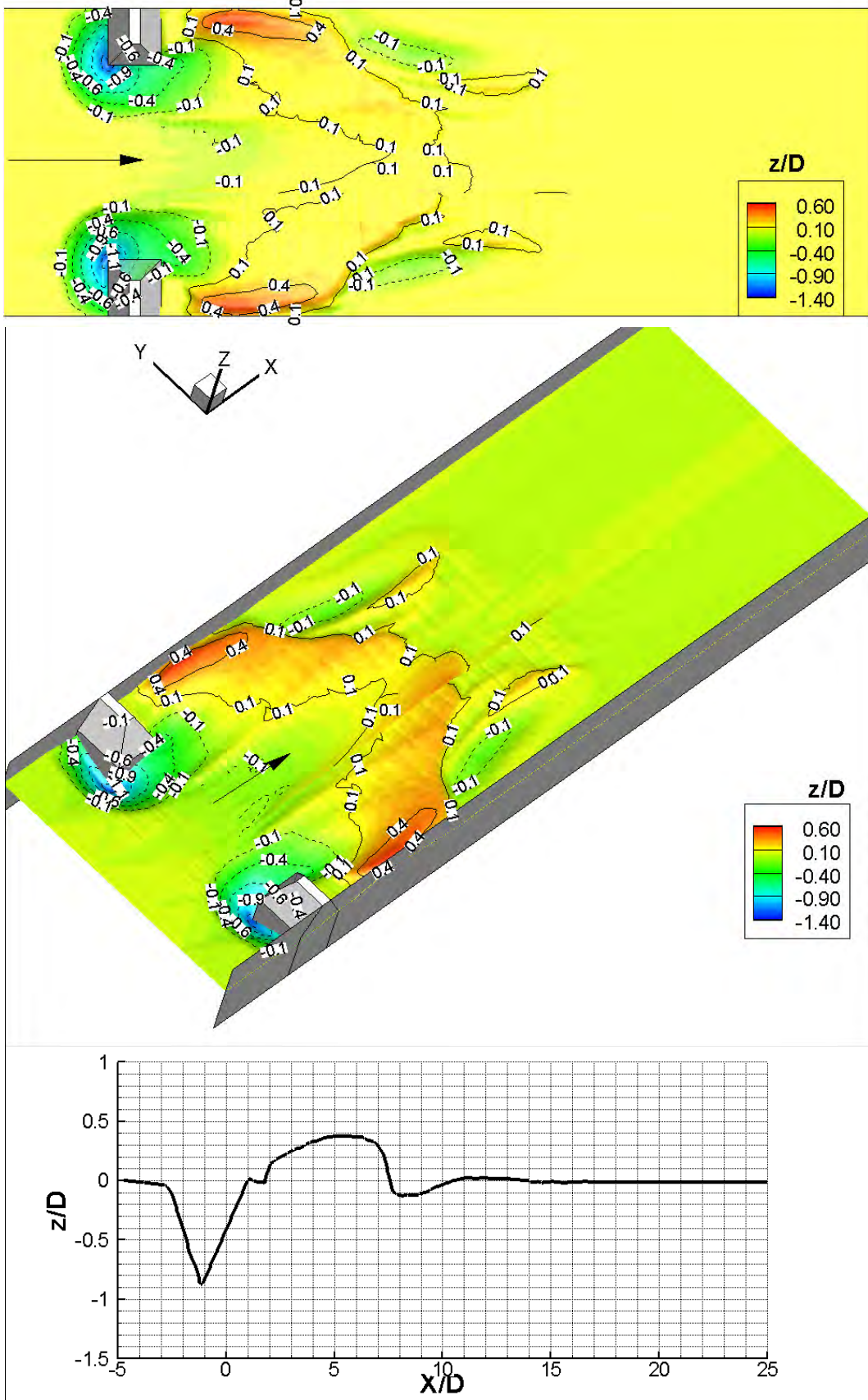
Şekil 3.17 Daralma oranı $2L/W=0.252$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



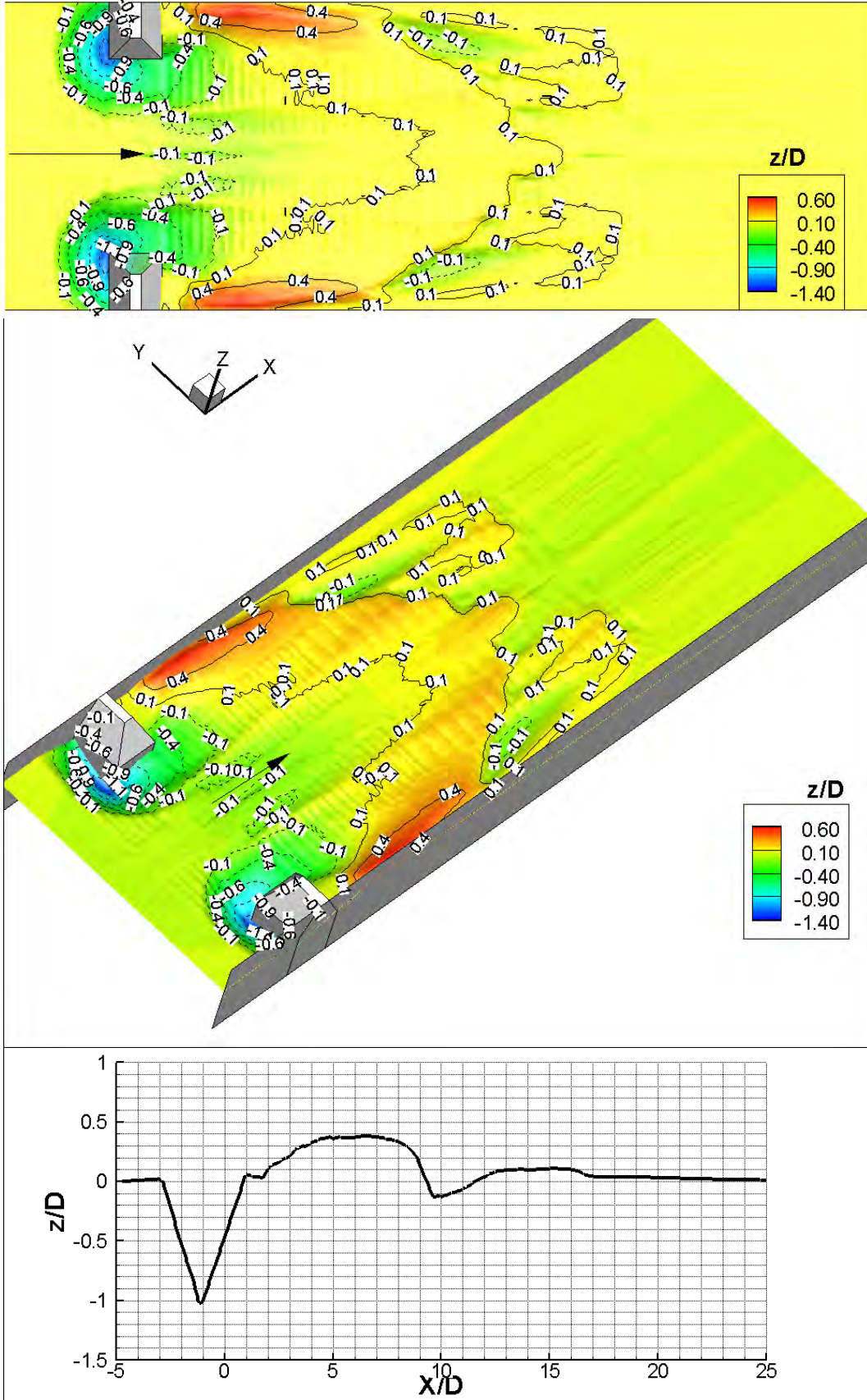
Şekil 3.18 Daralma oranı $2L/W=0.252$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



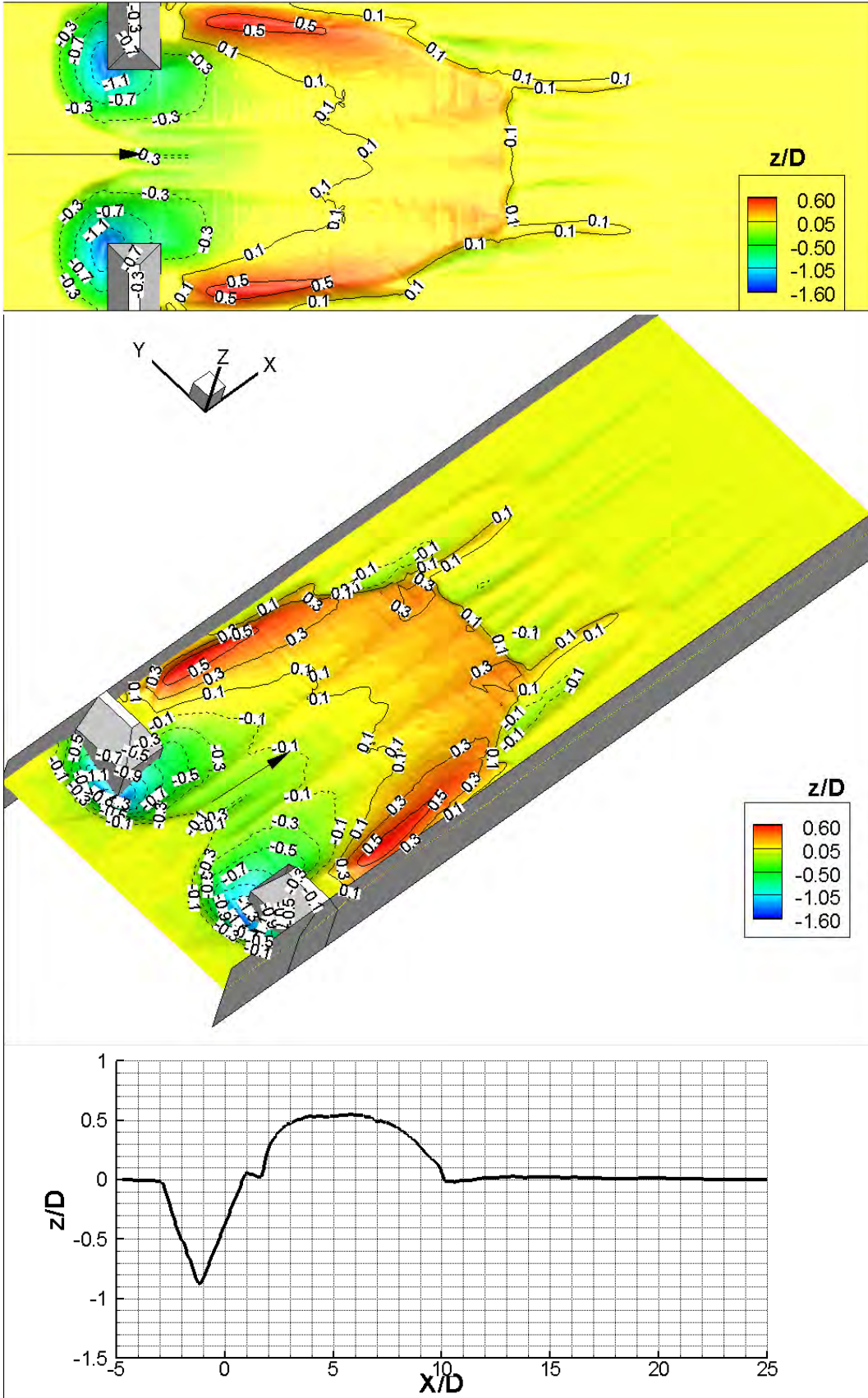
Şekil 3.19 Daralma oranı $2L/W=0.319$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



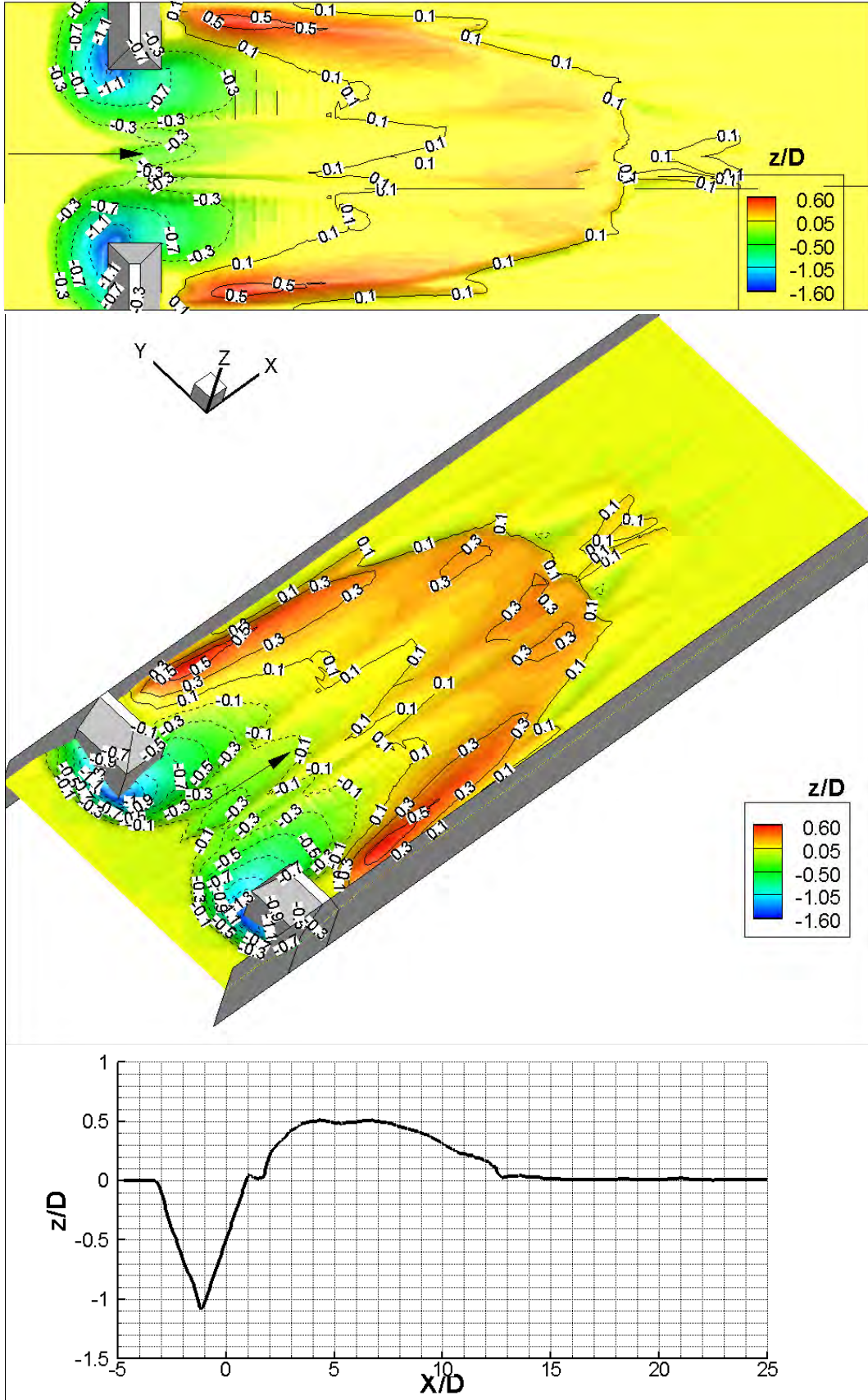
Şekil 3.20 Daralma oranı $2L/W=0.319$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



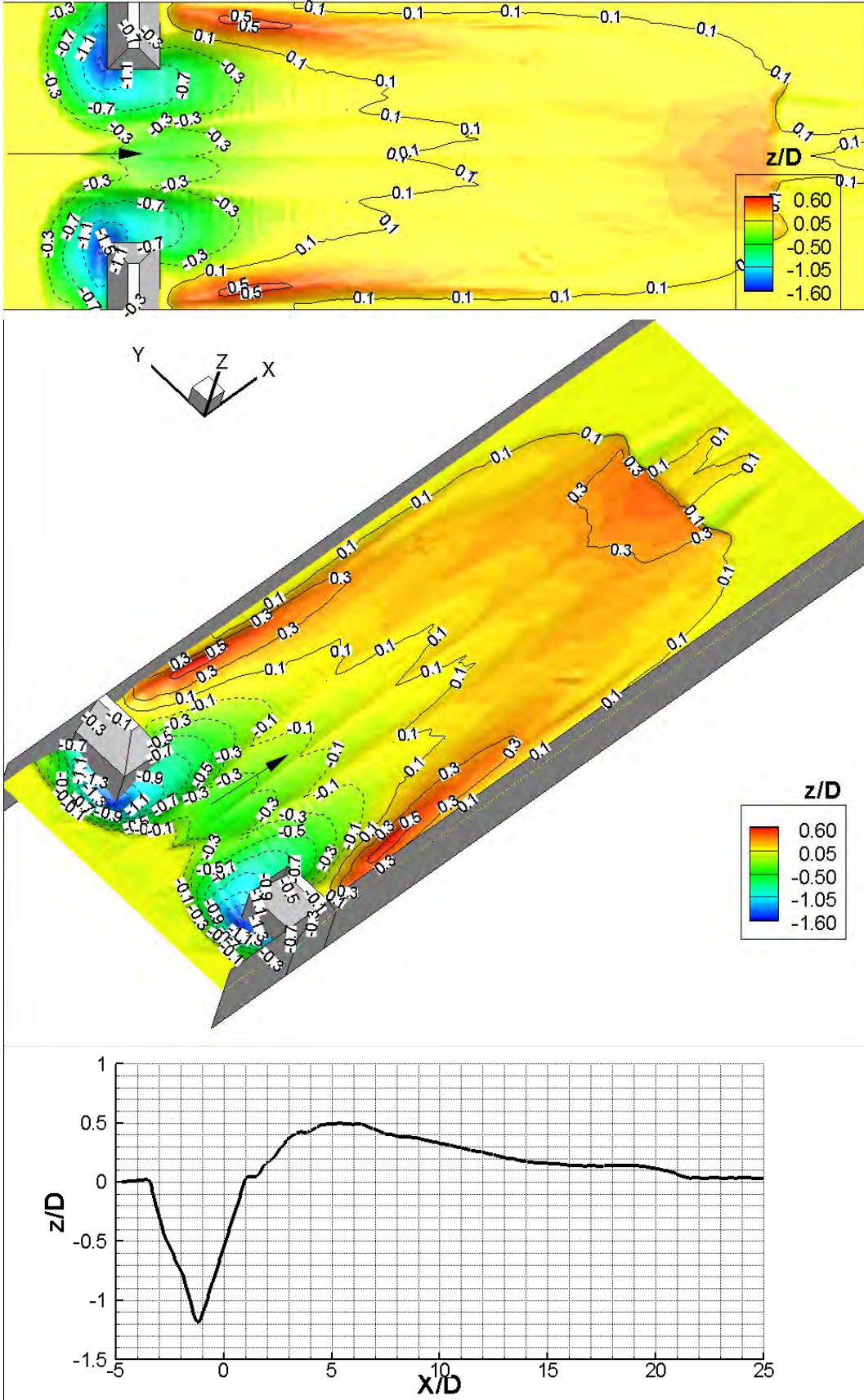
Şekil 3.21 Daralma oranı $2L/W=0.319$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



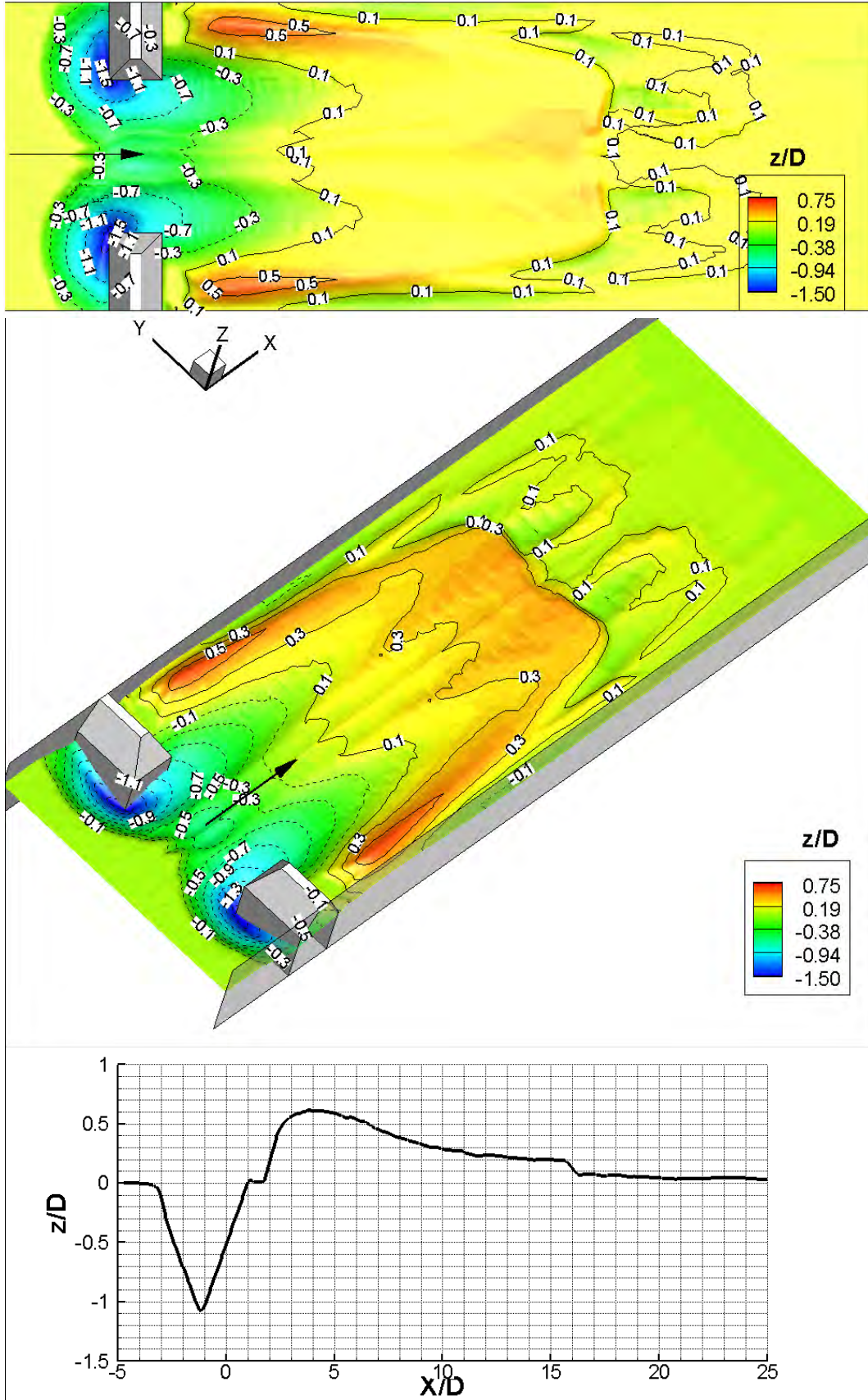
Şekil 3.22 Daralma oranı $2L/W=0.385$ için 2 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



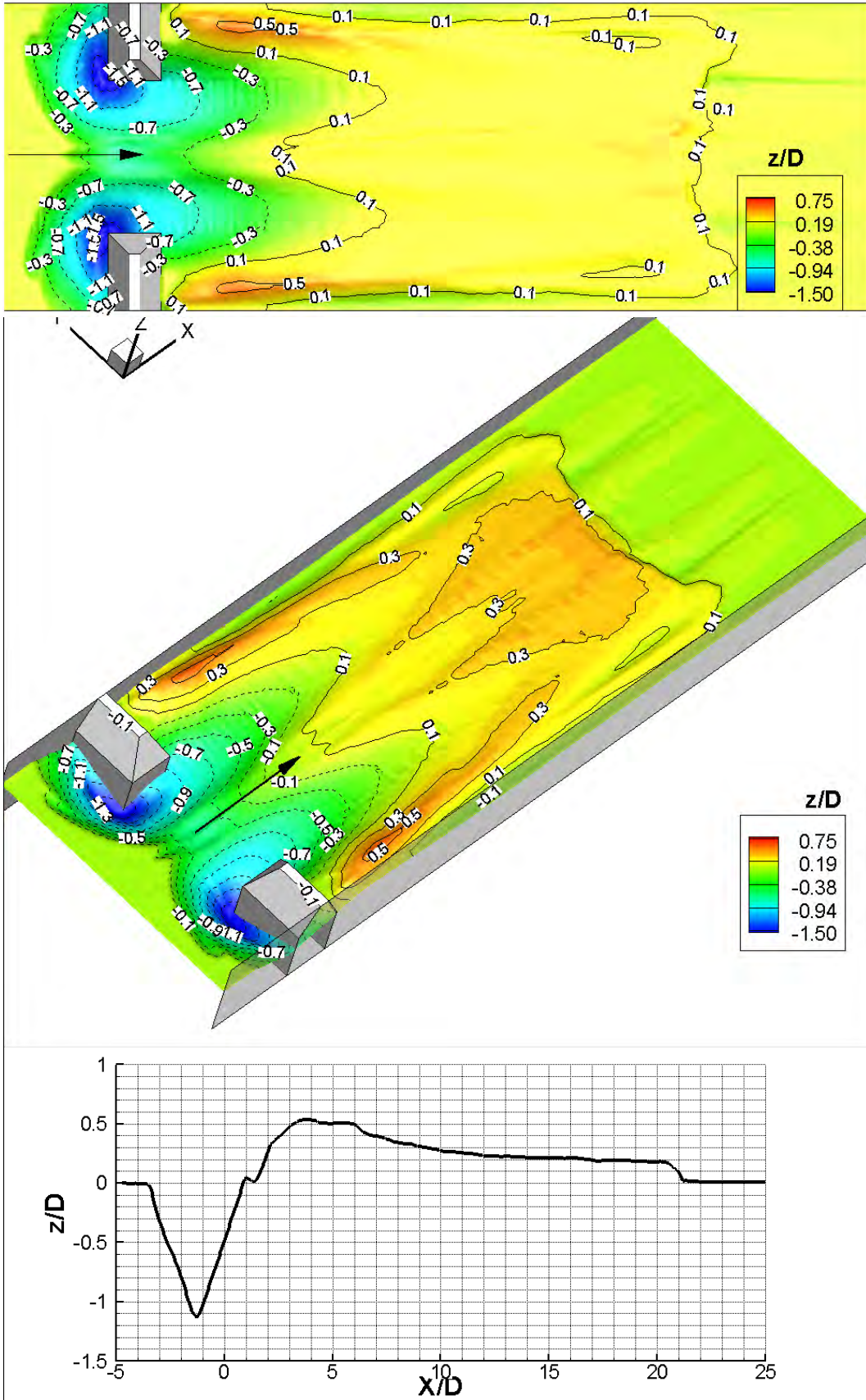
Şekil 3.23 Daralma oranı $2L/W=0.385$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



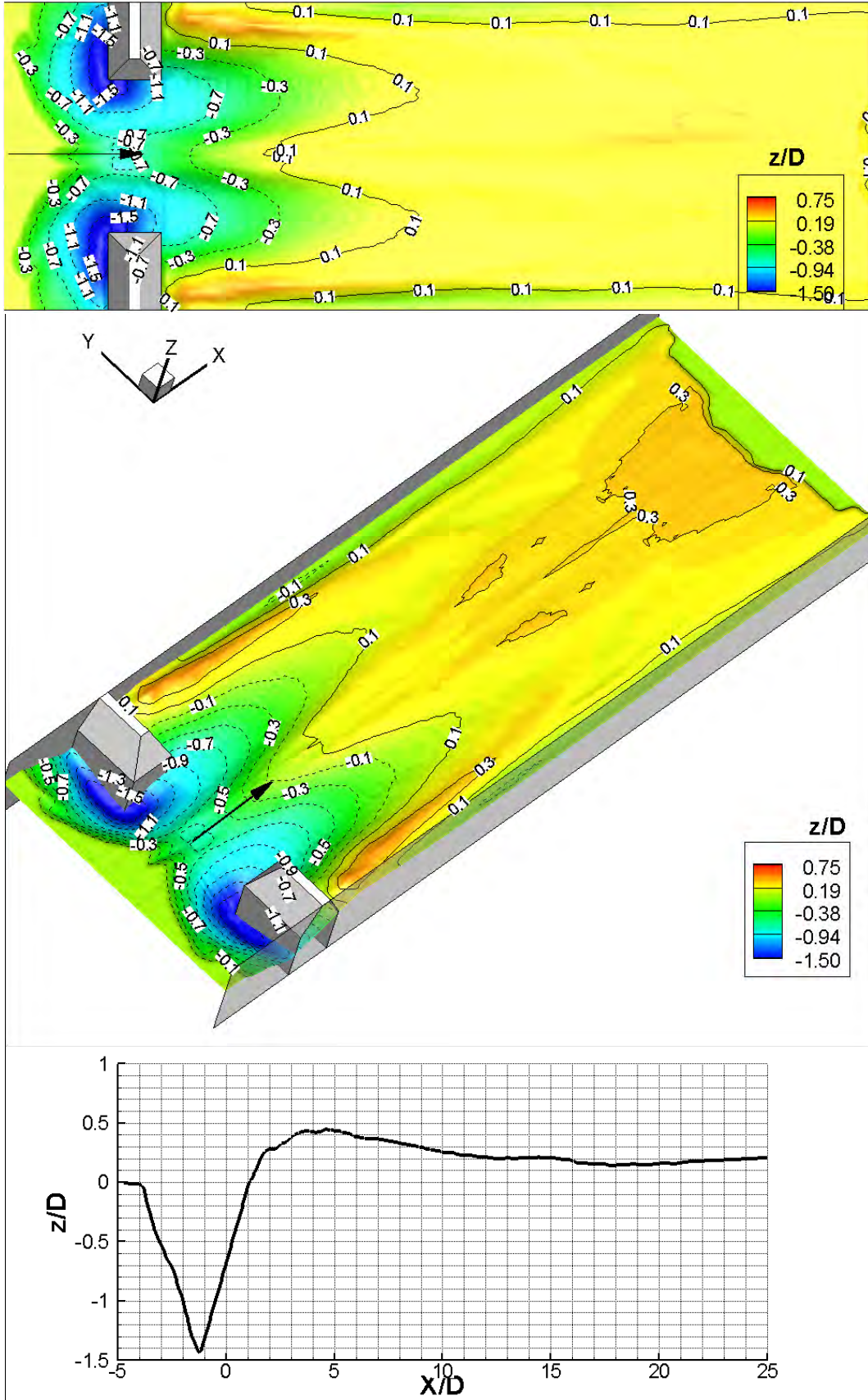
Şekil 3.24 Daralma oranı $2L/W=0.385$ için 8 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



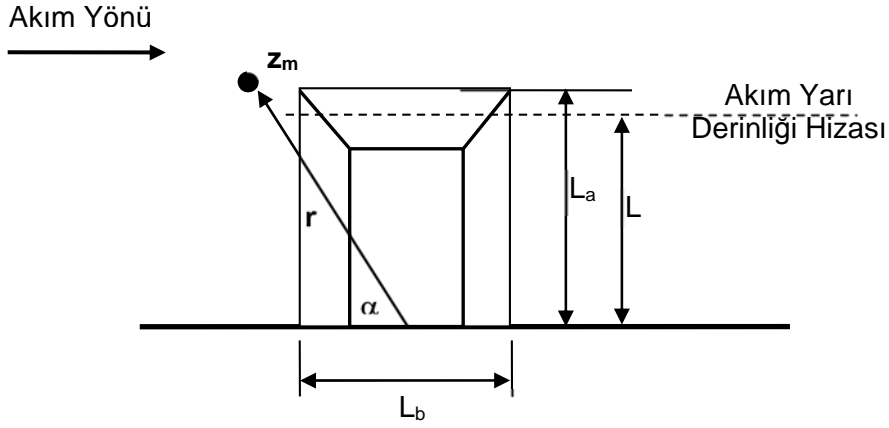
Şekil 3.25 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için 2 saat sonunda elde edilen oylulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



Şekil 3.26 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için 4 saat sonunda elde edilen oyulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.



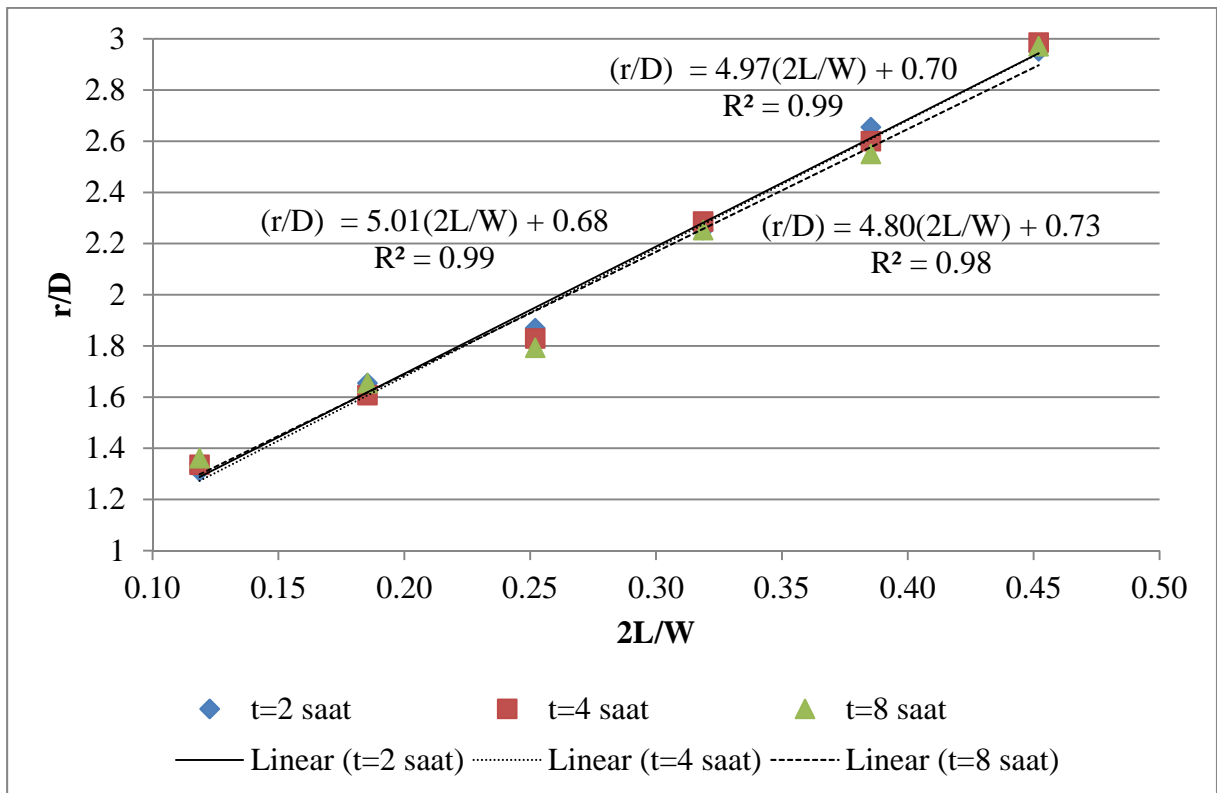
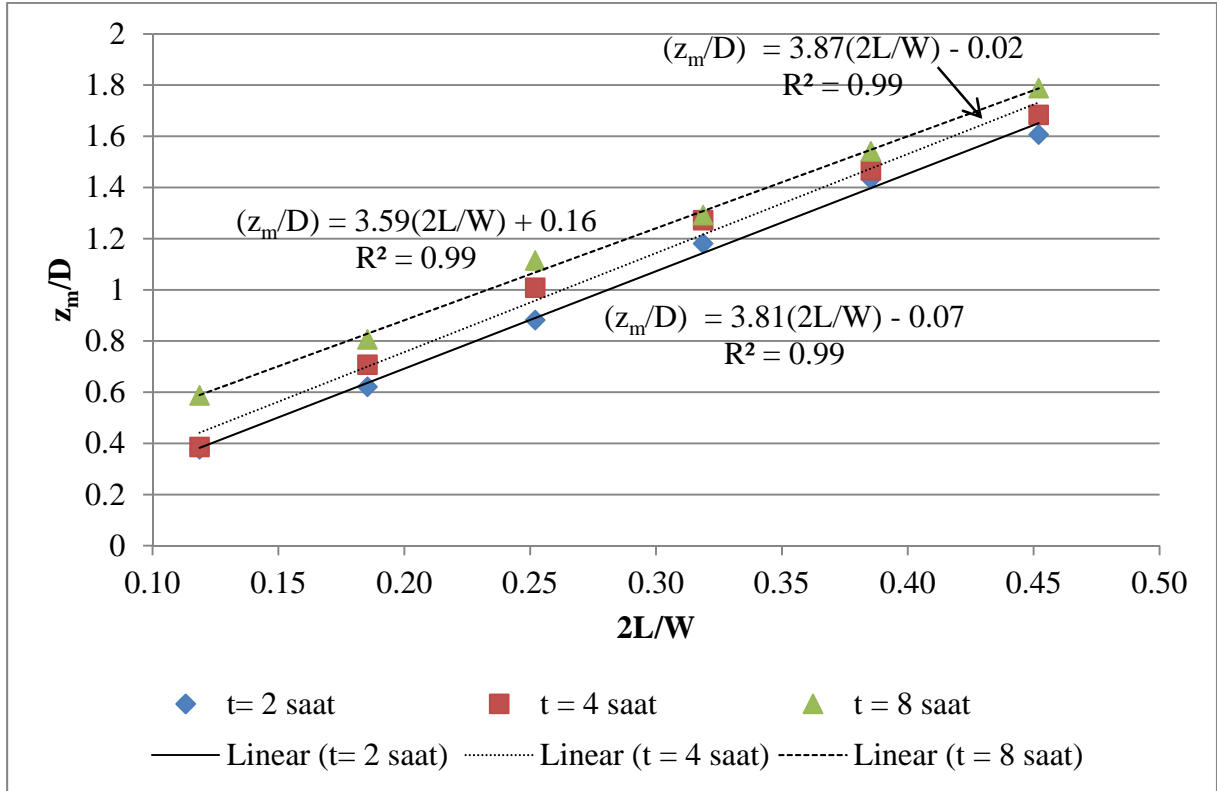
Şekil 3.27 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için 8 saat sonunda elde edilen oylulma paterninin; üstten görünümü, 3 boyutlu görünümü ve köprü yan ayağı burnu hizasında akım yönünde elde edilen boy kesiti.

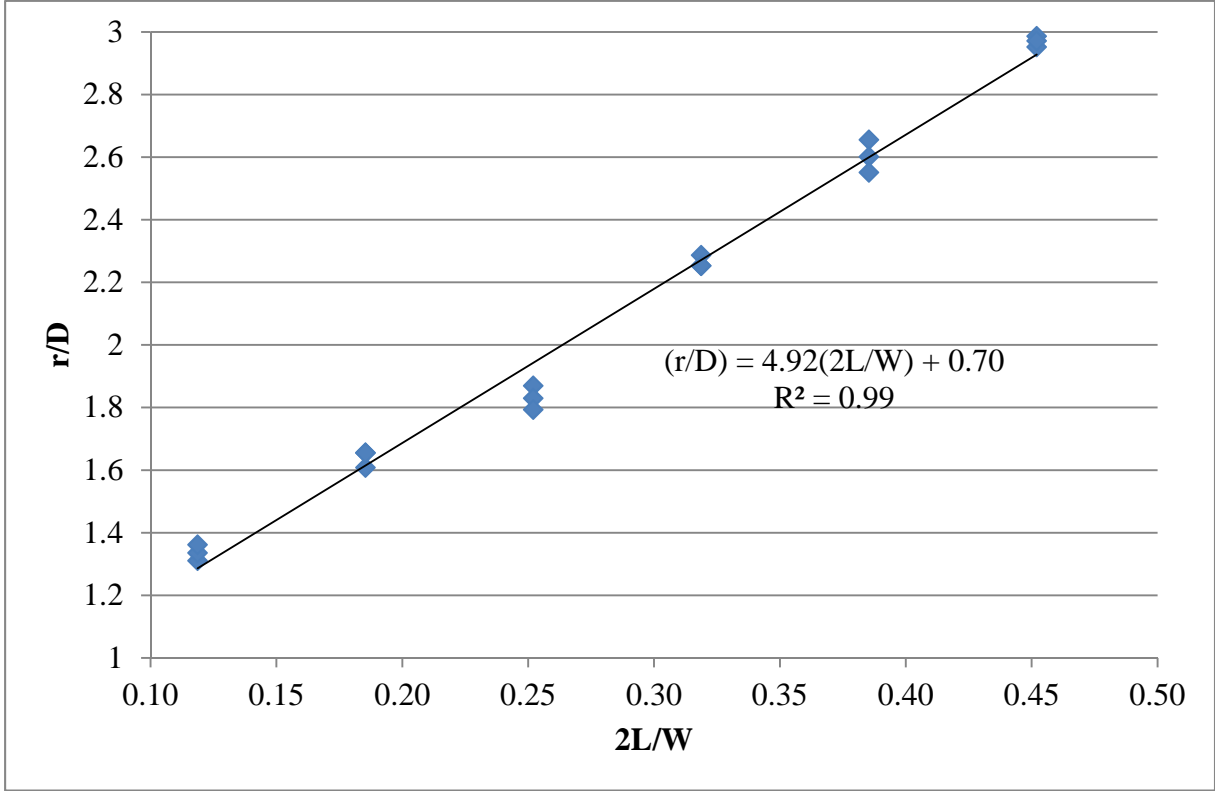


Şekil 3.28 Maksimum oyulma noktasının yerinin r ve α 'ya bağlı olarak ifadesi.

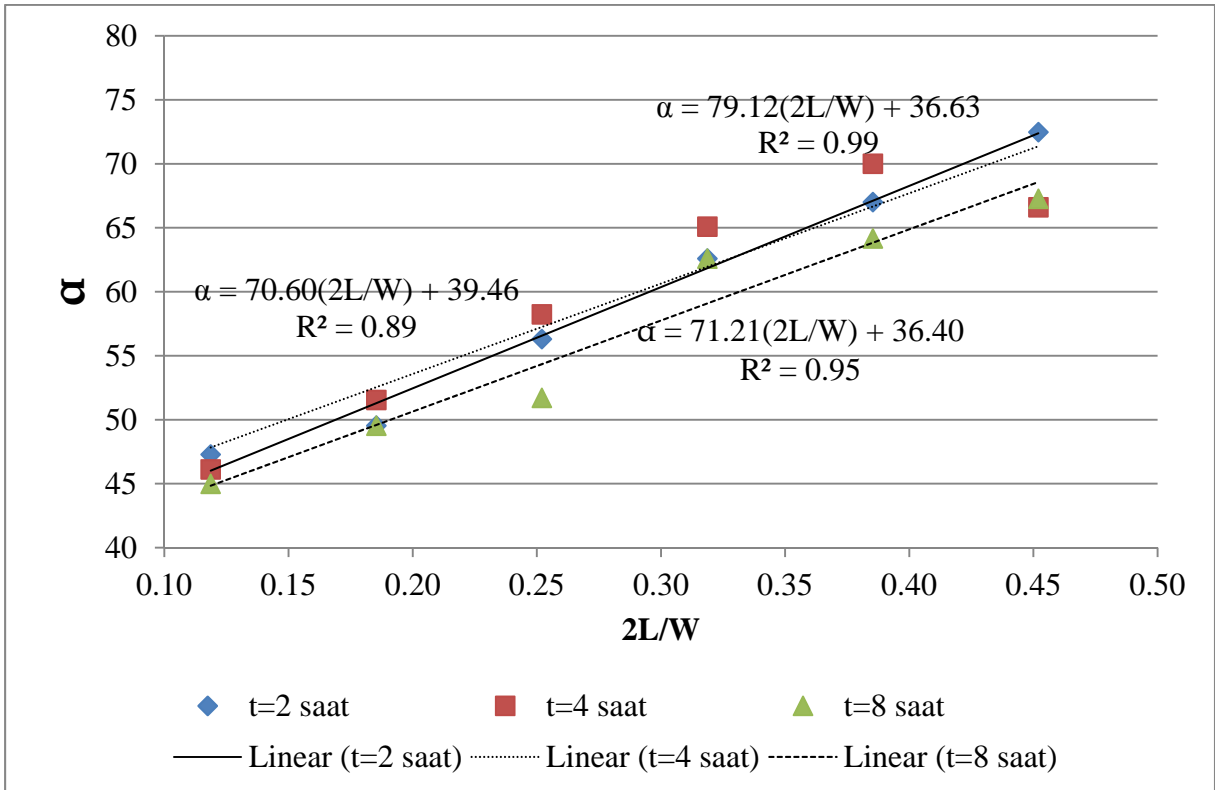
Tablo 3.1 Ayaklar için deneylerden elde edilen parametreler

L (cm)	t (saat)	D (cm)	z_m (cm)	r (cm)	α (derece)	L/D	2L/W	L/L _b	z_m/D	r/D	X _m /D	V _s /D ³
8.9	2	13.5	5.09	17.69	47.29	0.66	0.12	0.35	0.38	1.31	1.91	0.21
	4	13.5	5.21	18.03	46.12	0.66	0.12	0.35	0.39	1.34	1.73	0.28
	8	13.5	7.93	18.38	45.00	0.66	0.12	0.35	0.59	1.36	3.57	0.94
13.9	2	13.5	8.38	22.34	49.54	1.03	0.19	0.54	0.62	1.66	4.79	1.19
	4	13.5	9.55	21.71	51.55	1.03	0.19	0.54	0.71	1.61	5.08	1.61
	8	13.5	10.89	22.34	49.54	1.03	0.19	0.54	0.81	1.66	4.86	2.33
18.9	2	13.5	11.90	25.24	56.31	1.40	0.25	0.74	0.88	1.87	5.30	3.33
	4	13.5	13.61	24.70	58.24	1.40	0.25	0.74	1.01	1.83	5.19	4.65
	8	13.5	15.04	24.21	51.71	1.40	0.25	0.74	1.11	1.79	5.78	6.66
23.9	2	13.5	15.94	30.41	62.59	1.77	0.32	0.93	1.18	2.25	5.93	7.62
	4	13.5	17.17	30.87	65.10	1.77	0.32	0.93	1.27	2.29	6.16	8.82
	8	13.5	17.45	30.41	62.59	1.77	0.32	0.93	1.29	2.25	6.62	10.21
28.9	2	13.5	19.34	35.85	67.01	2.14	0.39	1.13	1.43	2.66	7.22	12.93
	4	13.5	19.80	35.11	70.02	2.14	0.39	1.13	1.47	2.60	8.32	15.74
	8	13.5	20.81	34.44	64.18	2.14	0.39	1.13	1.54	2.55	8.97	18.75
33.9	2	13.5	21.69	39.85	72.47	2.51	0.45	1.32	1.61	2.95	9.89	18.96
	4	13.5	22.73	40.31	66.61	2.51	0.45	1.32	1.68	2.99	10.82	23.66
	8	13.5	24.14	40.12	67.27	2.51	0.45	1.32	1.79	2.97	12.02	29.00

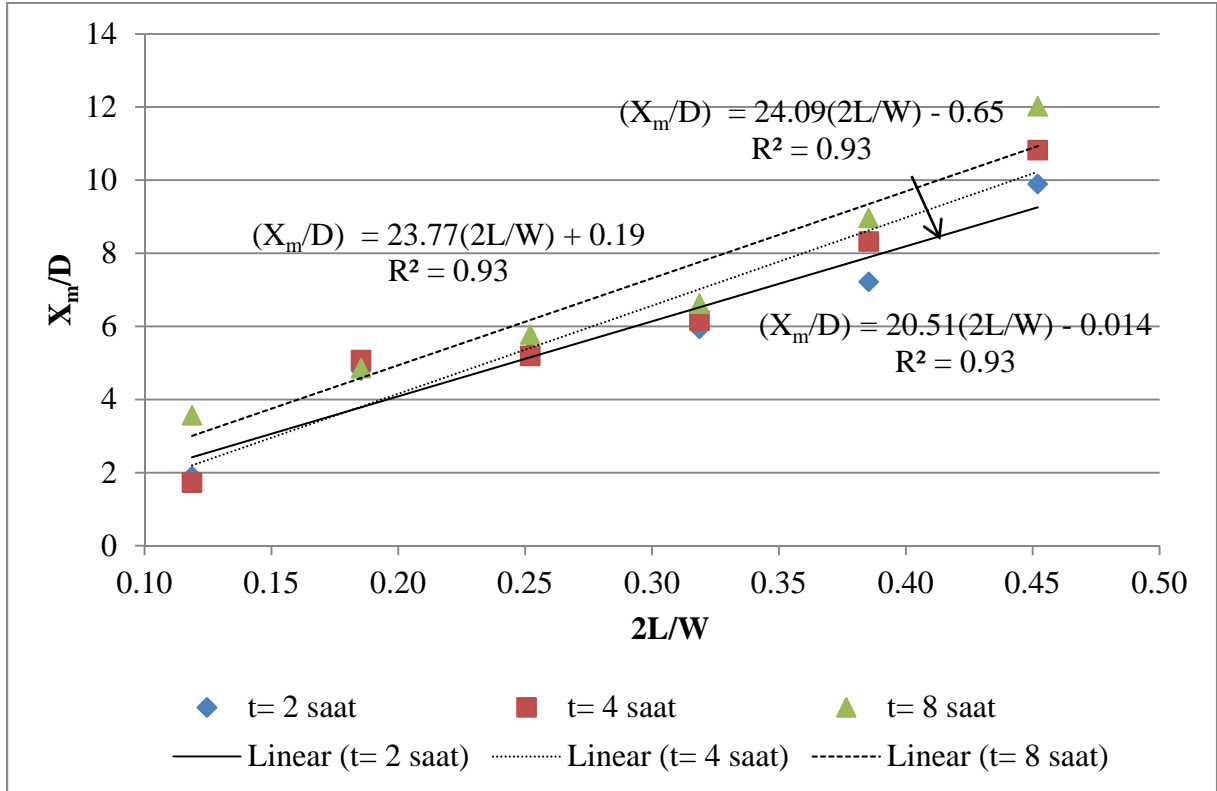




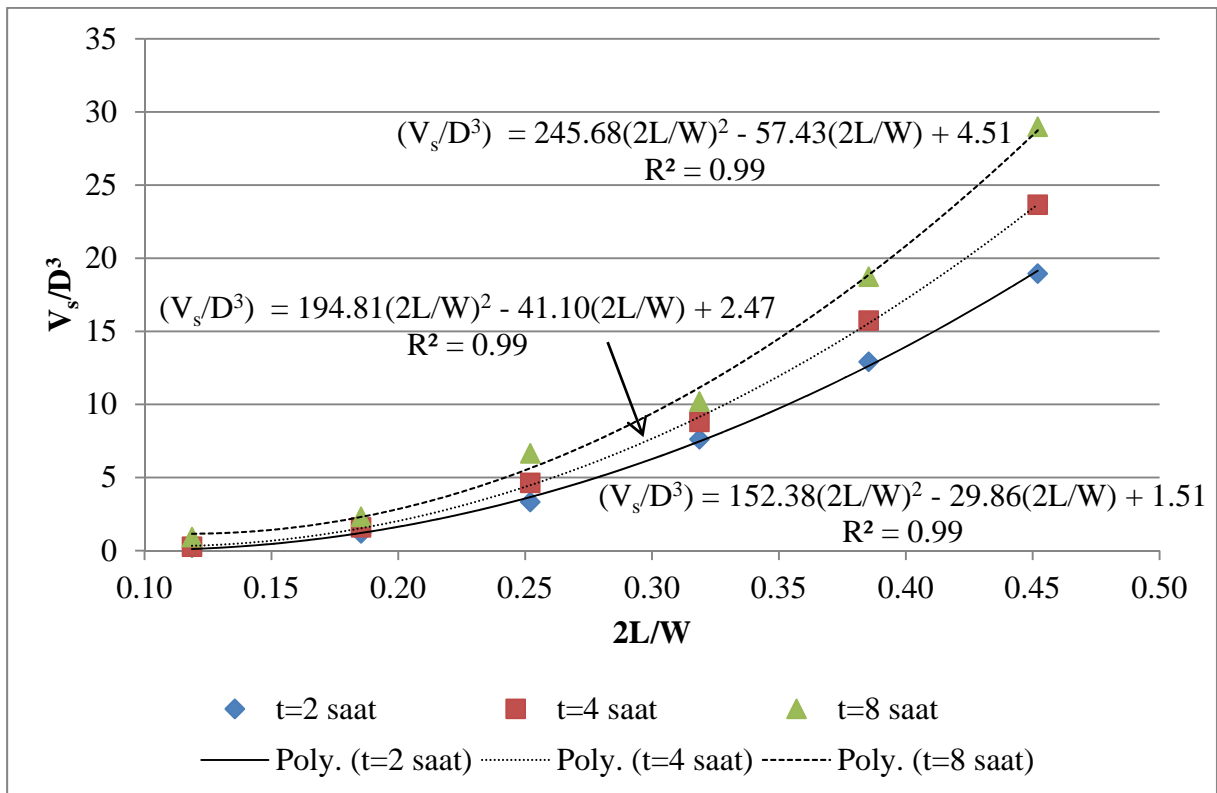
Şekil 3.31 Tüm deney süreleri sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktayı belirleyen boyutsuz yarıçap r/D 'nin daralma oranı $2L/W$ ile değişimi



Şekil 3.32 2, 4 ve 8 saatlik deneyler sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktayı belirleyen açısının daralma oranı $2L/W$ ile değişimi



Şekil 3.33 2, 4 ve 8 saatlik deneyler sonucu elde edilen oyulma çukurunun köprü yan ayağı ucu hizasındaki boyutsuz uzunluğu X_m 'in daralma oranı $2L/W$ ile değişimi



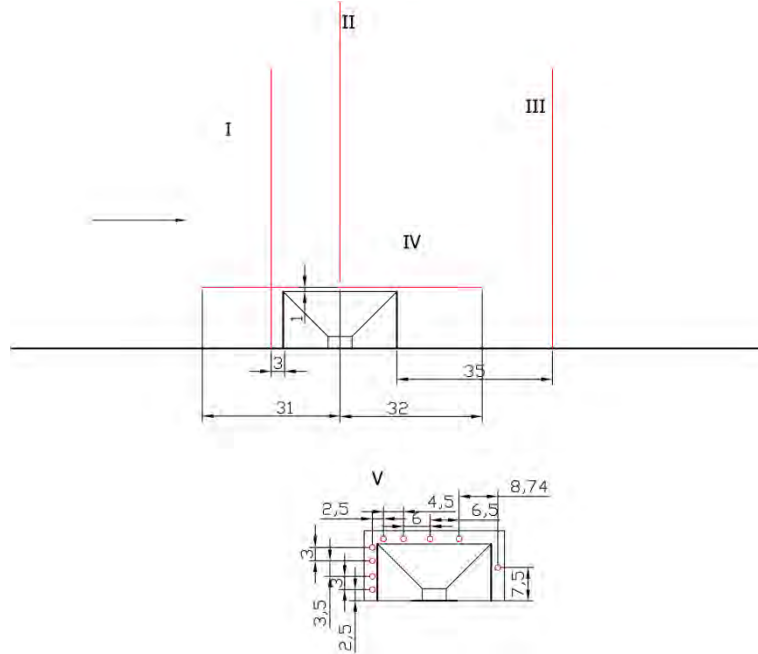
Şekil 3.34 2, 4 ve 8 saatlik deneyler sonucu elde edilen boyutsuz oyulma hacmi V_s/D^3 'ün daralma oranı $2L/W$ ile değişimi

3.4 Zamana Bağlı Oyulma Deneyleri:

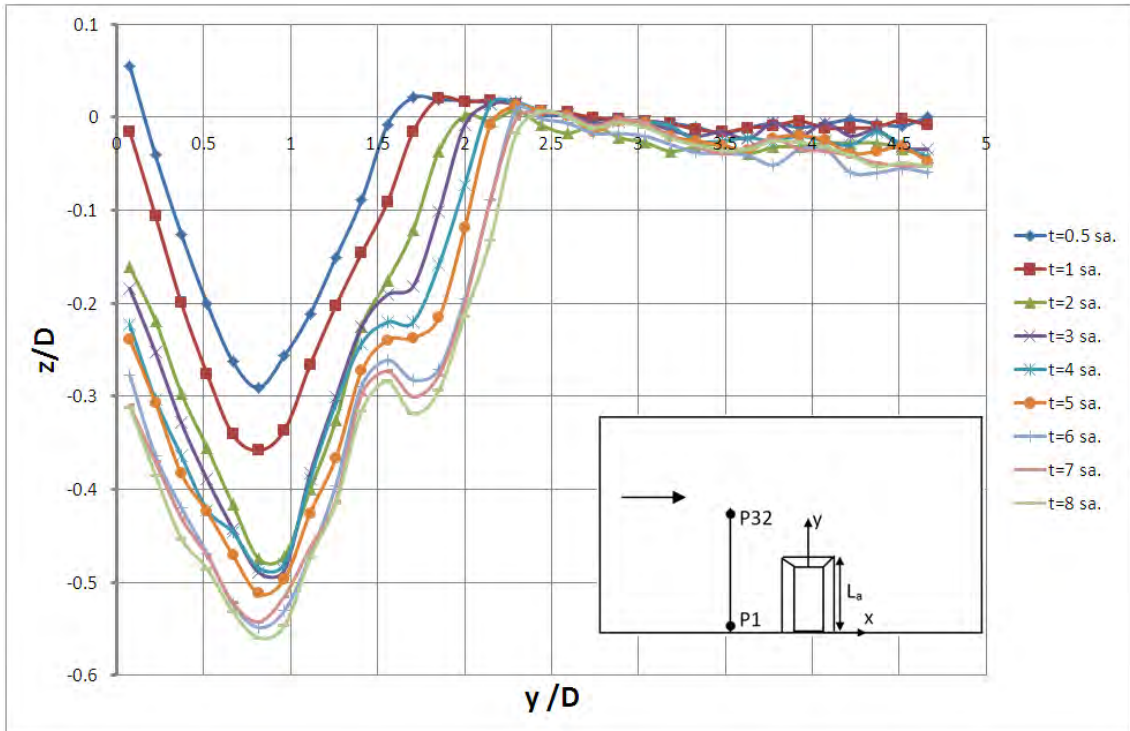
Oyulma profillerinin zamanla değişimlerini gözlemleyebilmek için en küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ ve en büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ 'de 8 saat süreli deneyler yapılmış ve ayak etrafında beş farklı kesit boyunca oyulma değerleri sürekli olarak $t=0.5$ saatten başlayarak birer saat arayla kaydedilmiştir. En küçük ve en büyük daralma oranlarında bu kesitlerin alındıkları yerlerin şeması sırasıyla Şekiller 3.35 ve 3.41'de; elde edilen oyulma profilleri ise Şekiller 3.36-3.40 ve 3.42-3.46'da verilmiştir. Şekiller 3.35 ve 3.41'de gösterilen kesitlerden üç tanesi akım yönüne dik olup; birincisi (I. okuma) ayağın memba tarafında, ikincisi (II. okuma) ayağın tam uç kısmından başlayıp kanalın orta kısmına doğru ilerlemektedir ve üçüncüsü (III. okuma) ise ayağın mansap kısmındadır. Kesitler üzerinde P1, P32 gibi sembollerle gösterilen noktalar, ölçümlerde kullanılan derinlik algılayıcılarının numaralarını ifade etmektedir. Ölçüm yapılan diğer iki kesitten bir tanesi ayağın uç kısmından geçen ve akım doğrultusunda alınan kesit (IV. okuma) ve diğeri ise ayakların çevresinde yer alan kesittir (V. okuma). En küçük daralma oranında elde edilen oyulma profillerinin analizi neticesinde şu değerlendirmeler yapılabilir:

- 1) Oyulma çukurunun herhangi bir yerinden alınacak olan bir kesitin profili, zaman arttıkça derinleşmekte ya da yükselmektedir. İlerleyen zaman aralıklarında profiller birbirlerine daha da yaklaşmaktadır. Bu da göstermektedir ki zaman ilerledikçe oyulma çukurunun derinleşme hızı ve birikim tepeciğinin yükselme hızı azalmaktadır.
- 2) Ayakların mansap kısmında oluşan birikim tepeciğinin yan yamaç eğimleri, farklı zaman aralıklarında da hemen hemen hiç değişmemektedir. Bir kesite ait farklı zamanların profilleri birbirlerine paralel eğilimler göstermektedir.
- 3) En kısa daralma oranında, ayak etrafında deney başlangıcında tek bir eğimden oluşan oyulma çukuru yaklaşık $t=3$ saatten sonra iki kademeli bir oyulma çukuruna dönüşmektedir. Böyle bir durum en büyük daralma oranında gözlemlenmemektedir.
- 4) En küçük ve en büyük daralma oranlarında bütün deney süresi boyunca ayak çevresinde oluşan maksimum oyulmanın olduğu nokta değişmemektedir. Her iki daralma oranında da bu nokta ölçüm alınan noktalar içerisinde ayağın memba tarafındaki ucuna en yakın olan noktadır.
- 5) Her iki daralma oranında da, ayağın mansap kısmında oluşan oyulma tepeciğinin tepe noktası deneyin ilk üç saatlik bölümünde kanal yan duvarına yaklaşmakta sonrasında ise bulunduğu yeri korumaktadır. En küçük daralma oranında bu kesit boyunca kanal içerisine doğru ilerlendiğinde zemin orijinal seviyesi olan sıfır kotuna ulaşmaktadır; halbuki en büyük daralma oranında kanal merkezine doğru ilerlendiğinde tepeciğin hemen yanında bir oyulma çukurunun oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu oyulma çukuru ayak etrafında oluşan büyük oyulma çukurunun bir uzantısıdır (Şekil 3.27). En küçük daralma oranında bu tepeciğin yüksekliği $t=3$

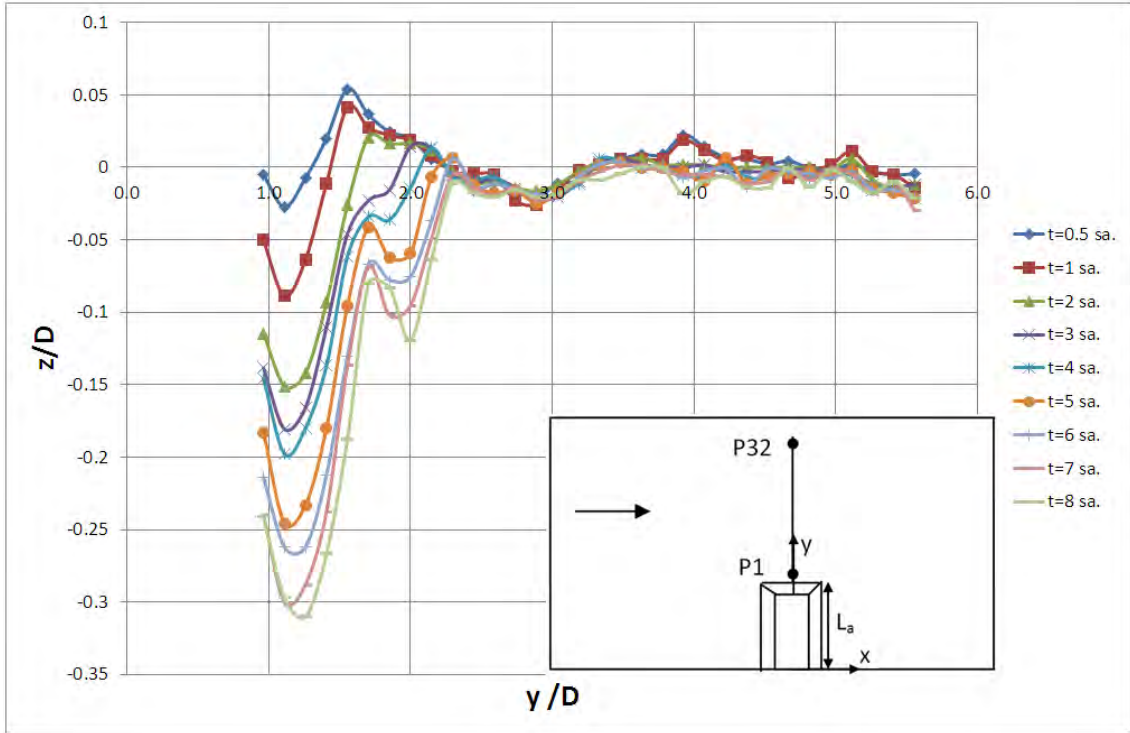
saatlik periyottan sonra artmaya devam etmektedir. En büyük daralma oranında ise bu tepeliğin yüksekliği $t=3$ saatlik periyottan sonra sabit kalmakta fakat hemen yanında oluşan oyulma çukurunun derinliği zamanla artmaya devam etmektedir.



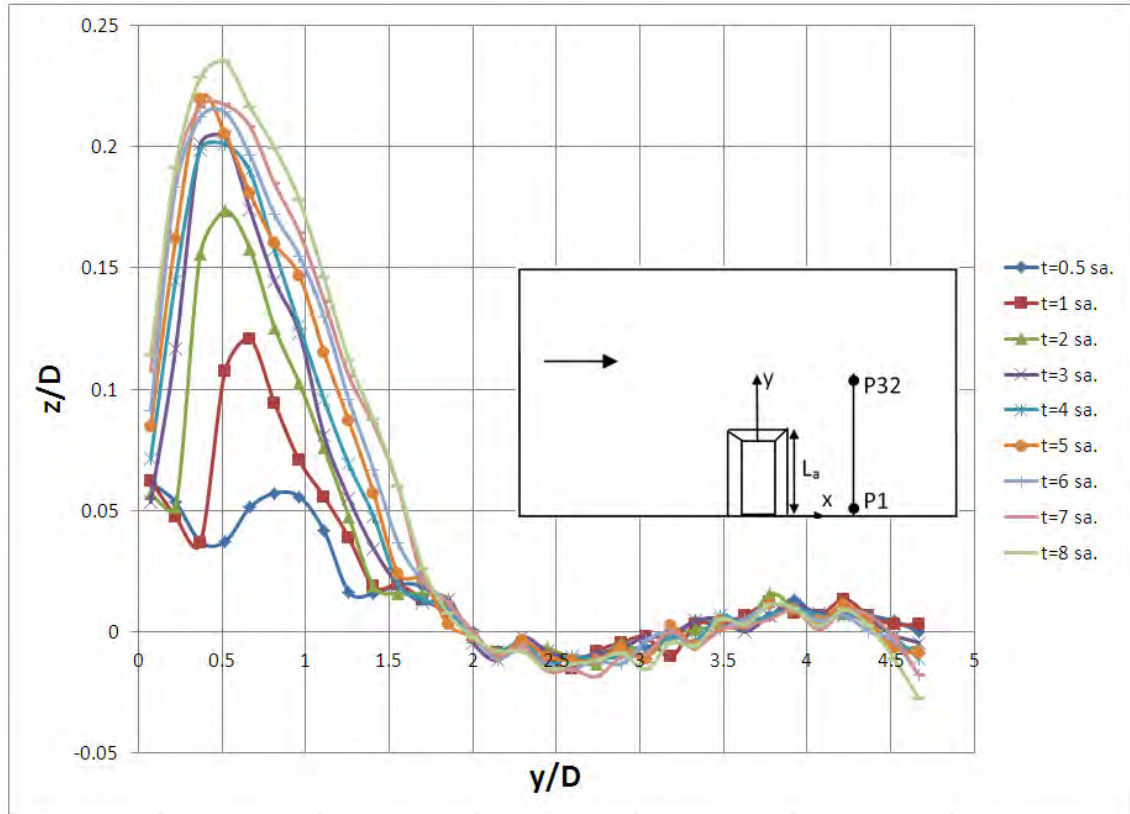
Şekil 3.35 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için zamana bağlı deneylerin alındığı kesitler (uzunluklar cm olarak verilmiştir).



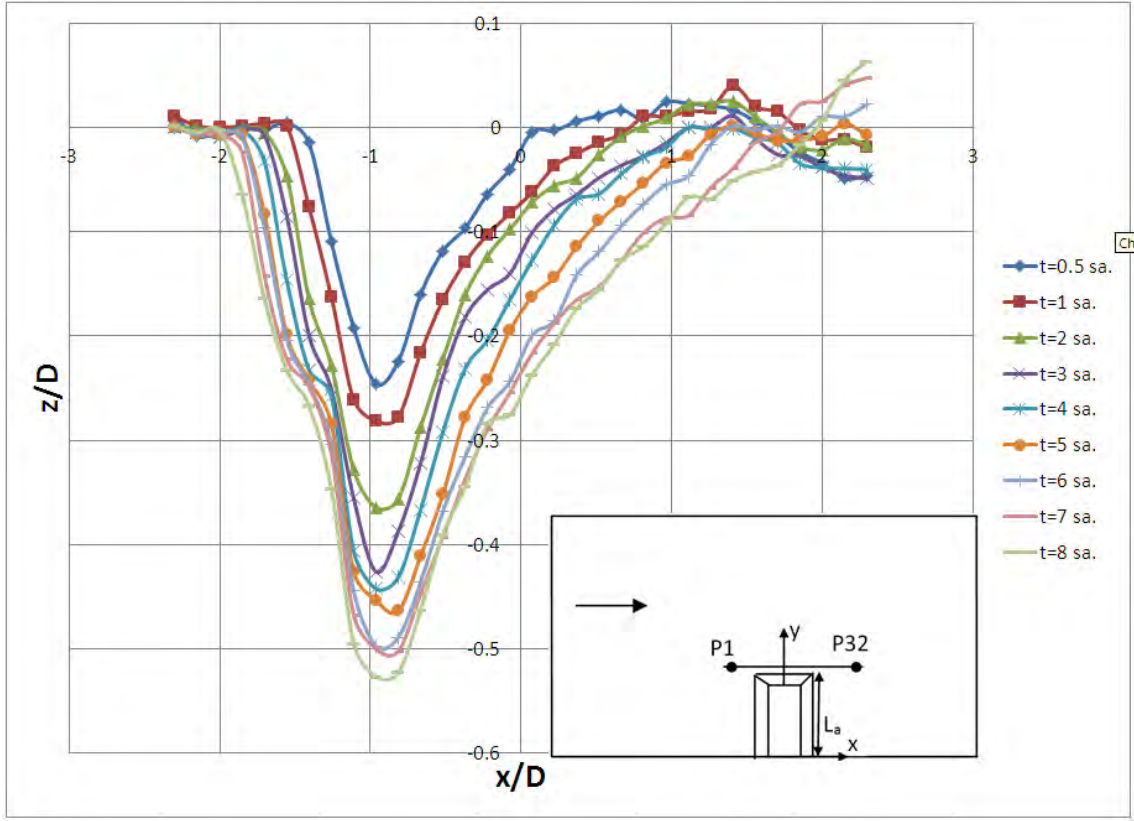
Şekil 3.36 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



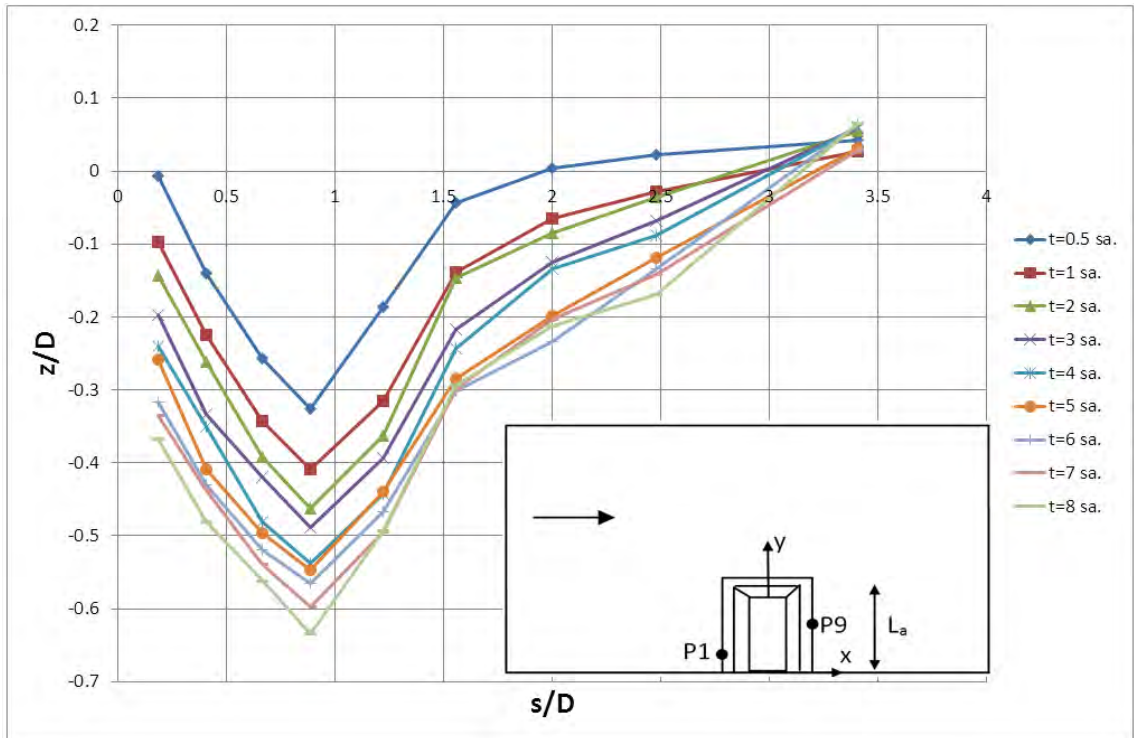
Şekil 3.37 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



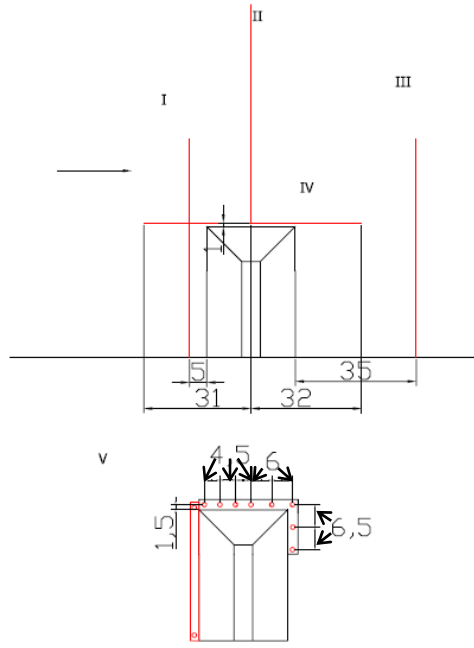
Şekil 3.38 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için III. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



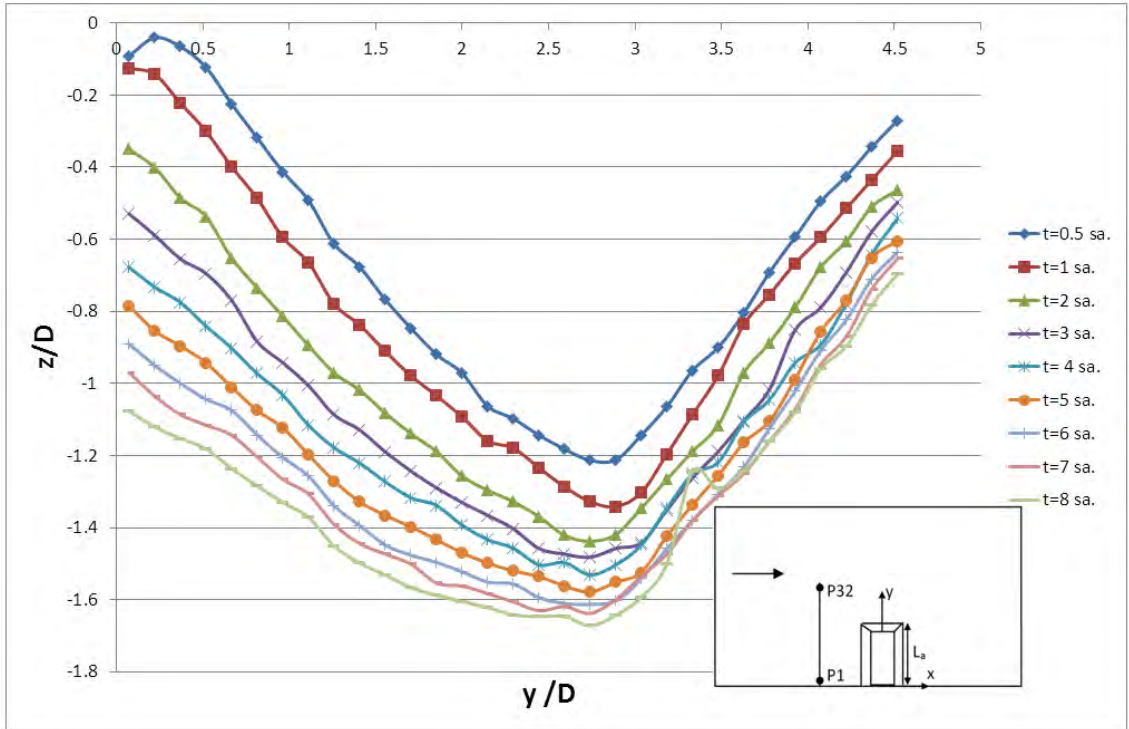
Şekil 3.39 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için IV. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



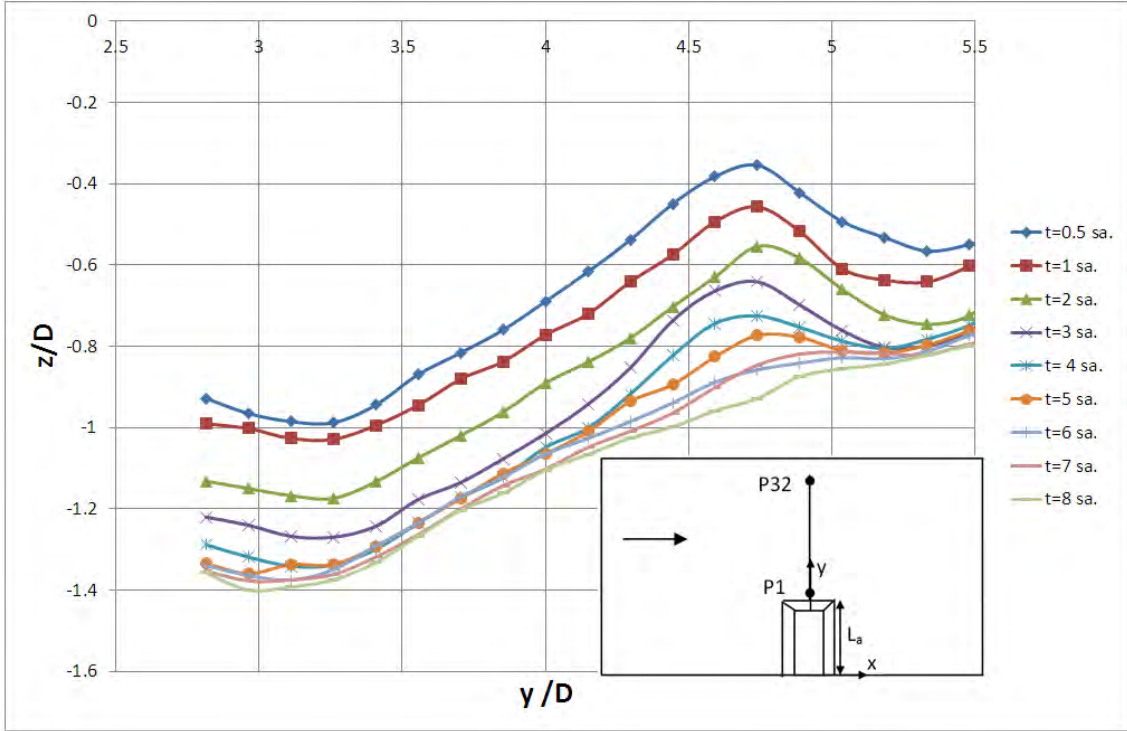
Şekil 3.40 Daralma oranı $2L/W=0.119$ için V. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



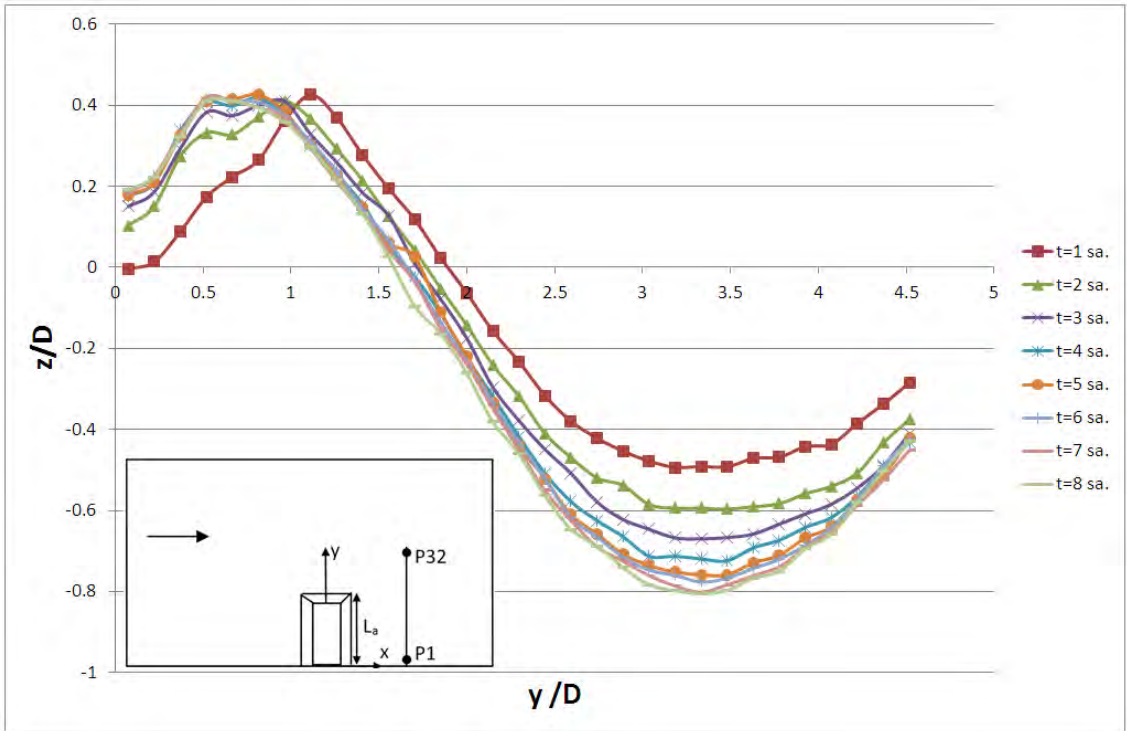
Şekil 3.41 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için zamana bağlı deneylerin alındığı kesitler (uzunluklar cm olarak verilmiştir).



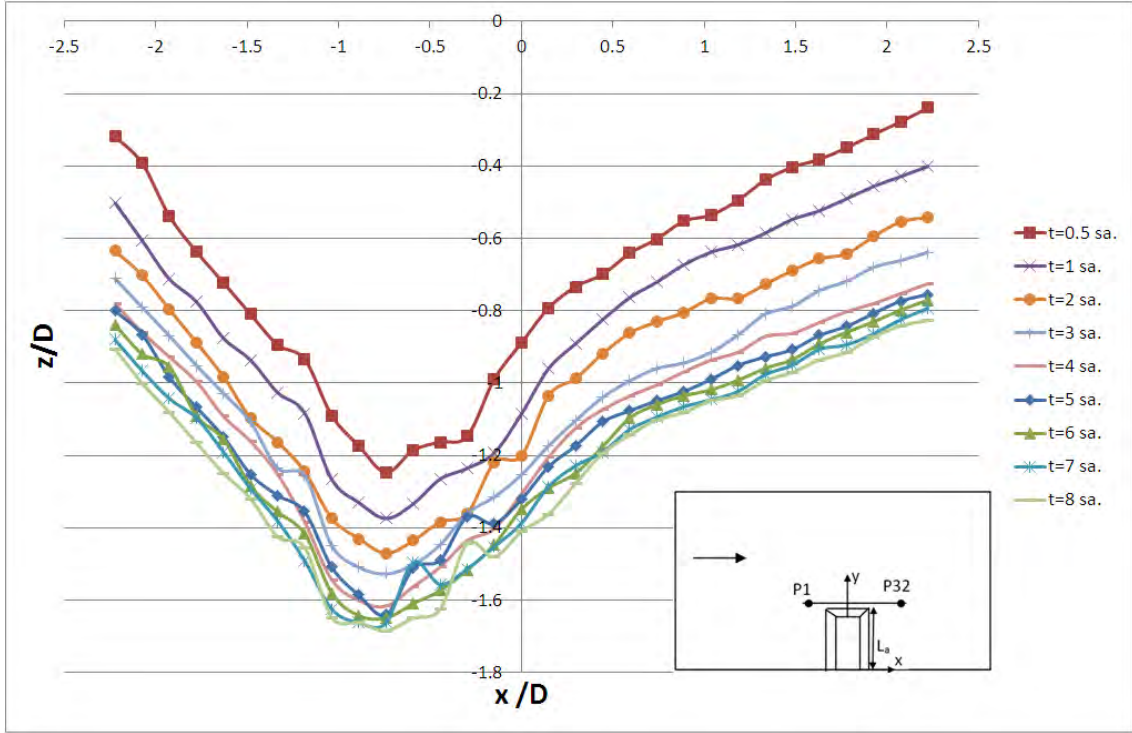
Şekil 3.42 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



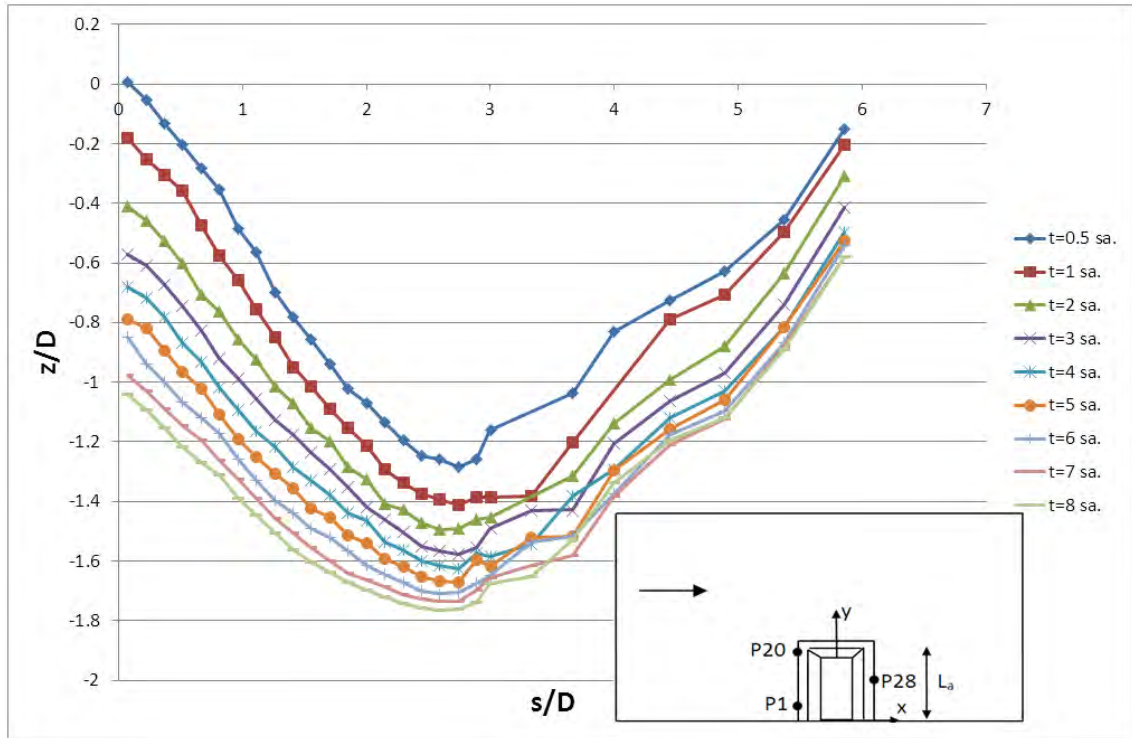
Şekil 3.43 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



Şekil 3.44 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için III. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



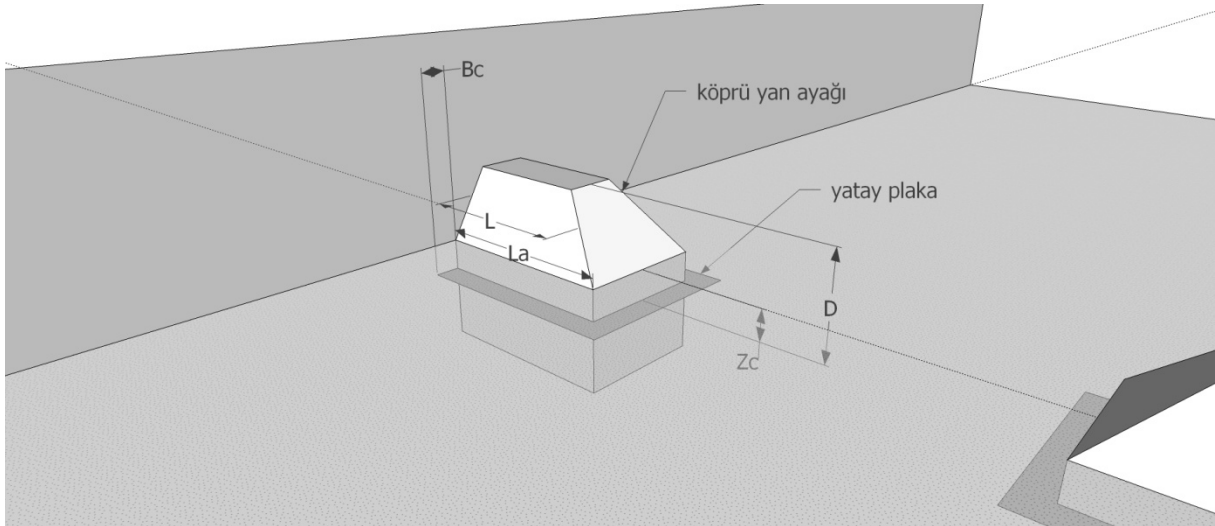
Şekil 3.45 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için IV. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



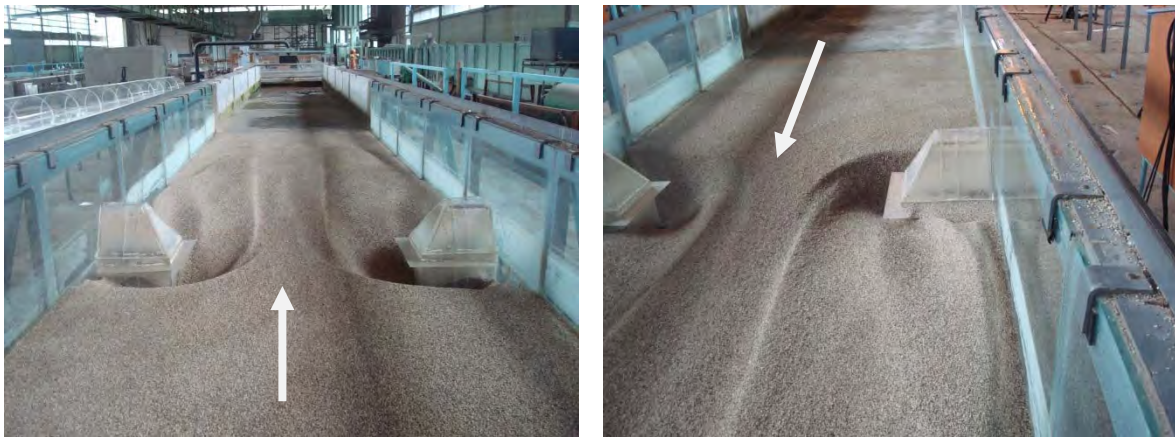
Şekil 3.46 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için V. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.

3.5 Yatay Plakalı Deneyler:

Altı farklı köprü yan ayağı uzunluğu, L , ve dolayısıyla altı farklı daralma oranı, $2L/W$, için üç farklı yatay plaka genişliği ($B_c = 5 \text{ cm}$, 7.5 cm ve 10 cm), üç farklı derinliğe ($Z_c =$ zemin seviyesine, zeminden 3.4 cm ve 6.8 cm aşağıya), gömülerek toplamda 54 tane deney yapılmıştır (Şekil 3.47). Bu deneylerde maksimum oyulmanın meydana geldiği nokta ve bu oyulmanın büyüklüğü kaydedilmiştir. Daralma oranı $2L/W=0.319$ için $B_c=5 \text{ cm}$ 'lik yatay plakanın $Z_c/D=-0.25$ 'e yerleştirildiği durum için dört saat sonunda elde edilen batimetri Şekil 3.48'de verilmiştir. Bunların dışında iki farklı daralma oranında ikişer farklı kesitte yatay plakalı ve yatay plakasız gerçek zamanlı oyulma grafikleri çıkarılmıştır. Yatay plakalı deney koşulları Tablo 3.2'de özetlenmiştir.



Şekil 3.47 Plakalı deneylerde kullanılan başlıca parametreler.



Şekil 3.48 saatlik oyulma deneyi sonunda daralma oranı $2L/W=0.319$ için $Z_c/D=-0.25$ 'e yerleştirilen $B_c=5 \text{ cm}$ 'lik yatay plakalı deney sonucu.

Tablo 3.2 Yatay plakalı deneylerde kullanılan boyutlar.

Deney no	La (cm)	L (cm)	Bc (cm)	Zc (cm)	γ (cm)	2L/W	La/Bc	Zc/D
1	37.8	33.9	5.0	0.00	13.5	0.45	7.56	0.00
2	37.8	33.9	5.0	0.00	13.5	0.45	7.56	-0.25
3	37.8	33.9	5.0	0.00	13.5	0.45	7.56	-0.50
4	37.8	33.9	7.5	-3.38	13.5	0.45	5.04	0.00
5	37.8	33.9	7.5	-3.38	13.5	0.45	5.04	-0.25
6	37.8	33.9	7.5	-3.38	13.5	0.45	5.04	-0.50
7	37.8	33.9	10.0	-6.75	13.5	0.45	3.78	0.00
8	37.8	33.9	10.0	-6.75	13.5	0.45	3.78	-0.25
9	37.8	33.9	10.0	-6.75	13.5	0.45	3.78	-0.50
10	32.8	28.9	5.0	0.00	13.5	0.39	6.56	0.00
11	32.8	28.9	5.0	0.00	13.5	0.39	6.56	-0.25
12	32.8	28.9	5.0	0.00	13.5	0.39	6.56	-0.50
13	32.8	28.9	7.5	-3.38	13.5	0.39	4.37	0.00
14	32.8	28.9	7.5	-3.38	13.5	0.39	4.37	-0.25
15	32.8	28.9	7.5	-3.38	13.5	0.39	4.37	-0.50
16	32.8	28.9	10.0	-6.75	13.5	0.39	3.28	0.00
17	32.8	28.9	10.0	-6.75	13.5	0.39	3.28	-0.25
18	32.8	28.9	10.0	-6.75	13.5	0.39	3.28	-0.50
19	27.8	23.9	5.0	0.00	13.5	0.32	5.56	0.00
20	27.8	23.9	5.0	0.00	13.5	0.32	5.56	-0.25
21	27.8	23.9	5.0	0.00	13.5	0.32	5.56	-0.50
22	27.8	23.9	7.5	-3.38	13.5	0.32	3.71	0.00
23	27.8	23.9	7.5	-3.38	13.5	0.32	3.71	-0.25
24	27.8	23.9	7.5	-3.38	13.5	0.32	3.71	-0.50
25	27.8	23.9	10.0	-6.75	13.5	0.32	2.78	0.00
26	27.8	23.9	10.0	-6.75	13.5	0.32	2.78	-0.25
27	27.8	23.9	10.0	-6.75	13.5	0.32	2.78	-0.50
28	22.8	18.9	5.0	0.00	13.5	0.25	4.56	0.00
29	22.8	18.9	5.0	0.00	13.5	0.25	4.56	-0.25
30	22.8	18.9	5.0	0.00	13.5	0.25	4.56	-0.50
31	22.8	18.9	7.5	-3.38	13.5	0.25	3.04	0.00
32	22.8	18.9	7.5	-3.38	13.5	0.25	3.04	-0.25
33	22.8	18.9	7.5	-3.38	13.5	0.25	3.04	-0.50
34	22.8	18.9	10.0	-6.75	13.5	0.25	2.28	0.00
35	22.8	18.9	10.0	-6.75	13.5	0.25	2.28	-0.25
36	22.8	18.9	10.0	-6.75	13.5	0.25	2.28	-0.50
37	17.8	13.9	5.0	0.00	13.5	0.19	3.56	0.00
38	17.8	13.9	5.0	0.00	13.5	0.19	3.56	-0.25
39	17.8	13.9	5.0	0.00	13.5	0.19	3.56	-0.50
40	17.8	13.9	7.5	-3.38	13.5	0.19	2.37	0.00
41	17.8	13.9	7.5	-3.38	13.5	0.19	2.37	-0.25
42	17.8	13.9	7.5	-3.38	13.5	0.19	2.37	-0.50
43	17.8	13.9	10.0	-6.75	13.5	0.19	1.78	0.00
44	17.8	13.9	10.0	-6.75	13.5	0.19	1.78	-0.25
45	17.8	13.9	10.0	-6.75	13.5	0.19	1.78	-0.50
46	12.8	8.9	5.0	0.00	13.5	0.12	2.56	0.00
47	12.8	8.9	5.0	0.00	13.5	0.12	2.56	-0.25
48	12.8	8.9	5.0	0.00	13.5	0.12	2.56	-0.50
49	12.8	8.9	7.5	-3.38	13.5	0.12	1.71	0.00
50	12.8	8.9	7.5	-3.38	13.5	0.12	1.71	-0.25
51	12.8	8.9	7.5	-3.38	13.5	0.12	1.71	-0.50
52	12.8	8.9	10.0	-6.75	13.5	0.12	1.28	0.00
53	12.8	8.9	10.0	-6.75	13.5	0.12	1.28	-0.25
54	12.8	8.9	10.0	-6.75	13.5	0.12	1.28	-0.50

Şekil 3.49 farklı rölatif ayak uzunlukları La/Bc için her bir plaka rölatif gömülme derinliğinde Zc/D yatay plakasız duruma göre oyulma miktarında yüzdesel olarak azalma miktarını göstermektedir. Yatay plakalı deneylerin tamamına yakın kısma yatay plakasız duruma göre maksimum oyulma derinliklerinde azalmalar gerçekleşmiştir. Bu azalmalar rölatif ayak uzunlukları La/Bc 'ye bağlı olarak %50'ye kadar çıkmaktadır. Sadece yüksek daralma oranlarında 5 cm genişliğindeki yatay plakalar kullanıldığı durumlar için maksimum oyulma derinliklerinde çok az bir artış (maksimum %7 kadar) meydana gelmiştir. Bu da yatay plakaların oyulma önlemi olarak ne derece etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.50'de farklı daralma oranları için optimum plaka boyutlarında elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin $ds_{max,c}/D$, rölatif plaka alanı θ ile değişimi verilmiştir. Burada θ , yatay düzlemde plaka ve köprü yan ayağı projeksiyon alanları toplamının yatay plaka alanına oranıdır. Bu şekilden de görüldüğü üzere tüm daralma oranlarında θ arttıkça optimum plaka boyutlarında elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliği azalmaktadır. Yani yatay plaka alanı arttıkça yatay plakanın etkinliği ve dolayısıyla ayak etrafında gözlemlenen maksimum oyulma derinliği azalmaktadır.

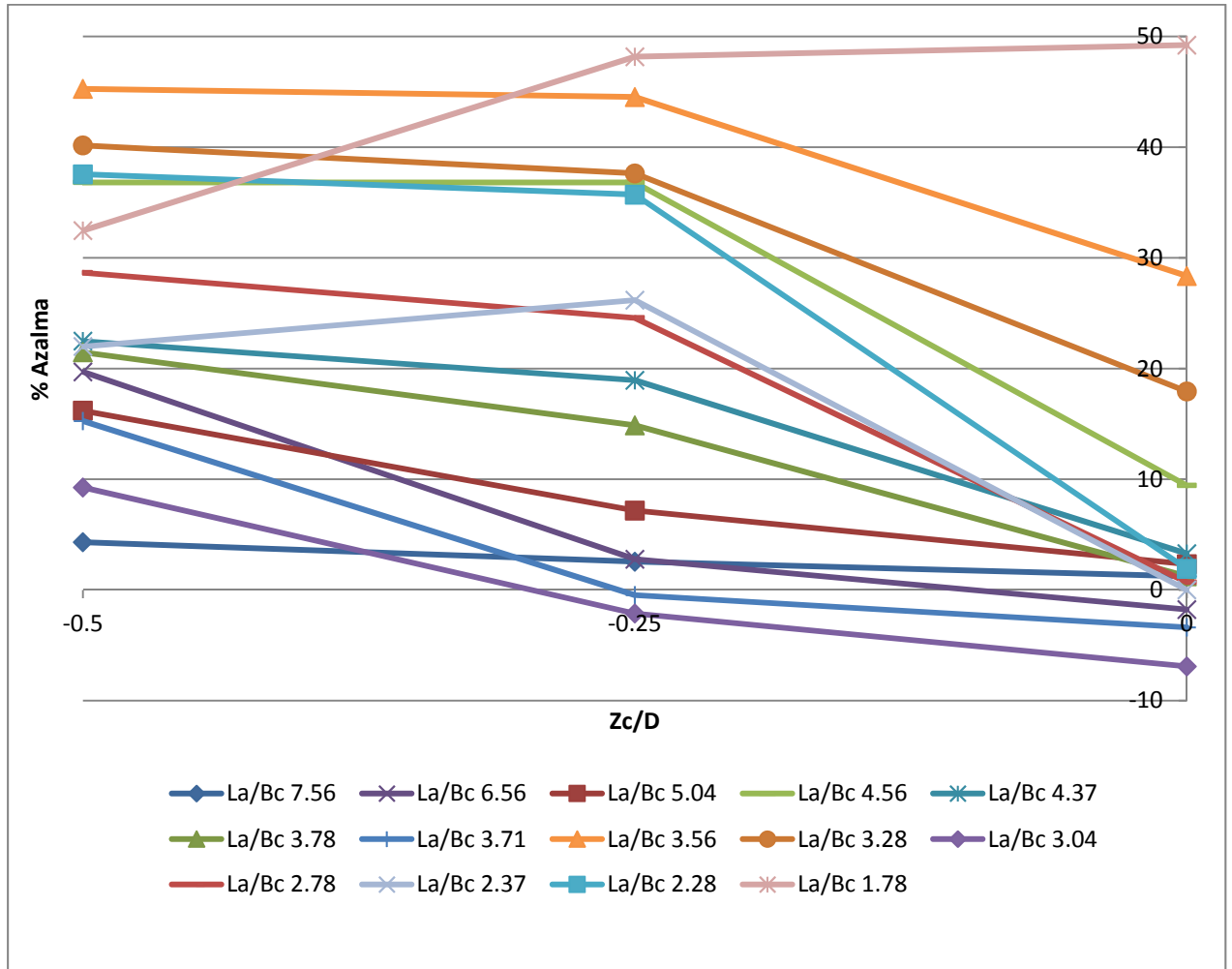
Şekil 3.51'te farklı daralma oranları için optimum plaka boyutlarında elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliği $ds_{max,c}/y'$ 'nin, $\sqrt{\theta(La/Bc)}$ ile değişimi verilmiştir. Tüm daralma oranları için $\sqrt{\theta(La/Bc)}$ parametresi arttıkça optimum plaka boyutlarında elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliği de artmaktadır. Tüm daralma oranlarında bu artış neredeyse doğrusaldır. Eğer herhangi bir daralma oranında $\sqrt{\theta(La/Bc)}$ parametresi hesaplanırsa yatay plakanın en az oyulma miktarını veren optimum konfigürasyona yerleştirildiği durum için boyutsuz maksimum oyulma derinliği bu şekil kullanılarak elde edilebilir.

Şekil 3.52'da her bir daralma oranlarında farklı rölatif ayak uzunluğu La/Bc 'de elde edilen ve en az oyulmayı veren optimum boyutsuz plaka gömülme derinliği $(Zc/D)_{opt}$ verilmiştir. Daralma oranı $2L/W < 0.20$ ve $La/Bc < 3.0$ için tüm noktalarda plakaların yüzeye yerleştirilmesi oyulma miktarının en aza inmesini sağlamıştır. $2L/W < 0.20$ ve $La/Bc > 3.0$ için plakanın $Zc/D = -0.25$ 'e gömülmesi en az oyulma miktarını vermektedir. Daralma oyulmasının hissedildiği tüm daralma oranlarında $2L/W > 0.20$ plakaların $Zc/D = -0.5$ 'e gömülmesi oyulmanın en aza indirilmesini sağlamaktadır.

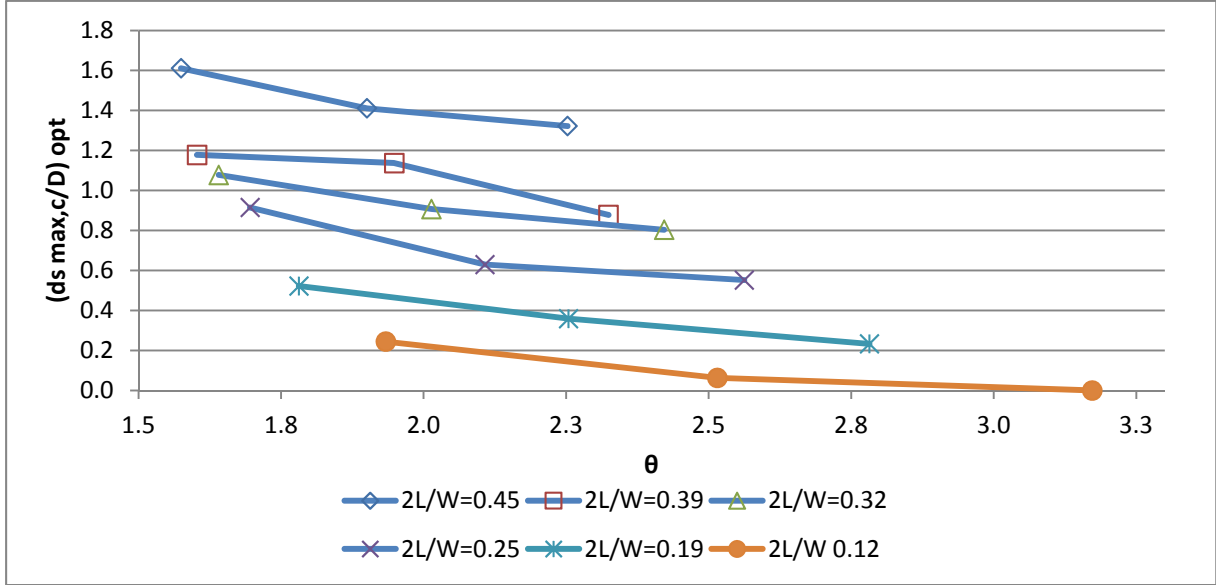
Şekil 3.53 Her bir daralma oranlarında rölatif ayak genişliği ile optimum koşullarda elde edilen oyulma miktarındaki yüzdesel olarak azalma miktarı verilmiştir. Rölatif ayak genişliği La/Bc arttıkça oyulma miktarında gözlemlenen azalma miktarı da azalmaktadır. Bu azalma miktarı küçük La/Bc oralarında daha fazla iken La/Bc oranı büyüdükçe azalma miktarı da düşmektedir.

Şekil 3.54'de farklı daralma oranları için en az oyulma miktarını veren yatay plakalı (optimum) ve plakasız durumlarda elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinlikleri verilmiştir. Hem yatay plakalı hem de yatay plakasız koşullar için boyutsuz maksimum oyulma derinliği daralma oranı ile doğrusal olarak değişmektedir. Bunun da ötesinde her iki koşulda elde edilen doğrular birbirine paraleldir. Buradan su sonuç çıkmaktadır tüm daralma oranlarında doğru yatay plaka genişliği seçilip bu yatay plakalar doğru derinliğe yerleştirilirse plakasız duruma göre oyulma derinliğini 0.4D kadar azaltmaktadır.

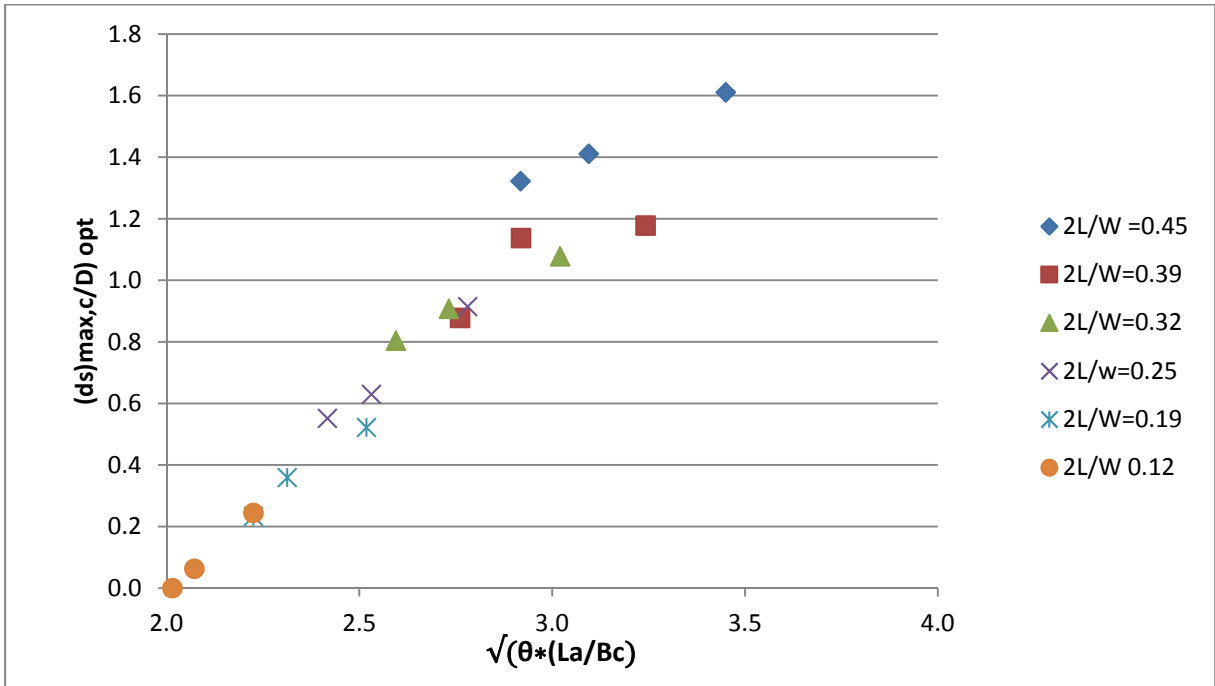
Deneylerde maksimum oyulmanın gözlemlendiği noktanın pozisyonu boyutsuz yarıçap r/D ve α açısı ile ifade edilmiştir (Şekil 3.55). Bu pozisyonun farklı daralma oranlarındaki değişimi Şekiller 3.56 ve 3.57'de verilmiştir. Şekil 3.55'de görüldüğü gibi artan daralma oranı ile maksimum oyulma noktasını belirleyen boyutsuz r/D yarıçapı artmakta ve $2L/W > 0.40$ için yaklaşık olarak 3.5 değerinde sabitlenmektedir. α açısı ise $2L/W=0.32$ değerine kadar artan daralma oranı ile azalmakta bu değerden sonra ise artan daralma oranı ile artmaktadır.



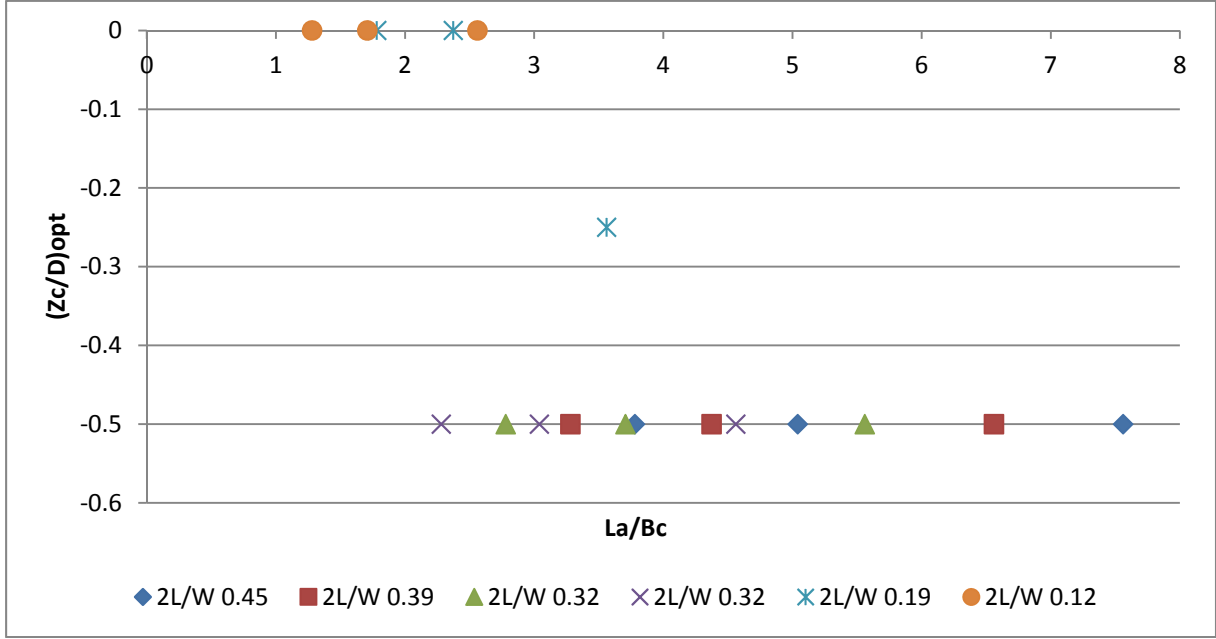
Şekil 3.49 Farklı rölatif ayak uzunlukları La/Bc için her bir plaka rölatif gömü derinliği Zc/D 'de yatay plakasız duruma göre oyulma miktarında yüzdesel olarak azalma miktarı.



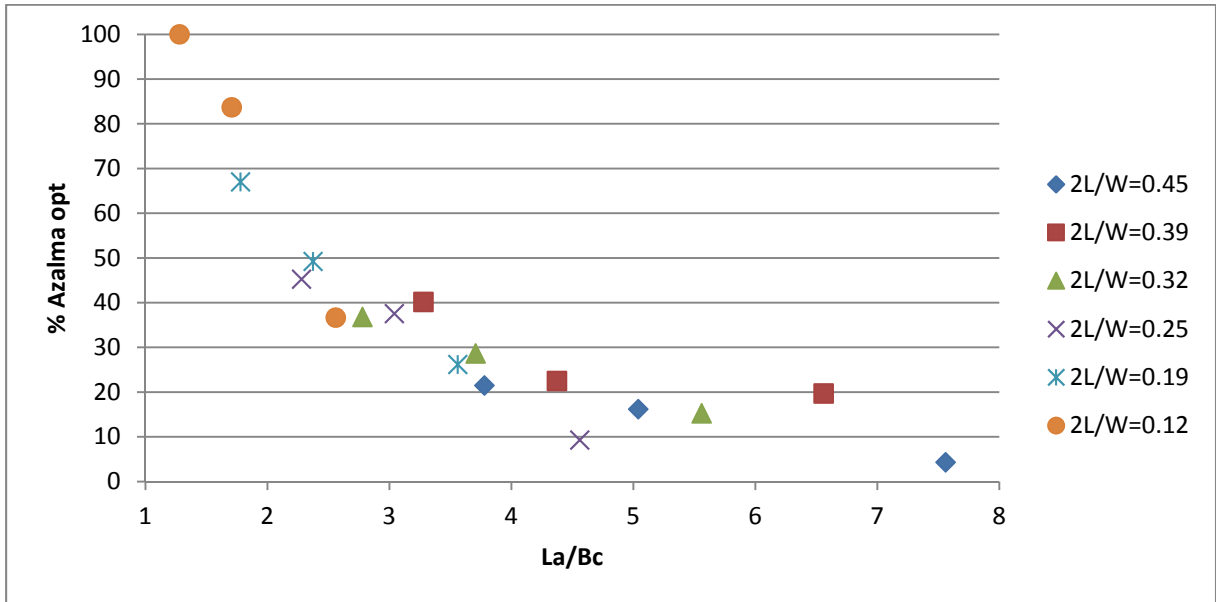
Şekil 3.50 Farklı daralma oranları için optimum plaka boyutlarında elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin $ds_{max,c}/D$, rölatif plaka alanı θ ile değişimi.



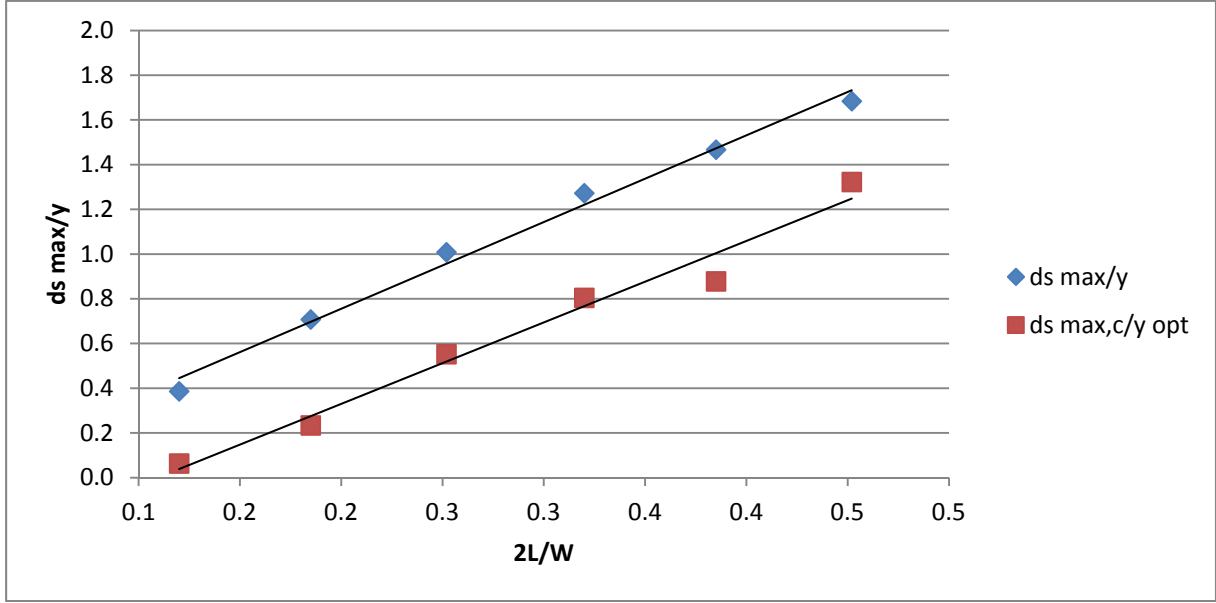
Şekil 3.51 Farklı daralma oranları için optimum plaka boyutlarında elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin $ds_{max,c}/D$, $(\theta(La/Bc))^{0.5}$ ile değişimi.



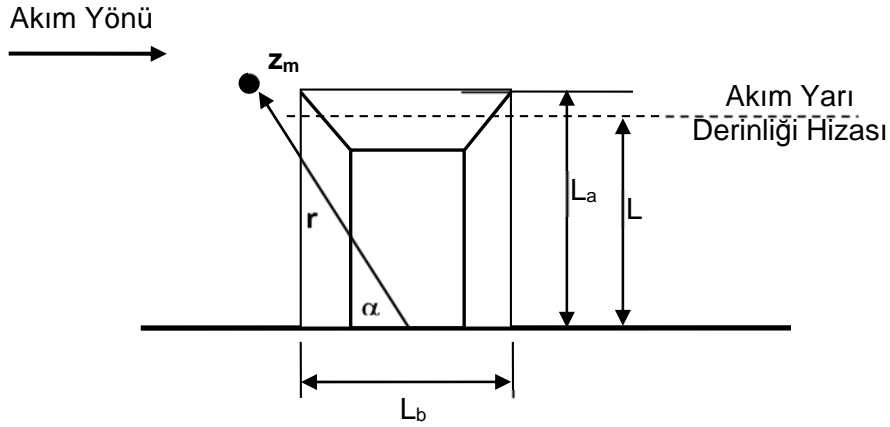
Şekil 3.52 Her bir daralma oranlarında farklı rölatif ayak uzunluğu La/Bc'de elde edilen optimum boyutsuz plaka gömülme derinliği $(Z_c/D)_{opt}$.



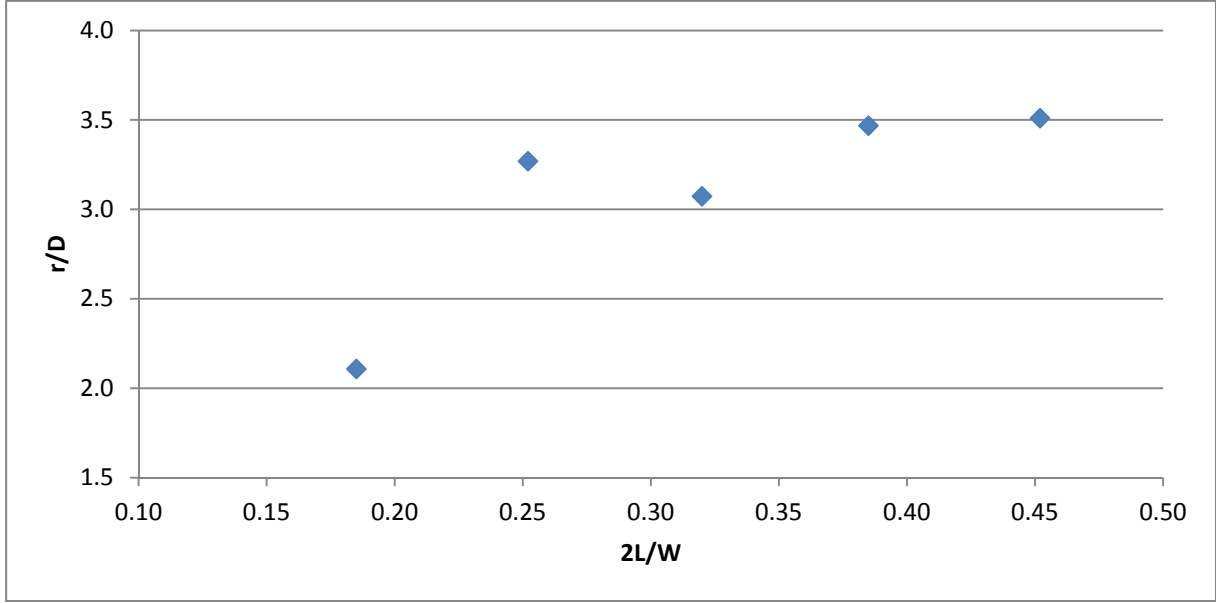
Şekil 3.53 Her bir daralma oranlarında optimum Z_c/D 'deki farklı rölatif ayak uzunlukları için elde edilen oyulma miktarındaki azalmanın yüzdesel olarak değişimi.



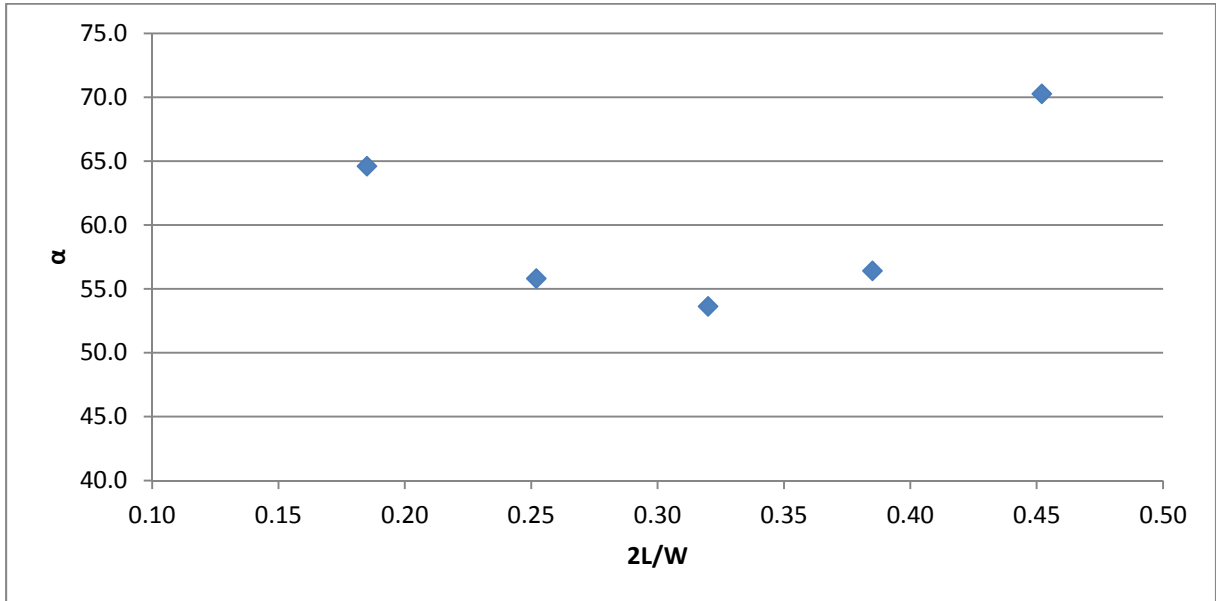
Şekil 3.54 Farklı daralma oranlarında en az oyulma miktarını veren yatay plakalı ve plakasız durumlarda elde edilen boyutsuz maksimum oyulma derinliği.



Şekil 3.55 Maksimum oyulma noktasının yerinin r ve α 'ya bağlı olarak ifadesi.



Şekil 3.56 Dört saatlik deney süresi sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktayı belirleyen boyutsuz yarıçap r/D 'nin daralma oranı $2L/W$ ile değişimi.



Şekil 3.57 Dört saatlik deney süresi sonucu elde edilen maksimum oyulma derinliğinin bulunduğu noktayı belirleyen α açısının daralma oranı $2L/W$ ile değişimi.

3.6 Zamana Bağlı Plakalı Oyulma Deneyleri:

Plakaların etkinliğini daha iyi kavrayabilmek için iki daralma oranları $2L/W=0.452$ ve 0.185 'da biri akım yönünde diğeri ise akıma dik yönde ayak eksenini üzerinde olmak üzere Şekil 3.58'de gösterilen iki farklı kesitte plakasız ve $Zc/D=0.5$ derinliğine gömülmüş $Bc=10$ cm'lik yatay plakalı durum için oyulma profillerinin zamanla değişimleri dört saat süreyle kaydedilmiştir.

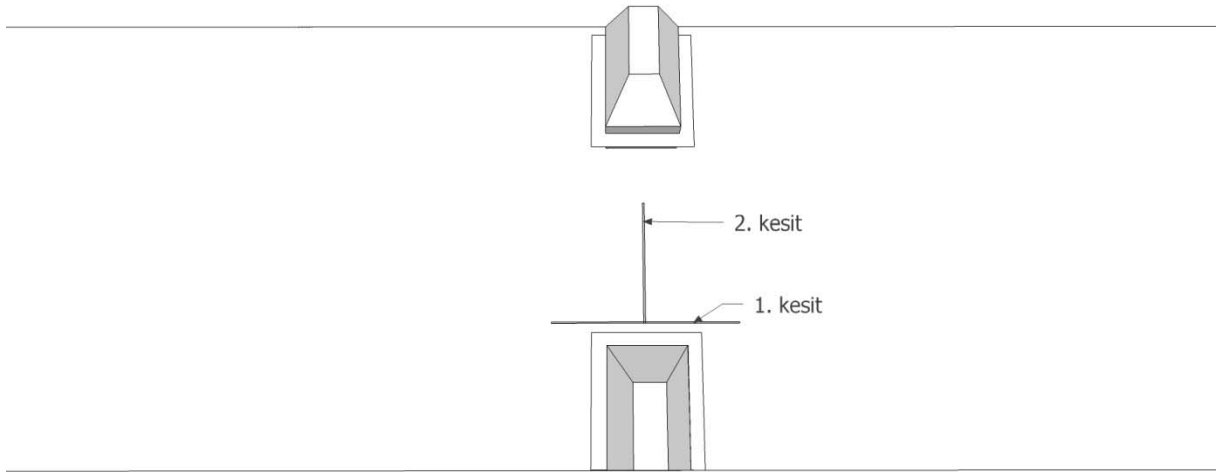
Şekil 3.59 ve 3.60 $2L/W=0.452$ oyulma oranında I. kesitte sırasıyla plakalı ve plakasız durumlar için zamana bağlı batimetri çizgilerini göstermektedir. Plakasız durum için bu kesitte oyulma oldukça düzenli bir şekilde ilerlemekte ve oyulma çukurunun derinliği yan yüzeylerdeki şev açıları değişmeden artmaktadır. Her bir zaman diliminde maksimum oyulmanın yeri değişmemekte ve ayağın memba kısmında yaklaşık olarak $-0.9 x/D$ pozisyonunda oluşmaktadır. İlk bir saat sonunda bu kesitte gözlemlenen maksimum oyulma derinliği yaklaşık $1.2D$ kadarken, 4 saat sonunda bu değer yaklaşık olarak $1.5D$ 'ye kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.59). Plakalı durumda, ilk bir saatlik oyulma sonrasında aynı kesitteki maksimum oyulma derinliği plakasız durumdaki ile hemen hemen aynıdır. Bu durumda gözlemlenen en büyük farklılık maksimum oyulma derinliğinin oluştuğu noktadır. Plakalı durumda bir saatlik oyulma sonrasında maksimum oyulmanın oluştuğu bölge plakasız duruma göre mansap tarafına kaymış ve yaklaşık olarak $1.5 x/D$ pozisyonunda oluşmuştur. Bir saatlik oyulma sonrasında bu oyulma çukuru dolmaya başlamış ve dört saatlik deney sonunda maksimum oyulma çukuru memba tarafında $-1.3 x/D$ pozisyonuna taşınmıştır. Bu yeni oyulma çukurunun derinliği plakasız duruma göre %33 kadar az olup dört saat sonunda yaklaşık olarak $1D$ değerine ulaşmıştır. Plakalı durumda oyulma çukurunda oluşan değişimler tamamen akım dinamiğinde oluşan farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.61 ve 3.62 $2L/W=0.452$ oyulma oranında II. kesitte sırasıyla plakalı ve plakasız durumlar için zamana bağlı batimetri çizgilerini göstermektedir. Plakasız durumda dört saatlik deney sonucunda bu kesitte oluşan maksimum oyulma derinliği $1.5D$ kadar olup ayağın yakınında yaklaşık $y/D=3.3$ pozisyonundadır. Yatay plaka uygulandığında bu derinlik $1D$ 'ye kadar düşmüştür. Bunun ötesinde maksimum oyulma ayaktan daha uzağa taşınmış yaklaşık $y/D=3.3$ pozisyonunda oluşmuştur.

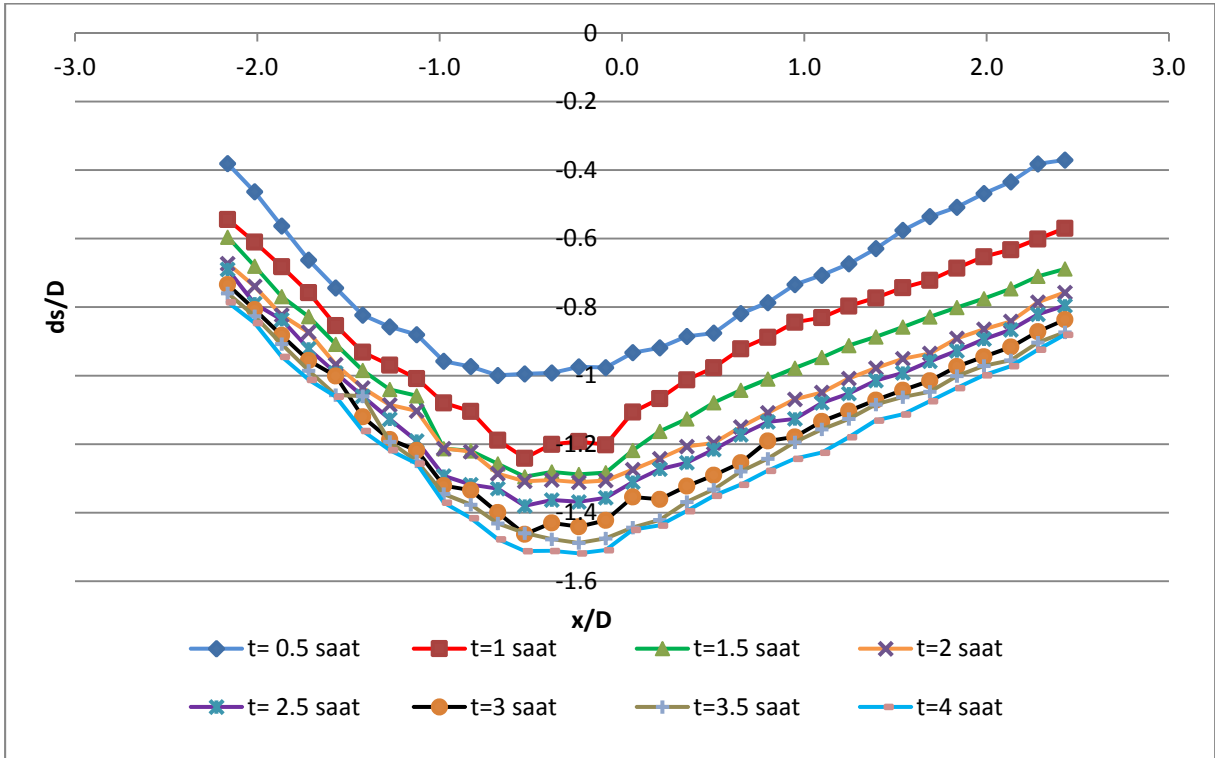
Şekil 3.63 ve 3.64 $2L/W=0.185$ oyulma oranında I. kesitte sırasıyla plakalı ve plakasız durumlar için zamana bağlı batimetri çizgilerini göstermektedir. Plakasız durum için bu kesitte oyulma zamanla artmakta fakat maksimum oyulma noktasının yeri değişim göstermektedir. Dört saat sonunda bu kesitte maksimum oyulma yaklaşık olarak $0.6D$ derinlikte $-0.6 x/D$ pozisyonunda gözlemlenmiştir. Yatay plakalı durumda oyulma çukuru plaka seviyesi olan $0.5D$ 'ye kadar hızlı bir şekilde 1.5 saatlik sürede ulaşmış fakat daha sonra yatay plakanın etkisi ile aynı seviyelerde kalmıştır. Dört saatlik deney süresi sonunda bu kesitteki maksimum oyulma derinliği yaklaşık olarak $0.53D$ kadardır ve $-1D < x/D < -0.2D$ bandında bir düzlem boyunca uzanmaktadır. Plakasız durumla kıyaslandığında oyulma çukuru biraz daha sığdır fakat genişlik olarak daha büyüktür.

Şekil 3.65 ve 3.66 $2L/W=0.185$ oyulma oranında II. kesitte sırasıyla plakalı ve plakasız durumlar için zamana bağlı batimetri çizgilerini göstermektedir. Plakasız durumda dört saatlik deney sonucunda bu kesitte oluşan maksimum oyulma derinliği $0.42D$ kadar olup ayağın

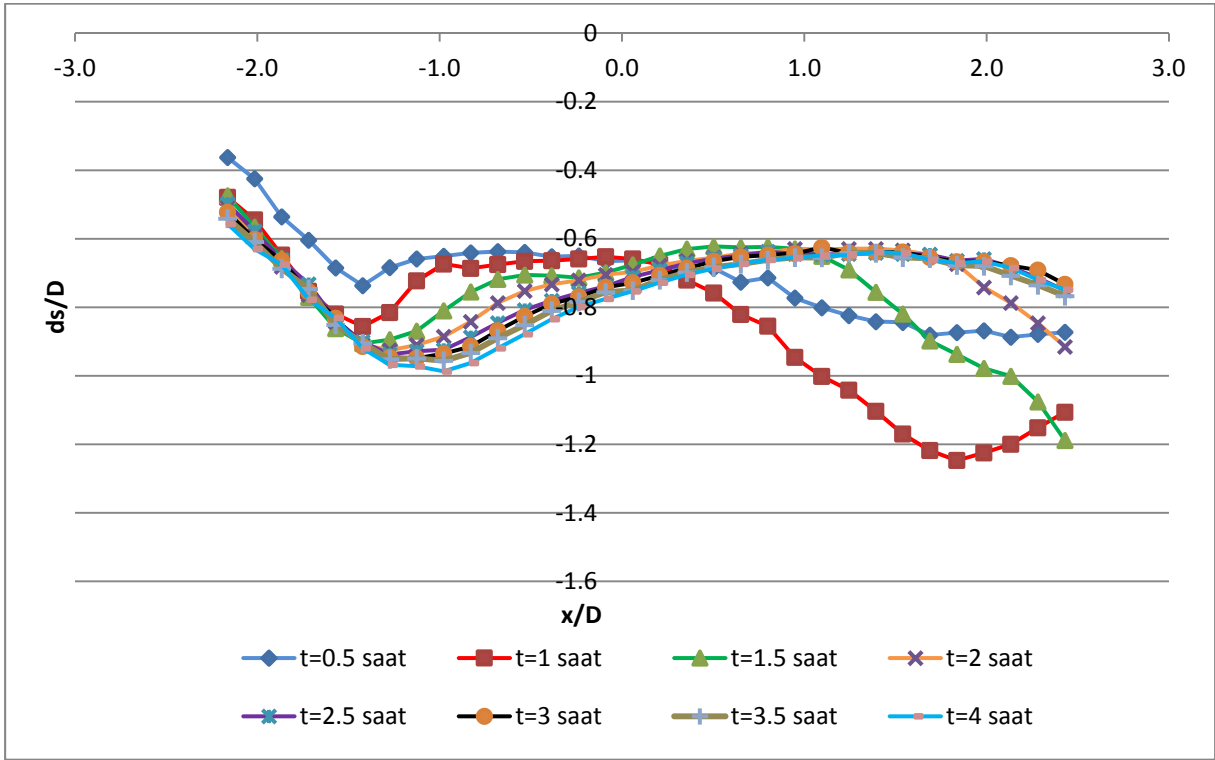
yakınında yaklaşık $y/D=2$ pozisyonundadır. Plakalı durumda aynı kesitte gözlemlenen maksimum oyulma derinliği $0.45D$ kadar olup yine aynı pozisyonda oluşmuştur. Bu kesitte plakalı ve plakasız durumlarda gözlemlenen en önemli fark plakasız durumda gözlemlenen iki şevli basamaklı yapıdır. Bu konfigürasyonda $t=0.5$ saat'ten itibaren basamaklı yapı oluşmaya başlamıştır. Bu yapı plakalı durumda gözlemlenmemektedir. Bu sebeple oyulma çukuru plakasız durumda yatay ekseninde daha dar bir alanı kapsamaktadır.



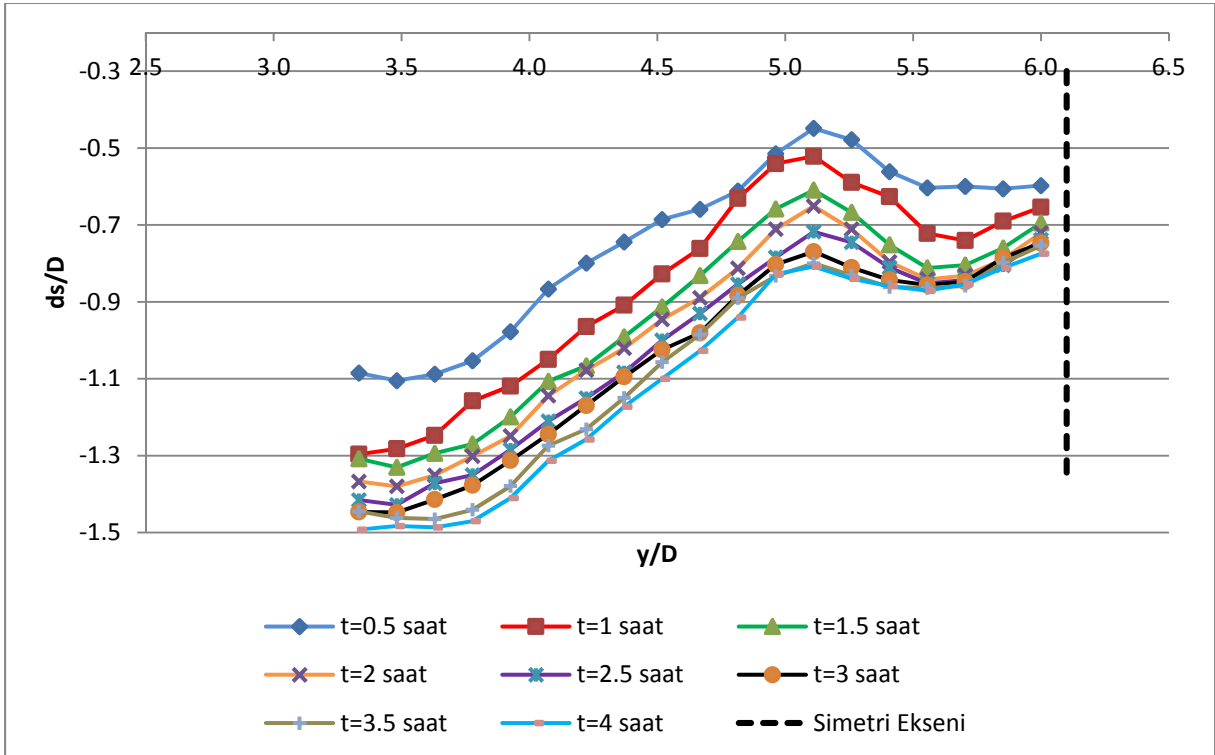
Şekil 3.58 Plakalı ve plakasız durumlar için zamana bağlı deneylerin alındığı kesitler.



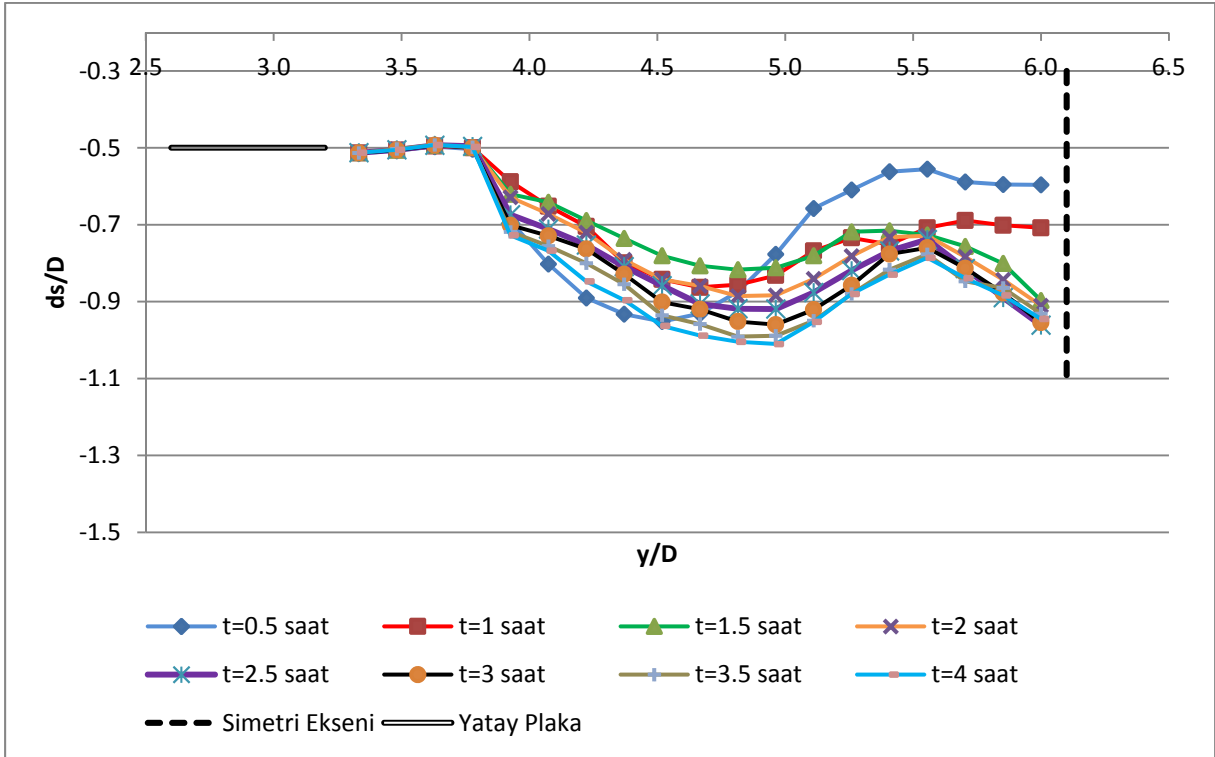
Şekil 3.59 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için yatay plakasız deney sonucunda I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



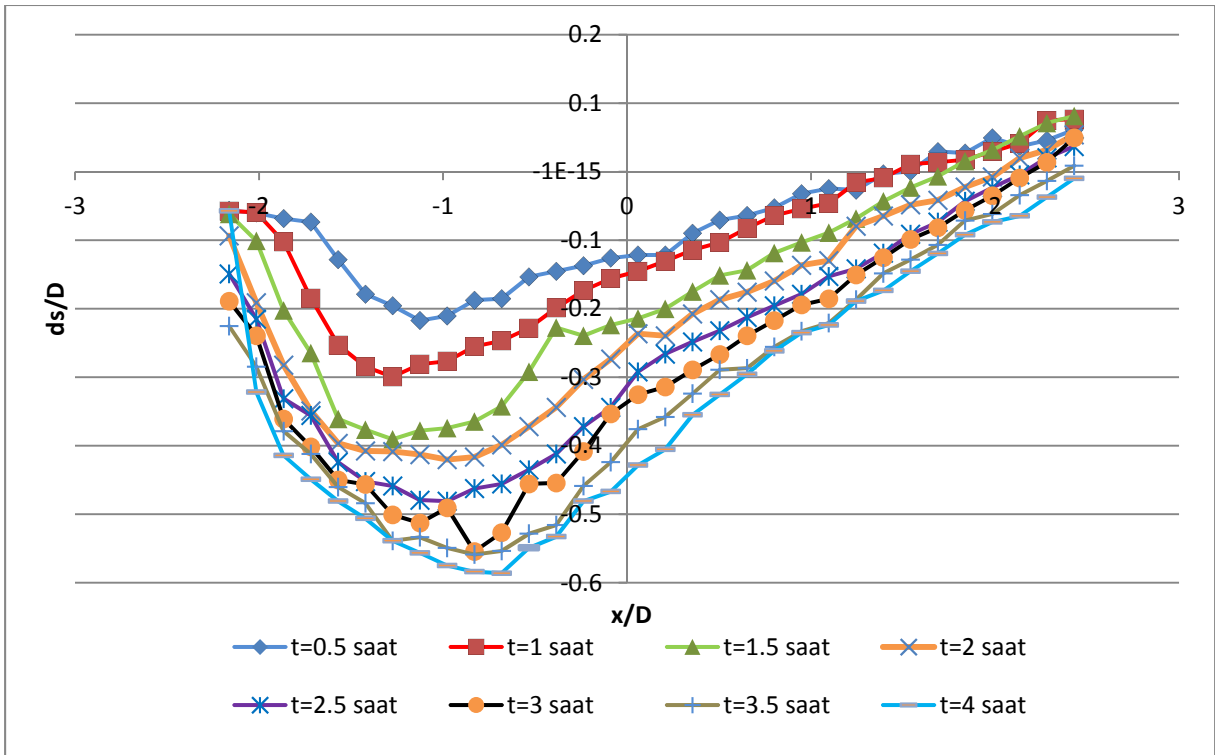
Şekil 3.60 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için yatay plakalı deney sonucunda I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



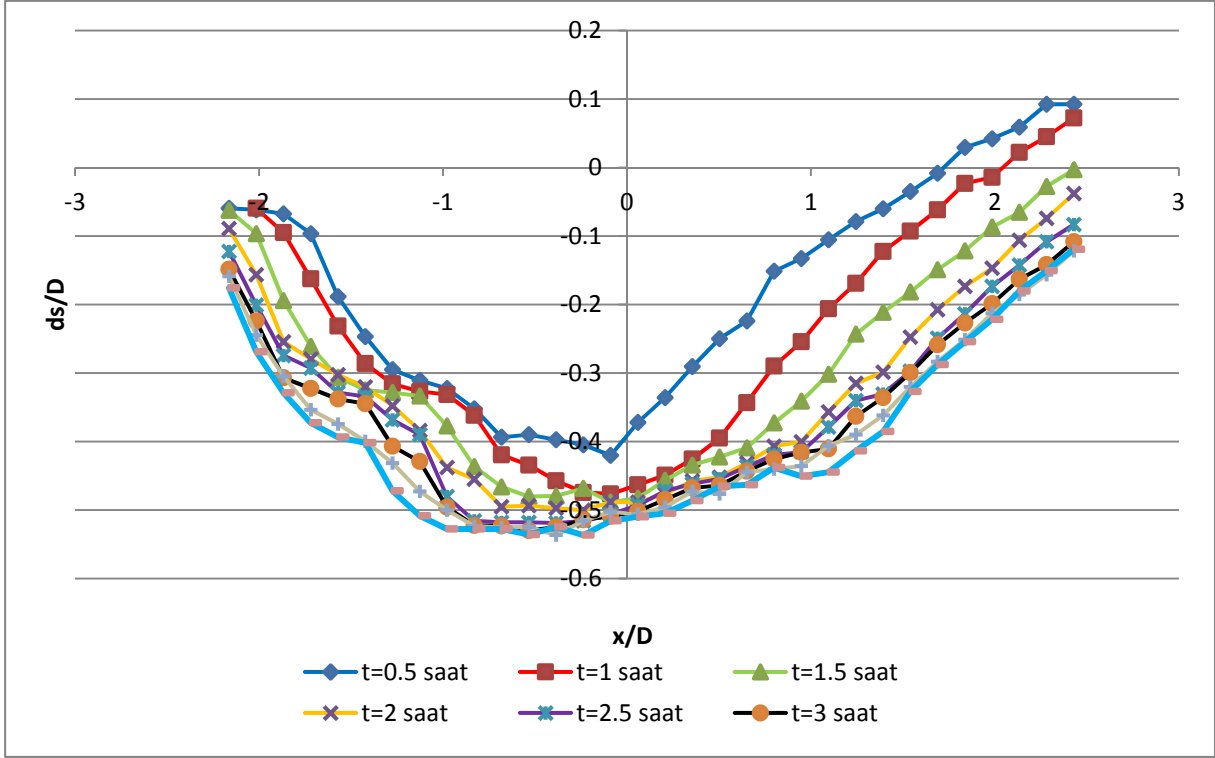
Şekil 3.61 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için yatay plakasız deney sonucunda II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



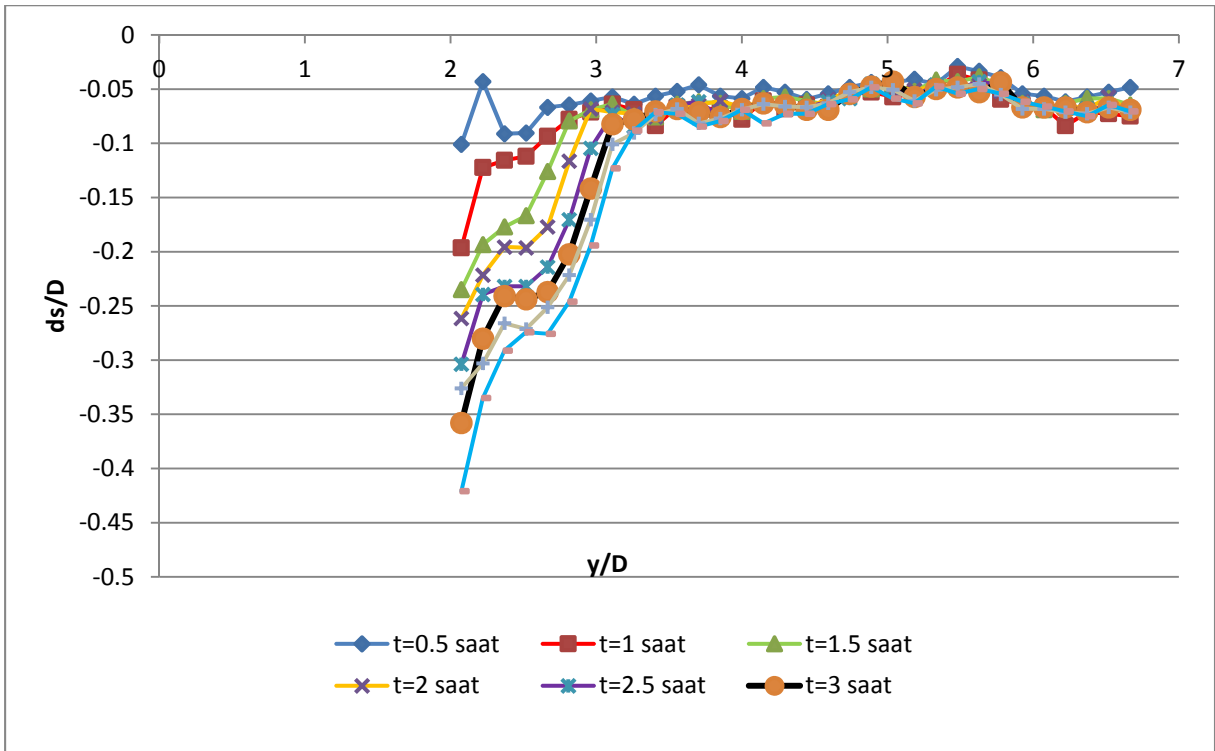
Şekil 3.62 Daralma oranı $2L/W=0.452$ için yatay plakalı deney sonucunda II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



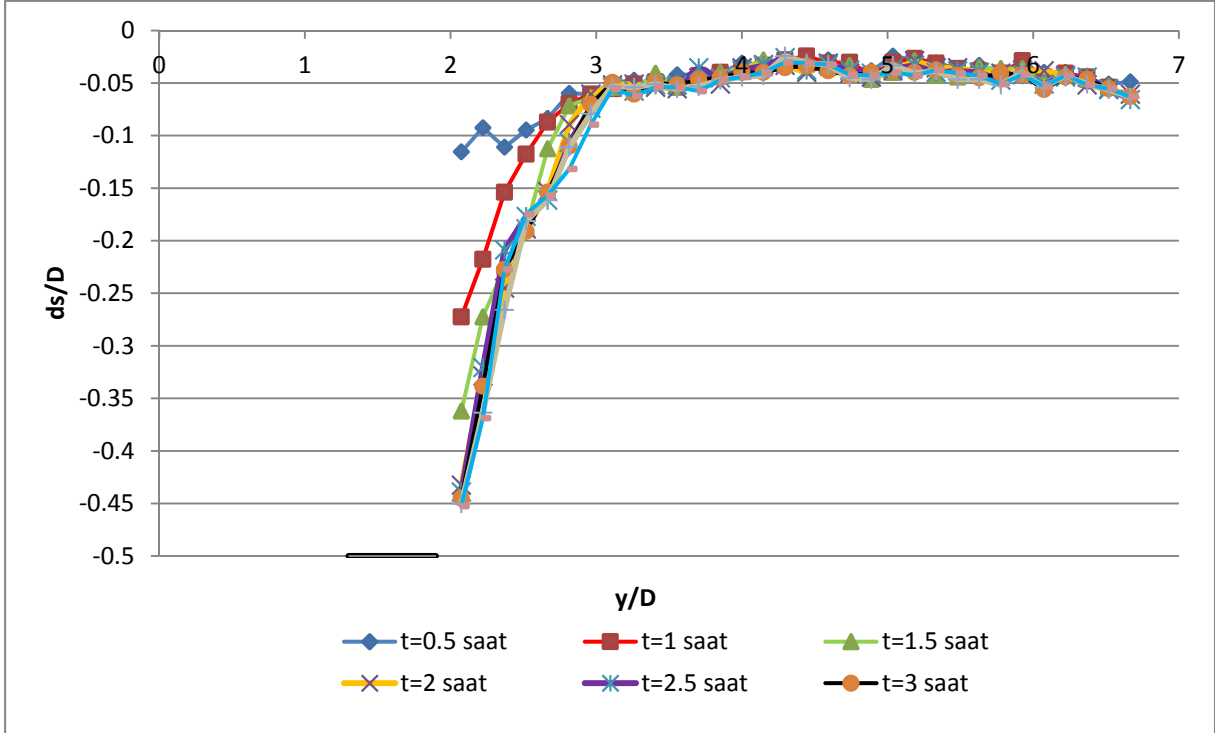
Şekil 3.63 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için yatay plakasız deney sonucunda I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



Şekil 3.64 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için yatay plakalı deney sonucunda I. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



Şekil 3.65 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için yatay plakasız deney sonucunda II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.



Şekil 3.66 Daralma oranı $2L/W=0.185$ için yatay plakalı deney sonucunda II. kesitte elde edilen zamana bağlı batimetri eğrileri.

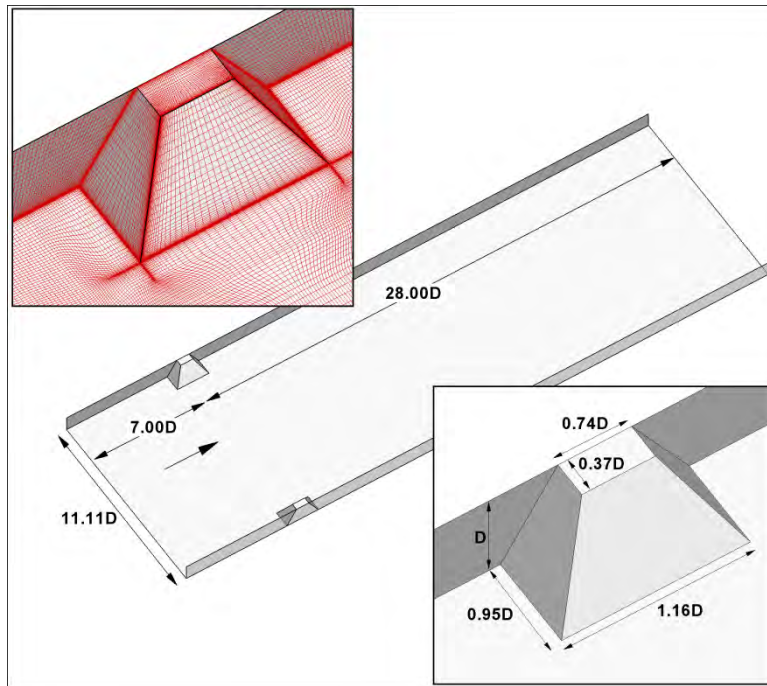
3.7 Düz Zemin Koşullarında Yapılan Benzetimler:

3.7.1 Sayısal Model

Ayrışan döngü benzetimi (Detached Eddy Simulation, DES) türbülans modelleri, yoğun ayrışmanın olduğu akımların çözümlenmesinde geleneksel RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) modellerinden daha başarılıdır. Mevcut çalışmada yapılan tüm benzetimlerde, cidar fonksiyonlarının kullanılmadığı Spalart-Almaras tabanlı DES modellemesi kullanılmıştır. Sayısal benzetimde kullanılacak olan tüm boyutlar su derinliği, D , hızlar ise ortalama kanal akım hızı, U , ile boyutsuzlaştırılmıştır. Hesap ağı yaklaşık 3 milyon ($384 \times 192 \times 40$) hesap noktası içermektedir (Şekil 3.67). Benzetimde duvar fonksiyonları kullanılmamış ve viskoz alt tabaka direkt olarak çözümlenmiştir. Bu amaçla hesap ağı oluşturulurken duvara yakın bölgelerde boyutsuz uzunluk $y^+=1$ olarak alınmıştır.

Hız çalkantılarını da içeren türbülanslı giriş koşulları periyodik bir kanalda yapılan başka bir LES benzetiminden elde edilerek bir dosyaya yazdırılmıştır. Bu bilgi daha sonra köprü yan ayağını içeren DES benzetiminin zamana bağlı değişken giriş koşulu olarak kullanılmıştır.

Akımdaki serbest yüzey "rigid lid" olarak modellenmiştir. Bu kabul akımdaki Froude sayısının yaklaşık olarak 0.3 olduğu düşünüldüğünde oldukça gerçekçi bir yaklaşımdır. Tüm cidarlarda hareketsiz (no-slip) sınır koşulları kullanılmıştır. Sayısal modelin çıkış kısmında döngüsel yapıların model sınırlarını zamana bağlı bir şekilde fiziksel olmayan çalkantılar yaratmadan çıkmasını sağlayacak konvektif bir sınır koşulu kullanılmıştır. Tüm benzetimlerde zaman adımı 0.03 D/U olarak kullanılmıştır. Benzetimler TRGRID altyapısındaki küme bilgisayarda 24 işlemci kullanılarak paralel bir şekilde çalıştırılmıştır. Sayısal benzetim istatistiksel olarak düzenli hale gelene kadar devam ettirilmiştir (yaklaşık 300 D/U süresince). Daha sonra yaklaşık 50 D/U boyunca veri toplanılarak bu verilerden ortalama akım çözümü elde edilmiştir.



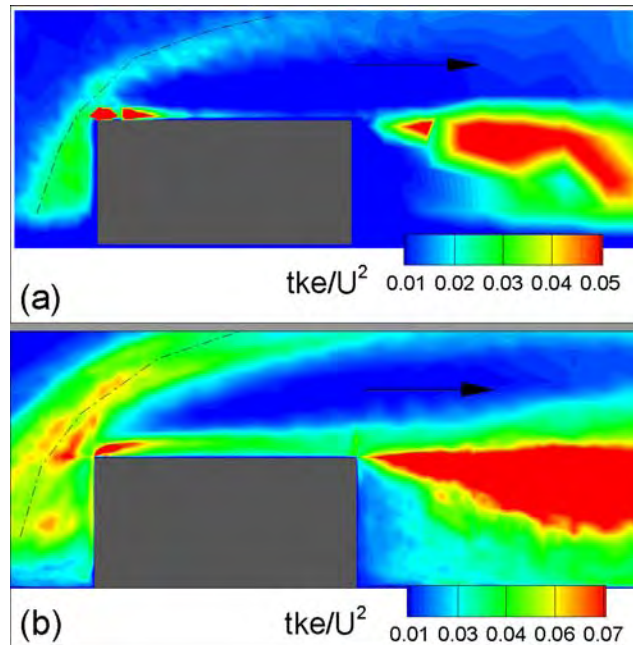
Şekil 3.67 En kısa daralma oranı için sayısal benzetimde kullanılan model boyutları ve ayak etrafındaki hesap ağının görünümü.

3.7.2 Benzetim Sonuçlarının Doğrulanması:

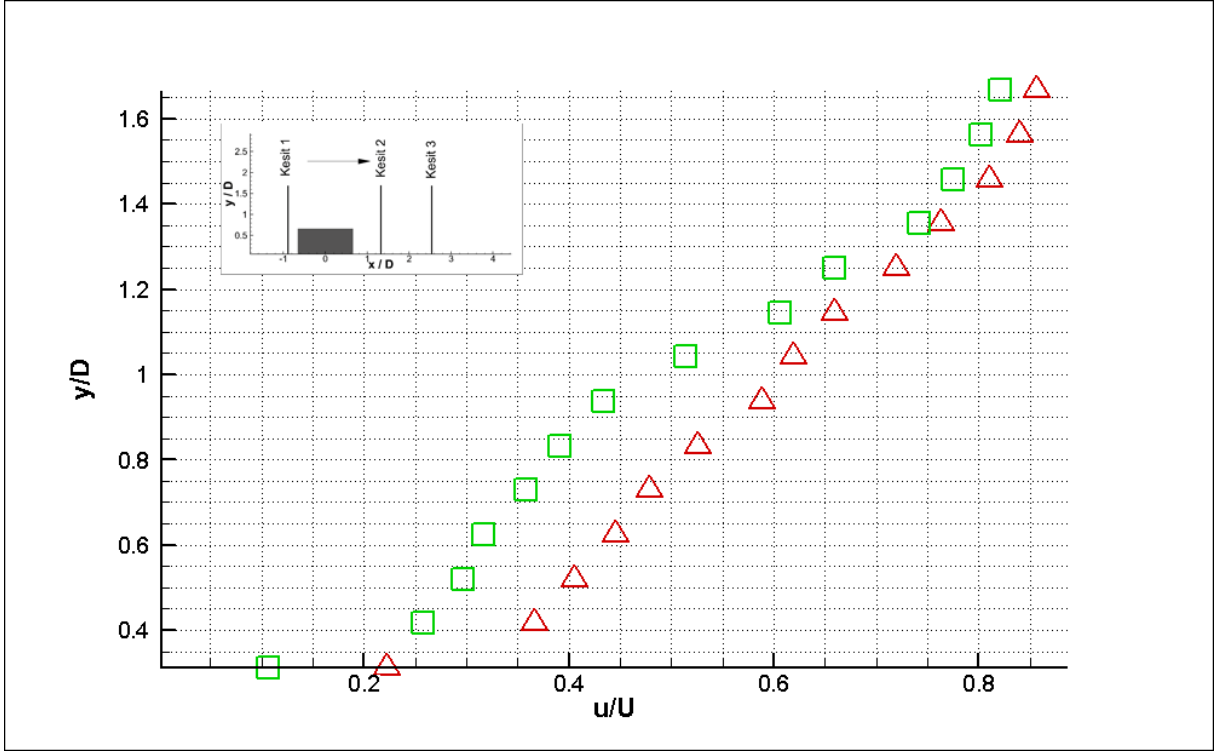
En küçük daralma oranında köprü yan ayaklarından birisi etrafında averaj akım için yatay bir düzlemde zeminden $0.1D$ kadar yukarıda boyutsuz türbülans kinetik enerjisinin (tke) deneysel ve benzetim sonuçlarından elde edilen değerleri Şekil 3.68'de karşılaştırılmaktadır. Her iki durumda da ayağın mansap kısmında ayrılmış kesme tabakası boyunca, ayağı memba tarafından çevreleyen bir yay boyunca ve ayağın akım yönündeki duvarının memba tarafındaki ucunda yüksek tke değerleri gözlemlenmektedir. Ayağı memba tarafından çevreleyen bir yay boyunca gözlemlenen yüksek tke değerleri bu bölgede birincil atnalı vorteksinin bulunması sebebiyledir. Ölçümlerin alındığı kesit atnalı vorteksinin kesmekte ve dolayısıyla bu yüksek tke

değerlerinin gözlemlenmesine sebep olmaktadır. Her ne kadar benzetim sonuçlarından elde edilen tke değerleri deneydekine göre daha yüksek olsa da her iki durumda da birincil atnalı vorteksinin yeri birbirinin aynısıdır. Ayağın akım yönündeki duvarının memba tarafındaki ucunda bir akım ayrışması oluşmakta ve bu ayrışma bu bölgede yüksek tke değerlerinin gözlemlenmesine sebep olmaktadır. Benzetim, deneyde gözlemlenen bu ayrışmayı kusursuz bir şekilde yakalamaktadır. Türbülans kinetik enerjisi değerlerindeki farklılıklar deney ve benzetimde kullanılan çözünürlük farklılığından kaynaklanmaktadır. Şöyle ki deneyde kullanılan tipik bir ölçüm aralığı ile benzetimde kullanılan hesap ağı arasında 5-50 katlık farklılık oluşabilmektedir. Bu farklılık yüksek tke değerlerine sahip bazı bölgelerde ölçüm alınamamasına ve çevredeki diğer noktalar arasında interpolasyon yapıldığında bu bölgede olması gerekenden daha düşük tke değerlerinin gözlenmesine yol açmaktadır.

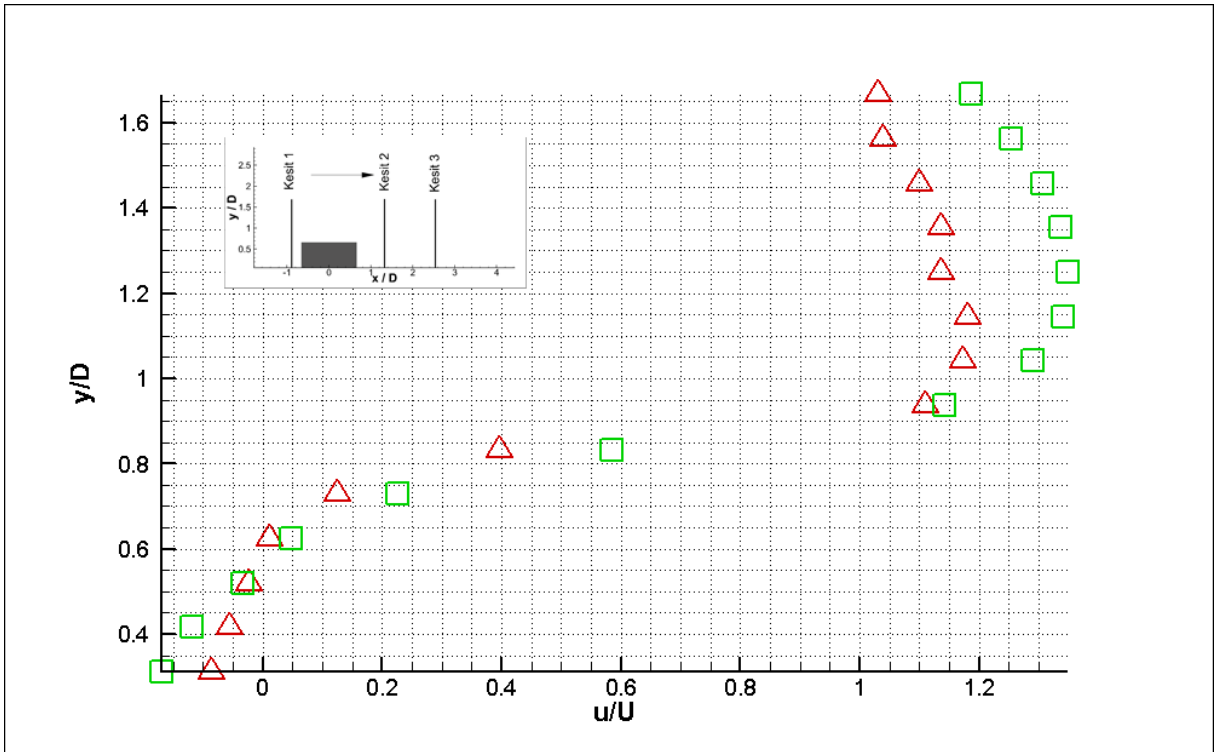
En küçük daralma oranında ayağın memba ve mansap kısmındaki üç farklı kesitte zeminden 0.1D ve 0.5D kadar yukarıdaki iki farklı yatay düzlemde akım yönündeki elde edilen ortalama hız dağılımı deney ve benzetim için Şekiller 3.69-3.74'te karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma da göstermektedir ki deney ve benzetim sonuçları birbirine oldukça yakındır. Hız değerleri arasındaki en büyük fark %25-30 civarındadır ki bu farklılık tüm kıyaslama içerisinde sadece sınırlı sayıdaki noktada oluşmaktadır. Genel hatları ile bakıldığında deney ve benzetim sonuçları arasındaki uyum oldukça kuvvetli ve tatmin edicidir.



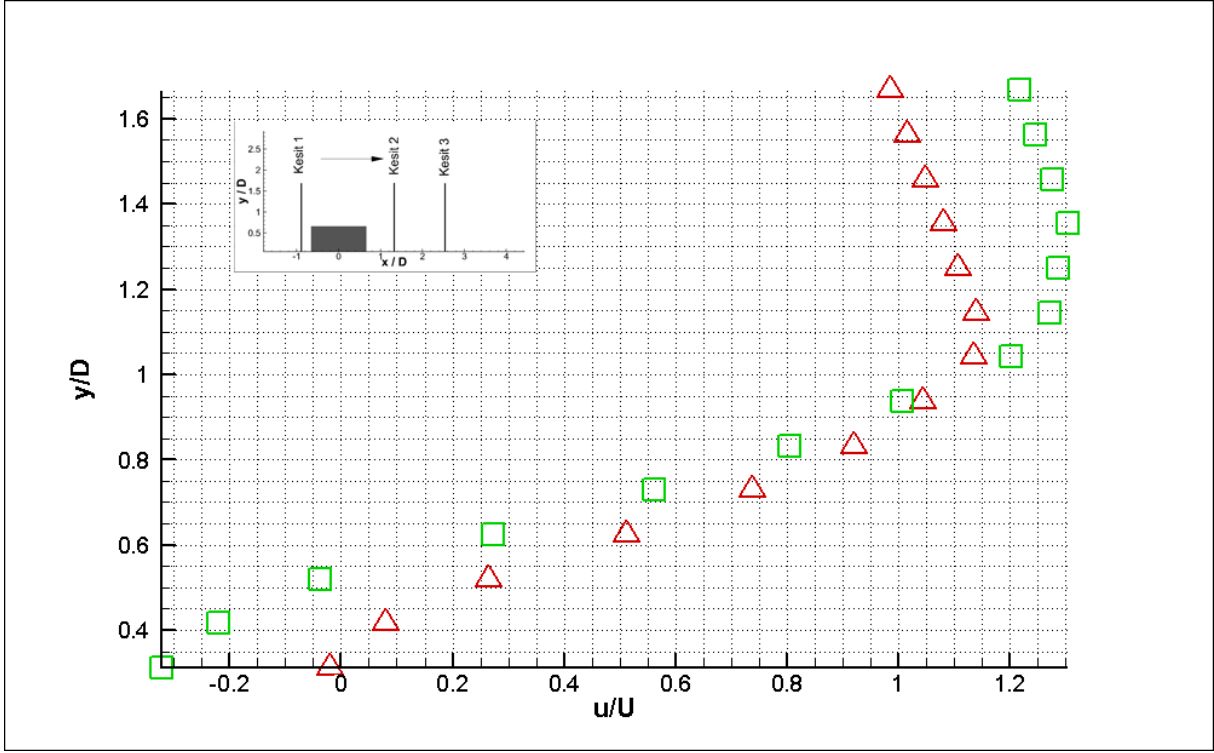
Şekil 3.68 Zeminden 0.1D yukarıda köprü yan ayağı etrafındaki yatay bir kesitteki boyutsuz türbülans kinetik enerjisi dağılımı a) Deney, b) Sayısal benzetim.



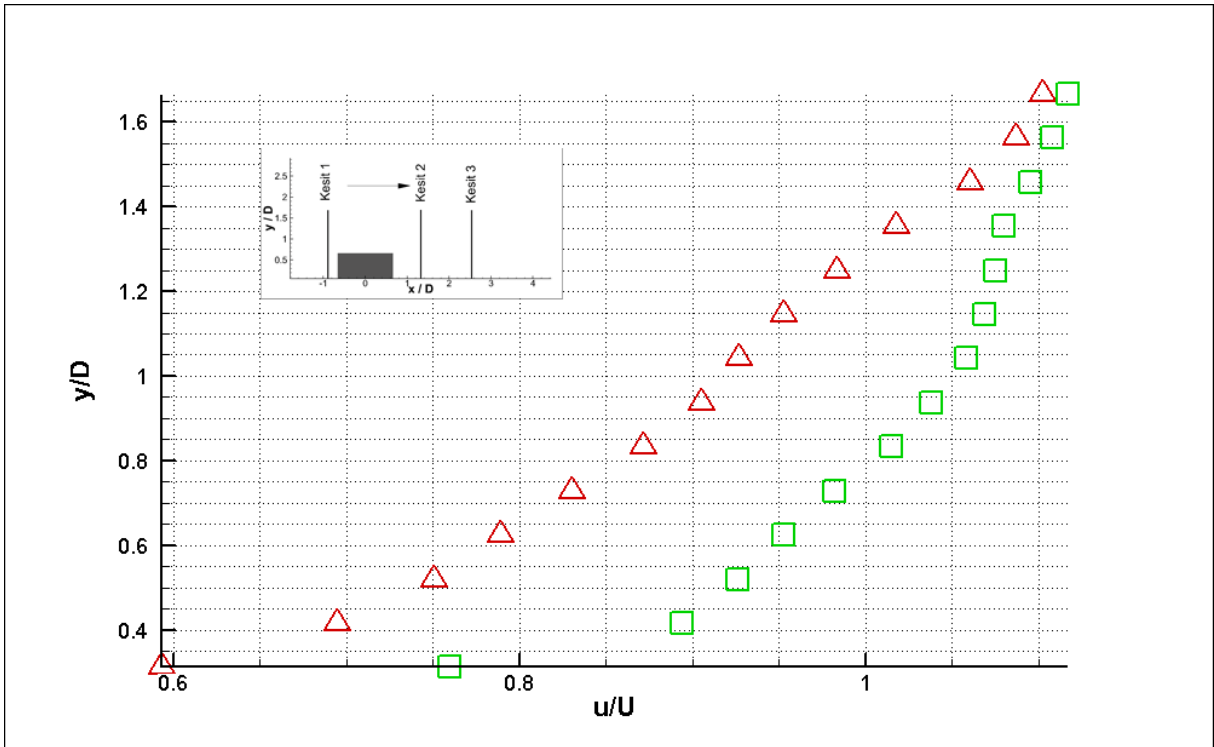
Şekil 3.69 Zeminden 0.1D yukarıda, Kesit 1'de, boyutsuz aksel hız dağılımı (üçgen deney, kare ise benzetim verisini göstermektedir).



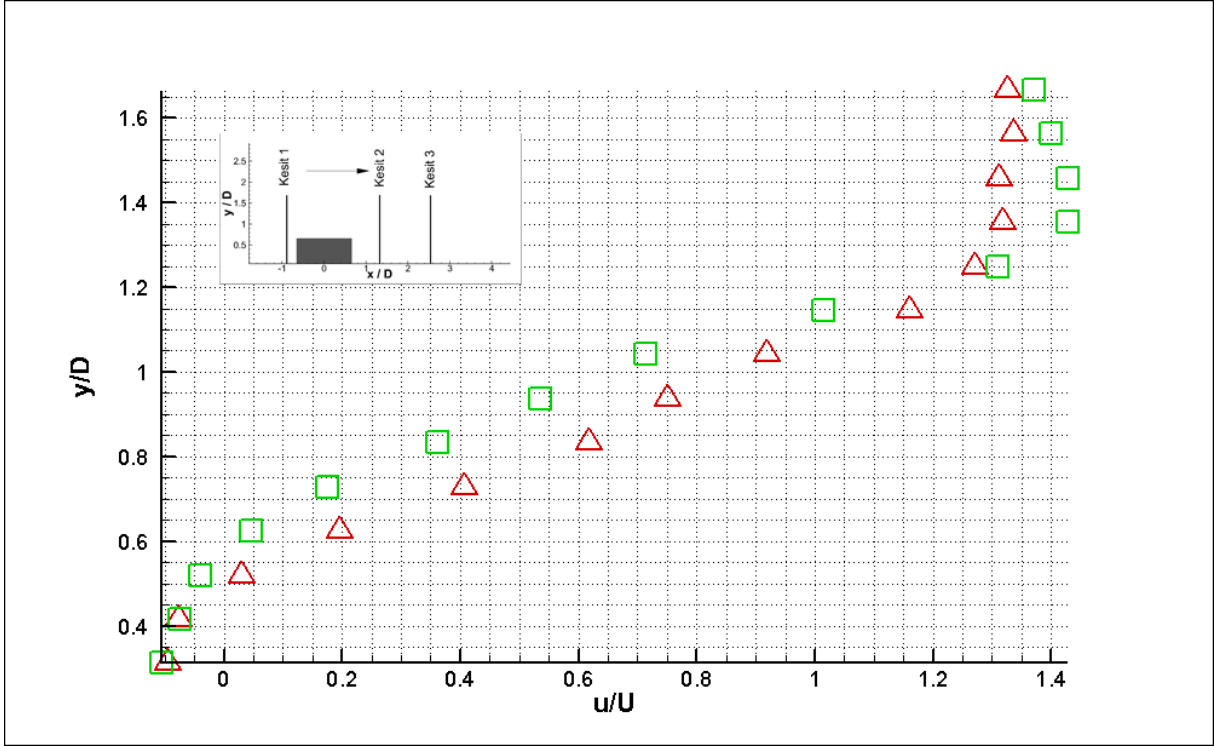
Şekil 3.70 Zeminden 0.1D yukarıda, Kesit 2'de, boyutsuz aksel hız dağılımı (üçgen deney, kare ise benzetim verisini göstermektedir).



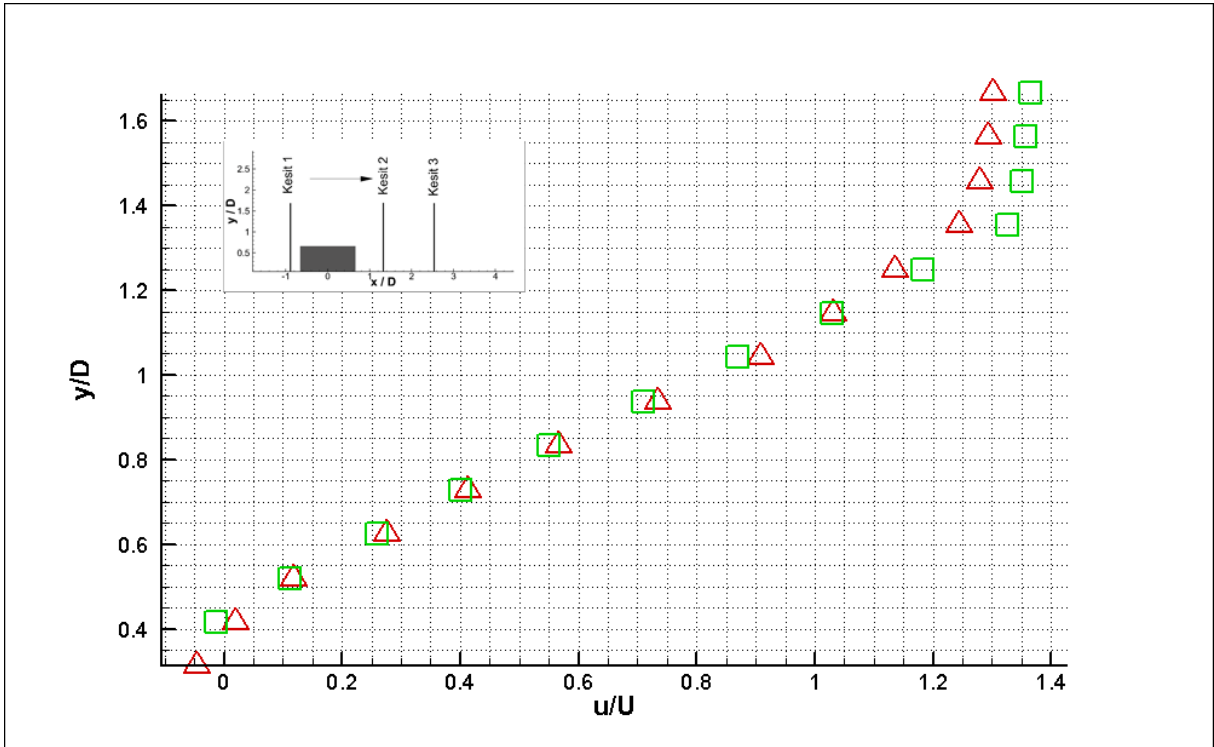
Şekil 3.71 Zeminden 0.1D yukarıda, Kesit 3'de, boyutsuz aksel hız dağılımı (üçgen deney, kare ise benzetim verisini göstermektedir).



Şekil 3.72 Zeminden 0.5D yukarıda, Kesit 1'de, boyutsuz aksel hız dağılımı (üçgen deney, kare ise benzetim verisini göstermektedir).



Şekil 3.73 Zeminden 0.5D yukarıda, Kesit 2'de, boyutsuz aksel hız dağılımı (üçgen deney, kare ise benzetim verisini göstermektedir).



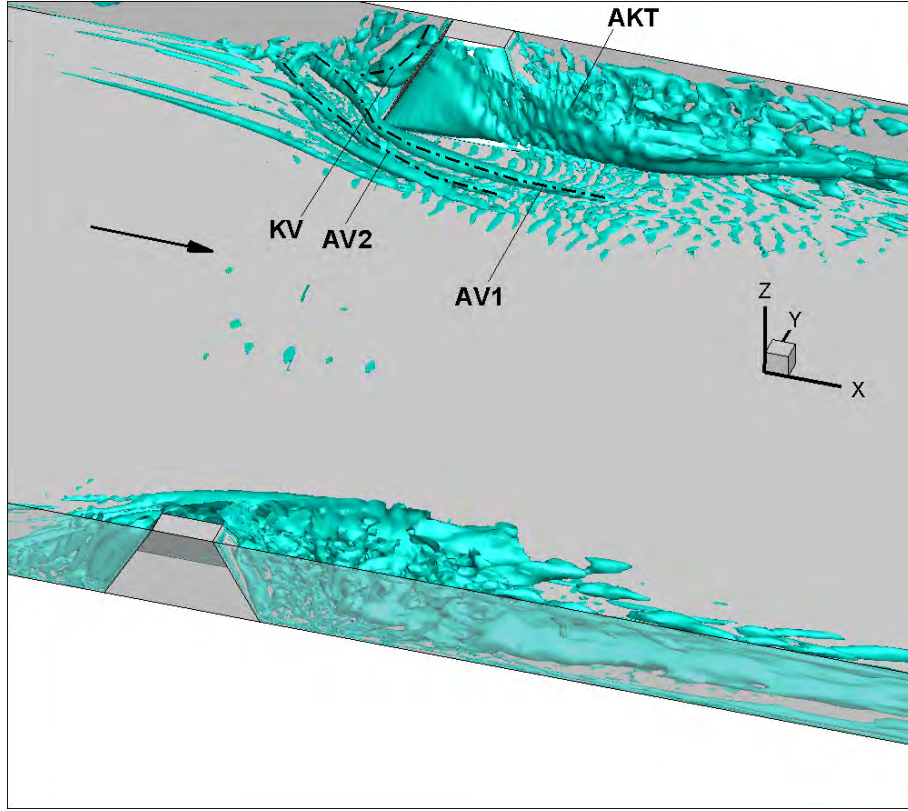
Şekil 3.74 Zeminden 0.5D yukarıda, Kesit 3'de, boyutsuz aksel hız dağılımı (üçgen deney, kare ise benzetim verisini göstermektedir).

3.7.3 Ayak Etrafındaki Akım Yapıları ve Ayrışmış Kesme Tabakası

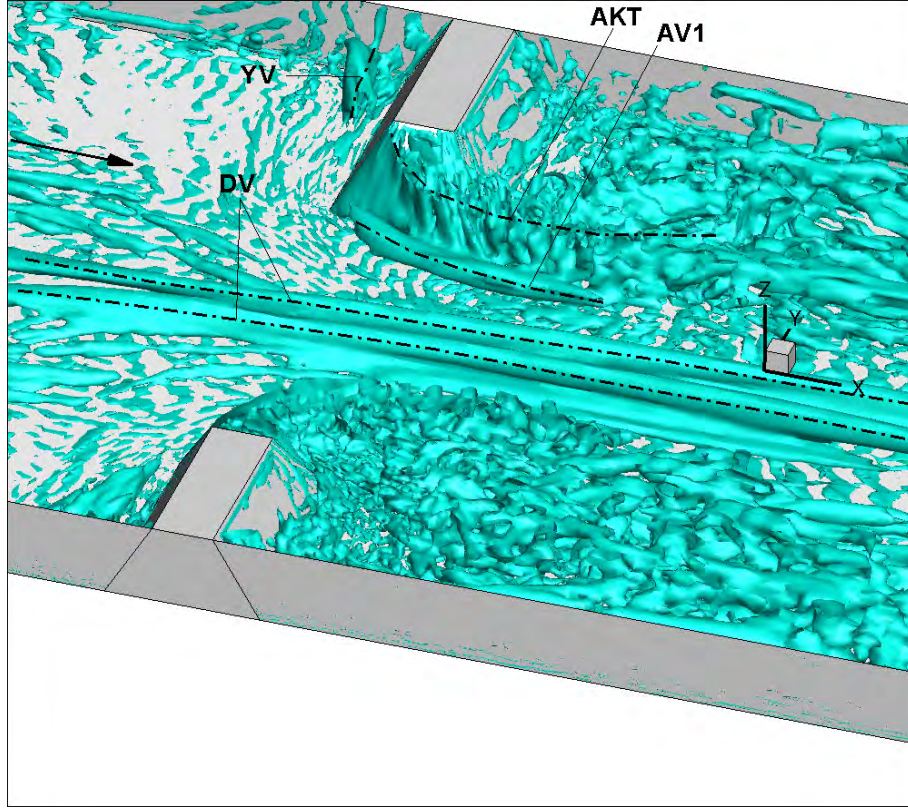
En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri (Dubief ve Delcayre, 2000) kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar Şekil 3.75`te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi köprü yan ayaklarının etrafında zemine yakın bir konumda ayakları çevreleyen iki adet atnalı vorteksi oluşmaktadır. Bu vortekslerden ayağa yakın olanı birincil atnalı vorteksi, AV1, uzak olan ise ikincil atnalı vorteksi, AV2, olarak adlandırılmıştır. Bu vortekslerden başka ayağın memba kısmındaki resirkülasyon bölgesinde su serbest yüzeyinden başlayarak ayak yüzeyini takip ederek kanal tabanına kadar inen bir köse vorteksi, KV, bulunmaktadır. Şekilde ayrıca ayağın akıma paralel olan duvarı üzerinden başlayarak ayağın mansap kısmına doğru ilerleyen ayrıışmış kesme tabakası, AKT, görülmektedir. AKT, ayağın mansap kısmında oluşan resirkülasyon bölgesi ile kanalın merkezinde hızla akan bolumu birbirinden ayırmaktadır. Şekil 3.75`den de görüldüğü üzere kanal daralma oranı $2L/W=0.119$ için her iki ayak etrafında oluşan türbülans yapıları birbirleri ile etkileşmemektedir.

En büyük daralma oranında köprü yan ayakları etrafında oluşan döngüsel yapılar en küçük daralma oranına göre oldukça yoğun farklılıklar göstermektedir (Şekil 3.76). Bunlardan en önemlisi kanalın ortasında zemine yakın mesafede akım yönünde uzanan ve birbirine ters yönde dönen iki adet kuvvetli daralma vorteksinin (DV) oluşumudur. Bu vorteksler ayak ekseninin yaklaşık olarak $4.5D$ kadar membasında oluşmakta ve mansap yönünde ayak ekseninden yaklaşık olarak $20D$ mesafeye kadar etkinliğini korumaktadır. Yüksek daralma oranlarında özellikle oyulma başlangıcında kanal ortasında akıma paralel yönde oluşan iki adet çukurluk daralma vortekslerinin varlığının bir sonucudur (Şekil 3.22 ve 3.25). Yüksek daralma oranında gözlemlenen bir diğer önemli farklılık da birincil atnalı vorteksi AV1`in küçük daralma oranındakinden farklı olarak, ayakların memba kısmından değil de ayak kesiti civarında etkinleşmesi ve akım yönünde $3D$ kadar bir mesafede gücünü yitirmesidir. AV1`in küçük daralma oranına göre daha kısa mesafede etkin oluşu tamamen kanal ortasındaki daralma vorteksleri sebebiyledir. İleriki bölümde de izah edileceği üzere en büyük daralma oranında ayrıışmış kesme tabakası AKT, küçük daralma oranındakine göre daha kavislidir ve merkezdeki akıma doğru kıvrılarak bu bölgeyi daraltmaktadır. Dolayısıyla AV1 de bu daralan bölgede akım yönünde ilerlendikçe daralma vortekslerine yaklaşmakta ve etkinliğini kısa bir mesafede yitirmektedir. Ayağın memba kısmında atnalı vorteksinin bulunmaması da kanaldaki daralma ve bunun karşılığında oluşan yoğun akım ivmelenmesinin bir sonucudur. Bu bölgede akım ancak ayağa çarptıktan sonra ayağa paralel yönde ilerleyebilmekte ve daralan bölgeden geçmektedir. Ayağın memba kısmında yine bu sebepten ötürü büyük bir resirkülasyon bölgesi bulunmamaktadır. Küçük daralma oranından farklı olarak bu bölgede su serbest yüzeyine

yakın kısımda ayağa paralel yönde bir yüzey vorteksi YV oluşmaktadır. Bu vorteks çok kuvvetli değildir ve ayağın burnuna ulaşmadan etkisini kaybetmektedir.

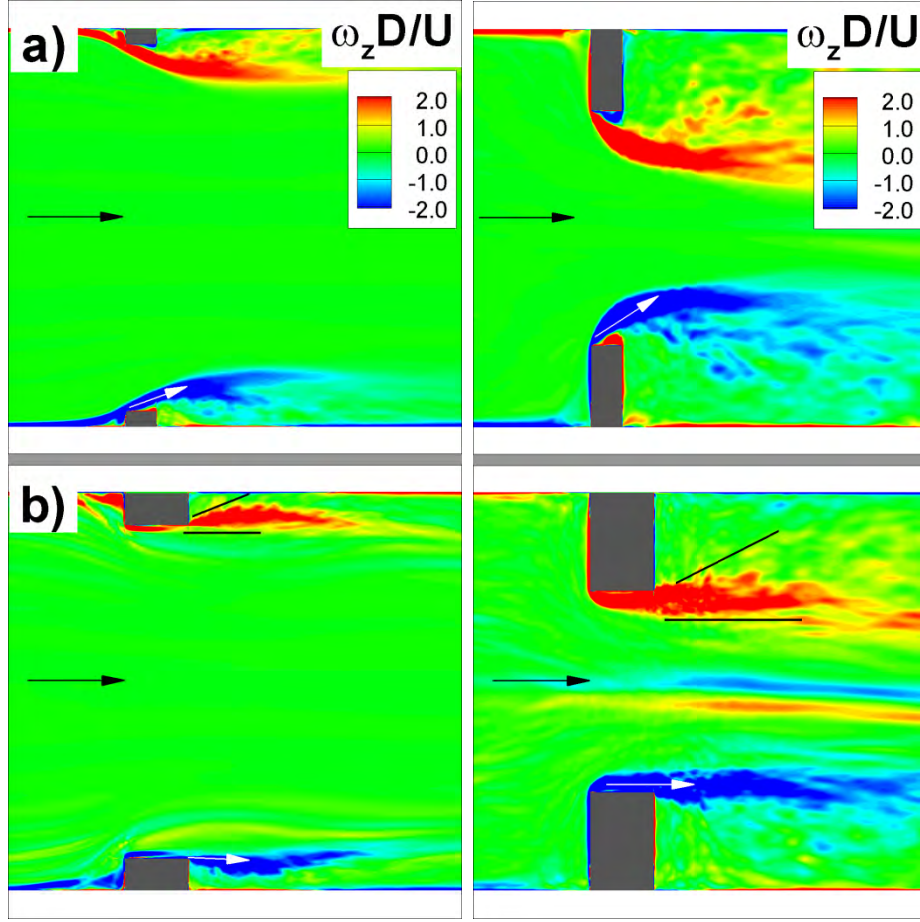


Şekil 3.75 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar.



Şekil 3.76 En büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar.

En küçük ve en büyük daralma oranlarında AKT'nın derinlikle nasıl değiştiğini daha iyi gözlemleyebilmek için ortalama akım koşullarında boyutsuz düşey vortisite dağılımı serbest yüzeyde ve zeminden $0.9D$ mesafede çizilmiştir (Şekil 3.77). Burada gözlemlenen büyük vortisite değerleri AKT'nın pozisyonunu göstermektedir. Serbest yüzeydeki dağılım incelendiğinde AKT'nın çoğunlukla ayaktan uzaklaştığı gözlenmektedir (Bkz. Şekil 3.77a beyaz ok). En küçük daralma oranında AKT akım yönü ile yaklaşık 20 derecelik bir açı yapmaktayken en büyük daralma oranında bu açı 35 dereceyi bulmaktadır. Zemine yakın derinliklerde her iki daralma oranında da AKT, akıma paralel bir şekil almaktadır. Yatay vortisite değerleri incelendiğinde, AKT'nın resirkülasyon bölgesine doğru genişlediği görülmektedir. (Bkz. Şekil 3.77b siyah çizgiler). Bunun sebebi AKT içersinde ilerleyen vorteks tüplerinin zaman zaman mansap resirkülasyon bölgesine doğru taşınmasıdır. Bu taşınım esnasında bu yapılar, zemindeki basınç çalkantılarını da arttırmakta (Bölüm 3.7.4) ve sediman taşınımını bu doğrultuya doğru yönlendirmektedir. En büyük daralma oranında kanalın merkezinde görülen iki uzun vortisite parçası bu bölgede bulunan daralma vorteksleri sebebiyle oluşmaktadır.

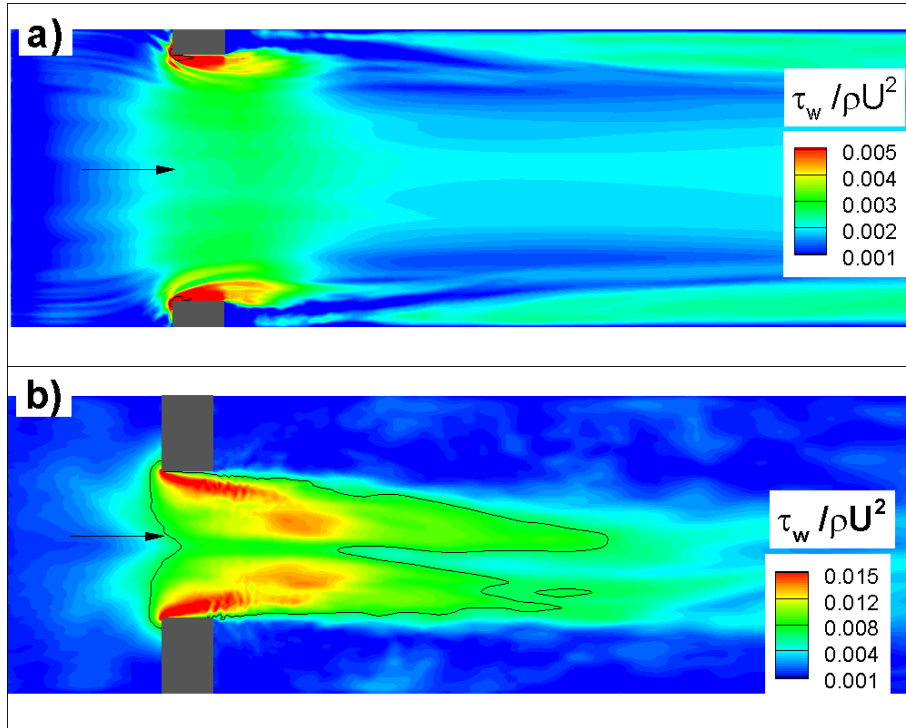


Şekil 3.77 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ (sol) ve en büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ (sağ) için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz düşey vortisite dağılımı: a) Serbest yüzeyde; b) Serbest yüzeyden $0.9D$ aşağıda.

3.7.4 Ayak Etrafında Zemindeki Sürtünme Gerilmesi ve Basınç Çalkantısı Dağılımı

Oyulmaya etki eden en önemli faktör zeminde oluşan sürtünme gerilmesidir. En küçük en büyük daralma oranları için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz sürtünme gerilmesi dağılımı, $\tau_w/\rho U^2$, Şekil 3.78`de verilmiştir. Her iki daralma oranında da köprü yan ayakları etrafında AKT boyunca ve birincil atnalı vorteksi AV1 boyunca zemin gerilmesi değerlerinde artış gözlemlenmektedir. En küçük daralma oranında, kanalın merkezinde daralmanın olduğu köprü yan ayakları arasında da çok yoğun olmamakla birlikte bir miktar artış oluşmaktadır. Fakat ayaklar etrafında gözlemlenen sürtünme gerilmesi değerleri zeminin büyük bölümünde Shields diyagramından elde edilen boyutsuz kritik sürtünme gerilmesinin ($\tau_w/\rho U^2=0.007$) altındadır. Bu değer üzerinde kalan bölge ayakların memba ucunda küçük bir alanı kapsamaktadır (Şekil 3.78a`da siyah çizgi ile çevrelenen bölge). Bu alan deneylerde de gözlemlenen ve oyulmanın ilk olarak başladığı bölgedir. En büyük daralma oranında, en küçük daralma oranından farklı olarak AKT ve AV1'in bulunduğu

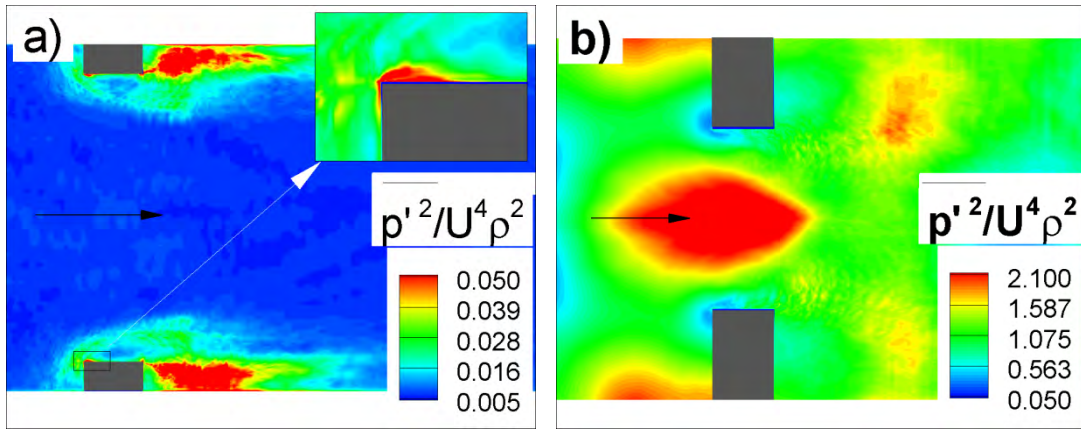
bölgeler dışında kanalın merkezinde daralma vorteksleri ve akımın bu bölgede hızlanması sebebiyle akım boyunca yaklaşık 15D mesafeye kadar yüksek sürtünme gerilmesi değerleri gözlemlenmektedir (Şekil 3.78b). Bu değerler, boyutsuz kritik sürtünme gerilmesi değerinin de üzerindedir ve oyulmanın kısa daralma oranındaki aksine daralan tüm kesit boyunca ve hatta akım yönünde oldukça uzun bir bölgede başladığını göstermektedir. En küçük daralma oranında ortalama akımda görülen en büyük boyutsuz zemin gerilmesi değeri 0.028 iken bu değer en büyük daralma oranında 0.037 civarındadır. Büyük daralma oranındaki maksimum sürtünme gerilmesi değeri küçük daralma oranındaki yaklaşık olarak %30 daha fazladır. Her iki daralma oranında da en büyük sürtünme gerilmesi değeri ayakların memba tarafındaki ucuna yakın bölgede oluşmaktadır.



Şekil 3.78 Köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz sürtünme gerilmesi dağılımı a) En küçük daralma oranı $2L/W = 0.119$ için, b) En büyük daralma oranı $2L/W = 0.452$ için. (Şekildeki düz çizgi ile gösterilen dağılım $\tau_{wc}/\rho U^2 = 0.007$ dir.)

Oyulma ve sediman taşınımında çok önemli bir parametre de zeminde oluşan basınç çalkantılarıdır. En küçük ve en büyük daralma oranı için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz basınç çalkantısı dağılımı, $\overline{p'p'}/(U^4 \rho^2)$, Şekil 3.79'da verilmiştir. Küçük daralma oranında basınç çalkantısı değerleri özellikle köprü yan ayaklarının mansap kısmında ve birincil atnalı vorteksi AV1'in pozisyonu boyunca artmaktadır. Köprü yan ayağının mansap bölgesinde görülen artış AKT'nın içerisinde taşınan vorteks tüplerinin bu bölgeye doğru taşınması ile ilgilidir. Köprü yan ayağının akım yönündeki duvarının memba ucunda da

büyük basınç çalkantısı değerleri gözlemlenmektedir. Bu değerler bu bölgede oluşan akım ayrışmasının bir sonucudur. Büyük daralma oranı için zemindeki boyutsuz basınç çalkantısı değerleri incelendiğinde bu değerlerinin küçük daralma oranında gözlenen değerlerin yaklaşık olarak kırk katı kadar olduğu görülmektedir (Şekil 3.79b). Bu konfigürasyonda en büyük artış köprü yan ayakları arasındaki daralan kesittir. Küçük daralma oranındaki gibi AKT içerisinde hareket eden vorteks tüpleri sebebiyle mansap tarafında oluşan resirkülasyon bölgesi içerisinde de yüksek basınç çalkantısı değerleri gözlemlenmektedir. Küçük daralma oranındakinden farklı olarak ayakların memba tarafında duvara yakın bölgede de yüksek basınç çalkantısı değerleri oluşmaktadır. Her iki daralma oranında basınç çalkantısı değerlerinde gözlemlenen yüksek farklılığın oyulma miktarı ve yayılımında çok büyük etkiler yapacağı kesindir.



Şekil 3.79 Köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz basınç çalkantısı dağılımı: a) En küçük daralma oranı $2L/W = 0.119$ için; b) En büyük daralma oranı $2L/W = 0.452$ için.

3.8 Aşınmış Zemin Koşullarında Yapılan Benzetimler:

Bölüm 3.7.1'de anlatılan yöntemle 8 saatlik oyulma sonucunda elde edilen taban batimetrileri kullanılarak en küçük ve en büyük daralma oranlarında iki adet benzetim yapılmıştır. Bu benzetimlerin amacı köprü yan ayakları etrafında oluşan döngüsel yapılarının oyulmanın ileri safhalarındaki durumunu belirlemek ve oyulma başlangıcındaki durumları ile kıyaslamaktır.

3.8.1 Ayak Etrafındaki Akım Yapıları ve Ayrışmış Kesme Tabakası

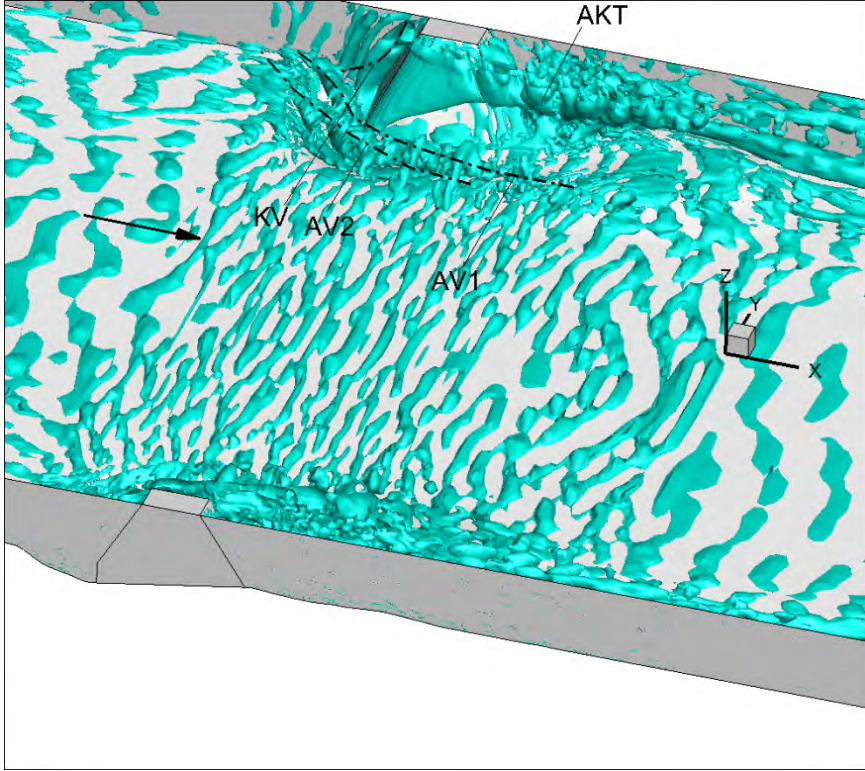
En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için köprü yan ayakları etrafında 8 saatlik oyulma sonrasında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar Şekil 3.80`de verilmiştir. Düz zemin koşullarında gözlemlere benzer şekilde oyulmuş zemin koşullarında da köprü yan ayağını sarmalayan iki adet atnalı vorteksi (AV1 ve AV2) ve memba

resirkülasyon bölgesinde de düşey yönde uzanan bir köşe vorteksi (KV) varlığını sürdürmektedir.

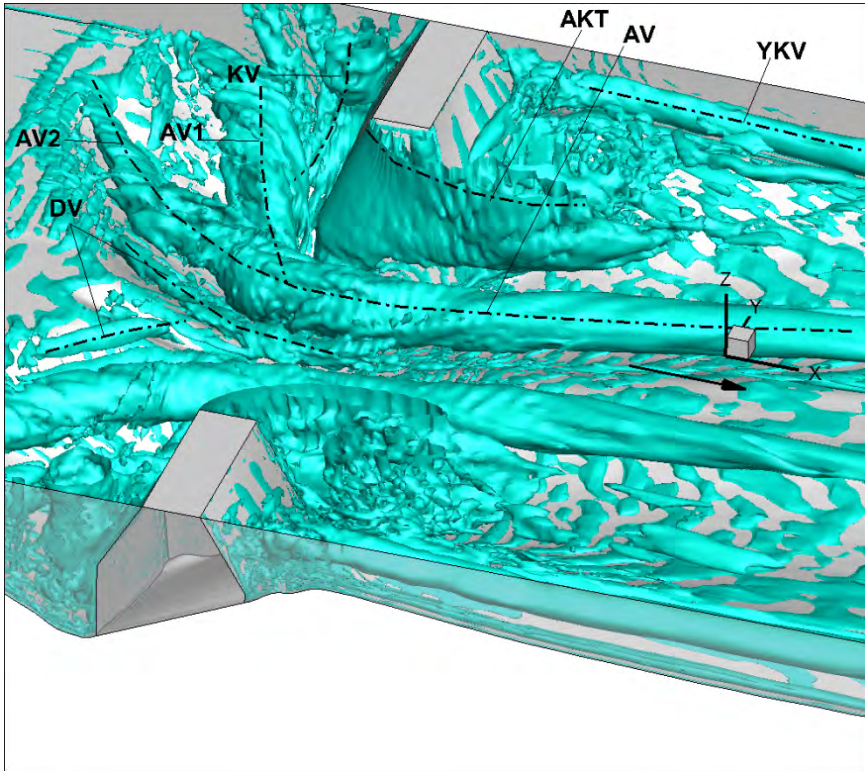
En büyük daralma oranında, 8 saatlik oyulma sonrasında köprü yan ayakları etrafında oluşan döngüsel yapılar düz zemin koşullarındakine göre oldukça farklılık göstermektedir (Şekil 3.81). Ayaklar etrafında geniş oyulma çukurlarının oluşması ile birlikte daralma vorteksleri (DV) yok olmamakla birlikte oldukça güçsüzleşmiştir. Bununla birlikte geniş oyulma çukuru içerisinde ayakların memba tarafında birincil ve ikincil atnalı vorteksleri (HV1 ve HV2) oluşmuştur. Hatırlanacağı üzere düz zemin koşullarında HV2 hiç oluşmazken yoğun akım ivmelenmesi ve güçlü daralma vortekslerinin de etkisiyle HV1 ayakların memba tarafında ortalama akım koşullarında gözlemlenememişti. Düz zemin koşullarındakinden farklı olarak oyulma çukurunun derinleşmesi ile birlikte kesitteki daralma miktarı da göreceli olarak azalmıştır. Bu azalma ayak memba bölgesinde resirkülasyon bölgesinin oluşmasına imkan vermiş ve bu oluşumla birlikte düz zemin koşullarında gözlemlenmeyen köşe vorteksi KV oyulmuş zemin koşullarında ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte düz zemin koşullarında yüzeye yakın kısımda ayağa paralel yönde oluşan yüzey vorteksi YV artık aşınmış zemin koşullarında gözlemlenmemektedir. Oyulma sonucu ayakların mansap tarafında birikim tepecikleri oluşmuştur (Şekil 3.27). Bu birikim tepciği ile kanal yan duvarı arasında zemine yakın mesafede ise güçlü yatay bir köşe vorteksi oluşmuştur (YKV). Bu vorteks düz zemin koşullarında da bulunmakla birlikte oldukça zayıftır.

Oyulmuş zemin koşullarında, en küçük ve en büyük daralma oranlarında AKT'nin derinlikle değişimini gösterebilmek için ortalama akım koşullarında boyutsuz düşey vortisite dağılımı serbest yüzeyde ve serbest yüzeyden 0.9D mesafede çizilmiştir (Şekil 3.82). Küçük daralma oranında, oyulma çukurunun oluşması ile birlikte AKT'nin akım yönü ile yaptığı açı küçülmektedir (Şekil 3.77 ve 3.82). Bununla birlikte düz zemin koşullarındakine benzer şekilde zemine yaklaştıkça AKT mansap resirkülasyon bölgesine doğru dönmektedir.

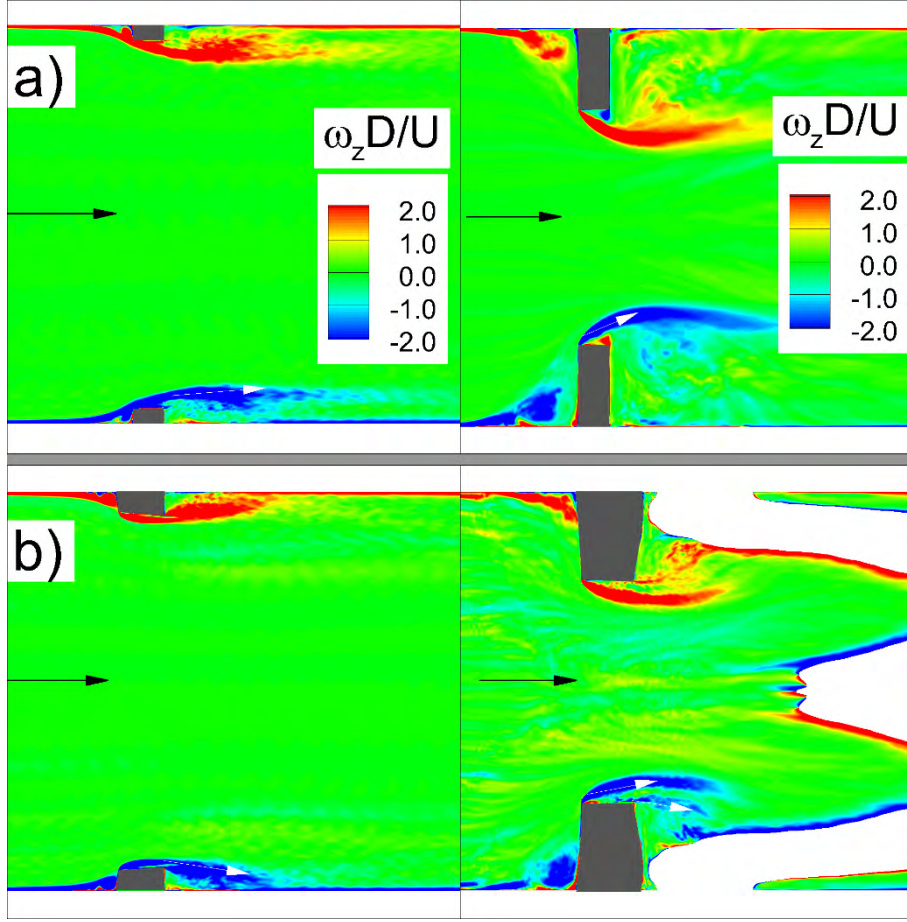
En büyük daralma oranında serbest yüzeye yakın düzlemde AKT'nin yönü düz ve oyulmuş zemin koşullarında farklılık göstermemektedir. Bu daralma oranında su serbest yüzeyinden 0.9D aşağıda alınan düzlem ayakların mansap kısmında oluşan birikme tepeciklerini kesmektedir. Şekil 3.82'de görülen beyazlıklar bu birikme tepecikleri sebebiyledir. Düz zemin koşullarında bu düzlemde AKT akımla yönüyle paralel olmasına rağmen (Şekil 3.77) oyulmuş zemin koşullarında AKT serbest yüzeydekenden bir miktar küçük olmakla birlikte akım yönü ile belli bir açı yapmaktadır. Bunun sebebi oyulma çukuru ve tepciğinin oluşumu ile birlikte ayağın mansap tarafındaki ucunda ikinci bir ayrışma bölgesinin oluşmasıdır (Şekil 3.82 b'deki beyaz oklar). Bu ayrışma bölgesi ayak memba ucunda oluşan birincil ayrışmayı ayaktan uzaklaştırmakta ve zeminde yakın derinlikte lokal olarak küçük bir resirkülasyon bölgesi oluşturmaktadır.



Şekil 3.80 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar (8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında).



Şekil 3.81 En büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında Q-kriteri kullanılarak görselleştirilen döngüsel yapılar (8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında).



Şekil 3.82 En küçük daralma oranı $2L/W=0.119$ (sol) ve en büyük daralma oranı $2L/W=0.452$ (sağ) için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz düşey vortisite dağılımı (8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında): a) Serbest yüzeyde; b) Serbest yüzeyden $0.9D$ aşağıda.

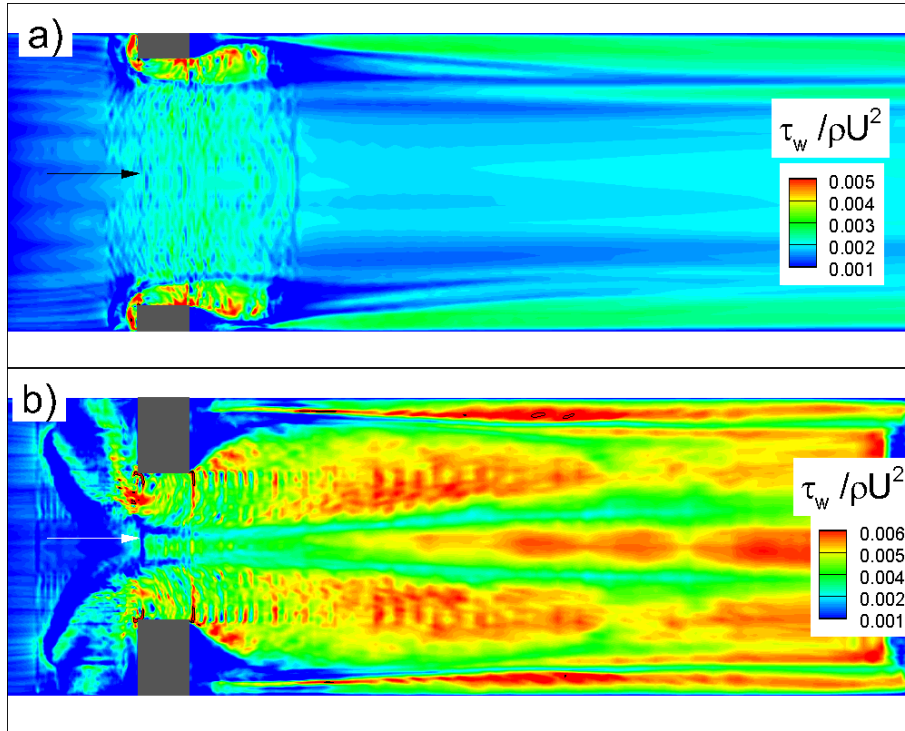
3.8.2 Ayak Etrafında Zemindeki Sürtünme Gerilmesi ve Basınç Çalkantısı Dağılımı

En küçük en büyük daralma oranları için 8 saatlik oyulma sonrasında köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz sürtünme gerilmesi dağılımı, $\tau_w/\rho U^2$, Şekil 3.83`de verilmiştir. Her iki daralma oranında da köprü yan ayakları etrafında AKT boyunca ve birincil atnalı vorteksi AV1 boyunca zemin gerilmesi değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Bunların dışında en büyük daralma oranında kanal merkezi boyunca ve yatay köşe vorteksi YKV boyunca da zemin gerilmesi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Fakat bu artışlar bir iki küçük lokal bölge dışında zeminin hemen hemen tamamında kritik boyutsuz zemin gerilmesi değeri $\tau_{wc}/\rho U^2=0.007$ 'nin altındadır. Bu da göstermektedir ki zemin denge oyulması koşullarına yaklaşmıştır.

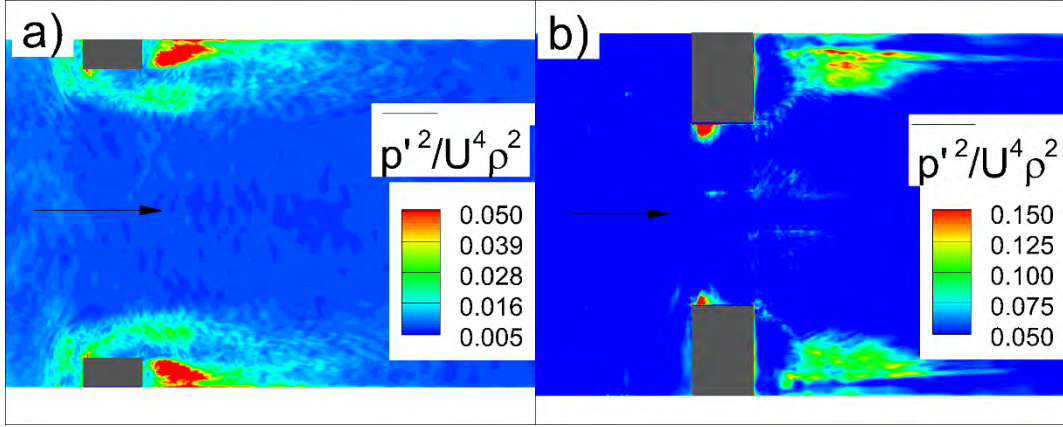
En küçük ve en büyük daralma oranı için köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz basınç çalkantısı dağılımı, $\overline{p'p'}/(U^4 \rho^2)$, Şekil 3.84`te verilmiştir. Küçük

daralma oranında tıpkı düz zemin koşullarında olduğu gibi basınç çalkantısı değerleri özellikle köprü yan ayaklarının mansap kısmında ve birincil atnalı vorteksi AV1'in pozisyonu boyunca artmaktadır. Köprü yan ayağının akım yönündeki duvarının memba ucundaki küçük bir bölgede de büyük basınç çalkantısı değerleri gözlemlenmektedir.

Büyük daralma oranı için zemindeki boyutsuz basınç çalkantısı değerleri incelendiğinde bu değerlerinin küçük daralma oranında gözlenen değerlerin yaklaşık olarak birkaç katı kadar olduğu görülmektedir (Şekil 3.84b). Düz zemin koşullarında gözlemlenenin aksine oyulmuş zemin koşullarında daralan kesitte ve ayakların memba kısmında yüksek basınç çalkantısı değerleri gözlemlenmemektedir. Bunun nedeni bu bölgelerde oyulma çukurunun derinleşerek akım kesitini genişletmesidir. Bu şekilde daralmanın etkileri ortadan kalkmıştır. Bununla birlikte düz zemin koşullarındakinden farklı olarak ayakların memba ucunda yüksek basınç çalkantısı değerleri gözlemlenmiştir.



Şekil 3.83 Köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz sürtünme gerilmesi dağılımı (8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında). a) En küçük daralma oranı $2L/W = 0.119$ için, b) En büyük daralma oranı $2L/W = 0.452$ için.



Şekil 3.84 Köprü yan ayakları etrafında ortalama akım koşullarında boyutsuz basınç çalkantısı dağılımı (8 saatlik oyulma sonrası aşınmış zemin koşullarında): a) En küçük daralma oranı $2L/W = 0.119$ için; b) En büyük daralma oranı $2L/W = 0.452$ için.

4- SONUÇ

Bu proje kapsamında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen verilerden ve ilgili boyutsuz parametreler arasında teşkil edilen diyagramlardan aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

- 1) Nehirlerde köprü yan ayaklarının sebep olduğu daralma oranı arttıkça oluşacak olan oyulma çukurunun derinliği ve genişliği artmaktadır.
- 2) Bilinen bir daralma oranı için köprü yan ayağı etrafında meydana gelecek olan oyulma çukurunun maksimum derinliği akımın süresi arttıkça artmaktadır (Şekil 3.29). Burada yapılan 8 saatlik deneylerin verileri, pratikte yapılacak olan benzer tipteki köprü yan ayaklarının projelendirilmelerinde emniyetle kullanılabilir.
- 3) Daralma oranı ve meydana gelen oyulma miktarının hacmi arasında parabolik bir ilişki vardır.
- 4) Daralma sebebiyle ayak etrafında oluşan maksimum oyulma derinliğinin bulunacağı noktanın koordinatları ve oyulma çukurunun akım yönündeki maksimum uzunluğu Şekiller 3.30-3.33 kullanılarak bulunabilirler.
- 5) Köprü yan ayakları etrafına yerleştirilen yatay plakalar oyulma miktarının azaltmakta ve maksimum oyulmayı ayaktan uzağa ötelemektedir. Bu bağlamda yatay plaka uygulaması köprü ayakları etrafındaki aşırı oyulmayı önleyici bir tedbir olarak ele alınabilir.

- 6) Daralma oranı $2L/W < 0.20$ ve $La/Bc < 3.0$ için tüm noktalarda plakaların yüzeye yerleştirilmesi oyulma miktarının en aza inmesini sağlamıştır. $2L/W < 0.20$ ve $La/Bc > 3.0$ için plakanın $Zc/D = -0.25$ 'e gömülmesi en az oyulma miktarını vermektedir. Daralma oyulmasının hissedildiği tüm daralma oranlarında $2L/W > 0.20$ plakaların $Zc/D = -0.5$ 'e gömülmesi oyulmanın en aza indirilmesini sağlamaktadır.
- 7) Şekil 3.51 kullanılarak herhangi bir daralma oranında $\sqrt{\theta La/Bc}$ parametresi hesaplanırsa yatay plakanın en az oyulma miktarını veren optimum konfigürasyona yerleştirildiği durum için boyutsuz maksimum oyulma derinliği bu şekil kullanılarak elde edilebilir.

Bu proje kapsamında yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen verilerden aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

- 1) En küçük daralma oranında düz zemin ve 8 saatlik oyulmuş zemin koşullarında köprü yan ayakları etrafında zemine yakın bölgede iki adet atnalı vorteksi oluşmaktadır. Bu vorteksler dışında memba resirkülasyon bölgesinde bir adet köşe vorteksi oluşmaktadır. Bu döngüsel yapılar en küçük daralma oranında birbirleri ile etkileşmemektedir.
- 2) En büyük daralma oranında kanal merkezinde akıma paralel yönde iki adet daralma vorteksi oluşmaktadır. Düz zemin koşullarında köprü yan ayakları etrafında bir adet atnalı vorteksi oluşmakta fakat bu vorteks sadece köprü yan ayağının ucundan itibaren mansap tarafında etkili olmaktadır. Oyulmuş zemin koşullarında akım kesitinin genişlemesiyle birlikte kanal merkezindeki daralma vorteksleri zayıflamakta bununla birlikte oyulma çukuru içerisinde iki adet atnalı vorteksi oluşmaktadır. Bu iki vorteks köprü yan ayağı ucunda birleşerek akım yönünde tek bir vorteks olarak uzamaktadır.
- 3) Düz zemin koşullarında köprü yan ayakları etrafındaki sürtünme gerilmesi değerleri daralma oranlarının artmasıyla oldukça farklılık göstermektedir. Küçük daralma oranında sadece köprü ayaklarının etrafında birincil atnalı vorteksinin pozisyonu boyunca ve ayrılmış kesme tabakasının memba kısmında yüksek sürtünme gerilmesi değerleri gözlemlenirken büyük daralma oranında bu bölgelere ilave olarak daralan kanal kesitinin tamamında ve daralma vortekslerinin pozisyonu boyunca da yüksek sürtünme gerilmesi değerleri gözlemlenmektedir.

- 4) Her iki daralma oranında da en büyük sürtünme gerilmesi değeri ayakların memba tarafındaki ucuna yakın bölgede oluşmaktadır.
- 5) Düz zemin koşullarında, büyük daralma oranı için zemindeki boyutsuz basınç çalkantısı değerleri incelendiğinde bu değerlerinin küçük daralma oranında gözlenen değerlerin yaklaşık olarak kırk katı kadar olduğu görülmektedir.

REFERANSLAR

- BAKER C. J., The Turbulent Horseshoe Vortex, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 6, 9, (1980).
- DARGAHI B., The Turbulent Flow Field Around a Circular Cylinder, *Experiments in Fluids*, 8, 1, (1989).
- DUBIEF, Y., DELCAYRE, F. (2000), On coherent vortex identification in turbulence, *J. Turbulence*, 1, paper 11, doi:10.1088/1468-5248/1/1/011.
- KOKEN M., Constantinescu G., An investigation of the flow and scour mechanisms around isolated spur dikes in a shallow open channel. Part I. Conditions corresponding to the initiation of the erosion and deposition process, *Water Resources Research*, 44, W08406, (2008a).
- KOKEN M., Constantinescu G., An investigation of the flow and scour mechanisms around isolated spur dikes in a shallow open channel. Part II. Conditions corresponding to the final stages of the erosion and deposition process, *Water Resources Research*, 44, W08407, (2008b).
- KOKEN M., Constantinescu G., An investigation of the dynamics of the coherent structures in a turbulent channel flow with a vertical sidewall obstruction. *Physics of Fluids*, Vol. 21(8), 085104, (2009)
- KOKEN M., Coherent structures around isolated spur dikes at various approach flow angles. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 49(6), pp. 736-743, (2011).
- MELWILLE B. W., Pier and Abutment Scour: Integrated Approach, *Journal of Hydraulic Engineering*, 123, 125, (1997).

EK-A

Düz zemin koşullarında en küçük daralma oranında yapılan deney ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması detaylandırılmış ölçüm yapılan her nokta için RMSE hata değerleri hesaplanmış ve aşağıda Tablo A1-A7 de verilmiştir.

Tablo A1: Zeminden 0.1D yukarıda Kesit 1'de elde edilen deney ve benzetim boyutsuz akım hızı sonuçlarının karşılaştırılması ve RMSE değerleri.

0.1D - Kesit 1			
	Deney	Benzetim	
y/D	u/U	u/U	RMSE
0.31866	0.23066	0.11474	0.11592
0.41539	0.36466	0.25525	0.10941
0.51903	0.40443	0.29613	0.10829
0.61749	0.44283	0.31541	0.12742
0.72977	0.47869	0.35790	0.12079
0.83514	0.52726	0.39171	0.13555
0.93878	0.58883	0.43492	0.15390
1.04242	0.61949	0.51424	0.10525
1.14951	0.66094	0.60818	0.05276
1.25143	0.71974	0.66072	0.05902
1.34989	0.76155	0.73831	0.02325
1.46217	0.81102	0.77626	0.03476
1.56062	0.83929	0.80110	0.03819
1.66599	0.85661	0.82072	0.03589
Ortalama:	0.59328	0.50611	0.08717

Tablo A2: Zeminden 0.1D yukarıda Kesit 2'de elde edilen deney ve benzetim boyutsuz akım hızı sonuçlarının karşılaştırılması ve RMSE değerleri.

0.1D - Kesit 2			
	Deney	Benzetim	
y/D	u/U	u/U	RMSE
0.31693	-0.08583	-0.16799	0.08215
0.41539	-0.05713	-0.11994	0.06281
0.51903	-0.02527	-0.03574	0.01047
0.62613	0.01241	0.04944	0.03703
0.72631	0.12161	0.22127	0.09966
0.83168	0.39154	0.57793	0.18639
0.94051	1.11186	1.14562	0.03376
1.04415	1.17233	1.29193	0.11960
1.14779	1.18028	1.34071	0.16043
1.25488	1.13547	1.34829	0.21282
1.35334	1.13660	1.33680	0.20020
1.46217	1.09775	1.30456	0.20681
1.56062	1.03935	1.25518	0.21583
1.66427	1.02978	1.18834	0.15856
Ortalama:	0.66148	0.76689	0.12761

Tablo A3: Zeminden 0.1D yukarıda Kesit 3'de elde edilen deney ve benzetim boyutsuz akım hızı sonuçlarının karşılaştırılması ve RMSE değerleri.

0.1D - Kesit 3			
	Deney	Benzetim	
y/D	u/U	u/U	RMSE
0.31348	-0.01906	-0.32178	0.30273
0.41712	0.07991	-0.22026	0.30017
0.51903	0.26016	-0.04127	0.30143
0.62267	0.50521	0.26532	0.23989
0.72804	0.73554	0.55817	0.17738
0.83341	0.91912	0.80544	0.11368
0.93705	1.04396	1.00630	0.03766
1.04242	1.13520	1.20330	0.06810
1.14606	1.13858	1.27265	0.13407
1.24970	1.10744	1.28746	0.18002
1.35334	1.08173	1.30446	0.22273
1.45871	1.04798	1.27649	0.22851
1.56408	1.01573	1.24481	0.22908
1.66599	0.98631	1.21718	0.23087
Ortalam:	0.78841	0.77559	0.19759

Tablo A4: Zeminden 0.5D yukarıda Kesit 1'de elde edilen deney ve benzetim boyutsuz akım hızı sonuçlarının karşılaştırılması ve RMSE değerleri.

0.5D - Kesit 1			
	Deney	Benzetim	
y/D	u/U	u/U	RMSE
0.31345	0.40874	0.33978	0.06897
0.41698	0.49423	0.57092	0.07670
0.51881	0.60136	0.72418	0.12282
0.62573	0.72105	0.80787	0.08682
0.72926	0.79933	0.89909	0.09976
0.83279	0.89542	1.00503	0.10961
0.93802	0.96308	1.09071	0.12763
1.04155	1.01662	1.13946	0.12284
1.14508	1.06137	1.16523	0.10386
1.25030	1.10085	1.17641	0.07556
1.35214	1.12103	1.17309	0.05206
1.45906	1.13977	1.16851	0.02874
1.56259	1.15663	1.16911	0.01248
1.66612	1.17334	1.17744	0.00410
Ortalama:	0.90377	0.97192	0.07800

Tablo A5: Zeminden 0.5D yukarıda Kesit 2'de elde edilen deney ve benzetim boyutsuz akım hızı sonuçlarının karşılaştırılması ve RMSE değerleri.

0.5D - Kesit 2			
	Deney	Benzetim	
y/D	u/U	u/U	RMSE
0.31515	-0.09513	-0.10476	0.00963
0.41698	-0.07564	-0.07513	0.00051
0.52051	0.03033	-0.04075	0.07107
0.62573	0.19727	0.04708	0.15019
0.72926	0.40748	0.17619	0.23129
0.83279	0.61616	0.36098	0.25518
0.93802	0.75193	0.53621	0.21572
1.04155	0.91760	0.71226	0.20534
1.14508	1.15824	1.01274	0.14550
1.25030	1.27090	1.31012	0.03922
1.35553	1.31721	1.42785	0.11064
1.46076	1.31150	1.42703	0.11553
1.56259	1.33506	1.39999	0.06493
1.66612	1.32656	1.37077	0.04421
Ortalama:	0.74782	0.68290	0.11850

Tablo A6: Zeminden 0.5D yukarıda Kesit 3'de elde edilen deney ve benzetim boyutsuz akım hızı sonuçlarının karşılaştırılması ve RMSE değerleri.

0.5D - Kesit 3			
	Deney	Benzetim	
y/D	u/U	u/U	RMSE
0.31345	-0.04620	-0.12785	0.08165
0.41698	0.01896	-0.01195	0.03091
0.52051	0.11708	0.11023	0.00685
0.62573	0.27702	0.26046	0.01657
0.72926	0.41269	0.40081	0.01188
0.83279	0.56454	0.54959	0.01495
0.93802	0.73512	0.70918	0.02594
1.04155	0.90732	0.86827	0.03906
1.14508	1.02953	1.02858	0.00095
1.25030	1.13520	1.18296	0.04776
1.35383	1.24407	1.32417	0.08010
1.45906	1.27909	1.35051	0.07142
1.56429	1.29278	1.35701	0.06423
1.66612	1.30172	1.36450	0.06278
Ortalama:	0.73350	0.74046	0.03965

Tablo A7: Zeminden 0.1D yukarıda düzlemsel olarak edilen deney ve benzetim boyutsuz türbülans kinetik enerjisi sonuçlarının karşılaştırılması ve RMSE değerleri.

x/D	y/D	z/D	Benzetim tke/U²	Deney tke/U²	RMSE
1.48100	0.25930	0.10000	0.01756	0.04322	0.02566
1.40700	0.25930	0.10000	0.01916	0.04242	0.02326
1.33300	0.25930	0.10000	0.02280	0.03954	0.01674
1.25900	0.25930	0.10000	0.02352	0.04382	0.02030
1.18500	0.25930	0.10000	0.02103	0.04202	0.02099
1.11100	0.25930	0.10000	0.02092	0.03711	0.01619
1.03700	0.25930	0.10000	0.01957	0.03139	0.01182
0.96300	0.25930	0.10000	0.01690	0.03029	0.01339
1.48100	0.33330	0.10000	0.01653	0.05024	0.03371
1.40700	0.33330	0.10000	0.02088	0.04937	0.02849
1.33300	0.33330	0.10000	0.02122	0.04737	0.02615
1.25900	0.33330	0.10000	0.02736	0.05208	0.02472
1.18500	0.33330	0.10000	0.02457	0.05402	0.02945
1.11100	0.33330	0.10000	0.02692	0.04983	0.02291
1.03700	0.33330	0.10000	0.02386	0.04115	0.01729
0.96300	0.33330	0.10000	0.02072	0.03636	0.01564
1.48100	0.40740	0.10000	0.01301	0.05235	0.03934
1.40700	0.40740	0.10000	0.01692	0.05448	0.03756
1.33300	0.40740	0.10000	0.02199	0.05482	0.03283

1.25900	0.40740	0.10000	0.02698	0.06210	0.03512
1.18500	0.40740	0.10000	0.02616	0.06375	0.03759
1.11100	0.40740	0.10000	0.02692	0.05623	0.02931
1.03700	0.40740	0.10000	0.02920	0.05673	0.02753
0.96300	0.40740	0.10000	0.02333	0.04346	0.02013
1.48100	0.48150	0.10000	0.01408	0.05110	0.03702
1.40700	0.48150	0.10000	0.01540	0.05243	0.03703
1.33300	0.48150	0.10000	0.02009	0.05448	0.03439
1.25900	0.48150	0.10000	0.02421	0.05767	0.03346
1.18500	0.48150	0.10000	0.02685	0.06173	0.03488
1.11100	0.48150	0.10000	0.03115	0.05574	0.02459
1.03700	0.48150	0.10000	0.02925	0.05755	0.02830
0.96300	0.48150	0.10000	0.02464	0.04840	0.02376
1.48100	0.55560	0.10000	0.01261	0.05015	0.03754
1.40700	0.55560	0.10000	0.01448	0.05309	0.03861
1.33300	0.55560	0.10000	0.02036	0.05190	0.03154
1.25900	0.55560	0.10000	0.02201	0.05146	0.02945
1.18500	0.55560	0.10000	0.02617	0.05180	0.02563
1.11100	0.55560	0.10000	0.02800	0.05463	0.02663
1.03700	0.55560	0.10000	0.02751	0.04890	0.02139
0.96300	0.55560	0.10000	0.02484	0.04487	0.02003
1.48100	0.62960	0.10000	0.01224	0.05142	0.03918
1.40700	0.62960	0.10000	0.01377	0.05238	0.03861
1.33300	0.62960	0.10000	0.01549	0.05060	0.03511
1.25900	0.62960	0.10000	0.02122	0.05353	0.03231
1.18500	0.62960	0.10000	0.02529	0.04860	0.02331
1.11100	0.62960	0.10000	0.03159	0.05059	0.01900
1.03700	0.62960	0.10000	0.02823	0.04641	0.01818
0.96300	0.62960	0.10000	0.02632	0.03941	0.01309
1.48100	0.70370	0.10000	0.01206	0.05589	0.04383
1.40700	0.70370	0.10000	0.01257	0.05476	0.04219
1.33300	0.70370	0.10000	0.01662	0.05229	0.03567
1.25900	0.70370	0.10000	0.01930	0.05267	0.03337
1.18500	0.70370	0.10000	0.02414	0.05326	0.02912
1.11100	0.70370	0.10000	0.03166	0.04849	0.01683
1.03700	0.70370	0.10000	0.02960	0.04511	0.01551
0.96300	0.70370	0.10000	0.02581	0.03805	0.01224
1.48100	0.77780	0.10000	0.01125	0.05325	0.04200
1.40700	0.77780	0.10000	0.01222	0.06025	0.04803
1.33300	0.77780	0.10000	0.01430	0.05394	0.03964
1.25900	0.77780	0.10000	0.01808	0.05403	0.03595
1.18500	0.77780	0.10000	0.01922	0.05797	0.03875
1.11100	0.77780	0.10000	0.02513	0.05344	0.02831
1.03700	0.77780	0.10000	0.02887	0.04358	0.01471

0.96300	0.77780	0.10000	0.02187	0.03629	0.01442
1.48100	0.85190	0.10000	0.01166	0.04615	0.03449
1.40700	0.85190	0.10000	0.01212	0.05456	0.04244
1.33300	0.85190	0.10000	0.01362	0.05944	0.04582
1.25900	0.85190	0.10000	0.01451	0.05631	0.04180
1.18500	0.85190	0.10000	0.01765	0.06243	0.04478
1.11100	0.85190	0.10000	0.02207	0.06537	0.04330
1.03700	0.85190	0.10000	0.02977	0.05476	0.02499
0.96300	0.85190	0.10000	0.02199	0.04037	0.01838
1.48100	0.92590	0.10000	0.01014	0.04378	0.03364
1.40700	0.92590	0.10000	0.01164	0.05280	0.04116
1.33300	0.92590	0.10000	0.01150	0.05696	0.04546
1.25900	0.92590	0.10000	0.01280	0.06016	0.04736
1.18500	0.92590	0.10000	0.01367	0.06132	0.04765
1.11100	0.92590	0.10000	0.01981	0.06694	0.04713
1.03700	0.92590	0.10000	0.02722	0.07126	0.04404
0.96300	0.92590	0.10000	0.02863	0.04894	0.02031
1.48100	1.07400	0.10000	0.01113	0.03253	0.02140
1.33300	1.07400	0.10000	0.01063	0.04506	0.03443
1.18500	1.07400	0.10000	0.01167	0.06232	0.05065
1.03700	1.07400	0.10000	0.01639	0.05664	0.04025
1.48100	1.22200	0.10000	0.00976	0.01384	0.00408
1.33300	1.22200	0.10000	0.01010	0.02899	0.01889
1.18500	1.22200	0.10000	0.01059	0.04466	0.03407
1.03700	1.22200	0.10000	0.01149	0.05188	0.04039
1.48100	1.37000	0.10000	0.00971	0.01313	0.00342
1.33300	1.37000	0.10000	0.00993	0.01647	0.00654
1.18500	1.37000	0.10000	0.01037	0.02645	0.01608
1.03700	1.37000	0.10000	0.01008	0.04135	0.03127
1.48100	1.51900	0.10000	0.01010	0.00830	0.00180
1.33300	1.51900	0.10000	0.00993	0.01083	0.00090
1.18500	1.51900	0.10000	0.00962	0.01594	0.00632
1.03700	1.51900	0.10000	0.00944	0.02117	0.01173
1.48100	1.66700	0.10000	0.01040	0.00727	0.00313
1.33300	1.66700	0.10000	0.00895	0.00762	0.00133
1.18500	1.66700	0.10000	0.00968	0.00878	0.00090
1.03700	1.66700	0.10000	0.00924	0.01251	0.00327
0.88890	0.92590	0.10000	0.22990	0.05649	0.17341
0.81480	0.92590	0.10000	0.11200	0.08390	0.02810
0.74070	0.92590	0.10000	0.02981	0.06483	0.03502
0.66670	0.92590	0.10000	0.11070	0.05702	0.05368
0.59260	0.92590	0.10000	0.06486	0.05158	0.01328
0.51850	0.92590	0.10000	0.04918	0.04344	0.00574
0.44440	0.92590	0.10000	0.03232	0.04067	0.00835

0.37040	0.92590	0.10000	0.02423	0.04053	0.01630
0.29630	0.92590	0.10000	0.02425	0.03809	0.01384
0.22220	0.92590	0.10000	0.01647	0.03536	0.01889
0.14810	0.92590	0.10000	0.01875	0.03590	0.01715
0.07407	0.92590	0.10000	0.01931	0.03728	0.01797
0.00000	0.92590	0.10000	0.01824	0.03535	0.01711
0.07407	0.92590	0.10000	0.01586	0.03449	0.01863
0.14810	0.92590	0.10000	0.01479	0.03347	0.01868
0.22220	0.92590	0.10000	0.01509	0.03283	0.01774
0.29630	0.92590	0.10000	0.01354	0.03307	0.01953
0.37040	0.92590	0.10000	0.01351	0.03383	0.02032
0.44440	0.92590	0.10000	0.01180	0.03401	0.02221
0.51850	0.92590	0.10000	0.01100	0.03545	0.02445
0.59260	0.92590	0.10000	0.01226	0.03557	0.02331
0.66670	0.92590	0.10000	0.01212	0.03389	0.02177
0.74070	0.92590	0.10000	0.01290	0.03423	0.02133
0.81480	0.92590	0.10000	0.01220	0.03490	0.02270
0.88890	0.92590	0.10000	0.01154	0.04687	0.03533
0.96300	0.92590	0.10000	0.01391	0.04131	0.02740
1.03700	0.92590	0.10000	0.01348	0.04984	0.03636
1.11100	0.92590	0.10000	0.01874	0.05520	0.03646
1.18500	0.92590	0.10000	0.01947	0.05748	0.03801
1.25900	0.92590	0.10000	0.02174	0.06414	0.04240
1.33300	0.92590	0.10000	0.02602	0.06815	0.04213
1.40700	0.92590	0.10000	0.02541	0.06769	0.04228
1.48100	0.92590	0.10000	0.02813	0.07206	0.04393
0.88890	1.00000	0.10000	0.02177	0.04840	0.02663
0.81480	1.00000	0.10000	0.01725	0.04431	0.02706
0.74070	1.00000	0.10000	0.01934	0.04791	0.02857
0.66670	1.00000	0.10000	0.01525	0.05282	0.03757
0.59260	1.00000	0.10000	0.01417	0.05715	0.04298
0.51850	1.00000	0.10000	0.01169	0.05383	0.04214
0.44440	1.00000	0.10000	0.01028	0.05246	0.04218
0.37040	1.00000	0.10000	0.00893	0.04968	0.04075
0.29630	1.00000	0.10000	0.00864	0.04642	0.03778
0.22220	1.00000	0.10000	0.00782	0.04654	0.03872
0.14810	1.00000	0.10000	0.00915	0.04500	0.03585
0.07407	1.00000	0.10000	0.00753	0.04411	0.03658
0.00000	1.00000	0.10000	0.00793	0.04345	0.03552
0.07407	1.00000	0.10000	0.00781	0.04105	0.03324
0.14810	1.00000	0.10000	0.00716	0.04069	0.03353
0.22220	1.00000	0.10000	0.00750	0.04226	0.03477
0.29630	1.00000	0.10000	0.00823	0.03979	0.03156
0.37040	1.00000	0.10000	0.00734	0.03666	0.02932

0.44440	1.00000	0.10000	0.00782	0.03596	0.02814
0.51850	1.00000	0.10000	0.00760	0.03458	0.02698
0.59260	1.00000	0.10000	0.00821	0.03261	0.02440
0.66670	1.00000	0.10000	0.00830	0.03316	0.02486
0.74070	1.00000	0.10000	0.00833	0.03354	0.02521
0.81480	1.00000	0.10000	0.00839	0.03091	0.02252
0.88890	1.00000	0.10000	0.00819	0.04732	0.03913
0.96300	1.00000	0.10000	0.00816	0.03562	0.02746
1.03700	1.00000	0.10000	0.00872	0.03392	0.02520
1.11100	1.00000	0.10000	0.00929	0.03387	0.02458
1.18500	1.00000	0.10000	0.00931	0.03532	0.02601
1.25900	1.00000	0.10000	0.01007	0.03684	0.02677
1.33300	1.00000	0.10000	0.01032	0.03628	0.02596
1.40700	1.00000	0.10000	0.00999	0.03668	0.02669
1.48100	1.00000	0.10000	0.01210	0.03860	0.02650
0.88890	1.07400	0.10000	0.02328	0.05987	0.03659
0.81480	1.07400	0.10000	0.01959	0.03632	0.01673
0.74070	1.07400	0.10000	0.01326	0.02645	0.01319
0.66670	1.07400	0.10000	0.01119	0.02396	0.01277
0.59260	1.07400	0.10000	0.01049	0.02120	0.01071
0.51850	1.07400	0.10000	0.00791	0.01880	0.01089
0.44440	1.07400	0.10000	0.00812	0.01795	0.00983
0.37040	1.07400	0.10000	0.00690	0.01913	0.01223
0.29630	1.07400	0.10000	0.00716	0.01796	0.01080
0.22220	1.07400	0.10000	0.00711	0.01865	0.01154
0.14810	1.07400	0.10000	0.00749	0.01985	0.01236
0.07407	1.07400	0.10000	0.00765	0.02172	0.01407
0.00000	1.07400	0.10000	0.00769	0.02285	0.01517
0.07407	1.07400	0.10000	0.00681	0.02152	0.01471
0.14810	1.07400	0.10000	0.00753	0.02253	0.01500
0.22220	1.07400	0.10000	0.00686	0.02288	0.01602
0.29630	1.07400	0.10000	0.00736	0.02201	0.01465
0.37040	1.07400	0.10000	0.00734	0.02133	0.01399
0.44440	1.07400	0.10000	0.00708	0.02318	0.01610
0.51850	1.07400	0.10000	0.00670	0.02474	0.01805
0.59260	1.07400	0.10000	0.00743	0.02366	0.01623
0.66670	1.07400	0.10000	0.00729	0.02485	0.01756
0.74070	1.07400	0.10000	0.00759	0.02617	0.01858
0.81480	1.07400	0.10000	0.00717	0.02621	0.01904
0.88890	1.07400	0.10000	0.00786	0.03267	0.02481
0.96300	1.07400	0.10000	0.00759	0.03036	0.02277
1.03700	1.07400	0.10000	0.00719	0.03048	0.02329
1.11100	1.07400	0.10000	0.00888	0.02839	0.01951
1.18500	1.07400	0.10000	0.00811	0.02754	0.01943

1.25900	1.07400	0.10000	0.00823	0.02944	0.02121
1.33300	1.07400	0.10000	0.00808	0.03074	0.02266
1.40700	1.07400	0.10000	0.00828	0.02879	0.02051
1.48100	1.07400	0.10000	0.00840	0.02910	0.02070
0.88890	1.14800	0.10000	0.02449	0.06534	0.04085
0.81480	1.14800	0.10000	0.02050	0.04620	0.02570
0.74070	1.14800	0.10000	0.01735	0.03273	0.01538
0.66670	1.14800	0.10000	0.01406	0.02656	0.01250
0.59260	1.14800	0.10000	0.01171	0.02264	0.01093
0.51850	1.14800	0.10000	0.01187	0.01879	0.00692
0.44440	1.14800	0.10000	0.01011	0.01550	0.00539
0.37040	1.14800	0.10000	0.00877	0.01310	0.00433
0.29630	1.14800	0.10000	0.00758	0.01171	0.00413
0.22220	1.14800	0.10000	0.00677	0.01043	0.00366
0.14810	1.14800	0.10000	0.00789	0.00993	0.00204
0.07407	1.14800	0.10000	0.00735	0.01037	0.00302
0.00000	1.14800	0.10000	0.00701	0.01067	0.00366
0.07407	1.14800	0.10000	0.00693	0.01052	0.00359
0.14810	1.14800	0.10000	0.00631	0.01116	0.00485
0.22220	1.14800	0.10000	0.00630	0.01101	0.00471
0.29630	1.14800	0.10000	0.00725	0.01052	0.00327
0.37040	1.14800	0.10000	0.00720	0.01147	0.00427
0.44440	1.14800	0.10000	0.00631	0.01320	0.00689
0.51850	1.14800	0.10000	0.00618	0.01457	0.00839
0.59260	1.14800	0.10000	0.00667	0.01437	0.00770
0.66670	1.14800	0.10000	0.00667	0.01427	0.00760
0.74070	1.14800	0.10000	0.00731	0.01534	0.00803
0.81480	1.14800	0.10000	0.00703	0.01611	0.00908
0.88890	1.14800	0.10000	0.00711	0.01675	0.00964
0.96300	1.14800	0.10000	0.00689	0.01771	0.01082
1.03700	1.14800	0.10000	0.00740	0.01882	0.01142
1.11100	1.14800	0.10000	0.00689	0.01819	0.01130
1.18500	1.14800	0.10000	0.00745	0.01717	0.00972
1.25900	1.14800	0.10000	0.00775	0.01976	0.01202
1.33300	1.14800	0.10000	0.00796	0.02116	0.01320
1.40700	1.14800	0.10000	0.00754	0.02092	0.01338
1.48100	1.14800	0.10000	0.00818	0.02090	0.01273
0.88890	1.22200	0.10000	0.01796	0.05853	0.04057
0.81480	1.22200	0.10000	0.02059	0.05453	0.03394
0.74070	1.22200	0.10000	0.02018	0.04487	0.02469
0.66670	1.22200	0.10000	0.01983	0.03545	0.01562
0.59260	1.22200	0.10000	0.02050	0.02757	0.00707
0.51850	1.22200	0.10000	0.01495	0.02269	0.00774
0.44440	1.22200	0.10000	0.01357	0.02064	0.00707

0.37040	1.22200	0.10000	0.01376	0.01805	0.00429
0.29630	1.22200	0.10000	0.01053	0.01474	0.00421
0.22220	1.22200	0.10000	0.01068	0.01154	0.00086
0.14810	1.22200	0.10000	0.01150	0.01030	0.00120
0.07407	1.22200	0.10000	0.01129	0.01003	0.00126
0.00000	1.22200	0.10000	0.01041	0.00936	0.00105
0.07407	1.22200	0.10000	0.00979	0.00872	0.00107
0.14810	1.22200	0.10000	0.00965	0.00840	0.00126
0.22220	1.22200	0.10000	0.00909	0.00813	0.00097
0.29630	1.22200	0.10000	0.00966	0.00807	0.00159
0.37040	1.22200	0.10000	0.00923	0.00857	0.00066
0.44440	1.22200	0.10000	0.00910	0.00891	0.00019
0.51850	1.22200	0.10000	0.00861	0.00873	0.00011
0.59260	1.22200	0.10000	0.00772	0.00904	0.00131
0.66670	1.22200	0.10000	0.00783	0.01037	0.00254
0.74070	1.22200	0.10000	0.00860	0.01092	0.00232
0.81480	1.22200	0.10000	0.00816	0.01036	0.00220
0.88890	1.22200	0.10000	0.00789	0.01045	0.00256
0.96300	1.22200	0.10000	0.00842	0.01189	0.00348
1.03700	1.22200	0.10000	0.00803	0.01360	0.00557
1.11100	1.22200	0.10000	0.00806	0.01135	0.00329
1.18500	1.22200	0.10000	0.00813	0.01187	0.00374
1.25900	1.22200	0.10000	0.00856	0.01512	0.00656
1.33300	1.22200	0.10000	0.00905	0.01528	0.00623
1.40700	1.22200	0.10000	0.00864	0.01372	0.00508
1.48100	1.22200	0.10000	0.00852	0.01501	0.00649
0.88890	1.29600	0.10000	0.01318	0.05919	0.04601
0.81480	1.29600	0.10000	0.01449	0.05998	0.04549
0.74070	1.29600	0.10000	0.01746	0.05631	0.03885
0.66670	1.29600	0.10000	0.01823	0.05332	0.03509
0.59260	1.29600	0.10000	0.01845	0.04204	0.02359
0.51850	1.29600	0.10000	0.01836	0.03087	0.01251
0.44440	1.29600	0.10000	0.01804	0.02561	0.00757
0.37040	1.29600	0.10000	0.02030	0.02373	0.00343
0.29630	1.29600	0.10000	0.01818	0.02150	0.00332
0.22220	1.29600	0.10000	0.01756	0.01812	0.00056
0.14810	1.29600	0.10000	0.01430	0.01645	0.00215
0.07407	1.29600	0.10000	0.01243	0.01474	0.00231
0.00000	1.29600	0.10000	0.01327	0.01230	0.00097
0.07407	1.29600	0.10000	0.01290	0.01062	0.00228
0.14810	1.29600	0.10000	0.01208	0.00936	0.00272
0.22220	1.29600	0.10000	0.01050	0.00858	0.00192
0.29630	1.29600	0.10000	0.01077	0.00844	0.00233
0.37040	1.29600	0.10000	0.01100	0.00854	0.00246

0.44440	1.29600	0.10000	0.00945	0.00809	0.00136
0.51850	1.29600	0.10000	0.00959	0.00767	0.00192
0.59260	1.29600	0.10000	0.00974	0.00815	0.00160
0.66670	1.29600	0.10000	0.01005	0.00883	0.00122
0.74070	1.29600	0.10000	0.00861	0.00849	0.00013
0.81480	1.29600	0.10000	0.00957	0.00828	0.00129
0.88890	1.29600	0.10000	0.01012	0.00891	0.00121
0.96300	1.29600	0.10000	0.00885	0.00956	0.00071
1.03700	1.29600	0.10000	0.00886	0.01009	0.00123
1.11100	1.29600	0.10000	0.00909	0.00908	0.00001
1.18500	1.29600	0.10000	0.00960	0.00979	0.00020
1.25900	1.29600	0.10000	0.00858	0.01096	0.00238
1.33300	1.29600	0.10000	0.00872	0.01046	0.00174
1.40700	1.29600	0.10000	0.00953	0.01012	0.00059
1.48100	1.29600	0.10000	0.00954	0.01120	0.00166
0.88890	1.37000	0.10000	0.01117	0.05216	0.04099
0.81480	1.37000	0.10000	0.01150	0.06243	0.05093
0.74070	1.37000	0.10000	0.01446	0.06084	0.04638
0.66670	1.37000	0.10000	0.01534	0.05727	0.04193
0.59260	1.37000	0.10000	0.01656	0.05290	0.03634
0.51850	1.37000	0.10000	0.01648	0.05029	0.03381
0.44440	1.37000	0.10000	0.01935	0.04423	0.02488
0.37040	1.37000	0.10000	0.01859	0.03368	0.01509
0.29630	1.37000	0.10000	0.01938	0.02719	0.00781
0.22220	1.37000	0.10000	0.01864	0.02396	0.00532
0.14810	1.37000	0.10000	0.01978	0.02353	0.00375
0.07407	1.37000	0.10000	0.01717	0.02166	0.00449
0.00000	1.37000	0.10000	0.01563	0.01836	0.00273
0.07407	1.37000	0.10000	0.01348	0.01547	0.00199
0.14810	1.37000	0.10000	0.01535	0.01368	0.00167
0.22220	1.37000	0.10000	0.01333	0.01242	0.00091
0.29630	1.37000	0.10000	0.01310	0.01156	0.00154
0.37040	1.37000	0.10000	0.01366	0.01077	0.00289
0.44440	1.37000	0.10000	0.01263	0.00928	0.00335
0.51850	1.37000	0.10000	0.01333	0.00894	0.00439
0.59260	1.37000	0.10000	0.01314	0.00939	0.00375
0.66670	1.37000	0.10000	0.01163	0.00883	0.00280
0.74070	1.37000	0.10000	0.01148	0.00826	0.00322
0.81480	1.37000	0.10000	0.01219	0.00863	0.00356
0.88890	1.37000	0.10000	0.01106	0.00902	0.00204
0.96300	1.37000	0.10000	0.01112	0.00847	0.00265
1.03700	1.37000	0.10000	0.00947	0.00806	0.00142
1.11100	1.37000	0.10000	0.01092	0.00834	0.00258
1.18500	1.37000	0.10000	0.01102	0.00872	0.00230

1.25900	1.37000	0.10000	0.01078	0.00844	0.00234
1.33300	1.37000	0.10000	0.01131	0.00815	0.00316
1.40700	1.37000	0.10000	0.01117	0.00872	0.00245
1.48100	1.37000	0.10000	0.01103	0.00932	0.00171
0.88890	1.44400	0.10000	0.01145	0.04721	0.03576
0.81480	1.44400	0.10000	0.01007	0.04966	0.03959
0.74070	1.44400	0.10000	0.01083	0.05742	0.04659
0.66670	1.44400	0.10000	0.01220	0.05819	0.04599
0.59260	1.44400	0.10000	0.01192	0.05637	0.04445
0.51850	1.44400	0.10000	0.01319	0.05507	0.04188
0.44440	1.44400	0.10000	0.01434	0.05293	0.03859
0.37040	1.44400	0.10000	0.01575	0.05093	0.03518
0.29630	1.44400	0.10000	0.01785	0.04787	0.03002
0.22220	1.44400	0.10000	0.01818	0.03957	0.02139
0.14810	1.44400	0.10000	0.01837	0.03312	0.01475
0.07407	1.44400	0.10000	0.01921	0.02839	0.00918
0.00000	1.44400	0.10000	0.01827	0.02447	0.00620
0.07407	1.44400	0.10000	0.01694	0.02159	0.00465
0.14810	1.44400	0.10000	0.01693	0.01948	0.00255
0.22220	1.44400	0.10000	0.01728	0.01741	0.00013
0.29630	1.44400	0.10000	0.01605	0.01569	0.00036
0.37040	1.44400	0.10000	0.01591	0.01448	0.00143
0.44440	1.44400	0.10000	0.01415	0.01283	0.00132
0.51850	1.44400	0.10000	0.01375	0.01151	0.00224
0.59260	1.44400	0.10000	0.01444	0.01073	0.00371
0.66670	1.44400	0.10000	0.01279	0.00998	0.00281
0.74070	1.44400	0.10000	0.01344	0.00956	0.00389
0.81480	1.44400	0.10000	0.01232	0.00893	0.00339
0.88890	1.44400	0.10000	0.01266	0.00877	0.00389
0.96300	1.44400	0.10000	0.01408	0.00841	0.00567
1.03700	1.44400	0.10000	0.01414	0.00849	0.00565
1.11100	1.44400	0.10000	0.01235	0.00857	0.00378
1.18500	1.44400	0.10000	0.01327	0.00794	0.00533
1.25900	1.44400	0.10000	0.01155	0.00800	0.00356
1.33300	1.44400	0.10000	0.01323	0.00848	0.00475
1.40700	1.44400	0.10000	0.01256	0.00844	0.00412
1.48100	1.44400	0.10000	0.01180	0.00818	0.00362
0.88890	1.51900	0.10000	0.01076	0.04414	0.03338
0.81480	1.51900	0.10000	0.01006	0.04808	0.03802
0.74070	1.51900	0.10000	0.01131	0.04782	0.03651
0.66670	1.51900	0.10000	0.01109	0.04656	0.03547
0.59260	1.51900	0.10000	0.01103	0.04882	0.03779
0.51850	1.51900	0.10000	0.01121	0.05036	0.03915
0.44440	1.51900	0.10000	0.01168	0.04732	0.03564

0.37040	1.51900	0.10000	0.01199	0.04721	0.03522
0.29630	1.51900	0.10000	0.01374	0.04769	0.03395
0.22220	1.51900	0.10000	0.01347	0.04829	0.03482
0.14810	1.51900	0.10000	0.01513	0.04664	0.03151
0.07407	1.51900	0.10000	0.01578	0.04199	0.02621
0.00000	1.51900	0.10000	0.01586	0.03654	0.02068
0.07407	1.51900	0.10000	0.01744	0.03173	0.01429
0.14810	1.51900	0.10000	0.01676	0.02885	0.01209
0.22220	1.51900	0.10000	0.01531	0.02626	0.01095
0.29630	1.51900	0.10000	0.01613	0.02272	0.00659
0.37040	1.51900	0.10000	0.01547	0.02107	0.00560
0.44440	1.51900	0.10000	0.01559	0.02003	0.00444
0.51850	1.51900	0.10000	0.01658	0.01794	0.00136
0.59260	1.51900	0.10000	0.01492	0.01613	0.00121
0.66670	1.51900	0.10000	0.01582	0.01536	0.00046
0.74070	1.51900	0.10000	0.01471	0.01416	0.00055
0.81480	1.51900	0.10000	0.01462	0.01297	0.00165
0.88890	1.51900	0.10000	0.01546	0.01220	0.00326
0.96300	1.51900	0.10000	0.01498	0.01214	0.00284
1.03700	1.51900	0.10000	0.01405	0.01155	0.00250
1.11100	1.51900	0.10000	0.01309	0.01105	0.00204
1.18500	1.51900	0.10000	0.01417	0.01088	0.00329
1.25900	1.51900	0.10000	0.01382	0.01113	0.00269
1.33300	1.51900	0.10000	0.01326	0.01075	0.00251
1.40700	1.51900	0.10000	0.01210	0.00987	0.00223
1.48100	1.51900	0.10000	0.01295	0.00982	0.00313
0.88890	1.59300	0.10000	0.01017	0.02486	0.01469
0.81480	1.59300	0.10000	0.01172	0.03324	0.02152
0.74070	1.59300	0.10000	0.01136	0.04536	0.03400
0.66670	1.59300	0.10000	0.01055	0.05066	0.04011
0.59260	1.59300	0.10000	0.01144	0.04891	0.03747
0.51850	1.59300	0.10000	0.01101	0.04784	0.03683
0.44440	1.59300	0.10000	0.01020	0.04329	0.03309
0.37040	1.59300	0.10000	0.01210	0.03991	0.02781
0.29630	1.59300	0.10000	0.01205	0.04057	0.02852
0.22220	1.59300	0.10000	0.01111	0.04117	0.03006
0.14810	1.59300	0.10000	0.01405	0.04111	0.02706
0.07407	1.59300	0.10000	0.01471	0.04152	0.02681
0.00000	1.59300	0.10000	0.01489	0.04223	0.02734
0.07407	1.59300	0.10000	0.01575	0.04057	0.02482
0.14810	1.59300	0.10000	0.01567	0.03933	0.02366
0.22220	1.59300	0.10000	0.01768	0.03688	0.01920
0.29630	1.59300	0.10000	0.01476	0.03354	0.01878
0.37040	1.59300	0.10000	0.01593	0.03236	0.01643

0.44440	1.59300	0.10000	0.01702	0.02996	0.01294
0.51850	1.59300	0.10000	0.01687	0.02581	0.00894
0.59260	1.59300	0.10000	0.01643	0.02477	0.00834
0.66670	1.59300	0.10000	0.01579	0.02320	0.00741
0.74070	1.59300	0.10000	0.01490	0.01976	0.00486
0.81480	1.59300	0.10000	0.01466	0.01817	0.00351
0.88890	1.59300	0.10000	0.01361	0.01851	0.00490
0.96300	1.59300	0.10000	0.01470	0.01720	0.00250
1.03700	1.59300	0.10000	0.01434	0.01642	0.00208
1.11100	1.59300	0.10000	0.01356	0.01619	0.00263
1.18500	1.59300	0.10000	0.01331	0.01579	0.00248
1.25900	1.59300	0.10000	0.01385	0.01547	0.00162
1.33300	1.59300	0.10000	0.01335	0.01564	0.00229
1.40700	1.59300	0.10000	0.01429	0.01568	0.00139
1.48100	1.59300	0.10000	0.01369	0.01540	0.00171
0.88890	1.66700	0.10000	0.01026	0.01645	0.00619
0.81480	1.66700	0.10000	0.01082	0.01986	0.00904
0.74070	1.66700	0.10000	0.01090	0.02516	0.01426
0.66670	1.66700	0.10000	0.01083	0.03226	0.02143
0.59260	1.66700	0.10000	0.01094	0.03995	0.02901
0.51850	1.66700	0.10000	0.01165	0.04630	0.03465
0.44440	1.66700	0.10000	0.01108	0.04658	0.03550
0.37040	1.66700	0.10000	0.01054	0.04344	0.03290
0.29630	1.66700	0.10000	0.01162	0.04040	0.02878
0.22220	1.66700	0.10000	0.01058	0.03724	0.02666
0.14810	1.66700	0.10000	0.01128	0.03539	0.02411
0.07407	1.66700	0.10000	0.01116	0.03558	0.02442
0.00000	1.66700	0.10000	0.01252	0.03485	0.02233
0.07407	1.66700	0.10000	0.01269	0.03261	0.01992
0.14810	1.66700	0.10000	0.01221	0.03153	0.01932
0.22220	1.66700	0.10000	0.01446	0.03149	0.01703
0.29630	1.66700	0.10000	0.01249	0.03100	0.01851
0.37040	1.66700	0.10000	0.01480	0.03260	0.01780
0.44440	1.66700	0.10000	0.01417	0.03340	0.01923
0.51850	1.66700	0.10000	0.01383	0.03270	0.01887
0.59260	1.66700	0.10000	0.01476	0.03351	0.01875
0.66670	1.66700	0.10000	0.01508	0.03176	0.01668
0.74070	1.66700	0.10000	0.01459	0.02869	0.01410
0.81480	1.66700	0.10000	0.01415	0.02734	0.01319
0.88890	1.66700	0.10000	0.01499	0.02634	0.01135
0.96300	1.66700	0.10000	0.01491	0.02428	0.00937
1.03700	1.66700	0.10000	0.01569	0.02150	0.00581
1.11100	1.66700	0.10000	0.01427	0.02155	0.00728
1.18500	1.66700	0.10000	0.01551	0.02167	0.00616

1.25900	1.66700	0.10000	0.01493	0.02034	0.00541
1.33300	1.66700	0.10000	0.01389	0.01982	0.00593
1.40700	1.66700	0.10000	0.01546	0.01951	0.00405
1.48100	1.66700	0.10000	0.01526	0.01866	0.00340
0.96300	0.25930	0.10000	0.00749	0.01602	0.00853
1.11100	0.25930	0.10000	0.00972	0.02045	0.01073
1.25900	0.25930	0.10000	0.00994	0.02376	0.01382
1.40700	0.25930	0.10000	0.01383	0.02736	0.01353
0.96300	0.40740	0.10000	0.00718	0.01788	0.01070
1.11100	0.40740	0.10000	0.00845	0.02122	0.01277
1.25900	0.40740	0.10000	0.01035	0.02706	0.01671
1.40700	0.40740	0.10000	0.01149	0.03126	0.01977
0.96300	0.55560	0.10000	0.00636	0.01674	0.01038
1.11100	0.55560	0.10000	0.00778	0.02167	0.01389
1.25900	0.55560	0.10000	0.00906	0.02451	0.01545
1.40700	0.55560	0.10000	0.01199	0.04650	0.03451
0.96300	0.70370	0.10000	0.00404	0.01879	0.01475
1.11100	0.70370	0.10000	0.00729	0.02621	0.01892
1.25900	0.70370	0.10000	0.01188	0.03545	0.02357
1.40700	0.70370	0.10000	0.01969	0.05674	0.03705
0.96300	0.85190	0.10000	0.00704	0.03802	0.03098
1.11100	0.85190	0.10000	0.02845	0.06945	0.04100
1.25900	0.85190	0.10000	0.04686	0.09703	0.05017
1.40700	0.85190	0.10000	0.06386	0.09804	0.03418
1.77800	0.25930	0.10000	0.01903	0.03045	0.01142
2.07400	0.25930	0.10000	0.02633	0.03913	0.01280
2.37000	0.25930	0.10000	0.02757	0.03957	0.01200
2.66700	0.25930	0.10000	0.03387	0.04687	0.01300
2.96300	0.25930	0.10000	0.03412	0.05340	0.01928
3.25900	0.25930	0.10000	0.03790	0.06357	0.02567
3.55600	0.25930	0.10000	0.03578	0.07269	0.03691
3.85200	0.25930	0.10000	0.04370	0.06305	0.01935
4.14800	0.25930	0.10000	0.04100	0.05962	0.01862
4.44400	0.25930	0.10000	0.03361	0.05449	0.02088
4.74100	0.25930	0.10000	0.03115	0.05624	0.02509
5.03700	0.25930	0.10000	0.02795	0.05226	0.02431
5.33300	0.25930	0.10000	0.02786	0.04726	0.01940
5.63000	0.25930	0.10000	0.02525	0.04550	0.02025
5.92600	0.25930	0.10000	0.02156	0.04531	0.02375
6.22200	0.25930	0.10000	0.02487	0.04977	0.02490
6.51900	0.25930	0.10000	0.02420	0.04426	0.02006
6.81500	0.25930	0.10000	0.01882	0.03916	0.02034
7.11100	0.25930	0.10000	0.01941	0.03368	0.01427
7.40700	0.25930	0.10000	0.01794	0.03231	0.01437

7.70400	0.25930	0.10000	0.01623	0.02931	0.01308
8.00000	0.25930	0.10000	0.01438	0.02592	0.01154
8.29600	0.25930	0.10000	0.01631	0.02654	0.01023
8.59300	0.25930	0.10000	0.01356	0.02578	0.01222
8.88900	0.25930	0.10000	0.01376	0.02563	0.01187
1.77800	0.48150	0.10000	0.01935	0.05022	0.03087
2.07400	0.48150	0.10000	0.03389	0.06635	0.03246
2.37000	0.48150	0.10000	0.01857	0.07684	0.05827
2.66700	0.48150	0.10000	0.05411	0.08304	0.02893
2.96300	0.48150	0.10000	0.03859	0.09965	0.06106
3.25900	0.48150	0.10000	0.05343	0.11250	0.05907
3.55600	0.48150	0.10000	0.05470	0.10780	0.05310
3.85200	0.48150	0.10000	0.05382	0.08775	0.03393
4.14800	0.48150	0.10000	0.05108	0.06689	0.01581
4.44400	0.48150	0.10000	0.05113	0.05186	0.00073
4.74100	0.48150	0.10000	0.04730	0.05842	0.01112
5.03700	0.48150	0.10000	0.04323	0.04944	0.00621
5.33300	0.48150	0.10000	0.03590	0.04231	0.00641
5.63000	0.48150	0.10000	0.03660	0.03816	0.00156
5.92600	0.48150	0.10000	0.03138	0.04057	0.00919
6.22200	0.48150	0.10000	0.03055	0.04082	0.01027
6.51900	0.48150	0.10000	0.03028	0.04110	0.01082
6.81500	0.48150	0.10000	0.02531	0.04128	0.01597
7.11100	0.48150	0.10000	0.02531	0.03889	0.01358
7.40700	0.48150	0.10000	0.02134	0.03398	0.01264
7.70400	0.48150	0.10000	0.01916	0.03381	0.01465
8.00000	0.48150	0.10000	0.01755	0.03188	0.01433
8.29600	0.48150	0.10000	0.01579	0.02968	0.01389
8.59300	0.48150	0.10000	0.01650	0.02738	0.01088
8.88900	0.48150	0.10000	0.01602	0.02485	0.00883
1.77800	0.77780	0.10000	0.06953	0.12380	0.05427
2.07400	0.77780	0.10000	0.06429	0.13820	0.07391
2.37000	0.77780	0.10000	0.05555	0.13470	0.07915
2.66700	0.77780	0.10000	0.04009	0.11820	0.07811
2.96300	0.77780	0.10000	0.03047	0.12910	0.09863
3.25900	0.77780	0.10000	0.02974	0.14640	0.11666
3.55600	0.77780	0.10000	0.02969	0.11030	0.08061
3.85200	0.77780	0.10000	0.03084	0.10720	0.07636
4.14800	0.77780	0.10000	0.02880	0.09691	0.06811
4.44400	0.77780	0.10000	0.03861	0.10180	0.06319
4.74100	0.77780	0.10000	0.04001	0.09489	0.05488
5.03700	0.77780	0.10000	0.04092	0.08609	0.04517
5.33300	0.77780	0.10000	0.04206	0.07943	0.03737
5.63000	0.77780	0.10000	0.03720	0.06338	0.02618

5.92600	0.77780	0.10000	0.03594	0.05596	0.02002
6.22200	0.77780	0.10000	0.03687	0.05242	0.01555
6.51900	0.77780	0.10000	0.03365	0.04673	0.01308
6.81500	0.77780	0.10000	0.02952	0.04109	0.01157
7.11100	0.77780	0.10000	0.02986	0.03721	0.00735
7.40700	0.77780	0.10000	0.02833	0.03349	0.00516
7.70400	0.77780	0.10000	0.02342	0.03145	0.00803
8.00000	0.77780	0.10000	0.02224	0.02955	0.00731
8.29600	0.77780	0.10000	0.02311	0.02768	0.00457
8.59300	0.77780	0.10000	0.02207	0.02776	0.00569
8.88900	0.77780	0.10000	0.02033	0.02713	0.00680
1.77800	1.07400	0.10000	0.01039	0.03631	0.02592
2.07400	1.07400	0.10000	0.01075	0.03958	0.02883
2.37000	1.07400	0.10000	0.01015	0.03700	0.02685
2.66700	1.07400	0.10000	0.01223	0.04438	0.03215
2.96300	1.07400	0.10000	0.01181	0.04424	0.03243
3.25900	1.07400	0.10000	0.01363	0.04937	0.03574
3.55600	1.07400	0.10000	0.01525	0.05511	0.03986
3.85200	1.07400	0.10000	0.01697	0.06063	0.04366
4.14800	1.07400	0.10000	0.01804	0.06863	0.05059
4.44400	1.07400	0.10000	0.02155	0.06095	0.03940
4.74100	1.07400	0.10000	0.02763	0.06139	0.03376
5.03700	1.07400	0.10000	0.02648	0.06327	0.03679
5.33300	1.07400	0.10000	0.02672	0.06398	0.03726
5.63000	1.07400	0.10000	0.02762	0.06141	0.03379
5.92600	1.07400	0.10000	0.02740	0.05598	0.02858
6.22200	1.07400	0.10000	0.02561	0.05666	0.03105
6.51900	1.07400	0.10000	0.02731	0.05169	0.02438
6.81500	1.07400	0.10000	0.02762	0.04952	0.02190
7.11100	1.07400	0.10000	0.02898	0.04460	0.01562
7.40700	1.07400	0.10000	0.02724	0.03738	0.01014
7.70400	1.07400	0.10000	0.02493	0.03052	0.00559
8.00000	1.07400	0.10000	0.02425	0.02683	0.00258
8.29600	1.07400	0.10000	0.02394	0.02378	0.00016
8.59300	1.07400	0.10000	0.02208	0.02354	0.00146
8.88900	1.07400	0.10000	0.02268	0.02225	0.00043
1.77800	1.37000	0.10000	0.01128	0.00985	0.00143
2.07400	1.37000	0.10000	0.01226	0.01190	0.00036
2.37000	1.37000	0.10000	0.01190	0.01426	0.00236
2.66700	1.37000	0.10000	0.01340	0.01866	0.00526
2.96300	1.37000	0.10000	0.01594	0.02141	0.00547
3.25900	1.37000	0.10000	0.01688	0.01958	0.00270
3.55600	1.37000	0.10000	0.01932	0.02039	0.00107
3.85200	1.37000	0.10000	0.02008	0.01949	0.00059

4.14800	1.37000	0.10000	0.02139	0.02062	0.00077
4.44400	1.37000	0.10000	0.02377	0.02368	0.00009
4.74100	1.37000	0.10000	0.02542	0.02296	0.00246
5.03700	1.37000	0.10000	0.02367	0.02436	0.00069
5.33300	1.37000	0.10000	0.02262	0.02348	0.00086
5.63000	1.37000	0.10000	0.02306	0.02283	0.00023
5.92600	1.37000	0.10000	0.02370	0.02267	0.00103
6.22200	1.37000	0.10000	0.02131	0.02373	0.00242
6.51900	1.37000	0.10000	0.02457	0.02587	0.00130
6.81500	1.37000	0.10000	0.02370	0.02793	0.00423
7.11100	1.37000	0.10000	0.02466	0.02868	0.00402
7.40700	1.37000	0.10000	0.02300	0.02869	0.00569
7.70400	1.37000	0.10000	0.02422	0.02853	0.00431
8.00000	1.37000	0.10000	0.02550	0.02716	0.00166
8.29600	1.37000	0.10000	0.02541	0.02455	0.00086
8.59300	1.37000	0.10000	0.02542	0.02506	0.00036
8.88900	1.37000	0.10000	0.02874	0.02390	0.00484
1.77800	1.66700	0.10000	0.01412	0.01823	0.00411
2.07400	1.66700	0.10000	0.01431	0.01719	0.00288
2.37000	1.66700	0.10000	0.01351	0.01755	0.00404
2.66700	1.66700	0.10000	0.01389	0.01805	0.00416
2.96300	1.66700	0.10000	0.01589	0.01888	0.00299
3.25900	1.66700	0.10000	0.01643	0.02069	0.00426
3.55600	1.66700	0.10000	0.01717	0.02242	0.00525
3.85200	1.66700	0.10000	0.01934	0.02381	0.00447
4.14800	1.66700	0.10000	0.01933	0.02161	0.00228
4.44400	1.66700	0.10000	0.01940	0.02012	0.00072
4.74100	1.66700	0.10000	0.02015	0.01992	0.00023
5.03700	1.66700	0.10000	0.01811	0.01835	0.00024
5.33300	1.66700	0.10000	0.01746	0.01637	0.00109
5.63000	1.66700	0.10000	0.01817	0.01534	0.00283
5.92600	1.66700	0.10000	0.01733	0.01513	0.00220
6.22200	1.66700	0.10000	0.02241	0.01462	0.00779
6.51900	1.66700	0.10000	0.02542	0.01418	0.01124
6.81500	1.66700	0.10000	0.02283	0.01378	0.00905
7.11100	1.66700	0.10000	0.02158	0.01338	0.00820
7.40700	1.66700	0.10000	0.01981	0.01350	0.00631
7.70400	1.66700	0.10000	0.02014	0.01410	0.00604
8.00000	1.66700	0.10000	0.01867	0.01395	0.00472
8.29600	1.66700	0.10000	0.01852	0.01334	0.00518
8.59300	1.66700	0.10000	0.01935	0.01332	0.00603
8.88900	1.66700	0.10000	0.01993	0.01358	0.00635

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. METE KÖKEN
Proje No:	111M377
Proje Başlığı:	Nehirlerde Köprü Yan Ayakları Sebebiyle Oluşan Daralmanın Oyulma Ve Akım Karakteristiklerine Etkisi Ve Oyulmayı Azaltıcı Düzeneklerin Araştırılması
Proje Türü:	Kariyer
Proje Süresi:	30
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	MUSTAFA GÖĞÜŞ
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ORTA DOĞU TEKNİK Ü. MÜHENDİSLİK F. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/10/2011 - 15/04/2014
Onaylanan Bütçe:	157400.0
Harcanan Bütçe:	134696.26
Öz:	Köprü yan ayağı etrafında oluşan oyulmanın büyüklüğü ve biçiminin tespiti köprünün ekonomik ve güvenli dizayn edilebilmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Özellikle dar nehirlerde, nehrin iki yakasındaki köprü yan ayakları nehir kesitini daha da daraltarak oyulmanın şekli ve büyüklüğünü etkilemektedir. Köprü yan ayakları birbirlerine yaklaştıkça; bu yapıların etrafında oluşan atnalı vorteks sistemleri ve ayrılmış kesme tabakası içerisinde akım yönünde ilerleyen vorteks tüpleri de birbirleriyle etkileşebilmektedir. Bu noktada literatürde tekil bir köprü yan ayağı için elde edilmiş olan bilgiler yetersiz kalmaktadır.
Anahtar Kelimeler:	daralma, köprü yan ayağı, sayısal modelleme, DES, taban oyulması, türbülanslı akım, atnalı vorteksi
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Temporal Variation of Scour Hole around Spill Through Bridge Abutments at Various Contraction Ratios (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 2- A DES Study for the Role of Contraction Ratio on the Coherent Structures Caused by Two Spill Through Abutments (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),