

149861

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

UZUN DALGALARIN TIRMANMA YÜKSEKLİĞİNİN  
DENEYSEL İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Nuray GEDİK

149861

Balıkesir, Mart - 2004

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

UZUN DALGALARIN TIRMANMA YÜKSEKLİĞİNİN  
DENEYSEL İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Nuray GEDİK

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Emel İRTEM

Sınav Tarihi : 19.03.2004

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI (İTÜ)

Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR (BAÜ)

Doç. Dr. Ercan KAHYA (İTÜ)

Doç. Dr. Kerem CIĞIZOĞLU (İTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Emel İRTEM (Danışman- BAÜ)

Balıkesir, Mart - 2004

## ÖZET

### UZUN DALGALARIN TIRMANMA YÜKSEKLİĞİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Nuray GEDİK

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(Doktora Tezi / Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Emel İRTEM)

Balıkesir, 2004

Tsunamiler depremlerle tetiklenebilen zemin hareketleri, heyelanlar, kayma, göçme, çökme gibi olaylar ile oluşabilmektedir. Bu dalgalar kıyı batimetrisindeki değişimle birlikte iç kısımlara doğru ilerleyerek büyük hasarlara neden olurlar. Tsunamiler özellikle kıyı çizgisinde tırmanma bölgesinde daha etkili olduğu için tırmanma yüksekliğinin önceden tahmin edilebilmesi kıyı yapılarının boyutlandırılması açısından önemli olacaktır.

Tırmanma yüksekliği ile ilgili yapılan literatür araştırmalarında tsunami dalgasının solitary dalgaya benzetilerek Goring (1978) tarafından önerilen düşey bir levhanın yatay yönde hareket ettirilmesiyle üretildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada ise deniz tabanındaki ani hareketi simule etmek için yatay bir levhaya bağlı piston düşey yönde hareket ettirilerek tsunami dalga üretim sistemi geliştirilmiş, deneylerde üretilen dalgaların kırılmadığı görülmüştür. Hesapla bulunan ve üretilen dalgaların su yüzü profilleri ve hız değerleri karşılaştırılmıştır. Tsunami dalgalarının geçirimsiz, kaplamasız ve kaplamalı eğimler üzerinde tırmanma yükseklikleri deneysel olarak incelenmiş, geçirimsiz eğimler için elde edilen deney sonuçları tırmanma kanunu ile karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür. Tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler dalga yüksekliği, şev eğimi, su derinliği, eğimi oluşturan malzeme özellikleri belirlenerek kaplamasız ve kaplamalı eğimler için ampirik ifadeler önerilmiştir. Bu deneylerin sonucunda kaplama malzemesinin tırmanma yüksekliğini % 50 oranında azalttığı görülmüştür.

Ayrıca, bu çalışmada kaplamasız ve kısmi kaplamalı yüzeylerde tsunamilerin oluşturduğu profil değişimleri de incelenmiş, kısmi kaplamanın erozyon alanını azalttığı görülmüştür. Erozyon alanına etki eden dalga yüksekliği, eğim, su derinliği ve eğimi oluşturan malzeme karakteristikleri belirlenerek kaplamasız durum için boyutsuz erozyon alanı parametresini veren ampirik bir ifade önerilmiştir. Boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresi ile erozyon alanı parametresi arasındaki ilişki bir bağıntı ile ifade edilmiştir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** uzun dalga / tsunami / solitary dalga / tırmanma yüksekliği / erozyon alanı / deney sistemi

## **ABSTRACT**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON RUNUP HEIGHT OF LONG WAVES**

**Nuray GEDİK**  
**Balıkesir University, Institute of Science,**  
**Department of Civil Engineering**

**(Ph. D. Thesis / Supervisor : Asst. Prof. Emel IRTEM)**

**Balıkesir-Turkey, 2004**

Tsunamis may be generated by earthquake triggered movement of the sea bottom, landslides and collapses. With the change of nearshore bathymetry these waves progress towards inland and causes large damage. Prediction of runup height will play an important role in dimensioning coastal structure as tsunamis are more effective in the runup area at the shoreline.

In the literature research on runup height, tsunami wave is likened to solitary wave and produced by horizontal movement of a vertical plate which is proposed by Goring (1978). In this study, for the simulation of sudden motion of the ocean bottom, tsunami wave generation system is developed by piston attached to an horizontal plate. The piston moves vertically. In the experiments it is observed that the waves are not broken. Water surface profiles and velocity values of the waves calculated and generated are compared. Runup height of tsunami waves on impermeable, without armour units and armour units slopes are analysed and the experimental results, for impermeable slopes are compared with the runup law and it is seen that they are in consistency. Empirical equations are proposed for without armour unit and armour units slopes by defining parameters effecting runup height, wave height, slope, water depth, and the characteristics of the material at the slopes. As a result of this experiments it is concluded that armour units decrease runup height about 50%.

Furthermore, in this study the profile changes caused by tsunamis on without armour unit and semi-armour units surface are evaluated and it is found that semi-armour units minimize the erosion area. The parameters effecting the erosion area such as wave height, slope, water depth and characteristics of the material forming slope are determined and for without armour units case an empirical equation giving dimensionless erosion area parameter is suggested. The relationship between the parameters of dimensionless runup height and erosion area is stated with a correlation.

**KEY WORDS:** long wave / tsunami / solitary wave / runup height / erosion area / experimental system

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ÖNSÖZ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	2
1.1.1 Uzun Dalgaların Tırmanması	2
1.1.2 Dinamik Stabilitenin Tanımı	11
1.1.2.1 Dinamik Stabilite Kavramı	11
1.1.2.2 Dinamik Hasar Kavramı	11
1.1.2.3 Dinamik Stabilite Üzerinde Yapılan Çalışmalar	11
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	14
2. TEORİK YAKLAŞIM	16
2.1 Temel Denklemler	16
2.2 Solitary Dalgaların Kırılma Kriteri	21
2.3 Şev Üzerinde Birim Katı Maddenin Dengesi	24
2.4 Dalga Enerjisinin Harcanması	25
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	28
3.1 Deney Sistemi	28
3.1.1 Dalga Kanalı	28
3.1.2 Dalga Üretici Sistem	29
3.1.3 Dalga Kaydedici Sistem	32
3.2 Deney Yöntemi	36
3.2.1 Tırmanma Yüksekliğinin Analizi	36
3.2.1.1 Geçirimsiz Yüzeyde	36
3.2.1.2 Kaplamasız Yüzeyde	37
3.2.1.3 Kaplamalı Yüzeylerde	37
3.2.2 Kıyı Profili Değişim Analizi	39
3.2.2.1 Kaplamasız Yüzeyde	39
3.2.2.2 Kısmi Kaplamalı Yüzeylerde	39

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	40
4.1 Üretilen Dalgaların Analizi	40
4.2 Dalga Tırmanma Yüksekliğinin Analizi	46
4.3 Erozyon Alanı ve Erozyon Hacminin Analizi	47
4.4 Dalga Yüksekliği ile Erozyon Alanı İlişkisi	49
5. DENEY SONUÇLARININ MATEMATİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ	54
5.1 Boyut Analizi ve Önerilen Denklemler	54
5.1.1 Tırmanma Yüksekliği	54
5.1.1.1 Kaplamasız Yüzeyde	54
5.1.2.2 Kaplamalı Yüzeylerde	56
5.1.3 Kaplamasız ve Kaplamalı Yüzeylerde Tırmanma Yüksekliği Arasındaki İlişki	58
5.2 Erozyon Alanı	61
5.3 Erozyon Alanı ile Tırmanma Yüksekliği Arasındaki İlişki	63
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	65
EKLER:	
EK A	71
EK B	75
KAYNAKLAR	178

## SEMBOL LİSTESİ

Simge	Adı	Birimi
a	Orantı katsayısı	-
A	Erozyon alanı	m <sup>2</sup>
A <sub>i</sub>	Boyutsuz kıyıya gelen dalganın genliği	
A <sub>r</sub>	Boyutsuz kıyıdan yansıyan dalganın genliği	
B	Boyutsuz kıyıya ilerleyen dalganın genliği	
c	Sabit derinlikte sığ su dalgalarının yayılma hızı	m/s
C <sub>1</sub>	Normal doğrultudaki dalga kuvveti katsayısı	-
C <sub>2</sub>	Şev yüzeyine paralel doğrultudaki dalga kuvveti katsayısı	-
d	Sabit derinlikli bölgedeki su derinliği	m
D	Plaj malzemesi dane çapı	m
D <sub>n50</sub>	Nominal taş çapı	m
F <sub>N</sub>	Normal doğrultudaki dalga kuvveti	kg
F <sub>P</sub>	Şev yüzeyine paralel doğrultudaki dalga kuvveti	kg
g	Yerçekimi ivmesi	m/s <sup>2</sup>
h	Şev üzerindeki su derinliği	m
H	Dalga yüksekliği	m
H <sub>s</sub>	Belirgin dalga yüksekliği	
k	Dalga sayısı	-
L	Dalga uzunluğu	m
R	Tırmanma yüksekliği	m
s	Eğim	-
S <sub>0</sub>	Boyutsuz eğim parametresi	
t	Zaman	s
u	Su partiküllerinin yatay hız bileşeni	m / s
x	Yatay koordinat	m
X <sub>0</sub>	Eğimli kıyının başlangıç noktası (X <sub>0</sub> = cotβ)	-
X <sub>1</sub>	Açıkta solitary dalganın tanımlandığı koordinat	-
y	Düşey koordinat	-
W'	Birim danenin su içerisindeki ağırlığı	kg/m <sup>3</sup>
β	Şev açısı	
ζ <sub>0</sub>	Dalga genliği	m
η	Dalga genliği	m
η*	Boyutsuz dalga genliği	
ρ <sub>a</sub>	Dane yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>
ρ <sub>w</sub>	Suyun yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>

$\gamma_w$	Su birim hacim ağırlığı	$\text{kg/m}^3$
$\gamma_{sp}$	Plaj malzemesinin birim hacim ağırlığı	$\text{kg/m}^3$
$\gamma_{st}$	Kaplama malzemesinin birim hacim ağırlığı	$\text{kg/m}^3$
$\Delta$	Rölatif özgül ağırlık	-
$\Psi$	Carrier ve Greenspan fonksiyonu	
$\sigma$	Carrier ve Greenspan x koordinatı	
$\lambda$	Carrier ve Greenspan zaman koordinatı	
$\phi$	İçsel sürtünme açısı	





## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>		
<u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	Plunging ve spilling tip dalga gözlemleri	12
Şekil 2.1	Solitary dalga tırmanması	17
Şekil 2.2	Solitay dalganın kırılma kriteri	21
Şekil 2.3	Şev üzerindeki birim katı maddeye etki eden kuvvetler	24
Şekil 3.1	Dalga kanalı	28
Şekil 3.2	Şartlandırıcı	29
Şekil 3.3	Regülatör	30
Şekil 3.4	Yağlayıcı	30
Şekil 3.5	Dalga üretici sistem	31
Şekil 3.6	Tsunami dalga oluşumu	32
Şekil 3.7	Rezistans tipi dalga elektrodu	33
Şekil 3.8	Dalga kanalı ve problemlerin yerleşimi	34
Şekil 3.9	Dalga kaydedici sistem	35
Şekil 3.10	Akustik hız ölçüm cihazı	35
Şekil 3.11	2D Bed profiller	36
Şekil 3.12	Geçirimsiz yüzey	37
Şekil 3.13	Kaplamasız yüzeyin görünüşü	37
Şekil 3.14	Kaplamalı yüzeyin görünüşü ( $D_{50} = 10$ mm)	38
Şekil 3.15	Kaplamalı yüzeyin görünüşü ( $D_{50} = 13.8$ mm)	38
Şekil 4.1	Serbest yüzey değişimi	40
Şekil 4.2	Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 0$ s)	41
Şekil 4.3	Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 8,8$ s)	41
Şekil 4.4	Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 9,68$ s)	42
Şekil 4.5	Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 10,08$ s)	42
Şekil 4.6	Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 10,32$ s)	43
Şekil 4.7	Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 11,24$ s)	43
Şekil 4.8	Yatay hızın zamanla değişimi	44
Şekil 4.9	Ölçülen ve (2.21) bağıntısından hesaplanan hız verilerinin karşılaştırılması	44
Şekil 4.10	Geçirimsiz yüzeylerde dalga yüksekliği ile tırmanma yüksekliği ilişkisi	46
Şekil 4.11	Kaplamasız yüzey için dalga yüksekliği ile tırmanma yüksekliği ilişkisi	46
Şekil 4.12	Kaplamalı yüzey için dalga yüksekliği ile tırmanma yüksekliği ilişkisi	47
Şekil 4.13	Kıyı profili değişimi	48

Şekil 4.14	Kaplamasız yüzey için erozyon alanı erozyon hacmi ilişkisi	48
Şekil 4.15	I. durumda kısmi kaplamalı yüzeye ait erozyon alanı erozyon hacmi	49
Şekil 4.16	II. durumda kısmi kaplamalı yüzeye ait erozyon alanı erozyon hacmi	49
Şekil 4.17	Kaplamasız yüzey için kenar ve orta kesitlerdeki dalga yüksekliği erozyon alanı ilişkisi	50
Şekil 4.18	I. durumda kısmi kaplamalı yüzeye ait kenar ve orta kesitte dalga yüksekliği erozyon alanı ilişkisi	50
Şekil 4.19	II. durumda kısmi kaplamalı yüzeye ait kenar ve orta kesitte dalga yüksekliği erozyon alanı ilişkisi	51
Şekil 4.20	Kaplamasız duruma ait kıyı profili değişimi	51
Şekil 4.21	Kısmi kaplamalı duruma ait kıyı profili değişimi (boru hattı zemine gömülü ve üzeri tek sıra doğal çakıl kaplı)	52
Şekil 4.22	Kısmi kaplamalı duruma ait kıyı profili değişimi (boru hattı zemine gömülü ve üzeri tek sıra doğal kırma taş kaplı)	52
Şekil 4.23	Kısmi kaplamalı duruma ait kıyı profili değişimi (kum ile aynı seviyede doğal çakıl kaplı olan boru hattının üzeri tek sıra doğal kırmataş ile kaplı)	52
Şekil 4.24	Kaplamasız durum için dalga yüksekliği ile erozyon alanı ilişkisi	53
Şekil 4.25	I. durumda kısmi kaplamalı yüzey için dalga yüksekliği ile erozyon alanı ilişkisi	53
Şekil 4.26	II. durumda kısmi kaplamalı yüzey için dalga yüksekliği ile erozyon alanı ilişkisi	53
Şekil 5.1	Kaplamasız duruma ait tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler ile tırmanma yüksekliği parametresinin ilişkisi	56
Şekil 5.2	Kaplamalı duruma ait tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler ile tırmanma yüksekliği parametresinin ilişkisi	58
Şekil 5.3	Kaplamasız yüzey için önerilen denklem (5.8) ve kaplamasız yüzey için kaplamalı durumdan elde edilen (5.17) boyutsuz tırmanma yüksekliğinin boyutsuz dalga yüksekliği ile değişimi	60
Şekil 5.4	Kaplamasız duruma ait erozyon alanına etki eden parametreler ile erozyon alanı parametresinin ilişkisi	62
Şekil 6.1	Deney verilerinden ve tırmanma kanunundan (1.1) elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametrelerinin karşılaştırılması	66
Şekil 6.2	VTCS-2 [17], Hall & Watts [8] ve laboratuvar verileri arasında karşılaştırmalar	67
Şekil 6.3	Kaplamasız durum için önerilen denklemden ve tırmanma kanunundan (1.1) elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresinin karşılaştırılması	68
Şekil 6.4	Kaplamalı durum için önerilen denklemden ve tırmanma kanunundan (1.1) elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresinin karşılaştırılması	69
Şekil B.1	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 46$ ) (Deney No : 101)	76

Şekil B.2	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (Deney No : 101)	76
Şekil B.3	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=50$ ) (Deney No : 101)	77
Şekil B.4	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=54.5$ ) (Deney No : 101)	77
Şekil B.5	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=55$ ) (Deney No : 101)	78
Şekil B.6	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=67$ ) (Deney No : 101)	78
Şekil B.7	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=30$ ) (Deney No : 103)	79
Şekil B.8	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=34$ ) (Deney No : 103)	79
Şekil B.9	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=38$ ) (Deney No : 103)	80
Şekil B.10	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=43$ ) (Deney No : 103)	80
Şekil B.11	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=51$ ) (Deney No : 103)	81
Şekil B.12	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=66$ ) (Deney No : 103)	81
Şekil B.13	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=43$ ) (Deney No : 104)	82
Şekil B.14	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=47$ ) (Deney No : 104)	82
Şekil B.15	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=52$ ) (Deney No : 104)	83
Şekil B.16	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=56$ ) (Deney No : 104)	83
Şekil B.17	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=65$ ) (Deney No : 104)	84
Şekil B.18	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=69$ ) (Deney No : 104)	84
Şekil B.19	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=38$ ) (Deney No : 105)	85
Şekil B.20	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=41$ ) (Deney No : 105)	85
Şekil B.21	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=45$ ) (Deney No : 105)	86
Şekil B.22	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=46$ ) (Deney No : 105)	86
Şekil B.23	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=52$ ) (Deney No : 105)	87
Şekil B.24	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=57.5$ ) (Deney No : 105)	87
Şekil B.25	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=39$ ) (Deney No : 106)	88
Şekil B.26	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=43$ ) (Deney No : 106)	88
Şekil B.27	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=47$ ) (Deney No : 106)	89
Şekil B.28	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=52$ ) (Deney No : 106)	89
Şekil B.29	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60$ ) (Deney No : 106)	90
Şekil B.30	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=73$ ) (Deney No : 106)	90
Şekil B.31	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=43$ ) (Deney No : 108)	91

Şekil B.32	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 46.6$ ) (Deney No : 108)	91
Şekil B.33	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 108)	92
Şekil B.34	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 56$ ) (Deney No : 108)	92
Şekil B.35	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 64$ ) (Deney No : 108)	93
Şekil B.36	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 77$ ) (Deney No : 108)	93
Şekil B.37	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 33$ ) (Deney No : 109)	94
Şekil B.39	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 38$ ) (Deney No : 109)	94
Şekil B.40	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 109)	95
Şekil B.41	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 109)	95
Şekil B.42	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 60$ ) (Deney No : 109)	96
Şekil B.43	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 40$ ) (Deney No : 110)	96
Şekil B.44	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 44$ ) (Deney No : 110)	97
Şekil B.45	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 110)	97
Şekil B.46	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 110)	98
Şekil B.47	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 62$ ) (Deney No : 110)	98
Şekil B.48	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 75$ ) (Deney No : 110)	99
Şekil B.49	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 40$ ) (Deney No : 115)	100
Şekil B.50	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 41$ ) (Deney No : 115)	100
Şekil B.51	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45$ ) (Deney No : 115)	101
Şekil B.52	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 50$ ) (Deney No : 115)	101
Şekil B.53	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 57.5$ ) (Deney No : 115)	102
Şekil B.54	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 61$ ) (Deney No : 115)	102
Şekil B.55	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45$ ) (Deney No : 116)	103
Şekil B.56	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 116)	103
Şekil B.57	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 116)	104
Şekil B.58	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 59$ ) (Deney No : 116)	104
Şekil B.59	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 67$ ) (Deney No : 116)	105
Şekil B.60	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 71$ ) (Deney No : 116)	105
Şekil B.61	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 34$ ) (Deney No : 117)	106
Şekil B.62	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 38$ ) (Deney No : 117)	106

Şekil B.63	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=43$ ) (Deney No : 117)	107
Şekil B.64	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=47$ ) (Deney No : 117)	107
Şekil B.65	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=55$ ) (Deney No : 117)	108
Şekil B.66	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60$ ) (Deney No : 117)	108
Şekil B.67	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=41$ ) (Deney No : 118)	109
Şekil B.68	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=45$ ) (Deney No : 118)	109
Şekil B.69	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=50$ ) (Deney No : 118)	110
Şekil B.70	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=55$ ) (Deney No : 118)	110
Şekil B.71	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=63$ ) (Deney No : 118)	111
Şekil B.72	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=67$ ) (Deney No : 118)	111
Şekil B.73	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=31$ ) (Deney No : 130)	112
Şekil B.74	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=35$ ) (Deney No : 130)	112
Şekil B.75	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=40$ ) (Deney No : 130)	113
Şekil B.76	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=45$ ) (Deney No : 130)	113
Şekil B.77	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=53$ ) (Deney No : 130)	114
Şekil B.78	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 130)	114
Şekil B.79	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=43$ ) (Deney No : 131)	115
Şekil B.80	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=47$ ) (Deney No : 131)	115
Şekil B.81	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=53$ ) (Deney No : 131)	116
Şekil B.82	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 131)	116
Şekil B.83	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60$ ) (Deney No : 131)	117
Şekil B.84	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=72$ ) (Deney No : 131)	117
Şekil B.85	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=26$ ) (Deney No : 132)	118
Şekil B.86	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=30$ ) (Deney No : 132)	118
Şekil B.87	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=35$ ) (Deney No : 132)	119
Şekil B.88	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=40$ ) (Deney No : 132)	119
Şekil B.89	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (Deney No : 132)	120
Şekil B.90	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=53$ ) (Deney No : 132)	120
Şekil B.91	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=50$ ) (Deney No : 133)	121
Şekil B.92	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=54$ ) (Deney No : 133)	121
Şekil B.93	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=59$ ) (Deney No : 133)	122

Şekil B.94	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=64$ ) (Deney No : 133)	122
Şekil B.95	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=68$ ) (Deney No : 133)	123
Şekil B.96	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=79$ ) (Deney No : 133)	123
Şekil B.97	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=50$ ) (Deney No : 137)	124
Şekil B.98	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=54$ ) (Deney No : 137)	124
Şekil B.99	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=59$ ) (Deney No : 137)	125
Şekil B.100	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=64$ ) (Deney No : 137)	125
Şekil B.101	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=67$ ) (Deney No : 137)	126
Şekil B.102	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=78.5$ ) (Deney No : 137)	126
Şekil B.103	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=35$ ) (Deney No : 138)	127
Şekil B.104	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=39$ ) (Deney No : 138)	127
Şekil B.105	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=44$ ) (Deney No : 138)	128
Şekil B.106	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (Deney No : 138)	128
Şekil B.107	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 138)	129
Şekil B.108	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=62$ ) (Deney No : 138)	129
Şekil B.109	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=45$ ) (Deney No : 139)	130
Şekil B.110	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (Deney No : 139)	130
Şekil B.111	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=55$ ) (Deney No : 139)	131
Şekil B.112	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60$ ) (Deney No : 139)	131
Şekil B.113	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=62$ ) (Deney No : 139)	132
Şekil B.114	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=74$ ) (Deney No : 139)	132
Şekil B.115	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=36.5$ ) (Deney No : 140)	133
Şekil B.116	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=40$ ) (Deney No : 140)	133
Şekil B.117	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=45.5$ ) (Deney No : 140)	134
Şekil B.118	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=50$ ) (Deney No : 140)	134
Şekil B.119	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=59$ ) (Deney No : 140)	135
Şekil B.120	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=63$ ) (Deney No : 140)	135
Şekil B.121	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=30.5$ ) (Deney No : 142)	136

Şekil B.122	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=34$ ) (Deney No : 142)	136
Şekil B.123	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=40$ ) (Deney No : 142)	137
Şekil B.124	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=44$ ) (Deney No : 142)	137
Şekil B.125	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=53$ ) (Deney No : 142)	138
Şekil B.126	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=57.5$ ) (Deney No : 142)	138
Şekil B.127	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=47$ ) (Deney No : 143)	139
Şekil B.128	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=51$ ) (Deney No : 143)	139
Şekil B.129	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=57$ ) (Deney No : 143)	140
Şekil B.130	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=62$ ) (Deney No : 143)	140
Şekil B.131	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=71$ ) (Deney No : 143)	141
Şekil B.132	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=76$ ) (Deney No : 143)	141
Şekil B.133	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=50$ ) (Deney No : 145)	142
Şekil B.134	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=54$ ) (Deney No : 145)	142
Şekil B.135	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=59$ ) (Deney No : 145)	143
Şekil B.136	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=64$ ) (Deney No : 145)	143
Şekil B.137	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=68$ ) (Deney No : 145)	144
Şekil B.138	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=79$ ) (Deney No : 145)	144
Şekil B.139	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=35$ ) (Deney No : 146)	145
Şekil B.140	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=40$ ) (Deney No : 146)	145
Şekil B.141	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=44$ ) (Deney No : 146)	146
Şekil B.142	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (Deney No : 146)	146
Şekil B.143	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 146)	147
Şekil B.144	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=62$ ) (Deney No : 146)	147
Şekil B.145	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=35$ ) (Deney No : 250)	148
Şekil B.146	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=47$ ) (Deney No : 250)	148
Şekil B.147	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=55.5$ ) (Deney No : 250)	149
Şekil B.148	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=57$ ) (Deney No : 250)	149
Şekil B.149	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 250)	150
Şekil B.150	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=61$ ) (Deney No : 250)	150
Şekil B.151	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=48$ ) (Deney No : 251)	151

Şekil B.152	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60.5$ ) (Deney No : 251)	151
Şekil B.153	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=62$ ) (Deney No : 251)	152
Şekil B.154	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=63$ ) (Deney No : 251)	152
Şekil B.155	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=64$ ) (Deney No : 251)	153
Şekil B.156	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=75$ ) (Deney No : 251)	153
Şekil B.157	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=39.5$ ) (Deney No : 252)	154
Şekil B.158	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=51$ ) (Deney No : 252)	154
Şekil B.159	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=59$ ) (Deney No : 252)	155
Şekil B.160	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60$ ) (Deney No : 252)	155
Şekil B.161	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=62$ ) (Deney No : 252)	156
Şekil B.162	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=65$ ) (Deney No : 252)	156
Şekil B.163	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 253)	157
Şekil B.164	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=71$ ) (Deney No : 253)	157
Şekil B.165	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=73$ ) (Deney No : 253)	158
Şekil B.166	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=74$ ) (Deney No : 253)	158
Şekil B.167	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=76$ ) (Deney No : 253)	159
Şekil B.168	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=85$ ) (Deney No : 253)	159
Şekil B.169	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=37$ ) (Deney No : 254)	160
Şekil B.170	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (Deney No : 254)	160
Şekil B.171	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=57$ ) (Deney No : 254)	161
Şekil B.172	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 254)	161
Şekil B.173	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60$ ) (Deney No : 254)	162
Şekil B.174	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=62$ ) (Deney No : 254)	162
Şekil B.175	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=46$ ) (Deney No : 255)	163
Şekil B.176	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 255)	163
Şekil B.177	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=66$ ) (Deney No : 255)	164
Şekil B.178	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=67$ ) (Deney No : 255)	164
Şekil B.179	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=68$ ) (Deney No : 255)	165
Şekil B.180	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=78.5$ ) (Deney No : 255)	165



Şekil B.181	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (Deney No : 256)	166
Şekil B.182	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=61$ ) (Deney No : 256)	166
Şekil B.183	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=69$ ) (Deney No : 256)	167
Şekil B.184	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=71$ ) (Deney No : 256)	167
Şekil B.185	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=72.5$ ) (Deney No : 256)	168
Şekil B.186	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=74$ ) (Deney No : 256)	168
Şekil B.187	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=47$ ) (Deney No : 257)	169
Şekil B.188	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=59$ ) (Deney No : 257)	169
Şekil B.189	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=66.5$ ) (Deney No : 257)	170
Şekil B.190	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=68$ ) (Deney No : 257)	170
Şekil B.191	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=69$ ) (Deney No : 257)	171
Şekil B.192	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=80$ ) (Deney No : 257)	171
Şekil B.193	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=45.5$ ) (Deney No : 258)	172
Şekil B.194	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=57$ ) (Deney No : 258)	172
Şekil B.195	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=65$ ) (Deney No : 258)	173
Şekil B.196	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=66$ ) (Deney No : 258)	173
Şekil B.197	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=69$ ) (Deney No : 258)	174
Şekil B.198	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=72$ ) (Deney No : 258)	174
Şekil B.199	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=47$ ) (Deney No : 259)	175
Şekil B.200	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=59$ ) (Deney No : 259)	175
Şekil B.201	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=66.5$ ) (Deney No : 259)	176
Şekil B.202	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=68$ ) (Deney No : 259)	176
Şekil B.203	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=69$ ) (Deney No : 259)	177
Şekil B.204	x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=71$ ) (Deney No : 259)	177

## ÇİZELGE LİSTESİ

<b>Çizelge</b>		
<b>Numarası</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1	DeneySEL sonuçların kırılma kriteri ile karşılaştırılması	45
Çizelge 5.1	Konu ile ilgili parametreler ve boyutları	54
Çizelge 5.2	Kaplamasız yüzey için önerilen denklem (5.8) ile kaplamasız yüzey için kaplamalı durumdan elde edilen (5.17) sonuçların karşılaştırılması	60
Çizelge 5.3	Boyutsuz erozyon alanı için önerilen denklem (5.29) ile tırmanma yüksekliği parametresine bağlı olarak elde edilen (5.34) sonuçların karşılaştırılması	64
Çizelge A.1	Kaplamasız durum için kırılmayan solitary dalgaların tırmanması	72
Çizelge A.2	Geçirimsiz yüzeyde kırılmayan solitary dalgaların tırmanması	73
Çizelge A.3	Kaplamalı yüzeyde kırılmayan solitary dalgaların tırmanması	74

## ÖNSÖZ

Son yıllarda dünyanın çeşitli ülkelerinde meydana gelen tsunamiler kıyıda birçok hasarlara yol açarak can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu hasarların özellikle tırmanma bölgesinde oluştuğu görülmüştür. Bu nedenle kıyı yapılarının boyutlandırılmasında tırmanmayı anlamak ve önceden tahmin edebilmek önemli olmaktadır. Bu çalışmada tsunaminin tırmanma yüksekliğini ve kıyıdaki profil değişimini incelemek için deneysel çalışmalar yapılmış ve ampirik ifadeler önerilmiştir.

Bu tezi hazırlamamda beni yönlendiren ve her konuda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Y. Doç. Dr. Emel İRTEM'e ve deneylerimin yapılması için gerekli alt yapıyı sağlayan ve tüm tez çalışmam boyunca değerli fikirleriyle yol göstererek zaman ayıran Sayın Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik Anabilim Dalına sağladığı laboratuvar olanakları için minnettarım. Beni her zaman yüreklendiren sevgili arkadaşlarım Yük. Müh. Alpaslan Aydıngakko, Araş. Gör. A. Ozan Çelik, Araş. Gör. V. Ş. Özgür Kırca'ya ve laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan Hasan Yalçın, Mevlüt Uluçınar ve Yaşar Aktaş'a teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca bana destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım. Özellikle İstanbul'a yaptığım yolculuklarda beni geç saatlerde uğurlayan ve karşılayan kardeşim M. Ali Gedik'e ve eniştem Levent Arabal'a ayrıca teşekkür ederim.

**Balıkesir, 2004**

**Nuray GEDİK**

## 1. GİRİŞ

Tsunamiler deniz tabanında meydana gelen Richter ölçeğine göre 6.5'tan daha büyük depremler sonucu, deniz tabanındaki volkanik aktiviteler, taban çökmesi, toprak kayması veya su yüzeyine düşen göktaşı gibi şiddetli titreşim ya da kütle hareketine yol açan olaylarla oluşan uzun su dalgalarıdır. Tsunami sözcüğü, 1896 yılında Japonya'daki "Büyük Meiji Tsunamisi" afetinde yaklaşık 22000 kişinin ölümüne neden olmasından sonra Japonların tüm dünyaya yaptıkları yardım çağrısı içinde yer alan sözcük olarak tanınmış, o tarihten beri de bir çok dilde aynı adla "tsunami" olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sismik etki ile doğrudan tsunami oluşması için deniz tabanında depremle beraber normal atımlı fay kırılması olmalıdır. Normal atımlı fay, fay kırığının olduğu çizginin bir yanındaki zeminin diğer yandakine göre bir miktar düşey olarak yükselmesi ya da alçalması demektir. Böylece fay kırılmasıyla denize dik yönde gelen etki tsunami oluşturabilir. Yanal atımlı fay kırılmalarında zemin, fayın her iki tarafında aynı düzeyde kaldığından bu biçimde yüzey değişimi pek olmaz. Bundan dolayı yanal atımlı faylar denize dik yönde önemli bir etki veremediğinden tsunami yaratamazlar. Ancak yanal atımlı fayların başladığı ya da sona erdiği noktalardaki zemin hareketi, tsunami oluşturabilecek nitelikler göstermektedir [1].

Bu dalganın sığ bölgelere geldiğinde gösterdiği dalga profili solitary, knoidal veya N dalga biçimine benzetilebilir. Tsunami ilk oluştuğunda genellikle tek bir dalga biçimindedir. Tsunamiler dalganın altında bulunan su moleküllerinin birbirini iterek yer değiştirmesi ile hareket ederler. Kıyılara gelen dalga denizin önce geri çekilmesi veya karaya doğru ilerlemesi ardından da karada dalga tırmanması ve su taşınımı oluşturur. Bunun sonucu olarak da kıyılarda şiddetli akıntılar ve su düzeyi değişimleri gerçekleşir. Tsunamiler kıyıya doğru ilerlerken kıyı batimetrisindeki değişimle birlikte iç kısımlara doğru ilerleyerek can ve mal kaybına neden olurlar.

Tarihte en önemli iki tsunami felaketi milattan önce 1500 yıllarında Yunanistan'da Theva Yanardağı ve 1883'de Java yakınlarındaki Krakatau Yanardağı'nın patlamasıyla oluşmuştur. Krakatau patlamasıyla oluşan tsunami sonucunda 36000 insan ölmüştür [2]. Temmuz 1998'de Papua Yeni Gine'de meydana gelen olay 2000'den fazla ölümle ve büyük yıkımla sonuçlanmıştır. 1999 Kocaeli depremi ile ortaya çıkan tsunami Marmara Denizi kıyı alanları üzerindeki potansiyel bir tehlikeyi bir kez daha gözler önüne sermiştir. Tsunami sonucunda oluşan bu hasarlar sakin su yüzeyi ile suyun tırmandığı bir eğimde en yüksek nokta arasındaki düşey mesafe olarak bilinen tırmanma yüksekliğine bağlıdır. Bu yüzden bir çok kıyı yapısının boyutlandırılmasında tırmanma yüksekliği en önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, geçirimsiz, kaplamasız ve kaplamalı kıyılar üzerinde uzun dalgaların tırmanma yüksekliğini ve erozyon alanını belirlemek için deneysel çalışmalar yapıldı. Deneyler sırasında farklı boyutta taşlar kullanıldı. Deney sonuçlarına bağlı olarak dalga, kum ve taş özelliklerine göre tırmanma yüksekliği ve erozyon alanını veren ampirik ifadeler önerildi.

## **1.1 KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR**

### **1.1.1 Uzun Dalgaların Tırmanması**

İlk deneysel çalışma Hall ve Watts (1953) tarafından yapılmış, Camfield ve Street (1969) nümerik modellerin doğruluğunda ve analitik sonuçların ispatında bu çalışmayı kullanmışlardır [3].

Heitner ve Housner (1970)'de tek dalga tırmanma araştırmalarında Lagrange bakış açısı ile uzun dalga denklemlerini kullanmıştır [3]. Tsunami tırmanmasında taban pürüzlülüğünün etkisini incelemek için nümerik hesaplamalar yapmışlardır.

Carrier ve Greenspan (1958) nonlinear sığ su denklemlerini kullanarak bu denklemleri lineer denklem takımlarına dönüştüren bir metot önermiş ve düz eğimde birkaç farklı başlangıç şekilleri için dalgaların tırmanmasını araştırmıştır. Tuck ve Hwang (1972) ve Spielvogel (1976), Carrier ve Greenspan (1958) dönüşümü geliştirmiş ve uzun dalga tırmanması çözümünde, ayrıca başlangıç su yüzeyi konfigürasyonlarını da kullanmışlardır. Tuck ve Hwang (1972), tabandaki karışıklık nedeniyle eğim üzerinde dalga oluşumu sırasındaki problemi araştırmışlardır. Spielvogel (1976)'da Carrier ve Greenspan (1958) dönüşümünü vermiş ve uzun dalga tırmanması belirlemek için eğim üzerindeki maksimum tırmanma durumunda bir logaritmik başlangıç yüzey profilini varsayarak dönüşümün tersini kullanmıştır [3].

Svendsen ve Hansen (1978)'de hafif eğimli tabanda iki boyutlu su dalgalarını klasik uzun dalga varsayımıyla incelemişlerdir. Ayrıca 1:35 eğime sahip kıyıda dalga profillerini deneylerle karşılaştırmışlar ve daha çok kırılma sınırındaki dalgalarda  $H/d$ 'nin büyük değerleri için oldukça uygun olduğunu görmüşlerdir [4].

Kırkgöz (1983)'de 1:10 eğimli kıyıda uzun periyotlu dalgaların tırmanmasını ve kırılmasını teorik olarak incelemiştir. Nonlineer sığ su dalga denklemlerini karakteristikler metodunu kullanarak çözmüştür [5].

Pedersen ve Gjevik (1983) tarafından yapılan çalışmada Boussinesq denklem takımları ile kullanılan uzun su dalgalarının tırmanmasını incelemek için Lagrangian tanımına dayalı bir nümerik model geliştirilmiştir. Nümerik şemanın performansı deneysel veri ve analitik çözümlerle karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Oldukça dik eğimlerdeki solitary dalgaların tırmanma simülasyonundan yüzey değişimleri ve tırmanma yüksekliklerinin deneylerle uyduğu görülmüştür [6].

Kobayashi, v.d. (1987)'de pürüzlü eğimlerde akım karakteristiklerini belirlemek için nümerik akım modeli geliştirmişlerdir. Taban sürtünme etkileri dahil sonlu genlikli sığ su denklemlerini Lax-Wendroff sonlu fark metodunu kullanarak

nümerik olarak çözmüşlerdir. Pürüzlü eğimli bölgede akım hesapları sınırlandırılması için permeabilite etkisinin ihmal edilebileceğini varsaymışlardır [7].

Synolakis (1987) de düz kıyılarda solitary dalga tırmanmasını teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Kırılmayan dalgalar için bir yaklaşım teorisi sunulmuştur. Asimptotik sonuçlardan ampirik tırmanma ifadesi elde edilmiştir. Deneysel 37.73 m uzunluğunda, 0.39 m genişliğinde ve 0.61 m derinliğinde yan duvarları camdan oluşan yatay dalga kanalında yapılmıştır. Dalga üretim sistemi düşey dalga plakasını yatay olarak hareket ettiren pistonla bağlıdır. Piston servo mekanizmasıyla kontrol edilen hidrolik silindirin iki kez hareket ettirilmesiyle çalışır. Düz kıyılarda kırılmayan dalgaların tırmanma yüksekliği laboratuvar verilerini oldukça iyi modelleyen, tırmanma kanunu olarak da bilinen aşağıdaki (1.1) ifadesi ile verilmiştir [8,9]:

$$\frac{R}{d} = 2.831 \sqrt{\cot \beta} \left( \frac{H}{d} \right)^{5/4} \quad (1.1)$$

Bu ifade de H, dalga yüksekliğini; d, su derinliğini;  $\beta$ , şev eğimini; R, tırmanma yüksekliğini göstermektedir.

Hızın düşey değişiminin belirlendiği yerdeki akış problemlerini hesaplamak için bazı nümerik metotlar gereklidir. Kırılmayan dalgalar için ince sınır tabakaları hariç dalga hareketleri aslında çevrimsizdir. Bu yüzden dalga değişimi potansiyel akım teorisi ile oldukça iyi tanımlanabilir. Serbest yüzeydeki potansiyel akım başka bir varsayım ve sadeleştirme yapılmaksızın BIEM (Boundary Integral Equation Method) kullanılmasıyla sayısal olarak hesaplanabilir. Kim v.d. (1983) iki boyutlu solitary dalga tırmanmasında bu metodu kullanmışlardır. Grilli ve Svendsen (1990)'da nonlinear dalgaların diğer tiplerindeki tırmanmayı incelemek için BIEM modelini tekrar araştırmışlar ve BIEM modelinin laboratuvar deneylerinde kırılmayan dalgaların tırmanması ve geri çekilmesi araştırmalarında çok iyi bir araç olduğunu bulmuşlardır [10].

Güney Kaliforniya Üniversitesi Deniz Bilimleri Merkezinde uzun dalga tırmanması üzerine araştırmaları içeren bir workshop düzenlenmiştir. Liu, P. v.d (1990)'da bu workshopda sunulan tırmanma ile ilgili teorik, deneysel ve saha çalışmalarını kapsayan yirmi altı bildirinin zeti verilmiştir [11].

Kobayashi v.d (1990)'da düzensiz dalga koşullarında 1:3 eğime sahip pürüzlü geçirimsiz yüzeyde dalga tırmanmasını ve yansımasını incelemişlerdir. Kaistrenko v.d. (1991)'de geçirimsiz düz kıyılarda kırılmayan uzun dalga tırmanmasının analizini sunmuşlardır [12].

Zelt (1991) tarafından yapılan çalışmada, geçirimsiz düz kıyılarda kırılan ve kırılmayan solitary dalgaların tırmanması Lagrange sonlu-eleman Boussinesq dalga modeli ile araştırılmıştır. Laboratuvar deneyleri 40 m uzunluğunda, 0.395 m genişliğinde ve 0.61 m derinliğindeki dalga tankında yapılmıştır. Kıyı eğimi  $20^0$  ve  $2.88^0$  olmak üzere iki farklı eğimden oluşmaktadır ve sabit su derinliği 0.20 m'dir. Laboratuvar verilerinden sadece dik eğimde dalgaların tırmanırken kırılmadığı gözlenmiştir [13].

Synolakis ve Skjelbreia (1993)'de düz kıyılarda solitary dalgaların transformasyonunu incelemiştir. Laboratuvar deneyleri uzun dalgaların genlik değişimini belirlemek için verilmiştir. Yansıma dahil ilk olarak sabit derinlikte ve daha sonra eğimli tabanda solitary dalgaların gelişimi için ifade bulmada lineer teori kullanılmıştır [14].

Tadepalli ve Synolakis (1994)'de tsunami dalgalarının tırmanmasından önce kıyı çizgisinin geri çekildiğini belirtmişlerdir. şimdiye kadar yapılan tırmanma araştırmaları solitary dalgalar veya periyodik dalgalarla modellenmiştir. Ancak bu çalışmada tsunami tırmanma çalışmaları için yeni bir model olan N-şeklinde dalga sınıfını bulduklarını belirtmişlerdir [15].

Liu v.d. (1995) dairesel adada tırmanan solitary dalgaların etkileşimini incelemişlerdir. Farklı kret uzunlukları ve farklı (H/d) dalgalar ile deney serileri belirlenmiştir. İki boyutlu tırmanma yükseklik ölçümleri ve ada etrafında zamanla



yüzey değişimleri sunulmuştur. Tırmanma hesaplarını içeren sığ-su dalga denklemlerine dayalı bir nümerik model geliştirilmiş ve laboratuvar verileri ile nümerik modelin birbirine uyduğu görülmüştür [16].

Titov ve Synolakis (1995) bir boyutlu uzun dalgaların tırmanması ve yayılmasını modellemek için viskozite ve sürtünme faktörünü ihmal ederek sığ su dalga denklemlerinin değişken aralıklı sonlu fark şemasını sunmuşlardır. Bu metot basit, açık ve direkt uygulanabilir. Eğimli kıyı üzerinde kırılan ve kırılmayan dalgaların değişimini hesaplamada kullanılır. Çalışmada, kırılan ve kırılmayan dalgaların laboratuvar verileri, diğer nümerik ve analitik çözüm sonuçları ile karşılaştırılmış, metot VTCS-2 olarak adlandırılmıştır [17].

Briggs v.d. (1995) laboratuvar deneylerini 7.2 m çapındaki konik adanın üç boyutlu tsunami tırmanmasını incelemek için yapmışlardır. 62.5 cm yüksekliğindeki ada 1:4 eğime sahiptir ve 25 m uzunluğunda 30 m genişliğindeki düz bir tabanın merkezine yerleştirilmiştir. Yüksekliğin derinliğe oranı 0.05~0.20 aralığındadır ve solitary dalgalar 32 ve 42 cm su derinliklerinde test edilmiştir. 27 kapasitanslı dalga ölçer gelen yüzey dalga yüksekliklerini ölçmek için kullanılmıştır. Zamanla tırmanmayı kaydetmek için adanın rüzgar altında kalan tarafına veya gerisine tırmanma ölçer yerleştirilmiştir [18].

Grilli v.d. (1997)'de potansiyel akım denklemlerine dayalı nonlinear dalga modelinin doğrulandığı deneyleri kullanarak solitary dalgaların kırılmasını ve sığlaşmasını 1:100 eğimden 1:8 eğime kadar hesaplamışlardır. Kırılma noktasında dalgaların karakteristikleri hesaplanmış ve dalga yüksekliğinin ve taban eğiminin bir fonksiyonu olarak kırılmanın geometrik benzerliği tartışılmıştır.  $12^0$ 'den büyük eğimlerde dalganın kırılmadığı belirtilmiştir. Kırılma kriteri boyutsuz eğim parametresinin değerine bağlı olarak hafif eğimler için çıkarılmıştır. Tüm sonuçların laboratuvar verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür [19].

Kanoğlu ve Synolakis (1998)'de gel-git dalgalarının kıyıya etkilerini anlamak amacıyla parçalı lineer bir ve iki boyutlu batimetriderdeki tırmanmayı ve uzun dalga değişimini araştırmıştır. Revere kıyısının fiziksel modelinden, laboratuvar

deneylerinden elde edilen sonuçlarla, nümerik sonuçlarla ve ayrıca idealleştirilmiş konik ada etrafındaki dalga tırmanma verileri ile analitik tahminleri karşılaştırmışlardır. Maksimum tırmanma yükseklikleri ve zamana bağlı serbest yüzey değişimleri için laboratuvar sonuçları ve kullandıkları teori arasında iyi bir uyum olduğunu bulmuşlardır [20].

Lin, P. v.d. (1999) tarafından sunulan çalışmada , kıyılarda solitary dalganın tırmanma ve geri çekilme mekanizmalarını incelemek için nümerik hesaplar ve laboratuvar deneyleri birleştirilmiştir. Bu çalışmada, iki farklı durumdaki dalga tırmanması araştırılmıştır. Deneyler Cornell Üniversitesi DeFrees Hidrolik Laboratuvarındaki 30 m uzunluğunda, 0.60 m genişliğinde ve 0.90 m yüksekliğinde dalga tankında yapılmıştır. İlk durumda solitary dalga, Goring (1978) metodu uygulanarak oluşturulmuş,  $30^{\circ}$  eğimli düz kıyı dalga levhasından 6.49 m uzaklığa yerleştirilmiştir. Su derinliği (d) 0.16 m ve dalga yüksekliği (H) 0.027 m'dir ( $H/d=0.17$ ). Bu deneylerde deneyde hem serbest yüzey profili hem de hız PIV kullanılarak ölçülmüştür. İkinci deneyde hafif eğimde kırılan solitary dalga tırmanması ve geri dönüşü incelenmiştir. Kıyı  $2.88^{\circ}$  açıya sahiptir ve eğim 1:20'dir. Sakin su derinliği (d) 0.21 ~ 0.29 m'dir. Dalga yüksekliğinin (H) su derinliğine oranı ( $H/d=0.28$ ) olan solitary dalga üretilmiştir. Tırmanma ve geri dönüş sırasındaki serbest yüzey değişimlerini kaydetmek için dalga ölçer kullanılmıştır. İlk nümerik hesaplamalar, BIEM modeli ile birlikte RANS modeli kullanılarak yapılmıştır. Nümerik sonuçlar ve deneysel ölçümler arasında serbest yüzey deplasmanı ve hız karşılaştırmaları yapılmıştır. Daha sonra tırmanma ve geri dönüş karakteristikleri tartışılmıştır. Kırılan dalga için sadece serbest yüzey değişimi deneylerden elde edilmiştir. Yüzey profillerine göre nümerik sonuçlar ve laboratuvar verileri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Tırmanma ve geri dönüş sırasında kırılan solitary dalga altında ortalama akım modeli ve türbülans karakteristikleri nümerik sonuçlar kullanılarak incelenmiştir [10].

Maiti, Sen (1999)'da Euler-Lagrange metodunu kullanarak dik ve hafif eğimlerde nonlinear solitary dalgaların etkisini analiz etmek için zamanla değişen bir algoritma tanımlamıştır. Tırmanma yüksekliğinin düzlem eğimine ve dalga dikliğine bağlı olduğunu bulmuşlardır [21].

Pelinovsky v.d. (1999)'da sığ su denklemlerini kullanarak farklı enkesitli körfezde düşey duvarlar üzerinde tsunami dalgalarının tırmanmasını incelemiştir. Gelen dalganın genliği ve düşey duvarda tırmanma yüksekliği arasında (1.2) bağıntısını elde etmişlerdir. Lineer durumla karşılaştırıldığında duvarda tırmanma yüksekliği nonlinear olarak artar.

$$\frac{R}{\zeta_0} = 2 + \frac{1}{2} \frac{\zeta_0}{d} \quad (1.2)$$

Burada R, tırmanma yüksekliği;  $\zeta_0$ , dalga genliği; d, su derinliği'dir [22].

Fujima v.d. (2000)'de lineer uzun dalga teorisine dayalı analitik çözümler bir konik ada etrafına rastgele gelen dalga profili ile tsunamilerin yayılımı için elde edilmiştir. Bu teorinin geçerliliği iki laboratuvar veri seti ile karşılaştırarak doğrulanmıştır. Adanın kıyı çizgisi boyunca maksimum tırmanma yüksekliği ve tırmanma yüksekliği dağılımının dalga profiline etkileri bu teoriye dayanarak tartışılmıştır [23].

Teng v.d. (2000 a,b) yaptığı çalışmada, hem düz hem de pürüzlü kıyılarda kırılmayan solitary dalgaların maksimum tırmanmasını deneysel çalışmalarla incelemiştir. Düz kıyılar 1.22 x 2.44 m'lik cilalı kontrplaktan veya pleksiglas levhadan yapılmıştır. Kontrplak levhanın yüzeyi dolgu macunu ile geçirimsiz hale getirilmiş ve pürüzsüzlüğü sağlamak için boyanmıştır. Bu plaka pürüzsüz eğimi simüle etmek için tırmanma ölçümlerinde kullanılmıştır. Pürüzlü kıyı pleksiglas levhanın yüzeyine küçük çakıllar yapıştırılarak oluşturulmuştur. Farklı eğimler ve taban pürüzlülükleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarında dik eğimli kıyılarda ( $20^0$ ) viskozite ve pürüzlülüğün maksimum tırmanma üzerinde etkisinin az olduğu sonucuna varmışlardır. Bu durumda viskozitenin ihmal edildiği uzun dalga teorilerinin tırmanma yüksekliğini belirlemede yeterli olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca hafif eğimli kıyılar üzerinde viskozite ve pürüzlülüğün çok etkili olduğunu ve viskozitenin ihmal edildiği durumlarla karşılaştırıldığında maksimum tırmanmanın %50'den daha fazla azaldığını bulmuşlardır [24, 25].

Hall ve Watts (1953)'de 1:1 şev eğiminde geçirimsiz yüzeyde solitary dalga tırmanması için ampirik bir bağıntı önermiştir. Bu bağıntı denklem 1.3'de görülmektedir:

$$\frac{R}{d} = 3.1 \left( \frac{H}{d} \right)^{1.15} \quad (1.3)$$

Burada, H, dalga yüksekliğini; d, su derinliğini ve R, tırmanma yüksekliğini göstermektedir. Müller (1995)'de solitary dalga tırmanmasını (1.4) ifadesi ile aşağıdaki gibi vermiştir:

$$\frac{R}{d} = 1.25 \left( \frac{\pi}{2\beta} \right)^{0.2} \left( \frac{H}{d} \right)^{1.25} \left( \frac{H}{L} \right)^{-0.15} \quad (1.4)$$

Burada, H, dalga yüksekliğini; d, su derinliğini; R, tırmanma yüksekliğini;  $\beta$ , şev eğimini; L, dalga uzunluğunu göstermektedir [26].

Li ve Raichelen (2001) tarafından yapılan çalışmada, sabit derinlikte açık denize bağlı uniform eğimli kıyı üzerinde solitary dalgaların tırmanması incelenmiş, tırmanma işlemi sırasında dalgaların kırılmadığı belirtilmiştir. Solitary dalgaların tırmanması için Carrier ve Greenspan (1958) dönüşümlerine dayalı bir nonlinear teori sunulmuştur. Nonlinear tırmanma teorisinin doğruluğunu ispatlamak için deneyler 15.25 m uzunluğunda, 39.6 cm genişliğinde, 61 cm derinliğinde yan duvarları camdan ve tabanı boyalı yapı çeliğinden oluşan yatay dalga tankında yapılmıştır. Tüm deneylerde su derinliği 21.51 cm'dir. Dalgalar, hidrolik silindirle çalışan programlanabilir düşey bölme kullanılarak üretilmiştir. Dalgalar, Goring (1978)'e göre üretilmiştir. Tüm dalga ölçerler deneylerden önce ve sonra kalibre edilmiştir. Deneyde 0.64 cm kalınlığında ve 2.83 m uzunluğundaki alüminyum levha ile oluşturulan düz kıyı, dalga üreticisinden 12.35 m uzaklıkta şevin bitimine yerleştirilmiştir. Kıyı eğimi ayarlanabilir; bu deneyler için eğim 1:2.08 alınmıştır. Bu eğim oldukça büyük açık deniz dalga yüksekliğinin tırmanma ya da geri dönüş sırasında dalganın kırılmaksızın kullanılabilmesi için seçilmiştir. Eğim üzerinde

zamanla değişen su yüzeyi yükseklikleri, başlangıç kıyı çizgisinin hem altında hem de üstünde eğim üzerinde tek proba bağlı olan kapasitans tipi dalga ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Eğim üzerinde sığlaşma, tırmanma ve geri dönüş sırasındaki dalga profili yüksek hızlı video kamera kullanılarak belirlenmiştir. Nonlineer teori deney sonuçları ile uyum göstermiştir. Maksimum tırmanma bağıntıları (1.5a-d) denklemleri ile verilmiştir:

$$\frac{R}{d} = \frac{R_s}{d} + \frac{R_{cr}}{d} = \frac{R_s}{d} \left( 1 + \frac{R_{cr}}{R_s} \right) \quad (1.5-a)$$

$$\frac{R_s}{d} = 2.831 \sqrt{\cot \beta} \left( \frac{H}{d} \right)^{5/4} \quad (1.5-b)$$

$$\frac{R_{cr}}{d} = 0.293 (\cot \beta)^{3/2} \left( \frac{H}{d} \right)^{9/4} \quad (1.5-c)$$

$$\frac{R_{cr}}{R_s} = 0.104 \cot \beta \left( \frac{H}{d} \right) \quad (1.5-d)$$

burada  $R_s/d$ , Synolakis (1987) tarafından bulunan tırmanma,  $R_{cr}/d$  sunulan teoriden bulunan tırmanma,  $R_{cr}/R_s$  nonlineer düzeltme terimidir. Nonlineer teori ile önerilen maksimum tırmanmanın ilk önerilenden %10 daha büyük olduğunu belirtmişlerdir [3].

Melito, Mello (2002)'de düzensiz dalga koşullarında CORE-LOC koruma tabakasında dalga tırmanmasını ve ilerlemesini deneysel olarak incelemişlerdir [27]. Carrier v.d (2003)'de sığ su dalga teorisine bağlı uniform eğimli kıyılar üzerinde tsunami dalgasının tırmanmasını ve geri çekilmesini değerlendirmişlerdir [28].

## **1.1.2 Dinamik Stabilitenin Tanımı**

### **1.1.2.1 Dinamik Stabilité Kavramı**

Gelen dalga kıyıya yakın bölgede değişime uğrar ve sonra kırılır. Daha sonra dalga kıyıda belli bir noktaya kadar tırmanır ve yerçekimi etkisi ile geri döner. Bu olaylar esnasında büyük miktarlarda katı madde taşınımı meydana gelir. Belli sayıdaki dalga sonunda kıyıdaki profil değişimi sona erer ve profil stabil konuma gelir. Profil oluşumunun üst limiti dalganın tırmandığı son nokta, alt limiti ise katı madde hareketinin başlangıç noktasıdır. Bu bölgedeki tüm katı maddeler hareket halindedir. Bu koşullarda büyük miktarlarda katı madde taşınımı olmasına rağmen net katı madde taşınımı sıfırdır. Bu durum dinamik stabiliteyi tanımlar.

### **1.1.2.2 Dinamik Hasar Kavramı**

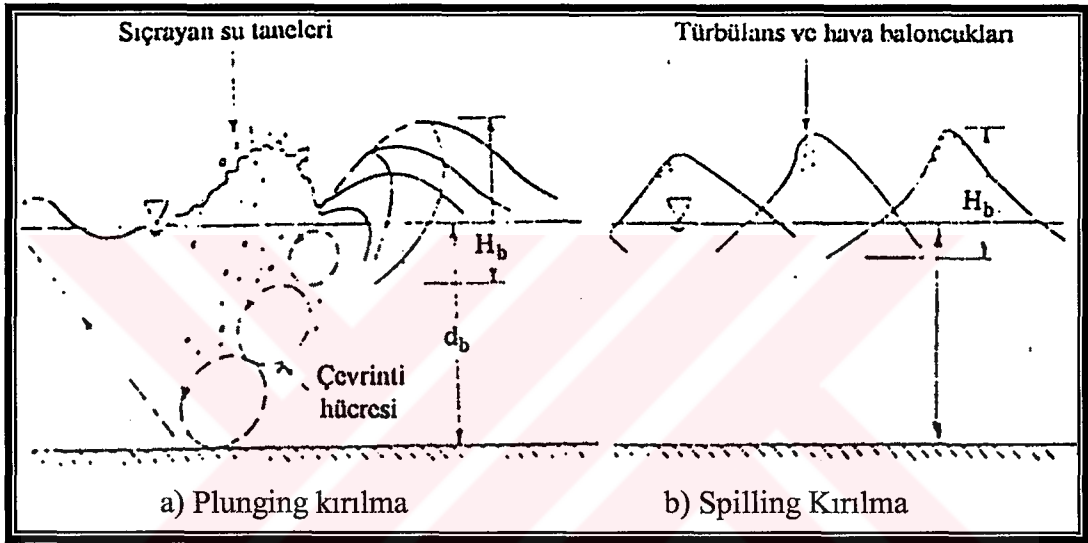
Dinamik hasar dalga etkisi altında kıyıda erozyona uğramış bölgenin alanı olarak tanımlanabilir. Hasarın farklı şekillerde de tanımlanması mümkündür. Örneğin erozyona uğramış bölgenin alanı yanında, katı maddenin toplandığı bölgenin alanı da hasar parametresi olarak kullanılabilir. Van der Meer (1988), çalışmasında dinamik hasarı tanımlarken erozyona uğrayan ve katı maddenin toplandığı bölgeyi çeşitli yükseklik ve uzunluk ölçülerini kullanarak tanımlamıştır [29].

### **1.1.2.3 Dinamik Stabilité Üzerinde Yapılan Çalışmalar**

Popov (1960), 1:3 eğimli kıyı profili üzerinde yaptığı deneyler sonunda dinamik stabiliteyi, malzeme taşınımının aşağı doğru olduğu bölgeyi belirlemek suretiyle tanımlamıştır.

Savagari ve Ivata (1974), plunging ve spilling tip kırılan dalgalar üzerinde laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Çalışmadan elde edilen gözlemler Şekil 1.1'de

görülmektedir. Sonuçta plunging tip kırılmada dalgalar su yüzeyine kıvrılarak çarptığında su tekrar sıçrar ve tabana kadar ulaşan çevrinti hücresi oluşturur. Oluşan çevrinti hücresi 0.5-1 dalga periyodu kadar süre sonunda yüzeye çıkar. Bu süre içinde enerjisinin %75'ini harcar. Spilling tip kırılan dalgaların yüzeye çarptığında oluşturduğu türbülans tabana kadar ulaşmaz. Dalga enerji kaybı çok yavaş olur. Enerjisinin yaklaşık %75'inin harcanması için dalganın taban üzerinde en az beş dalga boyu ilerlemesi gerekir. Yani plunging tip dalganın kıyı profili değişimine daha büyük bir etkisinin olduğu söylenebilir [30].



Şekil 1.1 Plunging ve spilling tip dalga gözlemleri [30]

Van Hijum ve Pilarczyk (1982), düzenli dalga için 1:10 ve 1:5 eğimlerinde, kısa süreli fırtına durumunda ( $H_s/\Delta.D_{n50} = 3-32$ ) aralığı için deneysel çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda fırtına durumunun sonuç profile çok büyük bir etkisinin olmadığını gözlemişlerdir. Bu çalışmanın daha önce Popov (1960) tarafından yapılan çalışmadan tek farkı sonuç profildeki kum tepesinin altında sıçramanın oluşmasıdır.

Peregrine (1985), çalışmasında plunging tip kırılma ile su yüzeyine çarpan su jetinin meydana getirdiği sıçrama nedeniyle bazı durumlardaki dalga yüksekliğinin ilk durumlardaki dalga yüksekliğinden daha fazla olabileceğini görmüştür [30].

Powel (1986), plaj koşulunda 1:5.5 eğimde 2-4 mm çapında malzeme kullanarak ve monokromatik dalga vererek yaptığı deneyde ( $H_s/\Delta.D_{n50} = 3-30$ ) daha önce yapılan çalışmalara ek olarak bir sonuca ulaşamamıştır [29].

Pilarczyk ve Boer (1983), Vellinga (1986), Meer ve Pilarczyk (1987) bu konu ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmışlardır [31]. Bu çalışmaların en kapsamlısını olanı Van der Meer (1988) yapmıştır. Bu çalışmalarda dinamik stabilite çeşitli uzunluk, yükseklik ve eğimle tanımlanmıştır.

Kabdaşlı v.d. (1995), plunging tip kırılan dalgaların kırılmanın olduğu birkaç dalga boyluk bölgede büyük enerji harcaması meydana getirdiğini ve enerji harcanırken de tabana büyük miktarda kuvvet uyguladığını dolayısıyla dinamik profil değişimine büyük etkisinin olduğunu belirlemişlerdir [29].

Kobayashi v.d (1996), yaptıkları deneysel çalışmalarda dalga etkisi ile kıyıda oluşan profil değişimlerinin gelen dalgaların yansımaları üzerine büyük etkisinin olduğunu ve oluşan profillerden, eğim ve su derinliğinin belirlenebileceğini ifade etmişlerdir [32].

Grasmeijer ve Van Rijn (1999), düzensiz dalga etkisi altında ve Jonswap dalga spektrumunu kullanarak yaptıkları deneysel çalışmalarında, dalga ve akıntı etkisi ile oluşan katı madde taşınımını ve bar formasyonunun bu taşınım üzerine etkilerini araştırmışlardır [33].



## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Uzun dönemli dalgalar sınıfında yer alan tsunamiler derin sularda hızlı, sığ sularda yavaş hareket ederler. Rüzgar dalgalarından farklı olarak çok daha uzun periyotlu olurlar ve dalganın altında bulunan su moleküllerinin birbirini iterek yer değiştirmesi ile hareket ederler. Kıyılara gelen dalga, denizin önce geri çekilmesi, veya karaya doğru ilerlemesi, ardından da karada dalga tırmanması ve su taşınımı oluşturur. Bunun sonucu olarak da kıyılarda şiddetli akıntılar ve su düzeyi değişimleri gerçekleşir. Tsunamiler kıyıya doğru ilerlerken kıyı batimetrisindeki değişimle birlikte iç kısımlara doğru ilerleyerek can ve mal kaybına neden olurlar. Örneğin, Temmuz 1998'de Papua Yeni Gine'de meydana gelen olay 2000'den fazla ölümlerle ve büyük yıkımla sonuçlandı. 1999 Kocaeli depremi ile ortaya çıkan tsunami Marmara Denizi kıyı alanları üzerindeki potansiyel bir tehlikeyi bir kez daha gözler önüne sermiştir. Gerçekten tsunamilerle oluşan zararın çoğu kıyı çizgisinde tırmanmayla ilgilidir. Kıyı yapılarının boyutlandırılmasında bu nedenle tırmanmayı anlamak ve önceden tahmin edebilmek önemli olmaktadır.

Bu dalganın sığ bölgelere geldiğinde gösterdiği dalga profili tek (solitary), knoidal veya N dalga biçimine benzetilebilir. Literatürde uzun dalgalarının tırmanma yüksekliği ile ilgili deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Mevcut çalışmalarda tsunami dalgası solitary dalgaya benzetilerek Goring (1978) tarafından önerilen düşey bir levhanın yatay yönde hareket ettirilmesiyle üretilmiştir. Bu çalışmada, deniz tabanındaki ani hareketi simule etmek için yatay bir levhaya bağlı piston düşey yönde hareket ettirilerek tsunami dalga üretim sistemi geliştirilmiştir. Tez kapsamında geçirimsiz, kaplamasız ve kaplamalı eğimli kıyılar üzerinde uzun dalgaların tırmanma yüksekliği deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca kaplamasız ve kısmi kaplamalı yüzeylerde tsunamilerin oluşturduğu profil değişimleri incelenmiştir.

İkinci bölümde, konu ile ilgili denklemler ve tırmanma yüksekliği ve erozyon alanına etki eden etmenler anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, deney düzeneği, deneyler sırasında kullanılan malzemelerin özellikleri ve deney yöntemine yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, deney sonuçları değerlendirilmiştir. Beşinci bölümde, dinamik

stabiliteye ve tırmanma yüksekliğine etkiyen temel değişkenler  $\pi$  teoremi kullanılarak boyutsuz büyüklüklere dönüştürülmüş ve boyutsuz tırmanma yüksekliği ve boyutsuz erozyon alanı için bağıntılar önerilmiştir. Altıncı bölümde, geçirimsiz ve düz eğimler için elde edilen sonuçlar daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür. Kaplamasız ve kaplamalı yüzeyler için önerilen denklemler arasında bağıntı kurulmuştur. Ayrıca kaplamasız durum için elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği ile boyutsuz erozyon alanı arasındaki bağıntı gösterilmiştir.



## 2. TEORİK YAKLAŞIM

### 2.1 Temel Denklemler

Uzun dalga sınıfında yer alan tsunamilerin dalga uzunluğu birkaç yüz kilometre gibi oldukça büyüktür ve okyanusun derin kısımlarında genliği genellikle bir metre mertebesinde dir. Tsunami gibi uzun dalgaların yayılması sırasında Ursell parametresi ( $U_r$ ) önemlidir ve 2.1 denklemi ile ifade edilir:

$$U_r = \frac{H}{d} \frac{1}{(kd)^2} = \frac{kH}{(kd)^3} \quad (2.1)$$

Burada;

H: açık denizdeki dalga yüksekliğini,

d: derinlik,

$k = 2\pi / L$

L : karakteristik yatay uzunluk

tur. Ursell parametresi frekans dağılımını ve nonlinear etkilerin önemini belirlemede kullanılır. Hem  $H/d \ll 1$  hem de  $d/L \ll 1$  olduğu zaman frekans dağılımı ve nonlinear etkiler ihmal edilebilir ve yayılmayı tanımlamak için lineerleştirilmiş sıg su denklemleri yeterli olabilir [3] .

Açık denizden sabit derinlikteki uniform eğimli kıyı üzerine gelen iki boyutlu uzun dalga tırmanması göz önüne alındığında (Şekil 2.1) klasik nonlinear sıg su denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\eta_t + (u(h+\eta))_x = 0 \quad (2.2)$$

$$u_t + uu_x + g\eta_x = 0 \quad (2.3)$$

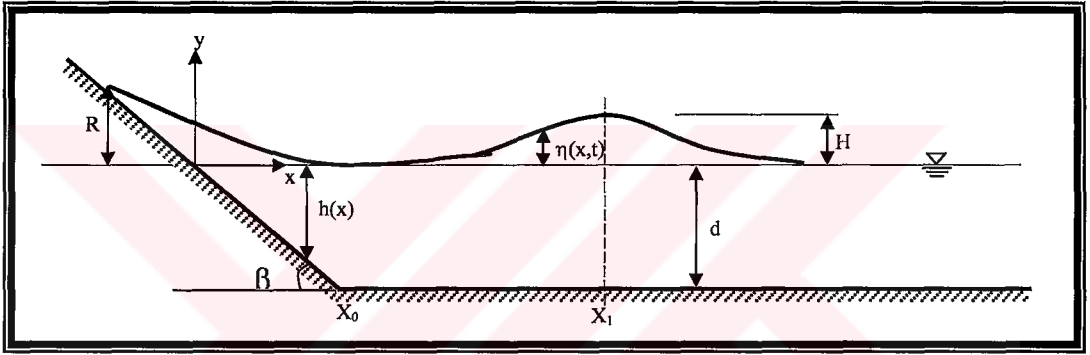
Burada  $\eta$  dalga genliği,  $u$  ortalama derinlikteki hız ve  $g$  yerçekimi ivmesidir. (2.2) ve (2.3) denklemlerindeki boyutsuz değişkenler aşağıda verilmiştir:

$$x^* = x / d ; h^* = h / d ; \eta^* = \eta / d ; t^* = t \sqrt{g/d} ; u^* = u / \sqrt{g d}$$

$h_0$ , eğim önündeki sabit su derinliğidir. Boyutsuzlaştırılmış sıg su denklemleri (2.4) ve (2.5) denklemleriyle ifade edilebilir:

$$\eta_{t^*}^* + (u^*(h^* + \eta^*))_{x^*} = 0 \quad (2.4)$$

$$u_{t^*}^* + u^* u_{x^*}^* + \eta_{x^*}^* = 0 \quad (2.5)$$



Şekil 2.1 Solitary dalga tırmanması

Kullanılan modeldeki (Şekil 2.1) derinlik bağıntısı,

$$h(x) = \begin{cases} 1 & x \geq X_0 \\ x \tan \beta & x < X_0 \end{cases}$$

Nonlinear ve dispersiv etkiler ihmal edilirse (2.4) ve (2.5) bağıntıları küçük genlikli uzun dalga denklemini elde etmek için lineerleştirilebilir.:

$$\eta_{tt} - (\eta_x h)_s = 0 \quad (2.6)$$

Sabit derinlik ( $d = 1$ ) için (2.6) bağıntısının genel çözümü

$$\eta(x,t) = A_i e^{-ik(x+ct)} + A_r e^{ik(x-ct)} \quad (2.7)$$

Burada;  $A_i$  ve  $A_r$  gelen ve yansıyan dalganın genlikleri,  $c$ , sabit derinlikteki boyutsuz dalga hızı ( $c=1$ ),  $k$ , dalga sayısı ( $2\pi / L$ )'dir. Lineer olarak değişen derinlik için (2.6) bağıntısının lineer çözümü (2.8) denklemi gibi yazılabilir:

$$\eta(x, t) = B(k, \beta) J_0(2k\sqrt{x\cot\beta}) e^{-ikct} \quad (2.8)$$

Keller ve Keller (1964) eğimin ucunda (yani  $X_0$  da) tüm batimetri için  $A_i(k, \beta)$  terimine göre  $A_r(k, \beta)$  ve  $B(k, \beta)$  için bir çözüm önermiştir (2.9-a ve 2.9-b):

$$A_r(k, \beta) = A_i \exp\left(-2ik\cot\beta + 2i \arctan\left[\frac{J_0(2kX_0)}{J_1(2kX_0)}\right]\right) \quad (2.9-a)$$

$$B(k, \beta) = \frac{2 \exp(-2ikX_0) A_i}{J_0(2kX_0) - iJ_1(2kX_0)} \quad (2.9-b)$$

$x = X_0$ 'da lineer gelen dalgalar süperpoze edilirse eğim ucundaki dalga genliği için aşağıdaki (2.10) denklemi elde edilir:

$$\eta(X_0, t) = \int_{-\infty}^{\infty} A_i(k) e^{-ikct} dk \quad (2.10)$$

$0 < x < X_0$  bölgesindeki dalga genliği (2.11)'den belirlenebilir:

$$\eta(x, t) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} A_i(k) \frac{J_0(2k\sqrt{xX_0}) e^{-ik(X_0+ct)}}{J_0(2kX_0) - iJ_1(2kX_0)} dk \quad (2.11)$$

Bu çözüm yalnız  $0 < x < X_0$  bölgesi için geçerlidir. Bununla birlikte başlangıç kıyı çizgisinde nonlineer etkiler ihmal edilmeyebilir.

Carrier ve Greenspan (1958)'de periyodik dalgalar için (2.4) ve (2.5) denklemlerinin çözümünde hiperbolik sistemlerin Riemann sabitlerini hesaba katarak aşağıdaki dönüşümleri önermiştir:

$$u = \frac{\psi_\sigma}{\sigma}; \quad x = \left( \frac{\sigma^2}{16} - \frac{\psi_\lambda}{4} + \frac{u^2}{2} \right) \cot\beta \quad (2.12-a,b)$$

$$t = \left( \frac{\psi_\sigma}{\sigma} - \frac{\lambda}{2} \right) \cot\beta; \quad \eta = \frac{\psi_\lambda}{4} - \frac{u^2}{2} \quad (2.12-c,d)$$

Dikkat edilirse Carrier ve Greenspan (1958) aslında normalleştirilmiş derinlik değişimini dalganın karakteristik dalga uzunluğuna ve kıyı eğimine göre belirtmiştir. Solitary dalgalarda bu yaklaşımın uygulanması için karakteristik uzunluk açık deniz derinliğinin bir fonksiyonu olmalıdır ve kırılmayan dalgalar için tırmanma işlemi sırasında değişmeden kalmalıdır.

(2.4) ve (2.5) denklemleri aşağıdaki basit lineer denkleme indirgenebilir:

$$(\sigma \psi_\sigma)_\sigma = \sigma \psi_{\lambda\lambda} \quad (2.13)$$

(2.12-b) denkleminde kıyı çizgisinde daima  $\sigma = 0$  olduğu görülür. Fourier dönüşümü kullanılarak (2.13) denklemini  $\sigma = \sigma_0$  ve  $\psi(\sigma_0, k) = F(k)$  sınır koşulundan çözülebilir;  $\sigma = 0$  ve  $\sigma = \infty$  sınırlarında bu çözüm (2.14) denkleminle ifade edilir:

$$\psi(\sigma, \lambda) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty F(k) \frac{J_0(k\sigma)}{J_0(k\sigma_0)} e^{ik\lambda} dk \quad (2.14)$$

(2.13) bağıntısı için bir çözüm belirlemedeki zorluklar  $(x, t)$  aralığından  $(\sigma, \lambda)$  aralığına kadar sınır şartlarını dönüştürmek ve özel sınır şartlarını belirlemektir. Bundan kurtulmak için Synolakis (1987)'de  $\psi_\lambda \ll \sigma^2/16$  ve  $\psi_\sigma/\sigma \ll \lambda/2$  varsayımı altında Carrier ve Greenspan (1958) dönüşümlerini basitleştirmiştir:

$$u = \frac{\psi_\sigma}{\sigma}; \quad x = \frac{\sigma^2}{16} \cot\beta \quad (2.15-a,b)$$

$$t = \left( -\frac{\lambda}{2} \right) \cot\beta; \quad \eta = \frac{\psi_\lambda}{4} \quad (2.15-c,d)$$

Synolakis (1987)'de eğimin ucundaki denize doğru sınır şartını  $x=X_0$  seçmiştir (( $\sigma,\lambda$ ) aralığında  $\sigma=\sigma_0=4$ 'tür). ( $\sigma,\lambda$ ) düzlemindeki  $F(k)$  sınır şartı (2.14)'den bulmuştur ve sonuç olarak (2.11) bağıntısını kıyı çizgisinde  $\eta(x_s,t)$  dalga genliği olarak kabul etmiştir ( $\sigma_s=0$  eşit ise kıyı çizgisi  $x_s$  belirlenir). Synolakis (1987)'de kıyı çizgisindeki hızı  $u_s$  olarak tanımlamış ve kıyı çizgisindeki genlik için aşağıdaki (2.16) denklemini elde etmiştir:

$$\eta(x,t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{A_i \exp(-ik(X_0 + ct))}{J_0(2kX_0) - iJ_1(2kX_0)} dk - \frac{u_s^2}{2} \quad (2.16)$$

Kıyı çizgisindeki hız sıfır olduğu zaman maksimum tırmanma noktasına ulaşılmıştır.  $t=0$  iken  $x=X_1$  durumunda solitary dalga kullanılarak yüzey profili (2.17) bağıntısı ile tanımlanır:

$$\eta(x,0) = \frac{H}{d} \operatorname{sech}^2 \left( \sqrt{\frac{3H}{4d}} (x - X_1) \right) \quad (2.17)$$

Burada,  $H$ : sabit su derinliğindeki ( $h=d$ ) dalga yüksekliği,  $X_1$  eğimin ucundan denize doğru olan mesafe ( $X_1 = L/2$ )'dir. Solitary dalga için  $L$  dalganın karakteristik uzunluğu (2.18) bağıntısı ile belirlenir:

$$L = \frac{2}{\sqrt{\frac{3H}{4d}}} \left[ \operatorname{arccosh} \left( \sqrt{\frac{1}{0.05}} \right) \right] \quad (2.18)$$

Çok sığ su şartlarında solitary dalgalar uzun yatay dalga çukuru ve çok dik tepeli bir görünüm alırlar. Bu durumda ardışık dalgalar birbirlerinden bağımsız olarak göz önüne alınabilirler ve dalga periyodu artık dalga özelliklerinin gelişiminde etkin parametre olmaktan çıkar. Solitary dalga teorisi tekil bir dalga gibi düşünülür. Solitary dalga cnoidal dalgaya ait eliptik parametrenin ( $k$ ) bire yaklaştığı ( $E(k) \rightarrow$ ,

$K(k) \rightarrow \infty$  özel bir haldir.  $H/d$ 'nin birinci mertebeden dikkate alındığı denklemler aşağıdaki gibi verilmiştir [34].

$$\eta = H \operatorname{sech}^2 \sqrt{\frac{3}{4} \frac{H}{d^3}} (x - ct) \quad (2.19)$$

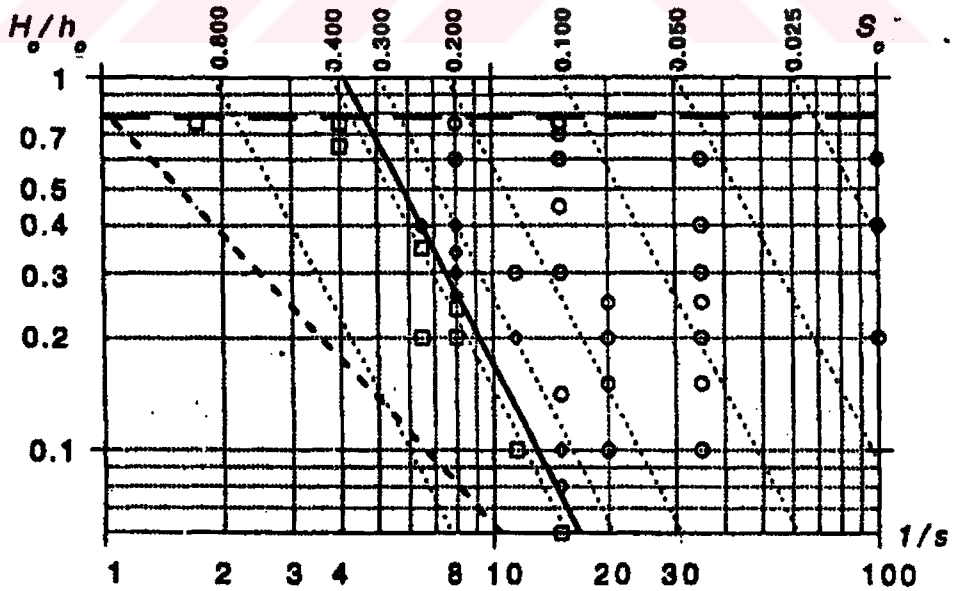
$$c = \sqrt{gd} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{H}{d} \right) \quad (2.20)$$

$$u = \frac{\eta}{d} \sqrt{gd} \quad (2.21)$$

## 2.2 Solitary Dalgaların Kırılma Kriteri

Grilli v.d. (1997)'de kırılan ve kırılmayan solitary dalgalar arasındaki sınırı belirten kırılma kriterini (Şekil 2.2'de koyu çizgi ile belirtilmiş) en küçük kareler metodunu kullanarak aşağıdaki (2.22) ifadesi ile belirlemiştir:

$$H/d > 16.9 s^2 \quad (2.22)$$



Şekil 2.2 Solitary dalganın kırılma kriteri [19]



Son yıllarda düz eğimlerde solitary dalgaların kırılma karakteristiklerini ve kırılma kriterlerini tanımlamak için birçok çalışma yapılmıştır. Ippen ve Kulin (1954) tarafından yapılan deneyler ve bu deneylere bağlı olarak Camfield ve Street (1969)'da  $12^0$ 'den (veya  $s > 1:4.7$ ) daha büyük eğimler için kırılmanın oluşmadığına karar vermişlerdir [19].

Grilli v.d. (1997) yaptığı çalışmada potansiyel akım denklemlerine dayalı tam nonlinear dalga modelini kullanarak 1:100 eğimden 1:8 eğime kadar solitary dalgaların sığlaşma ve kırılmasını hesaplamıştır. Çalışmada,  $S_0$  boyutsuz eğim parametresine bağlı kırılma kriteri verilmiştir. Solitary dalgalar için tanımlanan boyutsuz eğim parametresi (kırılma kriteri) Denk. 2.23'den elde edilmiştir [19].

$$S_0 = \frac{s.L_0}{d} = 1,521 \frac{s}{\sqrt{H/d}} \quad (2.23)$$

Burada;  $s$ , şev eğimini ve  $(H/d)$  boyutsuz dalga yüksekliğini ifade etmektedir.  $S_0$  parametresine göre üç tip kırılma aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

Surging tipi kırılma;  $0,3 < S_0 < 0,37$

Plunging tipi kırılma;  $0,025 < S_0 < 0,30$

Spilling tipi kırılma;  $S_0 < 0,025$

Grilli v.d.  $S_0 > 0,37$  ise tek dalgaların kırılmadığını hem hesaplarla hem de deneylerle göstermişlerdir.

Bir önceki bölümde uzun dalgaların tırmanma yüksekliği üzerine yapılan çalışmalarda uzun dalgaların tırmanma yüksekliğinin hem deneysel hem de nümerik olarak incelendiği görülmektedir. Bu çalışmalarda yapılan deneylerde genellikle pürüzsüz düz levha üzerindeki tırmanma yüksekliği incelenmiş ve nümerik modeller ile doğrulanmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı yüzeyde oluşan kıyı üzerinde tsunami dalgalarının tırmanma yüksekliği sığ su dalga denklemlerini çözmedeki karmaşıklık nedeniyle burada deneysel olarak incelenecektir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesine geçmeden önce konu ile ilgili değişkenler daha önce yapılan

çalışmalar ve konunun özellikleri dikkate alınarak belirlenmiş ve tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler aşağıda verilmiştir:

Dalga yüksekliği (H): Tırmanma yüksekliği parametresinin doğrudan fonksiyonu olan dalga yüksekliğindeki artış ile tırmanma yüksekliği artmaktadır.

Eğim ( $\alpha$ ): Yapılan çalışmalar eğimdeki artışın tırmanma yüksekliğini azalttığını göstermiştir. Bu çalışmada kırılma için sınır değer olan 1:5 eğim seçilmiştir.

Çap (D): Çalışmada doğal plaj kumu kullanılmıştır.

Kum birim hacim ağırlığı ( $\gamma_{sp}$ ): Yapılan deneyler, kum birim hacim ağırlığındaki azalmanın tırmanma yüksekliğini azalttığını göstermiştir.

Kaplama malzemesi çapı ( $D_{n50}$ ): Kaplama malzemesi çapının artışının tırmanma yüksekliğini azalttığı görülmüştür.

Kaplama malzemesi birim hacim ağırlığı ( $\gamma_{st}$ ): Kaplama malzemesinin birim hacim ağırlığı azalmasıyla tırmanma yüksekliği azalmaktadır.

Su derinliği (d): Yapı önündeki su derinliği arttıkça tırmanma yüksekliği azalmaktadır.

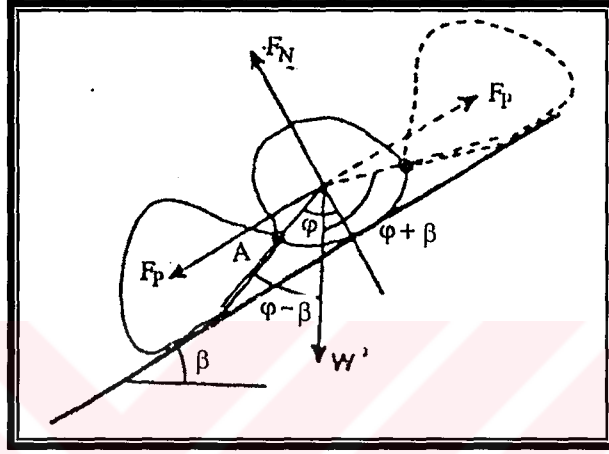
Buna göre tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler aşağıda özetlenmiştir:

$H, D, d, \gamma_{sp}, \alpha, \gamma_{st}, D_{n50}$   $\Rightarrow$  Etkili parametreler

Tırmanma yüksekliği  $\Rightarrow$  Ölçüm parametresi

### 2.3 Şev Üzerinde Birim Katı Maddenin Dengesi

Şev eğimi  $\alpha$  olan bir kıyı bölgesindeki birim katı maddeye etki eden kuvvetler şematik olarak Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Burada  $\varphi$ , danelerin birbirine değdiği nokta (A) ile danenin ağırlık merkezi arasındaki açıdır. Ayrıca kuvvet dengesi yazılırken danenin tam küre olduğu kabulü yapılmıştır.



Şekil 2.3 Şev üzerindeki birim katı maddeye etki eden kuvvetler [29]

Buna göre şev üzerindeki birim katı maddeye etki eden kuvvetler aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$F_N \cdot \sin(\varphi) \cdot \frac{D}{2} + F_P \cdot \cos(\varphi) \cdot \frac{D}{2} = gW' \sin(\varphi - \beta) \cdot \frac{D}{2} \quad (2.24)$$

$$W' = (\rho_a - \rho_w) \cdot D^3 \quad (2.25)$$

Hudson (1959),  $F_N$  ve  $F_P$ 'yi dalga yüksekliği ile aşağıdaki gibi ilişkilendirilmiştir:

$$F_N = \rho_w \cdot g \cdot C_1 \cdot D^2 \cdot H \quad (2.26)$$

$$F_P = \rho_w \cdot g \cdot C_2 \cdot D^2 \cdot H \quad (2.27)$$

Burada,  $W'$ , birim danenin su içerisindeki ağırlığı;  $\rho_a$ , dane yoğunluğu;  $\rho_w$ , suyun yoğunluğu;  $D$ , dane çapı;  $g$ , yerçekimi ivmesi;  $H$ , dalga yüksekliği;  $C_1$ , normal

doğrultudaki dalga kuvveti katsayısı;  $C_2$ , şev yüzeyine paralel doğrultudaki dalga kuvveti katsayısı;  $F_N$ , normal doğrultudaki dalga kuvveti;  $F_P$ , şev yüzeyine paralel doğrultudaki dalga kuvvetidir.

Yukarıdaki bağıntılar incelendiğinde, denge durumundaki birim katı madde küçük eğimli şevde daha büyük, büyük eğimli şevde ise daha küçük dalga etkisi ile harekete geçer [29].

## 2.4 Dalga Enerjisinin Harcanması

Dinamik profil üzerinde dalga enerjisi katı madde taşınımının fazla olduğu bölgede daha fazla harcanacaktır. Yani taşınan katı madde miktarının dalga enerjisinin harcanması ile orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Kıyı üzerinde yatayla belli bir  $\beta$  açısı yapan bir birim alan düşünüldüğünde tırmanma sırasındaki su kütesinin kıyıya doğru hareketinde, katı madde hareketine yol açan sürtünme ile oluşan enerji kaybı ( $\Delta E_1$ ), taşınan katı madde miktarı ve bunların katettiği uzunluk ( $x$ ) ile orantılı olacaktır. İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve hareket eden katı madde kütlesi ( $m$ ) olduğunda enerji kaybı denklem (2.28)'deki gibi yazılabilir:

$$\Delta E_1 = a \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} g m_1 x_1 \cos \beta (\operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \beta) \quad (2.28)$$

Burada  $a$ , orantı katsayısı;  $\rho_s$ , katı madde yoğunluğu;  $\rho$ , suyun yoğunluğudur (Bagnold, 1963).

Diğer bazı enerji kayıpları nedeniyle geri dönüş sırasında meydana gelen enerji kaybı ( $\Delta E_2$ ), daha küçük olacaktır.

$$\Delta E_2 = a \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} g m_2 x_2 \cos \beta (\operatorname{tg} \phi + \operatorname{tg} \beta) \quad (2.29)$$

Eğer profil denge konumunda ise tırmanma ve geri dönüş sırasında eşit miktarda katı madde taşınımı meydana gelir. Yani,

$$m_1 \cdot x_1 = m_2 \cdot x_2 \quad (2.30)$$

şeklinde yazılabilir. Buna göre;

$$\Delta E_2 = c_f \cdot \Delta E_1 \quad (2.31)$$

ifadesi yazılabilir. Burada  $c_f$ ,

$$c_f = \frac{\operatorname{tg}\phi - \operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\phi + \operatorname{tg}\beta} \quad (2.32)$$

ifadesi ile tanımlanabilir.

Yukarıdaki ifadeler incelendiğinde dinamik profil değişimine yerel geometrinin büyük etkisinin olduğu görülür [29].

Konu ile ilgili değişkenler daha önce yapılan çalışmalar ve konunun özellikleri dikkate alınarak belirlenmiş ve erozyon alanına etki eden parametreler aşağıda verilmiştir:

**Dalga yüksekliği (H):** Dalga yüksekliğindeki artış erozyon alanını artırmaktadır.

**Eğim ( $\alpha$ ):** Yapılan çalışmalarda şev eğiminin profil değişimi üzerinde büyük etkisinin olduğu belirtilmiştir. Şev eğimi azaldıkça erozyon alanı da azalacaktır.

**Çap (D):** Daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan malzeme çapı arttıkça profil değişiminin azaldığı görülmüştür. Burada yapılan deneylerde doğal plaj kumu kullanılmıştır.

Su derinliği (d): Yapı önündeki su seviyesinin fazla olması durumunda daha fazla malzeme hareketinin olduğu yapılmış çalışmalardan belirlenmiştir. Burada dalga kanalının özelliğine bağlı olarak daha önceki çalışmalarda belirlenmiş en uygun su derinliği kullanılmıştır.

Buna göre erozyon alanına etki eden parametreler aşağıda özetlenmiştir.

H,D,d,  $\alpha$

⇒

Etkili parametreler

Erozyona uğrayan bölge alanı

⇒

Ölçüm parametresi



### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde deneysel kısmın gerçekleştiği deney düzeneği, dalga üretici sistem ile deneysel verilerin kaydedildiği ve bu verilerin işlendiği sistem aşağıda anlatılmıştır.

#### 3.1 Deney Sistemi

##### 3.1.1 Dalga Kanalı

Deneyler İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan boyu 22.5 m, genişliği 1.0 m ve yüksekliği 0.50 m olan dalga kanalında yapılmıştır. Dalga kanalının yan duvarları deneylerin daha iyi gözlenebilmesi için camdan yapılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Dalga kanalı

### 3.1.2 Dalga Üretici Sistem

Dalga kanalına yerleştirilen 0.97×2.0×0.002 m boyutundaki yatay bir levha PHS16B mafsalı ile pnömatik silindire bağlanarak tsunami dalga üretim sistemi oluşturulmuştur. Pnömatik sistemde kullanılan basınçlı havanın üretimi kompresör (sıkıştırıcı) tarafından gerçekleştirilmektedir. Basınçlı hava üretimi merkezi bir basınç kaynağından alınarak sisteme hortumla iletilmiştir.

Sıkıştırılmış hava, pnömatik sistemde su damlacıkları, toz, kompresör yağlama yağı artıkları, pas parçacıkları, çapaklar v.s. gibi sakıncalar doğurabilecek maddeler içermektedir. Sistemdeki tüm elemanlar sıkıştırılmış hava ile temas halinde bulunduğundan, bu havanın yabancı maddelerden arınması gereklidir. Basınçlı havanın hazırlanması (şartlandırılması) bu elemanların ömrünü uzatırken arızaların sayılarını azaltmakta, bakım sürelerini kısaltmaktadır. Kullanma yerine gelen hava basınç regülatörü ve yağlayıcıdan oluşan bir hava hazırlayıcı (şartlandırıcı) takımından geçerek nihai özelliklerini kazanır (Şekil 3.2).

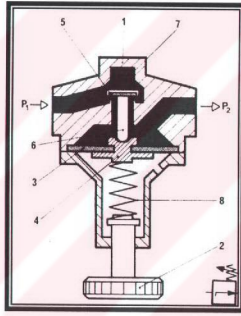


Şekil 3.2 Şartlandırıcı

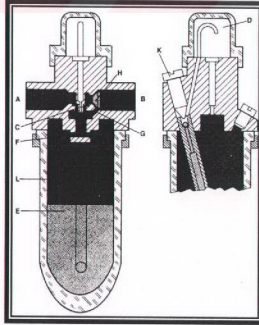
Her pnömatik devre için belirli bir optimal çalışma basıncı vardır. Gereğinden yüksek bir basınç enerji kaybına ve çabuk aşınmalara, gereğinden düşük bir basınç ise



fonksiyonun yerine getirilmemesine veya en azından verimin düşmesine neden olur. Kompresör deposundaki hava basıncı sürekli değiştiğinden bu dalgalanmayı sisteme aktarmak için bir basınç düşürücüye (regülatöre) ihtiyaç duyulur. Regülatöre giren havanın basıncı değişse bile çıkan havanın basıncı sistem için optimal olan ve regülatör üzerindeki manometreden okunabilen ayarlanan sabit değerde kalacaktır. Ancak burada kompresör deposundaki minimum basıncın, regülatör çıkışında istenen basıncın altına düşmemesine dikkat edilmelidir (Şekil 3.3). Aşınmaların en aza indirilmesi, sürtünme nedeniyle oluşan kayıpların en aza indirilmesi ve korozyona karşı koruma için pnömomatik sistemde yağlayıcı ile kullanılacak havanın bir miktar yağlanması gerekir (Şekil 3.4) [35].



Şekil 3.3 Regülatör

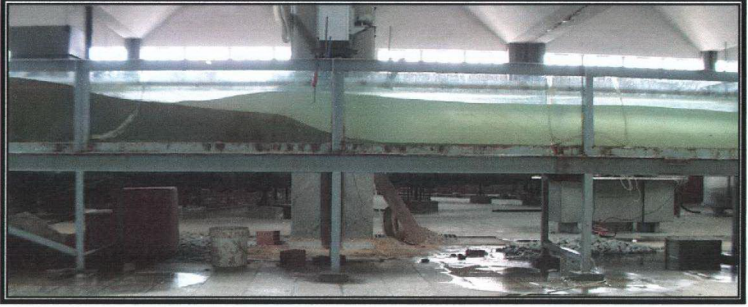


Şekil 3.4 Yağlayıcı

Düsey olarak yerleştirilen NS80-500 pnömatik silindirin harekete başlayıp-durması için el kumandalı sürgülü tip valf kullanılmıştır. Deneyler sırasında piston mevcut su kütesini ani bir şekilde hareket ettiremediği için pistonun giriş ve çıkışına çabuklaştırıcı egzost yerleştirilmiştir. Daha sonra yine pistonun hareket hızını ayarlamak için bu egzostlara hız ayar valfi yerleştirilmiştir. Deniz tabanındaki ani hareketi simule etmek için yatay levhaya bağlı pistonun düsey yönde hareket ettirilmesi sonucunda su kütesi yerdeğiştirir ve böylece tsunami dalgası oluşur (şekil 3.5 - 3.6).



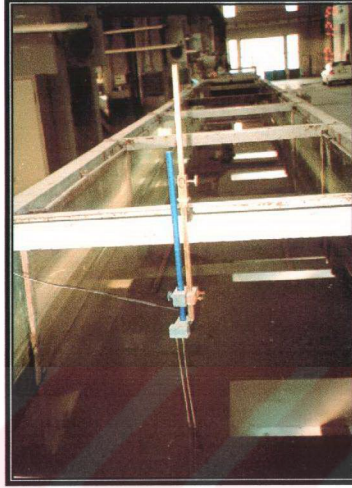
şekil 3.5 Dalga üretici sistem



Şekil 3.6 Tsunami dalga oluşumu

### 3.1.3 Dalga Kaydedici Sistem

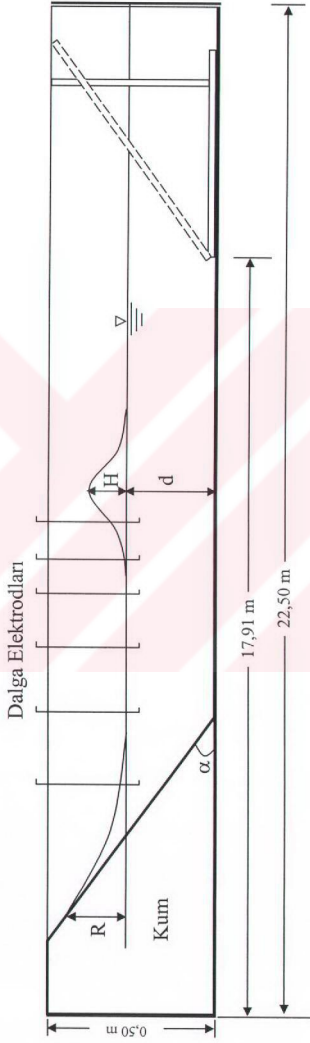
Deneyler sırasında üretilen dalgaların oluşturduğu su yüzeyi deplasmanlarının kayıt aşamasında HRLM Cle3 C30 tipi dalga amplifikatörü ve buna bağlı Şekil 3.7'de gösterilen şev üzerinde, şev topuğunda olmak üzere toplam 6 adet rezistans tip dalga elektrotu kullanılmıştır (Şekil 3.7 ve 3.8). Elektrot, pirinçten imal edilmiş olup sistemin çalışması dalga probunun çubukları arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su yüzeyinin alçalıp yükselmesi sırasında direncin değişmesi prensibine dayanarak çalışmaktadır. Dirençteki bu değişim amplifikatör yardımı ile güçlendirilmektedir. Bu sistemin en büyük avantajı yüksek çözünürlük ( $\pm 0.1$  mm) ve lineer sistem cevabıdır. Sistemin en büyük dezavantajı ise suyun iletkenliğindeki değişime bağlı olarak her kullanımdan önce kalibrasyon işleminin tekrarlanması gereğidir [29-36].



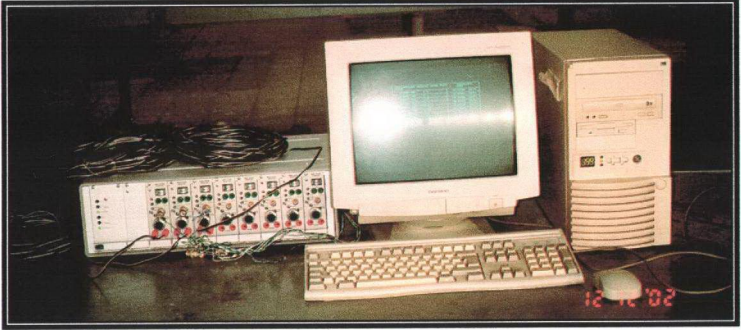
Şekil 3.7 Rezistans tipi dalga elektrodu

Amplifikatörden çıkan bağlantı PCLD-780 tipi bir pasif kart üzerinde toplanmaktadır. Pasif kart üzerinden gelen sürekli analog sinyaller daha sonra PCL-812-Pg tip analog-dijital (A/D) dönüştürücü kart ile kesikli dijital volt değerlerine çevrilmektedir. Bu dijital zaman serileri Pentium 133 Mhz bir bilgisayar kullanılarak elektronik sistemden alınan dijital sinyallerin anlamlı parametrelere çevrilmesi için Kabdaşlı ve Ünal (1996) tarafından hazırlanan bilgisayar programı yardımı ile analiz edilmektedir [37].

Sürekli olan kayıtları belli aralıklarla okuyarak aritmetik bir dizi elde edilmesi kaydın dijital hale getirilmesi olarak adlandırılmaktadır. Kalibrasyon değerleri kullanılarak dijital hale getirilen kayıtlar daha sonra anlamlı dalga karakteristiklerine dönüştürülmektedir. İkiz elektrod tipindeki problemler her deney öncesinde sakin su seviyesine göre bilinen derinliklere batırılarak kalibre edilir [38]. Söz konusu dalga kaydedici sistem Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Dalga kanalı ve problemin yerleşimi



Şekil 3.9 Dalga kaydedici sistem

Su hızlarını ölçmede akustik hız ölçüm cihazı (ADV) kullanılmıştır. ADV su hareketlerinin hızını ses dalgaları yardımı ile ve “noktasal hız ölçümlemesi” yöntemi ile 3 boyutlu olarak ölçen cihazdır. ADV ile yapılan ölçümler CollectV adlı bilgisayar yazılımı ile anında bilgisayara aktarılarak hız değerleri elde edilmiştir. Bu cihaz kullanımdan sonra yeniden kalibrasyon gerektirmemektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Akustik hız ölçüm cihazı

Kıyıda meydana gelen profil değişimi HR Wallingford tarafından geliştirilen 2D Bed Profiler kullanılarak ölçülmüştür. Kum, çamur ve kömür tozu gibi çeşitli malzemelerden oluşan tabanda kullanılabilen bed profillerin avantajı su altında ve üstünde ölçüm yapabilmesidir (şekil 3.11).



şekil 3.11 2D Bed profiler

### 3.2 Deney Yöntemi

#### 3.2.1 Tırmanma Yüksekliğinin Analizi

##### 3.2.1.1 Geçirimsiz Yüzeyde

1:5 eğimde geçirimsiz yüzey pürüzsüz ve düz saç levha kullanılarak oluşturulmuştur. Pistonun düşey yönde hareket ettirilmesiyle eğim üzerindeki tırmanma mesafeleri ölçülmüştür.



Şekil 3.12 Geçirimsiz yüzey

### 3.2.1.2 Kaplamasız Yüzeyde

1:5 eğimli kıyı, dane çapı 0.35 mm ve birim hacim ağırlığı  $2.63 \text{ gr/cm}^3$  olan doğal plaj malzemesinden oluşmuştur. Dalga kanalı 33 cm yüksekliğe kadar su ile doldurulmuştur. Pistonun düşey yönde hareket ettirilmesiyle oluşan uzun dalganın kıyıda tırmandığı noktalar ölçülmüş ve video kamera ile kaydedilmiştir.



Şekil 3.13 Kaplamasız yüzeyin görünüşü

### 3.2.1.3 Kaplamalı Yüzeylerde

1:5 eğimli şeve yerleştirilen dane çapı 0.35 mm ve birim hacim ağırlığı  $2.63 \text{ gr/cm}^3$  olan doğal plaj malzemesinin üzerine elek analizleri ile dane çapları belirlenen doğal çakıl ( $D_{n50} = 10 \text{ mm}$ ,  $\gamma_{st} = 2,318 \text{ gr/cm}^3$ ) tüm şev boyunca 5 cm



kalınlığında serilmiştir. Pistonun düşey yönde hareket ettirilmesiyle geçirimli ve pürüzlü yüzeyden oluşan eğim üzerindeki tırmanma mesafeleri ölçülmüştür. Daha sonra aynı işlemler doğal plaj malzemesinin üzerine doğal kırmataş ( $D_{n50} = 13,8 \text{ mm}$ ,  $\gamma_{st} = 2,289 \text{ gr/cm}^3$ ) yerleştirilerek tekrarlanmıştır.



Şekil 3.14 Kaplamalı yüzeyin görünüşü ( $D_{n50} = 10 \text{ mm}$ )



Şekil 3.15 Kaplamalı yüzeyin görünüşü ( $D_{n50} = 13.8 \text{ mm}$ )

### **3.2.2 Kıyı Profili Değişim Analizi**

#### **3.2.2.1 Kaplamasız Yüzeyde**

1:5 eğimli kıyı, dane çapı 0.35 mm ve birim hacim ağırlığı  $2.63 \text{ gr/cm}^3$  olan doğal plaj malzemesinden oluşmuştur. 33 cm yüksekliğe kadar su ile doldurulan dalga kanalına 6 adet rezistans tipi dalga elektrodu yerleştirilmiştir. Doğru ölçüm yapabilmek için tüm dalga elektrotlarının deneylerden önce kalibrasyonu yapılmıştır. Piston düşey yönde hareket ettirilerek uzun dalga üretilmiştir. Deney sırasında dalga kaydı almak suretiyle dalga karakteristikleri ve 3D ADV ile dalga hızı ayrı ayrı bilgisayarlara aktarılmıştır. Tamamen plaj malzemesiyle kaplı kıyı profili değişimi bed profile kullanılarak belirlenmiştir.

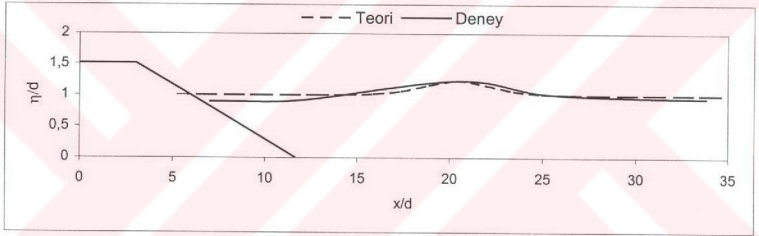
#### **3.2.2.2 Kısmi Kaplamalı Yüzeylerde**

Tsunami etkisindeki kısmi kaplamalı yüzeylerin dinamik stabilitesi iki farklı durum için deneysel olarak incelenmiştir. İlk durumda, zemine gömülü olan boru hattının üzeri kum seviyesine kadar önce doğal çakıl ile kaplanmıştır. Daha sonra doğal çakıl kaldırılarak yerine doğal kırma taş yerleştirilmiştir. İkinci durumda ise kum seviyesine kadar çakıl ile kaplı yüzeyin üzerine doğal kırma taş yerleştirilmiş ve dalga gönderildikten sonraki profil değişimlerinden erozyon alanı hesaplanmıştır.

## 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 4.1 Üretilen Dalgaların Analizi

0.33 m su derinliğinde dalga yüksekliği 0.012 m ve 0.11 m aralığında değişen solitary dalgalar üretilmiştir. Üretilen dalga ( $H/d = 0.233$ ) iken (2.19) bağıntısından elde edilen solitary dalganın serbest yüzey değişimleri Şekil 4.1'de karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür.



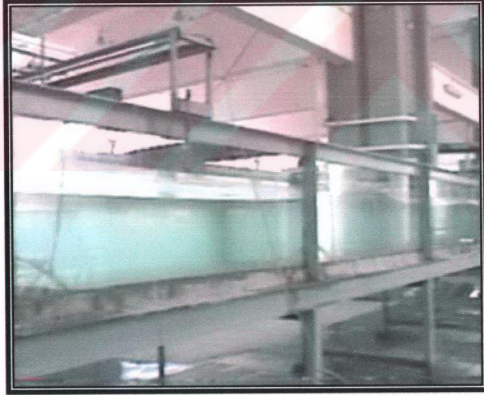
Şekil 4.1 Serbest yüzey değişimi

Deneylerdeki dalga yüksekliği ve tırmanma yüksekliğine ait veriler Ek-A'da tablolar halinde, dalga kayıtlarından elde edilen serbest su yüzeyi değişimleri Ek-B'de grafik olarak verilmiştir.

Şekil 4.2 – Şekil 4.7'de solitary dalganın kanalda zamanla hareketi görülmektedir.



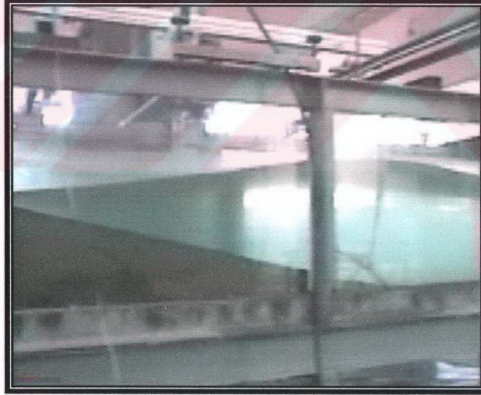
Şekil 4.2 Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 0$  s)



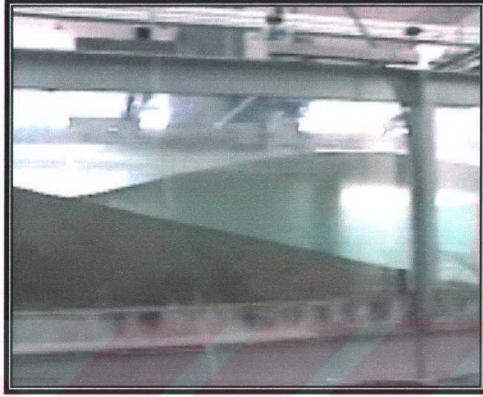
Şekil 4.3 Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 8,8$  s)



Şekil 4.4 Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 9,68$  s)



Şekil 4.5 Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 10,08$  s)

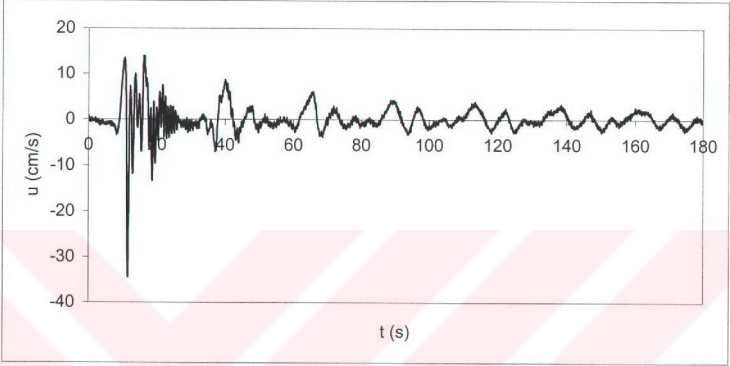


Şekil 4.6 Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 10,32$  s)

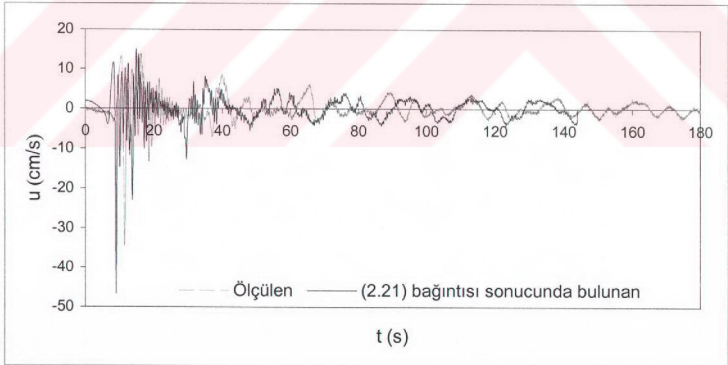


Şekil 4.7 Üretilen solitary dalganın hareketi ( $t = 11,24$  s)

Deneyler sırasında ölçülen hız verilerinin zamanla değişimi Şekil 4.8’de görülmektedir. Dalga kayıtlarından elde edilen serbest yüzey değişimleri (2.21) bağıntısında yerine konularak elde edilen hız verileri ile ölçülen hız verileri Şekil 4.9’de karşılaştırılmış ve uyum içinde oldukları görülmüştür.



Şekil 4.8 Yatay hızın zamanla değişimi



Şekil 4.9 Ölçülen ve (2.21) bağıntısından hesaplanan hız verilerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, 0,33 m su derinliğinde yapılan deney sonuçlarından elde edilen dalga yükseklikleri ve şev eğimine göre kırılma kriteri Denk 2.23’den hesaplanmış

ve sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 4.1). Tüm deneylerde boyutsuz eğim parametresi  $S_0$ 'ın 0,37'den büyük olduğu ve elde edilen verilerin kırılma kriteri olarak Şekil 2.2'de verilen koyu çizginin altında kaldığı dolayısıyla dalgaların kırılmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.1 Deneysel sonuçların kırılma kriteri ile karşılaştırılması

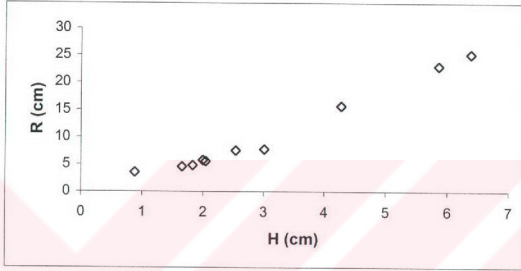
H/d	Eğim	R/d	$S_0 = 1,521(s/\sqrt{H_0})'$
0,045622	1:5	0,150364	1,424202
0,047685	1:5	0,143212	1,393049
0,048263	1:5	0,109939	1,384688
0,048331	1:5	0,136697	1,383715
0,048818	1:5	0,127758	1,376792
0,050202	1:5	0,208	1,357682
0,053497	1:5	0,130758	1,315209
0,075349	1:5	0,20503	1,108205
0,084214	1:5	0,222848	1,048254
0,086722	1:5	0,193152	1,032989
0,089169	1:5	0,211576	1,018713
0,089803	1:5	0,21097	1,015111
0,119182	1:5	0,475455	0,881159
0,123506	1:5	0,505152	0,865596
0,150242	1:5	0,487273	0,784807
0,1507	1:5	0,469697	0,783615
0,152515	1:5	0,512121	0,778938
0,1609	1:5	0,570303	0,75837
0,175718	1:5	0,52	0,72569
0,179152	1:5	0,537879	0,718702
0,185591	1:5	0,383333	0,706124
0,190888	1:5	0,338485	0,696258
0,274527	1:5	0,433333	0,580586
0,065688	1:5	0,175303	1,186907
0,066685	1:5	0,172333	1,178001
0,069041	1:5	0,179485	1,157724
0,071335	1:5	0,178273	1,138955
0,072544	1:5	0,161636	1,129431
0,086	1:5	0,169364	1,037313
0,114485	1:5	0,30903	0,899053
0,116058	1:5	0,293576	0,89294
0,11847	1:5	0,288242	0,883802
0,121727	1:5	0,288242	0,871897
0,121742	1:5	0,312	0,871843
0,127241	1:5	0,270394	0,852797
0,250373	1:5	0,700909	0,607947
0,277379	1:5	0,63	0,577594
0,2778	1:5	0,730303	0,577156
0,278182	1:5	0,681818	0,57676
0,280124	1:5	0,70303	0,574756
0,288433	1:5	0,706061	0,566417
0,292727	1:5	0,727273	0,562248
0,29677	1:5	0,675758	0,558405
0,317345	1:5	0,731818	0,539999
0,318394	1:5	0,7	0,539109
0,325152	1:5	0,693939	0,533478

Tüm  $S_0$  değerleri 0,37'den büyük olduğu için kırılmayan dalga

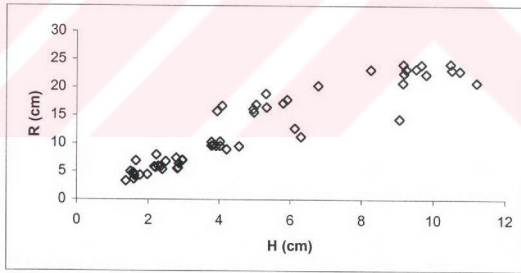


## 4.2 Dalga Tırmanma Yüksekliğinin Analizi

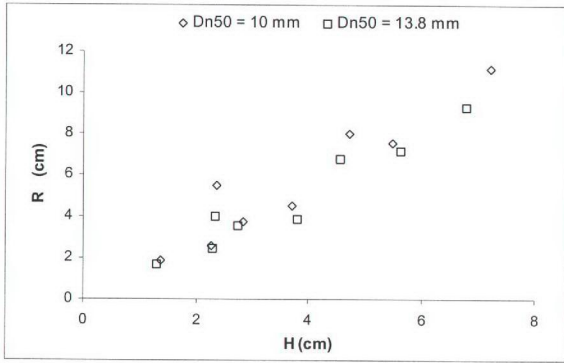
Geçirimsiz, kaplamasız ve kaplamalı yüzeylerde farklı dalga yüksekliklerinin tırmanma yüksekliği ile değişimi görülmektedir (Şekil 4.10-Şekil 4.12). Bu grafikler incelendiğinde dalga yüksekliğindeki artışın tırmanma yüksekliğini artırdığı görülmektedir.



Şekil 4.10 Geçirimsiz yüzeylerde dalga yüksekliği ile tırmanma yüksekliği ilişkisi



Şekil 4.11 Kaplamasız yüzey için dalga yüksekliği ile tırmanma yüksekliği ilişkisi

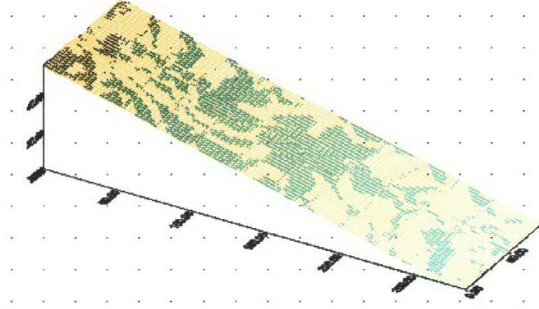


Şekil 4.12 Kaplamalı yüzey için dalga yüksekliği ile tırmanma yüksekliği ilişkisi

Şekil 4.12’de kaplama malzemesi çapının artması ile tırmanma yüksekliğinin azaldığı ve Şekil 4.11 ile karşılaştırıldığında kaplama malzemesinin tırmanma yüksekliğini önemli derecede azalttığı görülmektedir.

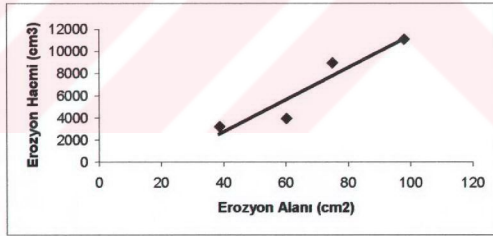
### 4.3 Erozyon Alanı ve Erozyon Hacminin Analizi

Bölüm 3.2.2’de anlatılan kaplamalı ve kısmi kaplamalı yüzeyler için dalga gönderilmeden önce ve dalga gönderildikten sonra kıyıda meydana gelen değişim bed profile ile her iki doğrultuda ölçülmüştür. Şekil 4.13’de elde edilen verilerin Surfer 32 programına aktarılması sonucunda kıyı profilindeki değişim görülmektedir. Aynı program kullanılarak dalga gönderilmeden önceki ve sonraki kıyı profilleri karşılaştırılmış ve her iki kesit arasında kalan hacimler hesaplanmıştır.

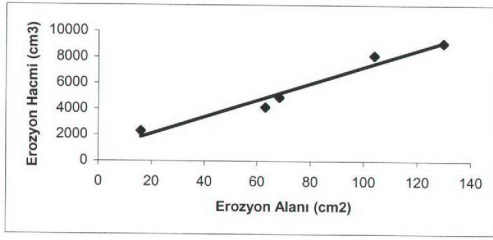


Şekil 4.13 Kıyı profili değişimi

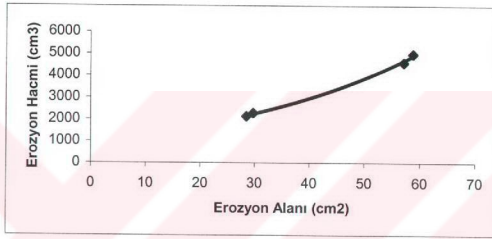
Ayrıca deney sonunda kanal boşaltılarak kanal yan camına yerleştirilen şeffaf kağıt üzerine oluşan profil değişimi bire bir çizilmiştir. Şev üzerinde meydana gelen erozyon alanının değeri şeffaf kağıt üzerinden planimetre ile ölçülmüştür. Erozyon alanı arttıkça erozyon hacminin de arttığı aşağıdaki grafiklerden (Şekil 4.14-Şekil 4.16) görülmektedir. Bu nedenle bundan sonraki deneylerde erozyon hacmi yerine erozyon alanı kullanılmıştır. Bu durum deney sürelerini de kısaltmıştır.



Şekil 4.14 Kaplamasız yüzey için erozyon alanı erozyon hacmi ilişkisi



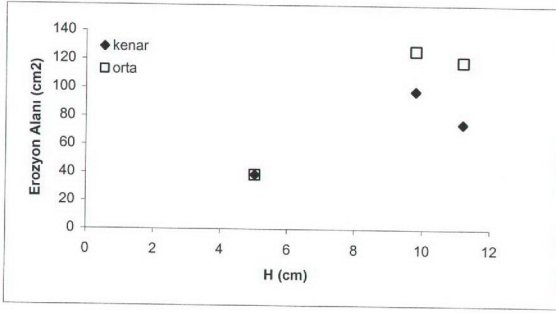
Şekil 4.15 I. durumda kısmi kaplamalı yüzeye ait erozyon alanı erozyon hacmi



Şekil 4.16 II. durumda kısmi kaplamalı yüzeye ait erozyon alanı erozyon hacmi

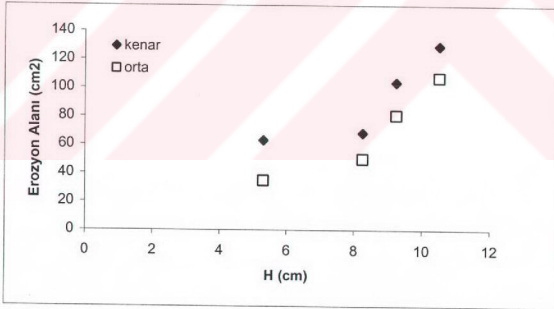
#### 4.4 Dalga Yüksekliği ile Erozyon Alanı İlişkisi

Şev doğrultusunda kıyının orta noktasında dalga gönderilmeden önceki ve sonraki profil değişimleri bed profile ile belirlenerek erozyon alanları hesaplanmış ve bu erozyon alanları ile kanalın yan camından alınan kesitteki erozyon alanlarının dalga yüksekliği ile değişimi Şekil 4.17 ve 4.19'da verilmiştir. Şekil 4.17'de görüldüğü gibi orta kesitte dalga etkisinin profil değişimine etkisi yan yüzeye göre daha fazla olduğundan dalga yüksekliği arttıkça orta kesitteki erozyon alanı da yan yüzeye göre daha büyük olmaktadır.

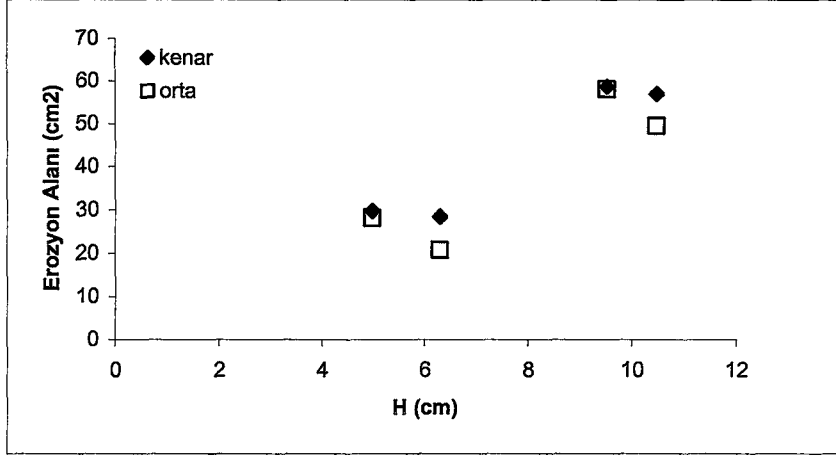


Şekil 4.17 Kaplamasız yüzey için kenar ve orta kesitlerdeki dalga yüksekliği erozyon alanı ilişkisi

Kısmi kaplamalı yüzeylerde dalga yüksekliği arttıkça erozyon alanı da artmaktadır. Orta kesitteki erozyon alanlarının kenar kesitteki erozyon alanlarına göre daha küçük olduğu Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da görülmektedir. Bu da beklenen bir sonuçtur.

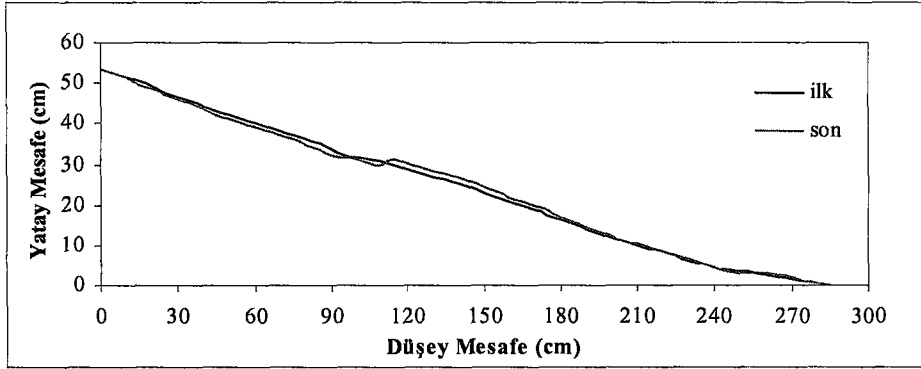


Şekil 4.18 I. durumda kısmi kaplamalı yüzeye ait kenar ve orta kesitte dalga yüksekliği erozyon alanı ilişkisi

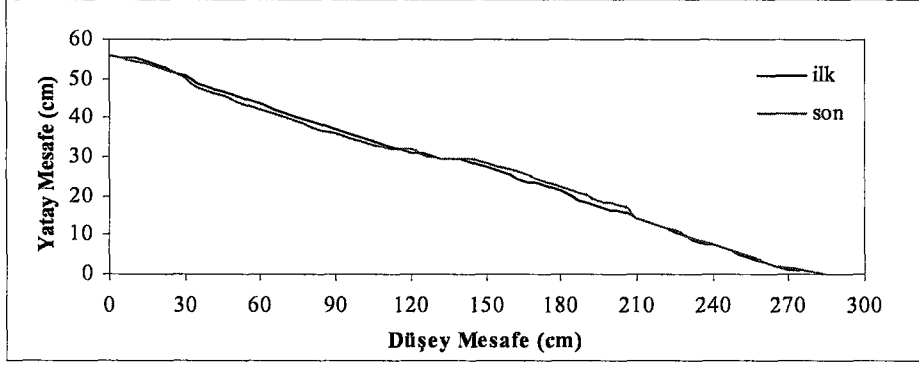


Şekil 4.19 II. durumda kısmi kaplamalı yüzeye ait kenar ve orta kesitte dalga yüksekliği erozyon alanı ilişkisi

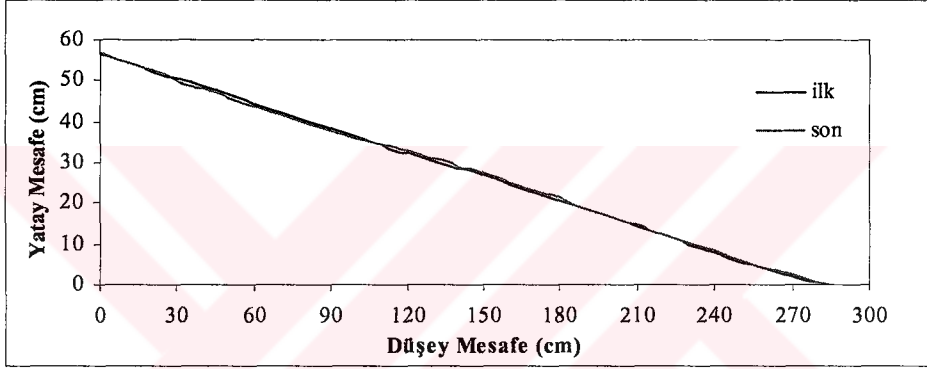
Ancak küçük dalga yükseklikleri ile çalışıldığında kenar kesitte profil değişiminin çok az olduğu görülmüştür. Bu durumda orta kesitteki profil değişimini belirlemek zor olacağından daha sonraki deneylerde küçük dalga yükseklikleri için kenar kesitteki profil değişimleri kanal yan camındaki şeffaf kağıt üzerine çizilmek suretiyle belirlenmiş ve erozyon alanı hesaplanmıştır. Dalga gönderilmeden önceki ilk kıyı profili ve gönderildikten sonraki kıyı profilindeki değişimler bilgisayara aktarılarak Şekil 4.20 ve Şekil 4.23’de grafik olarak gösterilmiştir.



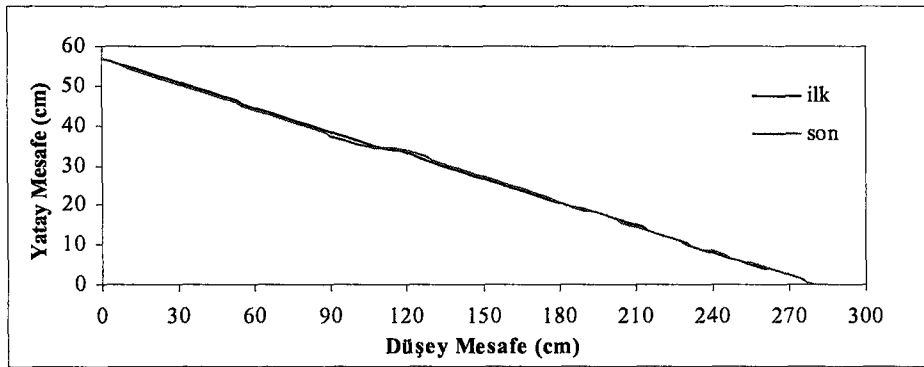
Şekil 4.20 Kaplamasız duruma ait kıyı profili değişimi



Şekil 4.21 Kısmi kaplamalı duruma ait kıyı profili değişimi  
(boru hattı zemine gömülü ve üzeri tek sıra doğal çakıl kaplı)

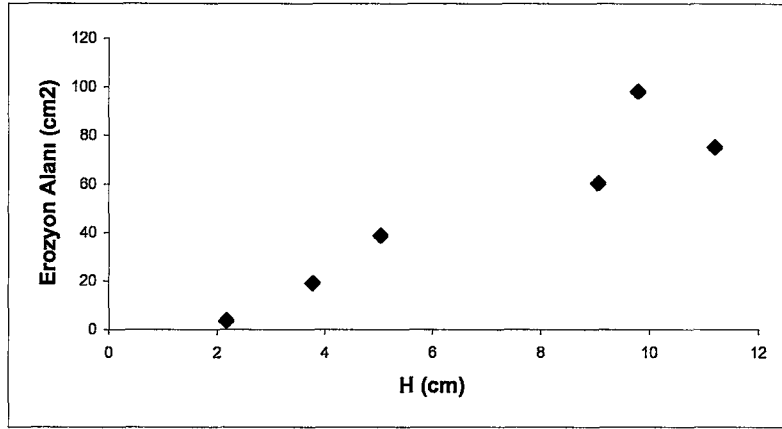


Şekil 4.22 Kısmi kaplamalı duruma ait kıyı profili değişimi  
(boru hattı zemine gömülü ve üzeri tek sıra doğal kırma taş kaplı)

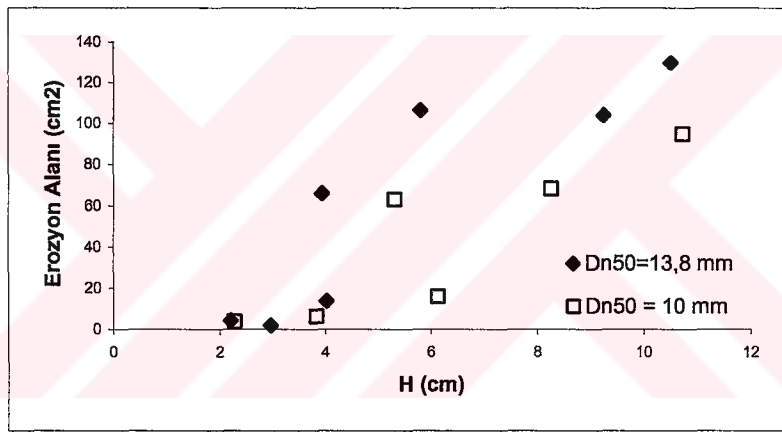


Şekil 4.23 Kısmi kaplamalı duruma ait kıyı profili değişimi (kum ile aynı seviyede doğal çakıl kaplı olan boru hattının üzeri tek sıra doğal kırmataş ile kaplı)

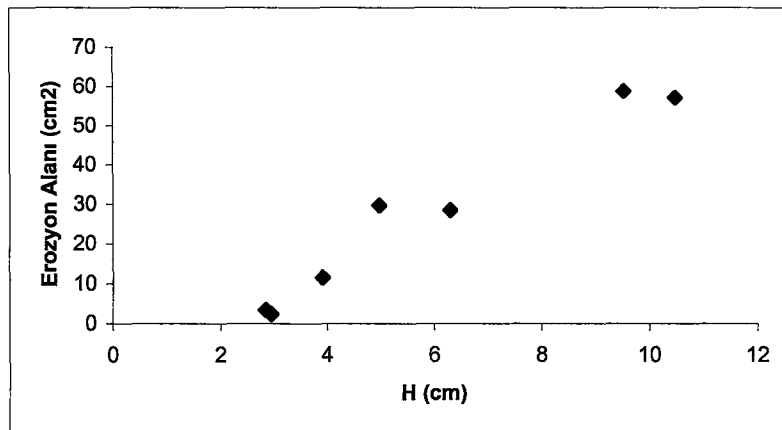
Kaplamasız ve kısmi kaplamalı yüzeyler için farklı dalga yüksekliklerinin erozyon alanı ile değişimi (Şekil 4.24 - Şekil 4.26) dalga yüksekliğindeki artışın erozyon alanını artırdığı görülmektedir.



Şekil 4.24 Kaplamasız durum için dalga yüksekliği ile erozyon alanı ilişkisi



Şekil 4.25 I. durumda kısmi kaplamalı yüzey için dalga yüksekliği ile erozyon alanı ilişkisi



Şekil 4.26 II. durumda kısmi kaplamalı yüzey için dalga yüksekliği ile erozyon alanı ilişkisi



## 5. DENEY SONUÇLARININ MATEMATİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel değerlendirmeler sonucunda bu konu ile ilgili parametreler ve boyutları aşağıda Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Konu ile ilgili parametreler ve boyutları

Parametre	Sembol	Birim	Boyut
Su birim hacim ağırlığı	$\gamma_w$	kg/m <sup>3</sup>	KL <sup>-3</sup>
Dalga yüksekliği	H	m	L
Plaj malzemesinin birim hacim ağırlığı	$\gamma_{sp}$	kg/m <sup>3</sup>	KL <sup>-3</sup>
Plaj malzemesi dane çapı	D	m	L
Erozyon alanı	A	m <sup>2</sup>	L <sup>2</sup>
Kaplama malzemesinin birim hacim ağırlığı	$\gamma_{st}$	kg/m <sup>3</sup>	KL <sup>-3</sup>
Kaplama malzemesi dane çapı	D <sub>n50</sub>	m	L
Dalga tırmanma yüksekliği	R	m	L
Su derinliği	d	m	L
Yerçekimi ivmesi	g	m/s <sup>2</sup>	KL <sup>-2</sup>
Eğim	$\beta$	-	-

### 5.1 Boyut Analizi ve Önerilen Denklemler

#### 5.1.1 Tırmanma Yüksekliği

##### 5.1.1.1 Kaplamasız Yüzeyde

Deneysel değerlendirmeler sonucunda tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler,

$$f(H, D, d, \gamma_w, \gamma_{sp}, \beta, R, g) = 0$$

olarak belirlenmiştir. Bu parametreler  $\pi$  teoremi kullanılarak boyutsuz büyüklükler halinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$m = 8;$	Konu ile ilgili değişken sayısı
$r = 3;$	Temel boyut sayısı
$n = m - r = 5$	Boyutsuz ifade sayısı

$$\pi_1 = \frac{R}{d} \quad (5.1-a)$$

$$\pi_2 = \frac{H}{d} \quad (5.1-b)$$

$$\pi_3 = \frac{D}{d} \quad (5.1-c)$$

$$\pi_4 = \cot \beta \quad (5.1-d)$$

$$\pi_5 = \frac{\gamma_{sp}}{\gamma_w} \quad (5.1-e)$$

$$\frac{R}{d}; \text{ boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresi} \quad (5.2)$$

$$\frac{H}{d}; \text{ boyutsuz dalga yükseklik parametresi} \quad (5.3)$$

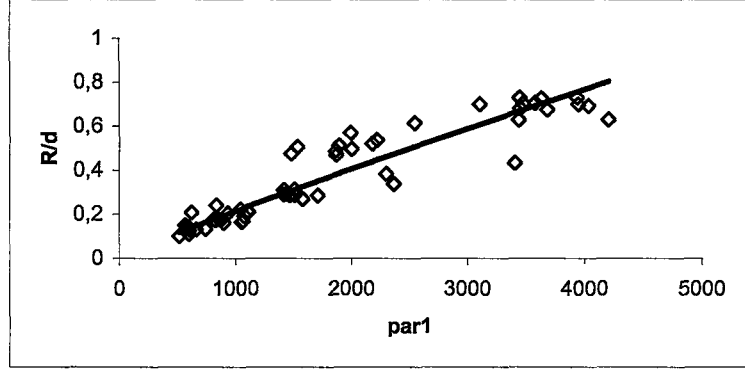
$$\frac{\gamma_{sp}}{\gamma_w} = G_{sp}; \text{ boyutsuz plaj malzemesi spesifik gravite parametresi} \quad (5.4)$$

$$\frac{D}{d}; \text{ boyutsuz plaj malzemesi çap parametresi} \quad (5.5)$$

$$\cot \beta; \text{ boyutsuz eğim açısı} \quad (5.6)$$

Bu boyutsuz parametrelerin tırmanma yüksekliği ile ilişkileri aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$H \frac{G_{sp}}{D} \cot \beta = \text{par1} \quad (5.7)$$



Şekil 5.1 Kaplamasız duruma ait tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler ile tırmanma yüksekliği parametresinin ilişkisi

Şekil 5.1’de kaplamasız durum için tırmanma yüksekliğine etki eden boyutsuz parametrelerin tırmanma yüksekliği parametresi ile değişimi görülmektedir. Bu şekilde görüldüğü par 1 arttıkça R/d’de artmaktadır. R/d ve par 1 arasındaki nonlineer regrasyon metoduyla belirlenen ampirik bağıntı (5.8) önerilmiştir. Bu denklemin korelasyon katsayısı 0.9485’dir.

$$\frac{R}{d} = 4.10^{-4} \left( H \frac{G_{sp}}{D} \cot \beta \right)^{0.921} \quad (5.8)$$

### 5.1.2.2 Kaplamalı Yüzeylerde

Deneyisel değerlendirmeler sonucunda tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler,

$$f(H, d, \gamma_w, \beta, R, g, \gamma_{st}, D_{n50}) = 0$$

olarak belirlenmiştir. Bu parametreler  $\pi$  teoremi kullanılarak boyutsuz büyüklükler halinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$m = 8;$	Konu ile ilgili değişken sayısı
$r = 3;$	Temel boyut sayısı
$n = m - r = 5$	Boyutsuz ifade sayısı

$$\pi_1 = \frac{R}{d} \quad (5.9-a)$$

$$\pi_2 = \frac{H}{d} \quad (5.9-b)$$

$$\pi_3 = \cot \beta \quad (5.9-c)$$

$$\pi_4 = \frac{D_{n50}}{d} \quad (5.9-d)$$

$$\pi_5 = \frac{\gamma_{st}}{\gamma_w} \quad (5.9-e)$$

$$\frac{R}{d} ; \text{ boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresi} \quad (5.10)$$

$$\frac{H}{d} ; \text{ boyutsuz dalga yükseklik parametresi} \quad (5.11)$$

$$\frac{D_{n50}}{d} ; \text{ boyutsuz kaplama malzemesi çap parametresi} \quad (5.12)$$

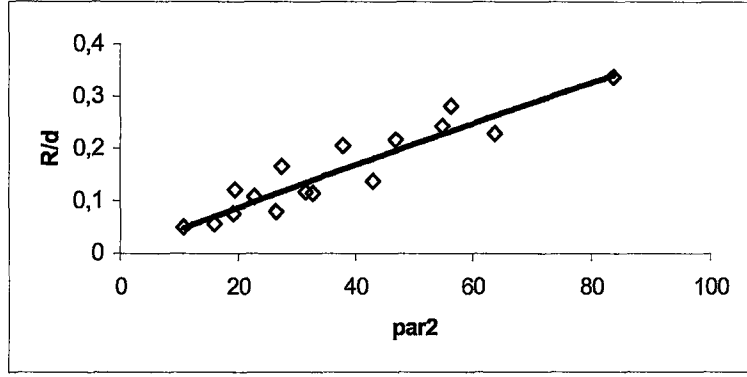
$$\frac{\gamma_{st}}{\gamma_w} = G_{st} ; \text{ boyutsuz kaplama malzemesi spesifik gravite parametresi} \quad (5.13)$$

$$\cot \beta ; \text{ boyutsuz eğim açısı} \quad (5.14)$$

Bu boyutsuz parametrelerin tırmanma yüksekliği ile ilişkileri aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir:

$$\chi = \frac{G_{st}}{D_{n50}} \quad (5.15)$$

$$\chi H \cot \beta = \text{par2} \quad (5.16)$$



Şekil 5.2 Kaplamalı duruma ait tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler ile tırmanma yüksekliği parametresinin ilişkisi

Şekil 5.2’de kaplamalı durum için tırmanma yüksekliğine etki eden boyutsuz parametrelerin tırmanma yüksekliği parametresi ile değişimi görülmektedir. Bu şekilde görüldüğü par 2 arttıkça R/d’de artmaktadır. R/d ve par 2 arasındaki nonlineer regresyon metoduyla belirlenen bir ampirik bağıntı (5.17) önerilmiştir. Bu denklemin korelasyon katsayısı 0.9296’dır.

$$\frac{R}{d} = 5.10^{-3} (\chi H \cot \beta)^{0.9539} \quad (5.17)$$

### 5.1.3 Kaplamasız ve Kaplamalı Yüzeylerde Tırmanma Yüksekliği Arasındaki İlişki

(5.8) denklemindeki par 1 ifadesini par 2’ye dönüştürmek için par 1 (5.15) ifadesi ile çarpılıp bölünür ve düzenlenirse aşağıdaki ifadelere ulaşılır:

$$\frac{R}{d} = 4.10^{-4} \left( H \frac{G_{sp}}{D} \cot \alpha \frac{\chi}{\chi} \right)^{0.921} \quad (5.18)$$

$$\frac{R}{d} = 4.10^{-4} \left( \text{par 2} \frac{G_{sp}}{D} \frac{1}{\chi} \right)^{0.921} \quad (5.19)$$

$$4891 \left( \frac{R}{d} \right) = \text{par 2} \frac{G_{sp}}{D} \frac{1}{\chi} \quad (5.20)$$

(5.17) denkleminde par 2 çekilirse (5.21) denklemi

$$\text{par 2} = 258,365 \frac{R}{d} \quad (5.21)$$

(5.21)'in (5.20)'de yerine konmasıyla (5.22) denklemi

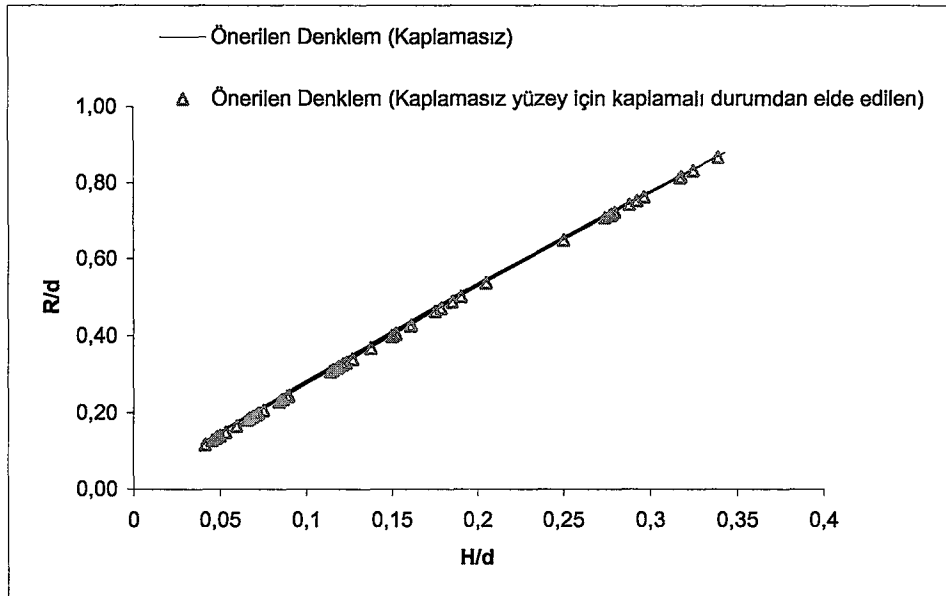
$$\chi = \frac{1}{18,9} \frac{G_{sp}}{D} \quad (5.22)$$

elde edilir.

Bu durumda (5.17) denklemindeki  $\chi$  yerine (5.22) ifadesi yazılırsa kaplamalı yüzeyler için önerilen denklemden kaplamasız yüzeye ait boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresi bulunabilir. Çizelge 5.2'de bu iki denklemden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Hata oranı %0,5 ila % 7 arasında değişmektedir. Ayrıca Şekil 5.3'de boyutsuz dalga yüksekliği ile boyutsuz tırmanma yüksekliği karşılaştırılmış, değerlerin birbirine çok yakın olduğu ve kaplamasız durum için bu eşitliğin güvenle kullanılabileceği görülmüştür.

Çizelge 5.2 Kaplamasız yüzey için önerilen denklem (5.8) ile kaplamasız yüzey için kaplamalı durumdan elde edilen (5.17) sonuçların karşılaştırılması

Denklem 5.8	Denklem 5.17	Hata oranı %	Denklem 5.8	Denklem 5.17	Hata oranı %
0,417	0,405	2,9	0,256	0,244	4,6
0,716	0,709	1,0	0,146	0,136	6,5
0,143	0,133	6,6	0,150	0,140	6,4
0,241	0,230	4,8	0,412	0,400	3,0
0,870	0,867	0,3	0,512	0,501	2,2
0,769	0,763	0,8	0,145	0,135	6,5
0,192	0,181	5,6	0,254	0,242	4,6
0,320	0,308	3,8	0,723	0,716	1,0
<b>0,126</b>	<b>0,117</b>	<b>7,0</b>	0,724	0,717	1,0
0,176	0,166	5,9	0,725	0,718	1,0
0,244	0,232	4,8	0,760	0,753	0,8
0,320	0,308	3,8	0,207	0,196	5,3
0,196	0,186	5,5	0,339	0,326	3,6
0,439	0,427	2,7	0,210	0,199	5,3
0,380	0,368	3,2	0,353	0,340	3,5
0,549	0,538	2,0	0,730	0,723	1,0
0,411	0,399	3,0	<b>0,821</b>	<b>0,816</b>	<b>0,5</b>
0,483	0,472	2,4	0,837	0,833	0,5
0,343	0,331	3,6	0,658	0,649	1,3
0,137	0,128	6,7	0,195	0,184	5,5
0,248	0,236	4,7	0,339	0,326	3,6
0,144	0,135	6,5	0,201	0,190	5,4
0,218	0,206	5,2	0,324	0,312	3,8
0,332	0,320	3,7	0,749	0,743	0,9
0,475	0,463	2,5	0,818	0,814	0,6
0,438	0,426	2,8	0,246	0,234	4,7
0,499	0,488	2,3	0,330	0,318	3,7
0,159	0,149	6,2			



Şekil 5.3 Kaplamasız yüzey için önerilen denklem (5.8) ve kaplamasız yüzey için kaplamalı durumdan elde edilen (5.17) boyutsuz tırnanma yükseklığının boyutsuz dalga yüksekliği ile değişimi

## 5.2 Erozyon Alanı

Deneysel değerlendirmeler sonucunda erozyon alanına etki eden parametreler,

$$f(H, D, d, \beta, \gamma_{sp}, \gamma_w, g, A) = 0$$

olarak belirlenmiştir. Bu parametreler  $\pi$  teoremi kullanılarak boyutsuz büyüklükler halinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$m = 8$ ; Konu ile ilgili değişken sayısı

$r = 3$ ; Temel boyut sayısı

$n = m - r = 5$  Boyutsuz ifade sayısı

$$\pi_1 = \frac{A}{d^2} \quad (5.23-a)$$

$$\pi_2 = \frac{H}{d} \quad (5.23-b)$$

$$\pi_3 = \frac{D}{d} \quad (5.23-c)$$

$$\pi_4 = \tan \beta \quad (5.23-d)$$

$$\pi_5 = \frac{\gamma_{sp}}{\gamma_w} \quad (5.23-e)$$

Konuya etki eden boyutsuz parametreler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{A}{d^2} ; \text{ boyutsuz erozyon alanı parametresi} \quad (5.24)$$

$$\frac{H}{d} ; \text{ boyutsuz dalga yükseklik parametresi} \quad (5.25)$$

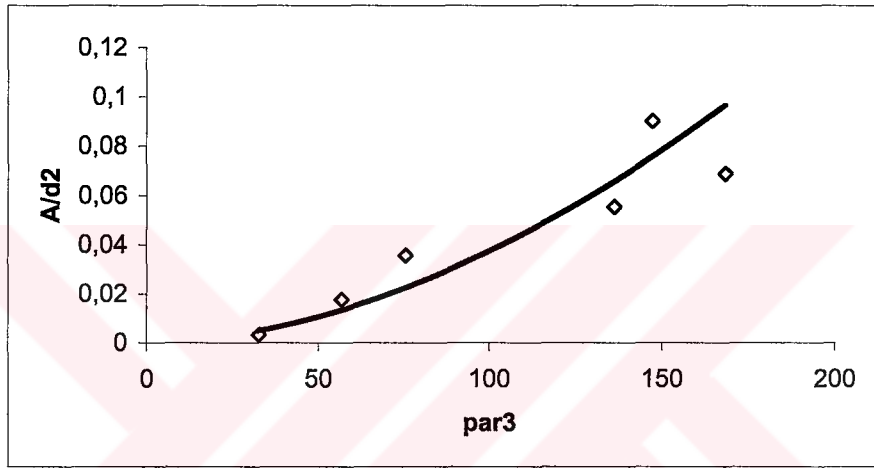
$$\frac{\gamma_{sp}}{\gamma_w} = G_{sp} ; \text{ boyutsuz plaj malzemesi spesifik gravite parametresi} \quad (5.26)$$



$$\frac{D}{d}; \text{ boyutsuz plaj malzemesi \u00e7ap parametresi} \quad (5.27)$$

Bu boyutsuz parametrelerin erozyon alan\u0131 ile ili\u015fkileri a\u015fağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$H \frac{G_{sp}}{D} \tan \beta = \text{par 3} \quad (5.28)$$



Şekil 5.4 Kaplamasız duruma ait erozyon alanına etki eden parametreler ile erozyon alanı parametresinin ilişkisi

Şekil 5.4'de kaplamasız yüzey için erozyon alanına etki eden boyutsuz parametrelerin erozyon alanı parametresi ile değişimi gör\u00fclmektedir. Burada gör\u00fcldüğü gibi par 3 arttıkça A/d<sup>2</sup> oran\u0131 da artmaktadır. A/d<sup>2</sup> ve par 3 arasında nonlineer regresyon metoduyla ampirik bir bağıntı (5.29) önerilmiştir. Bu denklemin korelasyon katsayısı 0.9580'dir.

$$\frac{A}{d^2} = 8.10^{-6} \left( H \frac{G_{sp}}{D} \tan \beta \right)^{1.8242} \quad (5.29)$$

### 5.3 Erozyon Alanı ile Tırmanma Yüksekliği Arasındaki İlişki

(5.29) denklemindeki par 3 ifadesini par 1'e dönüştürmek için par 3  $\cot\alpha$  ile çarpılıp bölünür ve düzenlenirse aşağıdaki ifadelere ulaşılır:

$$\frac{A}{d^2} = 8.10^{-6} \left( H \frac{G_{sp}}{D} \tan\beta \frac{\cot\beta}{\cot\beta} \right)^{1,8242} \quad (5.30)$$

$$\frac{A}{d^2} = 8.10^{-6} (\text{par 1} \tan^2\beta)^{1,8242} \quad (5.31)$$

$$\text{par 1} = \frac{622,375 \left( \frac{A}{d^2} \right)^{1/1,8242}}{\tan^2\beta} \quad (5.32)$$

(5.8) denkleminde par 1 çekilirse (5.33) denklemi

$$\text{par 1} = 4891 \left( \frac{R}{d} \right)^{1/0,921} \quad (5.33)$$

(5.32) ve (5.33)'den (5.34) denklemi

$$\frac{A}{d^2} = 42,9822 \left( \frac{R}{d} \right)^{1,981} \tan^{3,6484} \beta \quad (5.34)$$

elde edilir.

Bu durumda, boyutsuz erozyon alanı parametresi ile boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresini birbirine bağlı olarak hesaplamak mümkün olabilecektir.

Çizelge 5.3 Boyutsuz erozyon alanı için önerilen denklem (5.29) ile tırmanma yüksekliği parametresine bağlı olarak elde edilen (5.34) sonuçların karşılaştırılması

Denklem (5.29)	Denklem (5.34)	Hata oranı %
0,021394	0,021388	0,030901
0,062512	0,062504	0,013212
0,091965	0,091959	0,006843
0,072058	0,07205	0,010868
0,004602	0,004599	0,056245
0,012678	0,012673	0,039531

Çizelge 5.3’de bu iki denklemden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi boyutsuz tırmanma yüksekliğine bağlı olarak hesaplanan boyutsuz erozyon alanı parametresi ile (5.29) denkleminde hesaplanan boyutsuz erozyon alanı arasında maksimum %0,056’lık bir hata vardır.

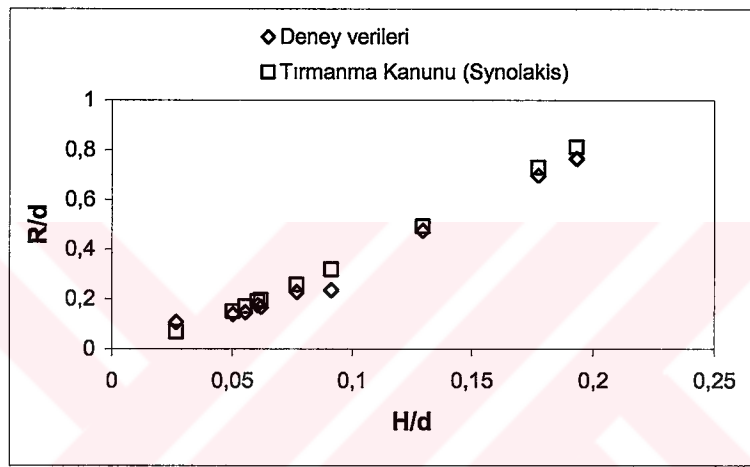
## 6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tsunamiler, denizin önce geri çekilmesi, veya karaya doğru ilerlemesi, ardından da karada dalga tırmanması ve su taşınımı oluşturur. Bunun sonucu olarak kıyılarda şiddetli akıntılar ve su düzeyi değişimleri gerçekleşir. Tsunamiler kıyıya doğru ilerlerken kıyı batimetrisindeki değişimle birlikte iç kısımlara doğru ilerleyerek can ve mal kaybına neden olurlar. Bu hasarlar genellikle kıyı çizgisinde tırmanma bölgesinde görülmektedir. Bu yüzden, tırmanmayı anlamak ve önceden tahmin edebilmek önemli olmaktadır.

Bu dalganın sığ bölgelere geldiğinde gösterdiği dalga profili solitary, knoidal veya N dalga biçimine benzetilebilir. Literatürde uzun dalgaların tırmanma yüksekliği ile ilgili deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Mevcut çalışmalarda tsunami dalgası solitary dalgaya benzetilerek Goring (1978) tarafından önerilen düşey bir levhanın yatay yönde hareket ettirilmesiyle üretilmiştir. Genellikle düz ve geçirimsiz yüzeyden oluşan kıyı üzerinde tırmanma yüksekliği belirlenmiş ve deneylerden elde edilen sonuçların nümerik sonuçlarla karşılaştırılması yapılarak bunların uyum içinde oldukları görülmüştür.

Bu çalışmada ise deniz tabanındaki ani hareketi simule etmek için yatay bir levhaya bağlı piston düşey yönde hareket ettirilerek *yeni* tsunami dalga üretim sistemi geliştirilmiş, ve *geçirimli* yüzeylerdeki tırmanma yüksekliği belirlenmiştir. (2.19) denkleminde elde edilen serbest yüzey değişiminin dalga kayıtlarından elde edilen serbest yüzey değişimleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Ayrıca dalga kayıtlarından elde edilen serbest yüzey değişimleri (2.21) bağıntısında yerine konularak bulunan hız verileri ile ölçülen hız verileri karşılaştırıldığında bunların da uyum içinde olduğu görülmüştür.

Kaplamasız ve kaplamalı geçirimli yüzeylerdeki tsunami dalgalarının tırmanma yüksekliğini sığ su dalga denklemleri ile çözmedeki karmaşıklık nedeniyle bu durum deneysel olarak incelenmiştir. İlk olarak geçirimsiz düz levhadan oluşan eğim üzerindeki tırmanma yükseklikleri ölçülmüş, R/d oranları oluşturulmuş ve bunların tırmanma kanunu olarak bilinen (1.1) denkleminde elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametreleri ile karşılaştırılması Şekil 6.1’de yapılmıştır. Deneysel sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6.1 Deneysel verilerinden ve tırmanma kanunundan (1.1) elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametrelerinin karşılaştırılması

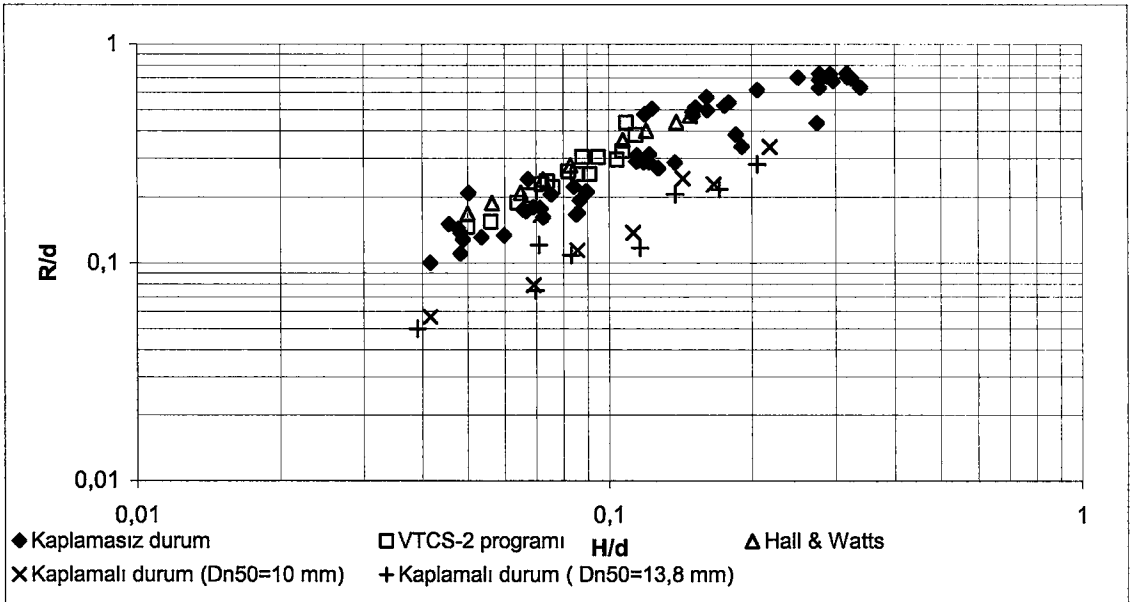
0.35 mm çapında ve 2.63 g/cm<sup>3</sup> birim hacim ağırlığındaki doğal plaj malzemesinden oluşan kaplamasız kıyı dalga kanalının sonuna inşa edilmiştir. Deneysel sırasında şev eğimi 1:5'tir. Tırmanma yüksekliğine etkiyen temel değişkenlerin dalga yüksekliği, kullanılan malzemenin çapı ve birim hacim ağırlığı, kanalın su derinliği ve şev eğimi olduğu belirlenmiştir. Temel parametreler boyutsuz hale getirildikten sonra tırmanma yüksekliğini belirlemek için aşağıdaki ampirik ifade önerilmiştir:

$$\frac{R}{d} = 4.10^{-4} \left( H \frac{G_{sp}}{D} \cot\beta \right)^{0.921} \quad (5.8)$$

Daha sonra tüm yüzeye 5 cm kalınlığında kaplama malzemesi yerleştirilmiştir. Bu malzemelerin çapı 10-13.8 mm ve birim hacim ağırlığı 2.318-2.289 g/cm<sup>3</sup>'dür. Kaplamasız yüzeyler için yapılan işlemler burada da tekrarlanmıştır. Kaplamalı yüzeylerde etken parametreler boyutsuz hale getirildikten sonra tırmanma yüksekliğini belirlemek için 5.17 ifadesi önerilmiştir:

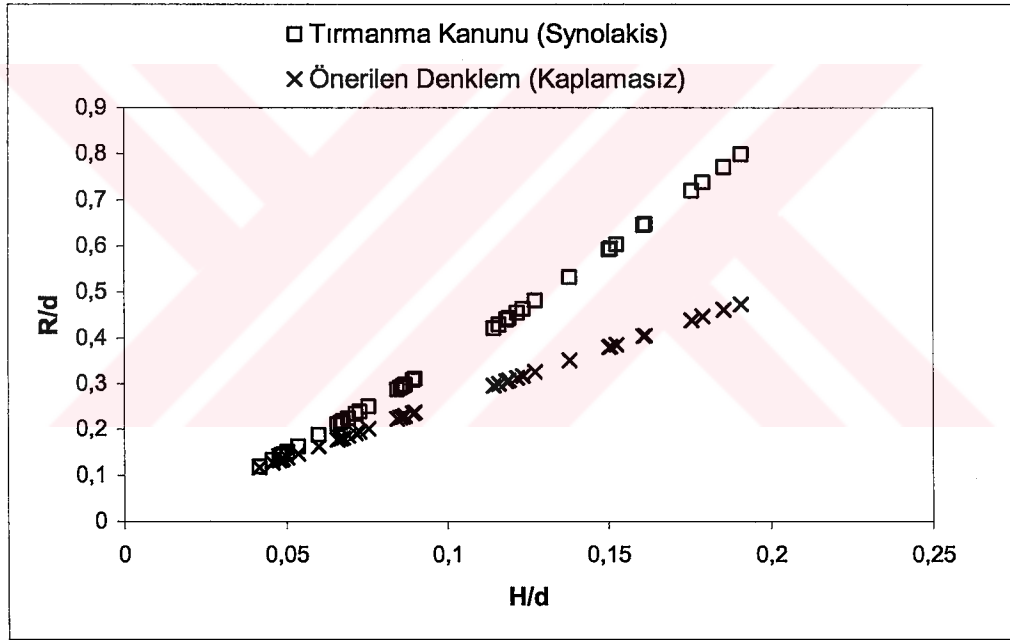
$$\frac{R}{d} = 5.10^{-3} (\chi H \cot \beta)^{0,9539} \quad (5.17)$$

Hall ve Watts (1953)'de deneysel araştırmalar sonucunda ve ayrıca Titov ve Synolakis (1993)'de ikinci dereceden sonlu fark şemasını kullanarak VTCS-2 olarak adlandırılan programla sığ su dalga denklemlerinin nümerik çözümü sonucunda boyutsuz tırmanma yüksekliğinin (R/d) boyutsuz dalga yüksekliği (H/d) ile değişimini incelemişlerdir. Bu çalışmada, deneysel verilerden elde edilen tırmanma yükseklikleri ve dalga yükseklikleri boyutsuz hale getirilerek sonuçlar diğer araştırmacıların sonuçları ile Şekil 6.2'de karşılaştırılmış ve bunların uyum içinde olduğu görülmüştür. Söz konusu çalışmalarda geçirimsiz yüzeyler göz önüne alınırken, bu çalışmada eğim kaplamasız ve kaplamalı yüzeylerden oluştuğu için boyutsuz tırmanma yüksekliği değerleri daha küçük çıkmaktadır.

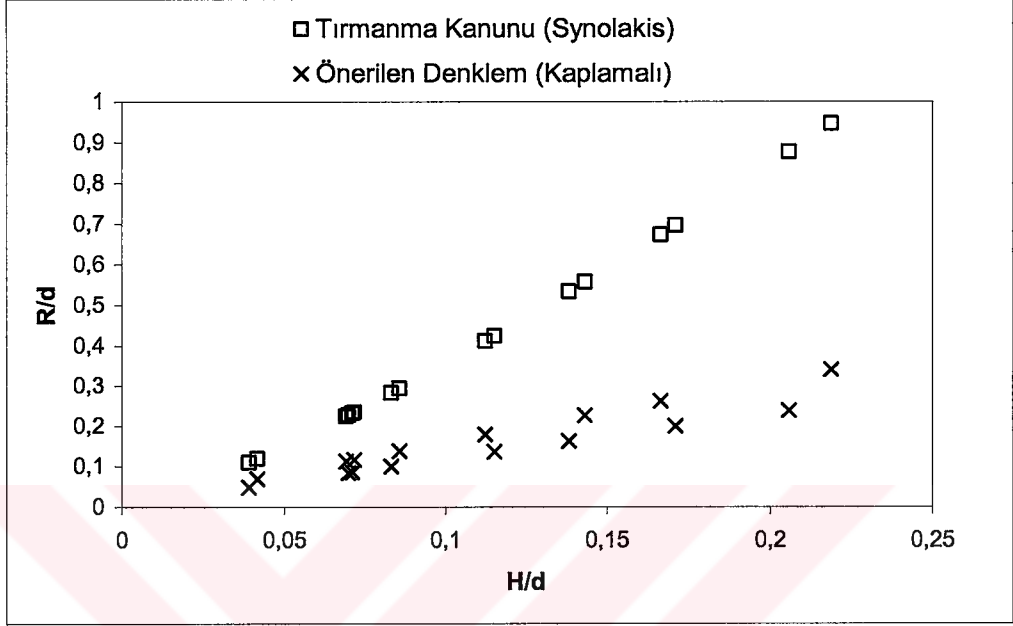


Şekil 6.2 VTCS-2 [17], Hall & Watts [8] ve laboratuvar verileri arasında karşılaştırmalar

Laboratuvar verilerinden elde edilen  $H/d$  değerleri önce Synolakis tarafından verilen (1.1) denklemde, daha sonra kaplamasız yzeyler için önerilen (5.8) denklemde yerine konarak  $R/d$  değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.3’de bu iki denklemden elde edilen  $R/d$ ’ler karşılaştırıldığında (5.8) denkleminden bulunan boyutsuz tırmanma yzsekliği parametresinin daha küçük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni (1.1) denkleminin geçirimsiz düz levha üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilmiş olmasıdır. Şekil 6.4’de ise kaplamalı durum için önerilen denklem ve tırmanma kanunundan (1.1) denkleminden elde edilen  $R/d$ ’ler karşılaştırılmıştır. Şekil 6.3 ve 6.4’den kaplamanın tırmanma yzsekliğini %50 oranında azalttığı grlmştir.



Şekil 6.3 Kaplamasız durum için önerilen denklemde ve tırmanma kanunundan (1.1) elde edilen boyutsuz tırmanma yzsekliği parametresinin karşılaştırılması



Şekil 6.4 Kaplamalı durum için önerilen denklemden ve tırmanma kanunundan (1.1) elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresinin karşılaştırılması

Tsunami etkisindeki kaplamasız ve kısmi kaplamalı yüzeylerde oluşan erozyon alanları Bölüm 4’de belirtildiği gibi iki farklı durum için deneysel olarak incelenmiştir. Dalga yüksekliğindeki artışın erozyon alanını arttırdığı görülmüştür (Şekil 4.24-Şekil 4.26).

Kaplamasız durum için yapılan deneylerden erozyon alanına etkileyen parametrelerin dalga yüksekliği, kullanılan kumun dane çapı ve birim hacim ağırlığı, su derinliği ve şev eğiminin olduğu belirlenmiş boyutsuz erozyon alanı parametresi için (5.29) denklemi önerilmiştir:

$$\frac{A}{d^2} = 8.10^{-6} \left( H \frac{G_{sp}}{D} \tan\beta \right)^{1.8242} \quad (5.29)$$



(5.17) denklemindeki  $\chi$  yerine (5.22) ifadesi yazılırsa kaplamalı yüzeyler için önerilen denklemden kaplamasız yüzeye ait boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresi bulunabilir. Kaplamasız durum için boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresi ile boyutsuz erozyon alanı parametresi arasında da (5.34) bağıntısı önerilmiştir.

Yapılan karşılaştırmalar mevcut deney koşullarında önerilen denklemlerin doğruluğunu göstermektedir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda tırmanma yüksekliği farklı dalga geliş açıları için belirlenebilir. Ayrıca, kaplama yüzeyi farklı prefabrike beton bloklarla (core-loc, tetrapod vs.) oluşturularak tırmanma yüksekliğindeki değişim incelenebilir.

**EK – A**

**DALGA YÜKSEKLİĞİ VE TIRMANMA YÜKSEKLİĞİNE  
AİT DENEY VERİLERİ**

Çizelge A.1 Kaplamasız durum için kırılmayan solitary dalgaların tırmanması

Eğim (cot $\beta$ )	H/d	Ru/d deney	Ru/d Önerilen denklem
5	0,1525	0,5121	0,3848
5	0,2745	0,4333	0,6613
5	0,0477	0,1432	0,1319
5	0,0842	0,2228	0,2227
5	0,3392	0,6303	0,8036
5	0,2968	0,6758	0,7104
5	0,0657	0,1753	0,1771
5	0,1145	0,3090	0,2955
5	0,0416	0,0998	0,1162
5	0,0598	0,1337	0,1626
5	0,0852	0,1664	0,2251
5	0,1144	0,2900	0,2953
5	0,0674	0,2407	0,1814
5	0,1614	0,4962	0,4054
5	0,1380	0,2864	0,3509
5	0,2055	0,6151	0,5065
5	0,1502	0,4873	0,3795
5	0,1792	0,5379	0,4463
5	0,1235	0,5052	0,3169
5	0,0456	0,1504	0,1266
5	0,0867	0,1932	0,2288
5	0,0483	0,1099	0,1334
5	0,0753	0,2050	0,2010
5	0,1192	0,4755	0,3066
5	0,1757	0,5200	0,4384
5	0,1609	0,5703	0,4043
5	0,1856	0,3833	0,4611
5	0,0535	0,1308	0,1466
5	0,0898	0,2110	0,2363
5	0,0488	0,1278	0,1348
5	0,0502	0,2080	0,1383
5	0,1507	0,4697	0,3806
5	0,1909	0,3385	0,4732
5	0,0483	0,1367	0,1335
5	0,0892	0,2116	0,2347
5	0,2774	0,6300	0,6676
5	0,2778	0,7303	0,6685

Çizelge A.1'in devamı

5	0,2782	0,6818	0,6694
5	0,2927	0,7273	0,7015
5	0,0713	0,1783	0,1911
5	0,1217	0,2882	0,3127
5	0,0725	0,1616	0,1941
5	0,1272	0,2704	0,3257
5	0,2801	0,7030	0,6737
5	0,3184	0,7000	0,7580
5	0,3252	0,6939	0,7728
5	0,2504	0,7009	0,6075
5	0,0667	0,1723	0,1796
5	0,1217	0,3120	0,3127
5	0,0690	0,1795	0,1855
5	0,1161	0,2936	0,2992
5	0,2884	0,7061	0,6920
5	0,3173	0,7318	0,7557
5	0,0860	0,1694	0,2270
5	0,1185	0,2882	0,3049

Çizelge A.2 Geçirimsiz yüzeyde kırılmayan solitary dalgaların tırmanması

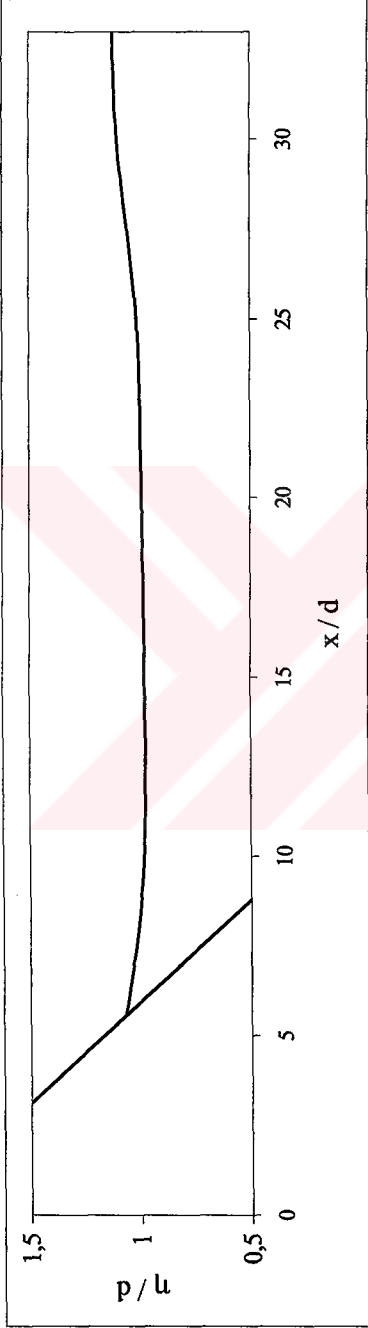
Eğim (cot $\beta$ )	H/d	Ru/d deney	Ru/d (Denk 1.1)
5	0,0266	0,1070	0,0681
5	0,0502	0,1379	0,1502
5	0,0554	0,1456	0,1701
5	0,0770	0,2270	0,2566
5	0,0605	0,1741	0,1901
5	0,1295	0,4748	0,4920
5	0,0619	0,1676	0,1956
5	0,1775	0,6965	0,7295
5	0,0913	0,2348	0,3176
5	0,1933	0,7637	0,8115

Çizelge A.3 Kaplamalı yüzeyde kırılmayan solitary dalgaların tırmanması

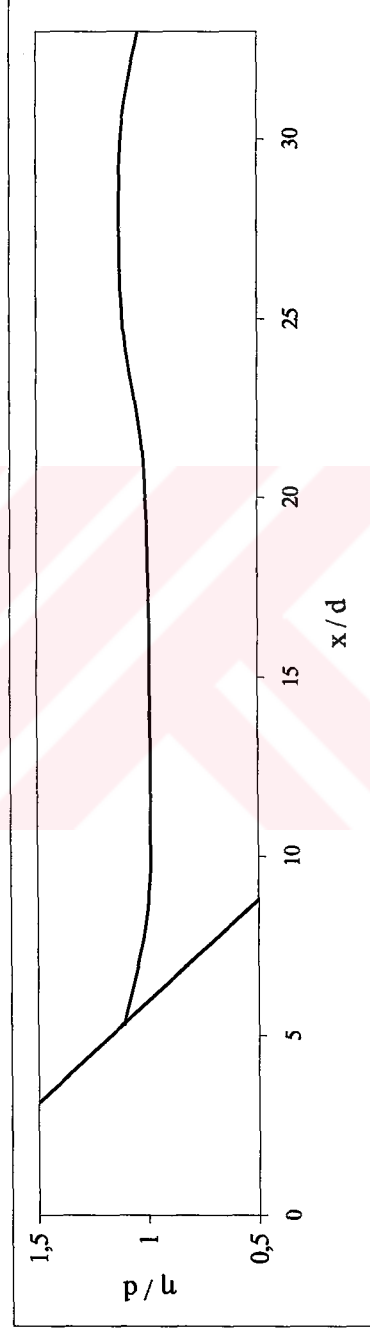
Eğim (cot $\beta$ )	H/d	Ru/d deney	Ru/d Önerilen denklem
5	0,0416	0,0565	0,0686
5	0,0692	0,0790	0,1119
5	0,0857	0,1141	0,1377
5	0,1123	0,1373	0,1787
5	0,0717	0,1652	0,1158
5	0,1665	0,2282	0,2613
5	0,1431	0,2425	0,2257
5	0,2187	0,3376	0,3398
5	0,0391	0,0499	0,0479
5	0,0699	0,0749	0,0838
5	0,0832	0,1082	0,0992
5	0,1151	0,1171	0,1357
5	0,0711	0,1206	0,0853
5	0,1710	0,2163	0,1988
5	0,1382	0,2050	0,1619
5	0,2057	0,2811	0,2376

**EK – B**

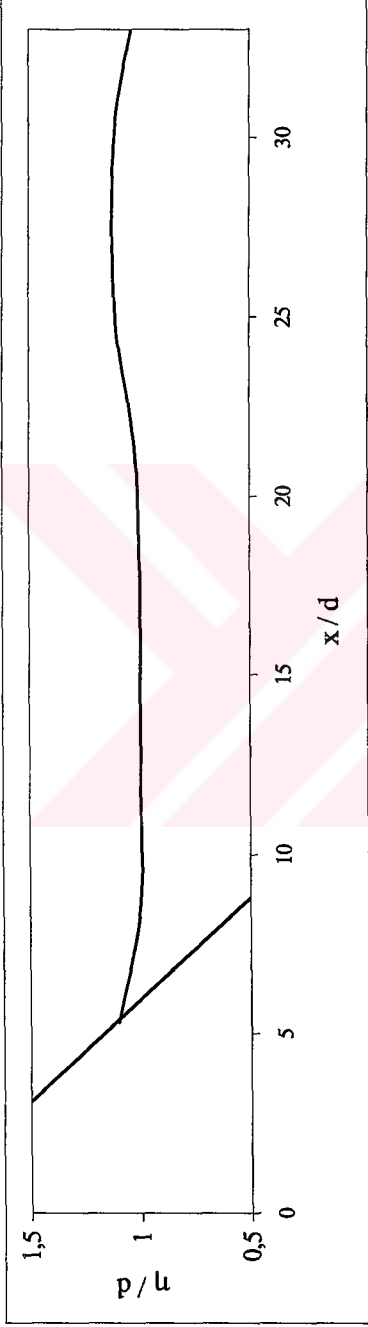
**DALGA KAYITLARINDAN ELDE EDİLEN  
SERBEST SU YÜZEYİ DEĞİŞİMLERİ**



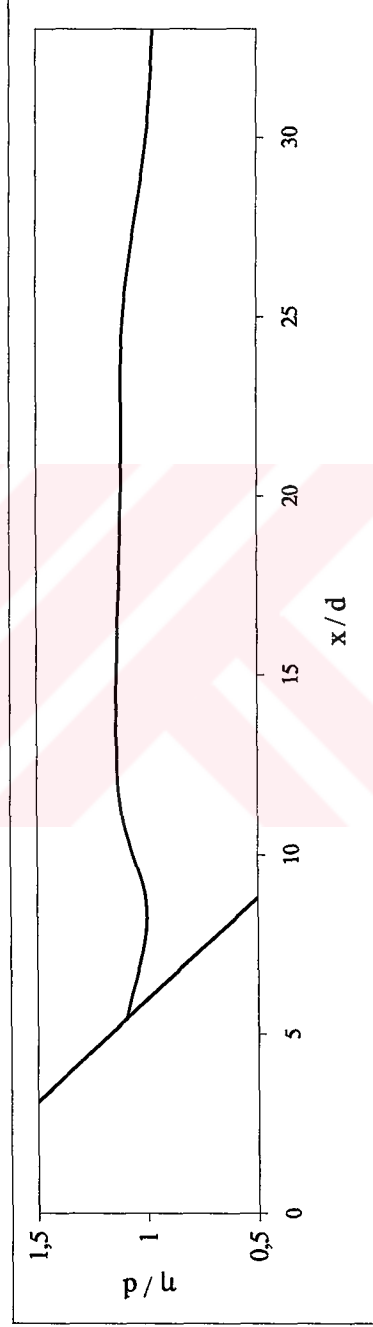
Şekil B.1  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 46$ ) (Deney No : 101)



Şekil B.2  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 101)

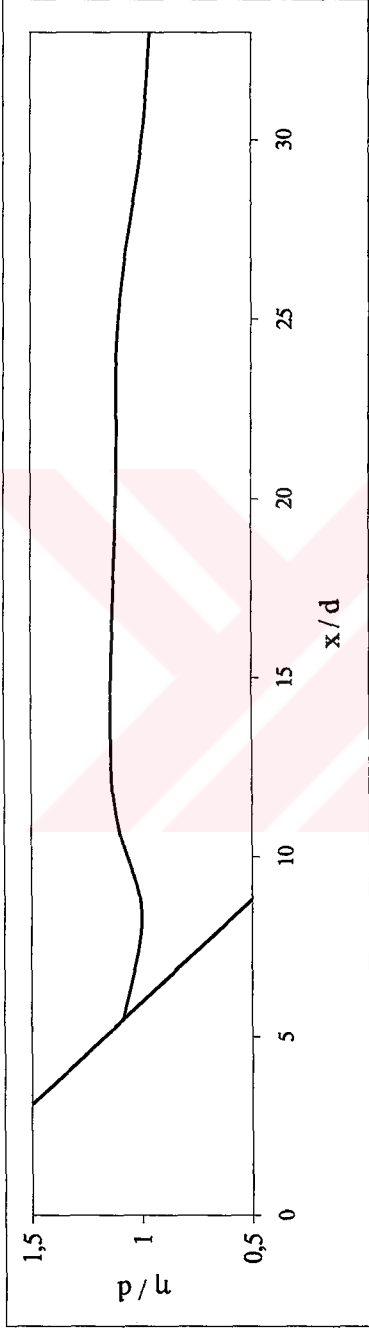


Şekil B.3  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=50$ ) (Deney No : 101)

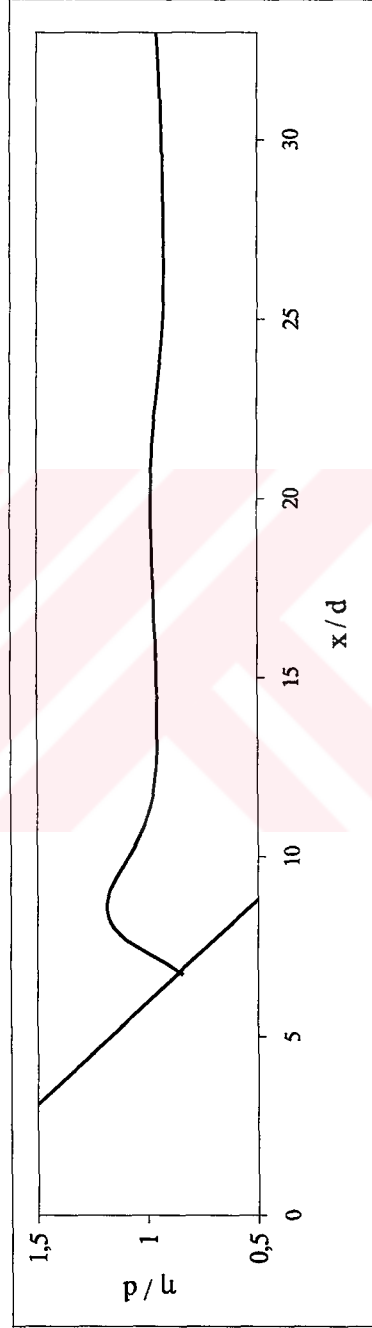


Şekil B.4  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=54.5$ ) (Deney No : 101)

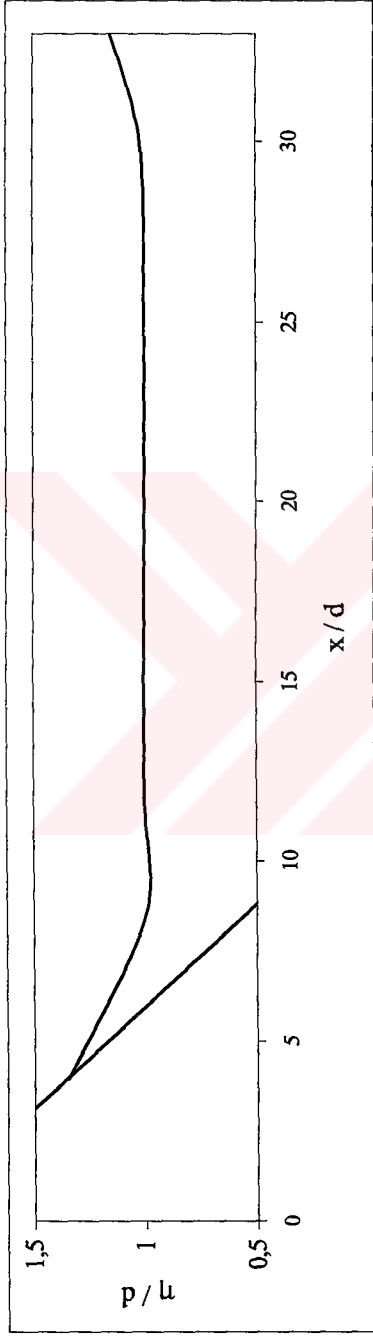




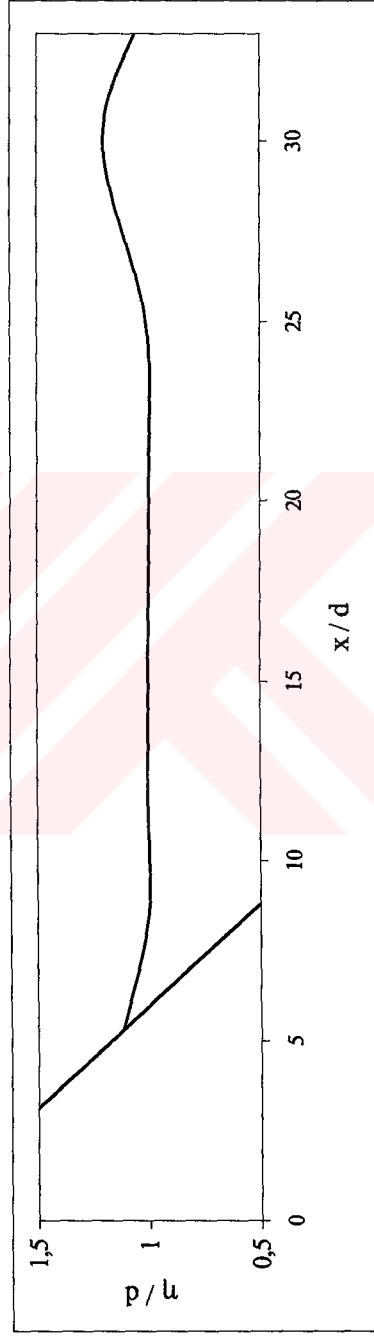
Şekil B.5  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=55$ ) (Deney No : 101)



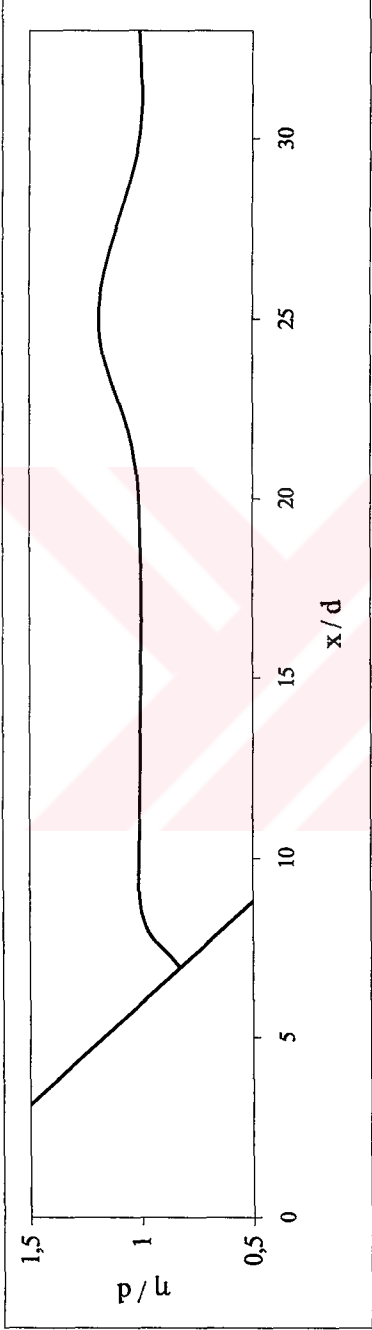
Şekil B.6  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=67$ ) (Deney No : 101)



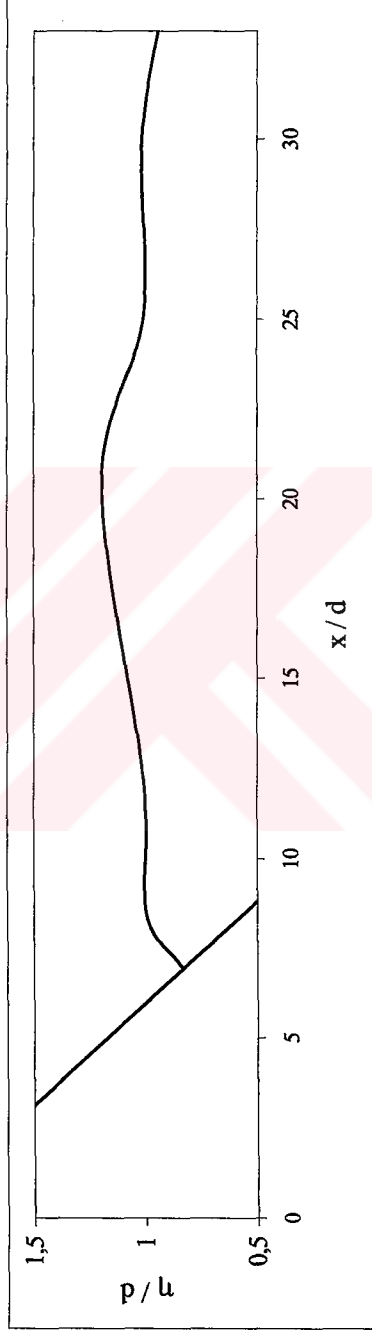
Şekil B.7 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 30$ ) (Deney No : 103)



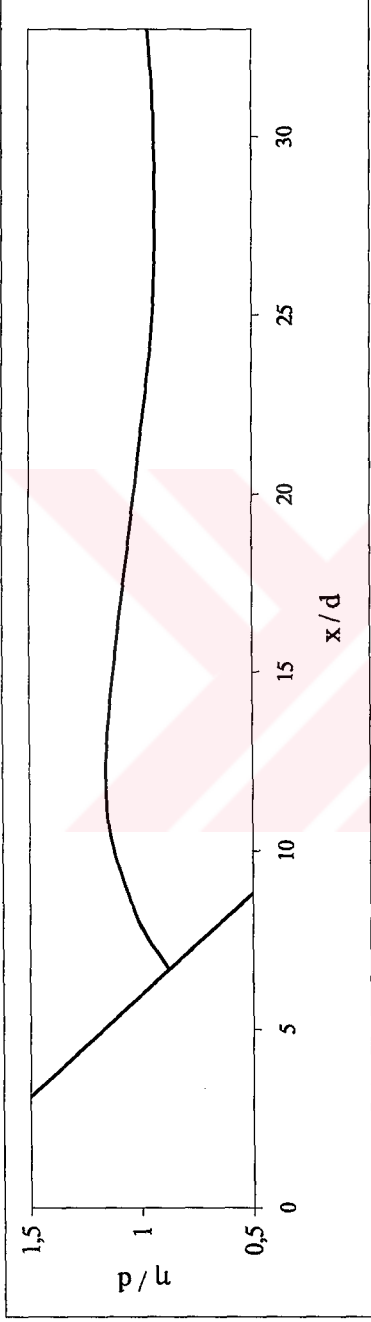
Şekil B.8 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 34$ ) (Deney No : 103)



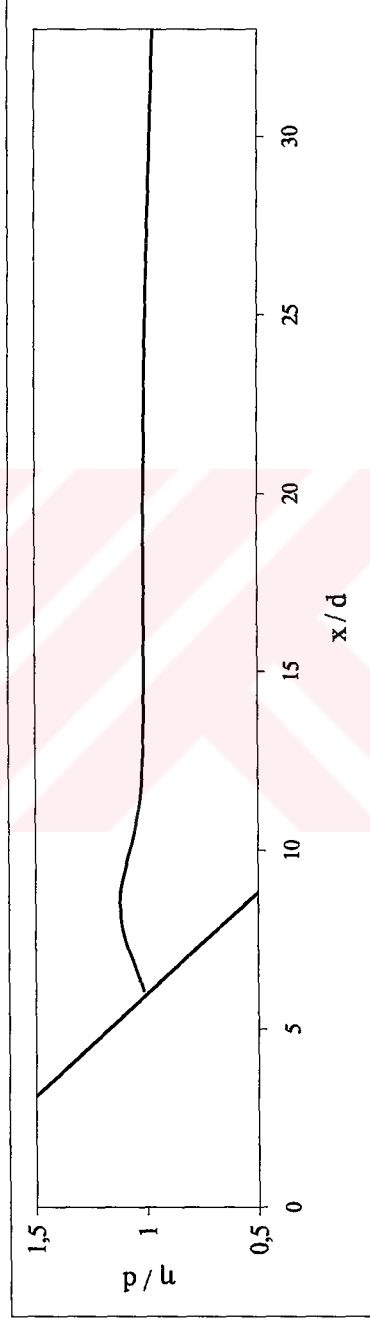
Şekil B.9  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 38$ ) (D deney No : 103)



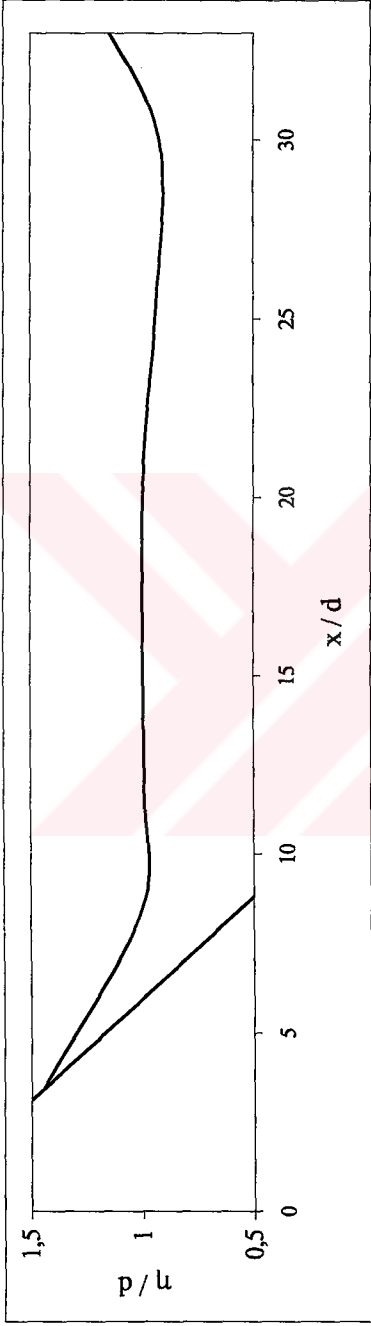
Şekil B.10  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 43$ ) (D deney No : 103)



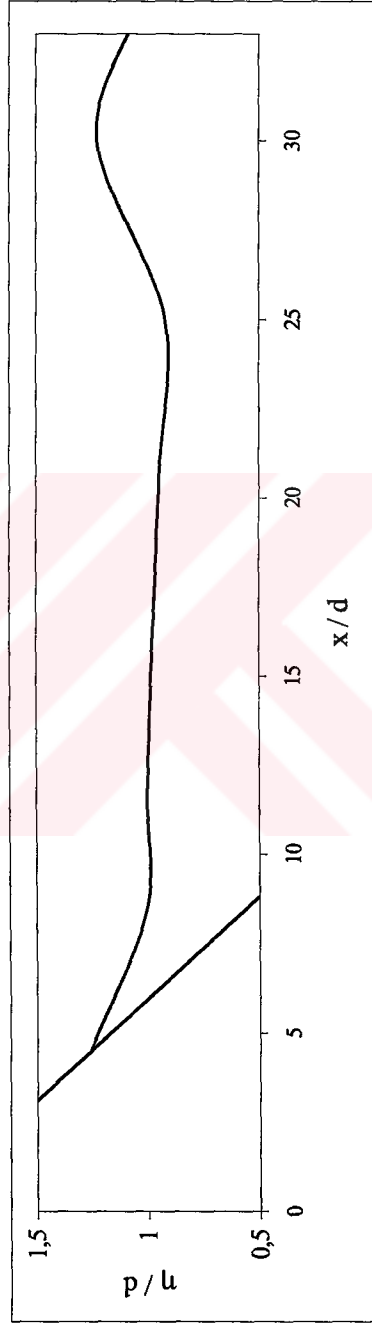
Şekil B.11 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 51$ ) (Deney No : 103)



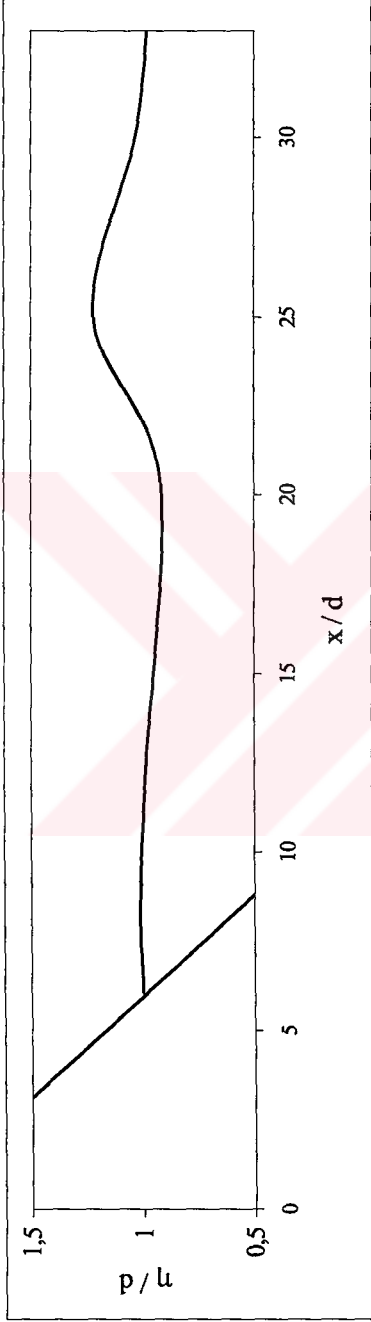
Şekil B.12 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 66$ ) (Deney No : 103)



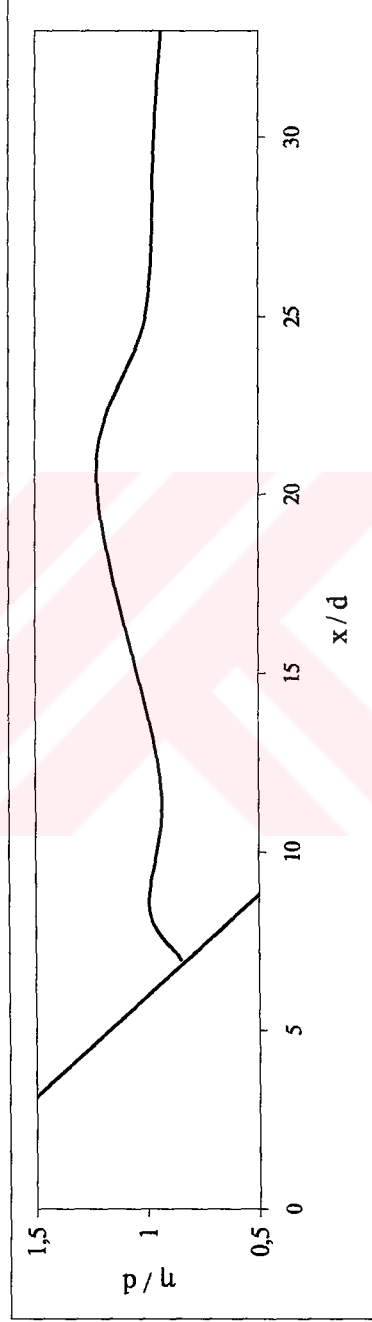
Şekil B.13  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 43$ ) (Deney No : 104)



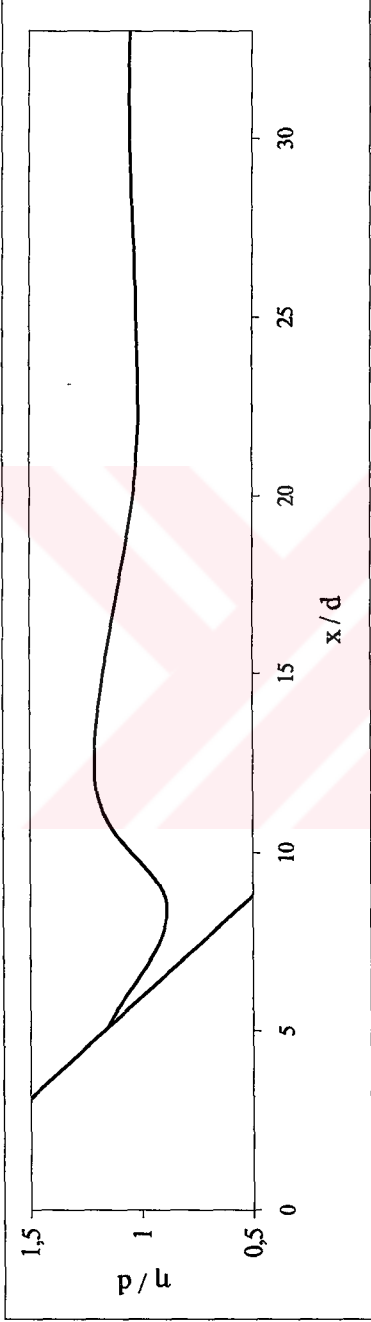
Şekil B.14  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 104)



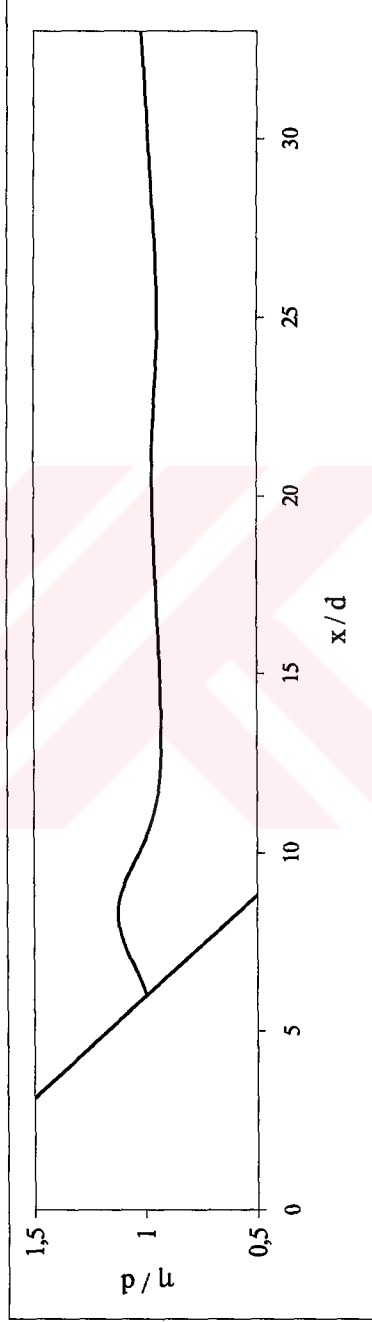
Şekil B.15  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 52$ ) (Deney No : 104)



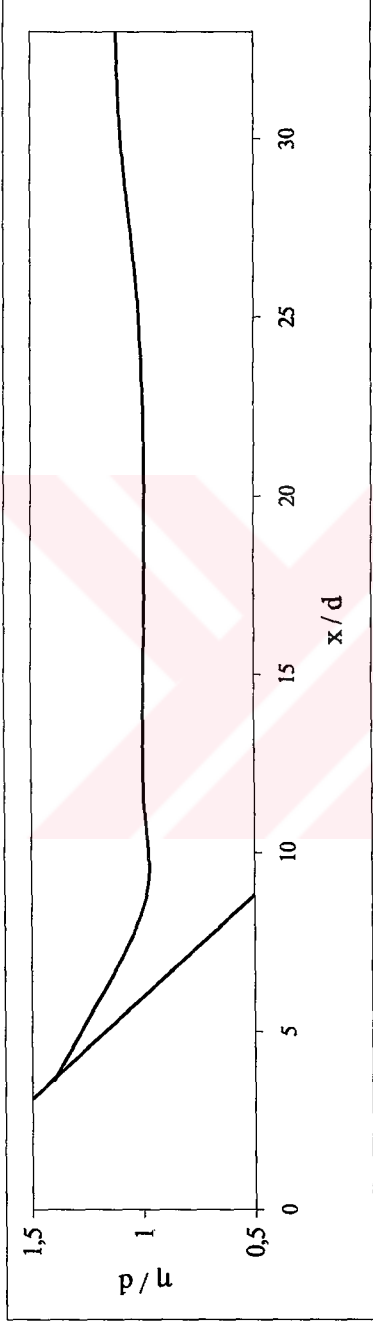
Şekil B.16  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 56$ ) (Deney No : 104)



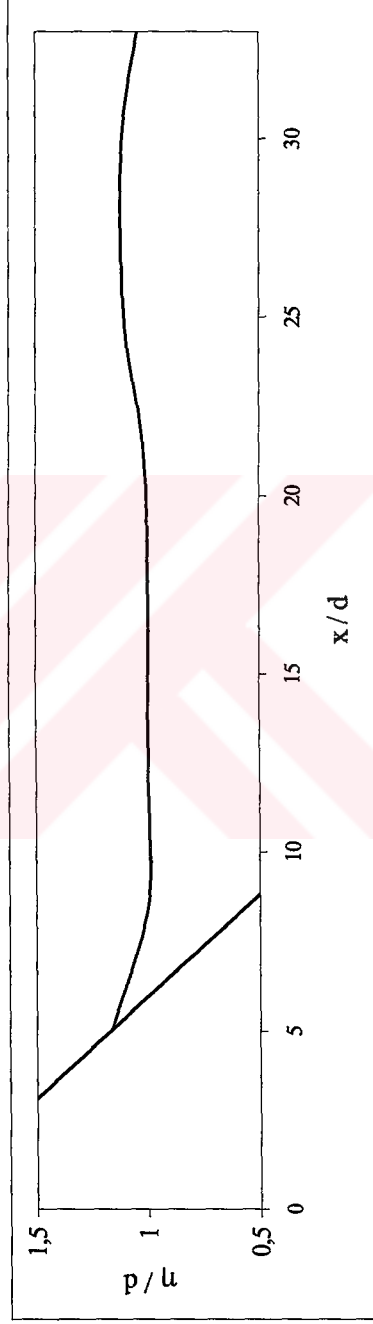
Şekil B.17 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 65$ ) (D deney No : 104)



Şekil B.18 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 69$ ) (D deney No : 104)

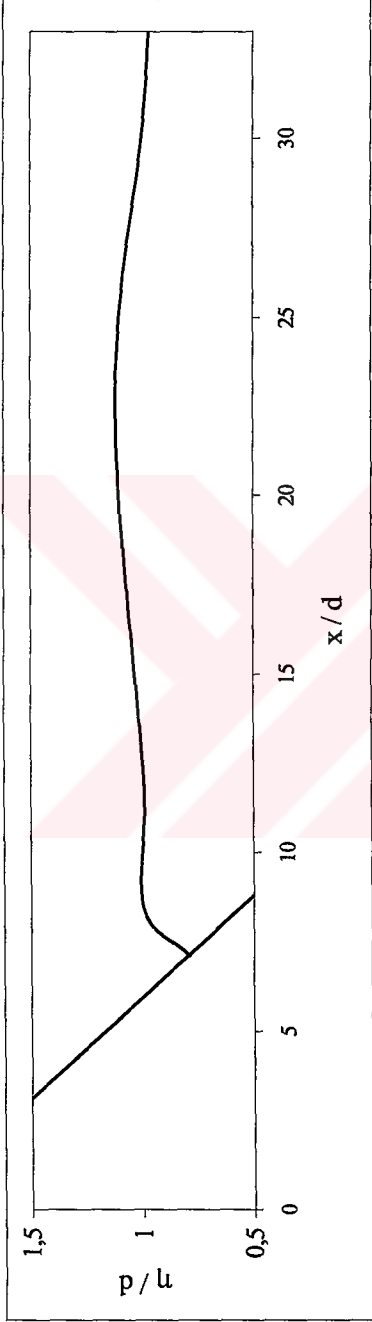


Şekil B.19  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 38$ ) (Deney No : 105)

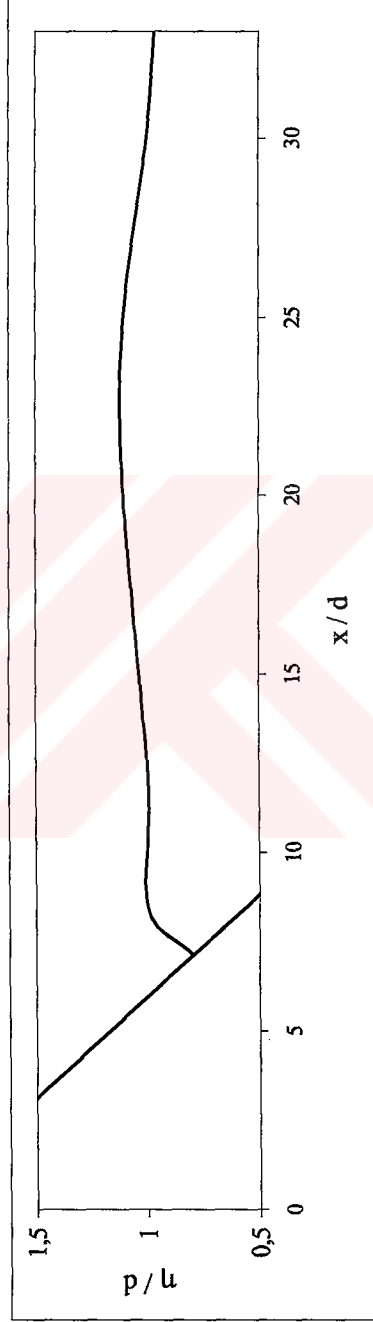


Şekil B.20  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 41$ ) (Deney No : 105)

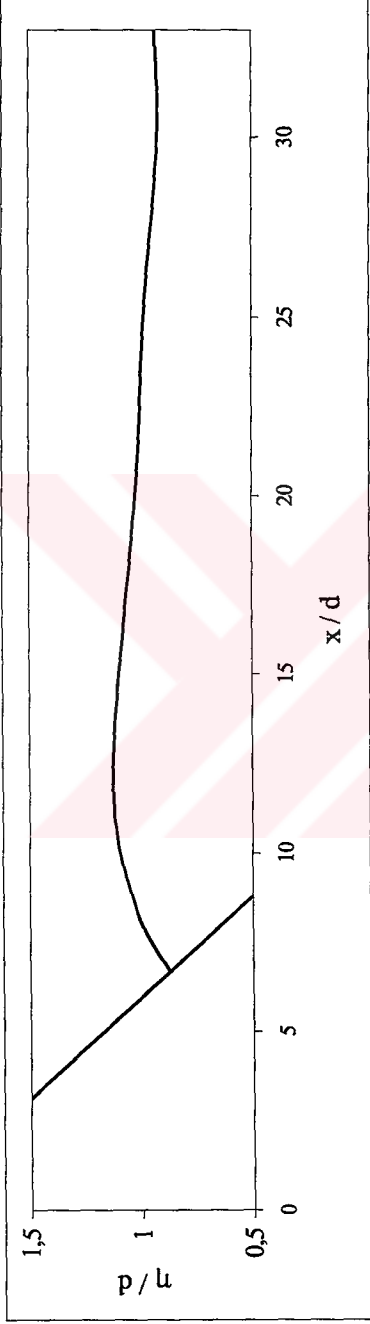




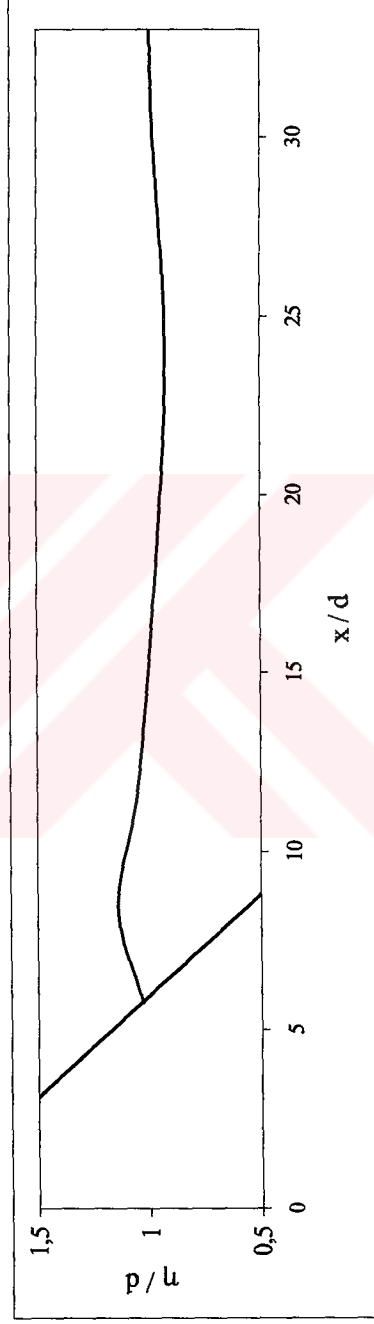
Şekil B.21  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45$ ) (Deney No : 105)



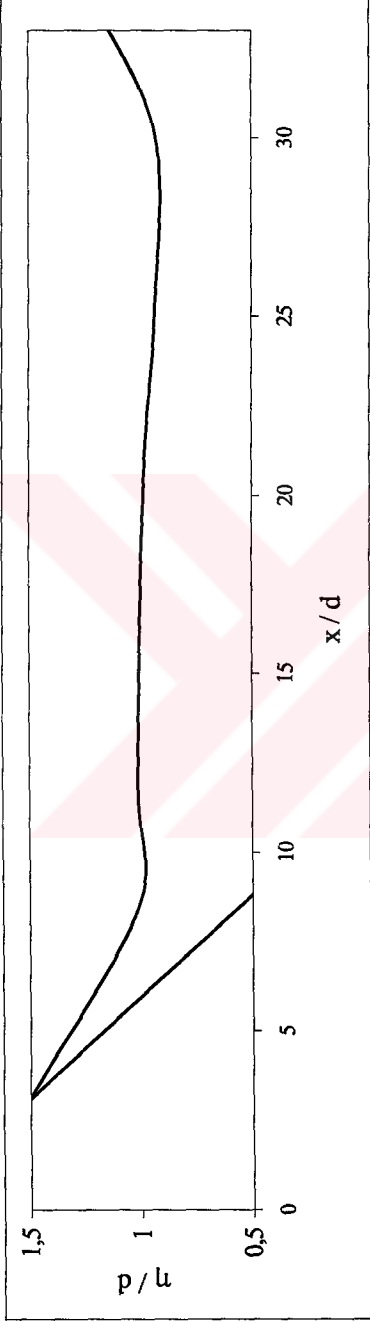
Şekil B.22  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 46$ ) (Deney No : 105)



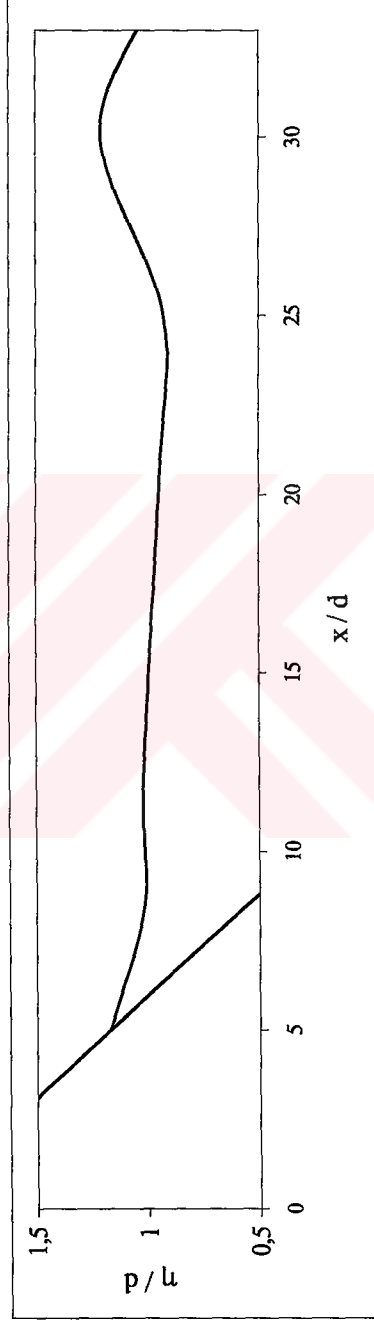
Şekil B.23  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 52$ ) (Deney No : 105)



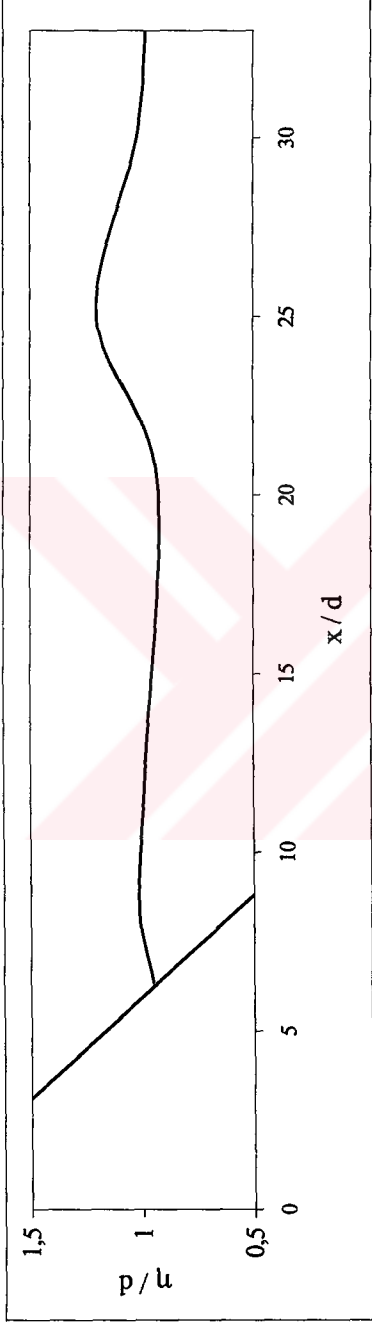
Şekil B.24  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 57.5$ ) (Deney No : 105)



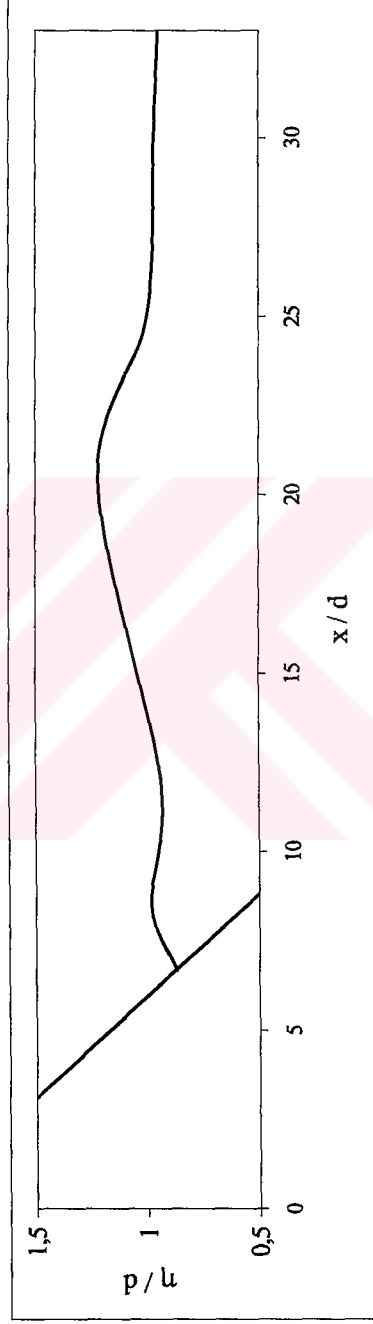
Şekil B.25  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 39$ ) (Deney No : 106)



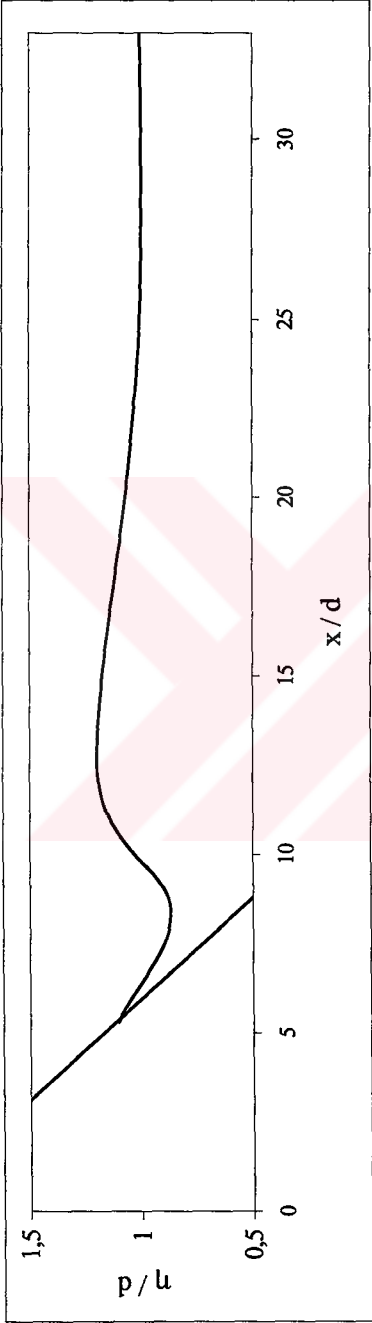
Şekil B.26  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 43$ ) (Deney No : 106)



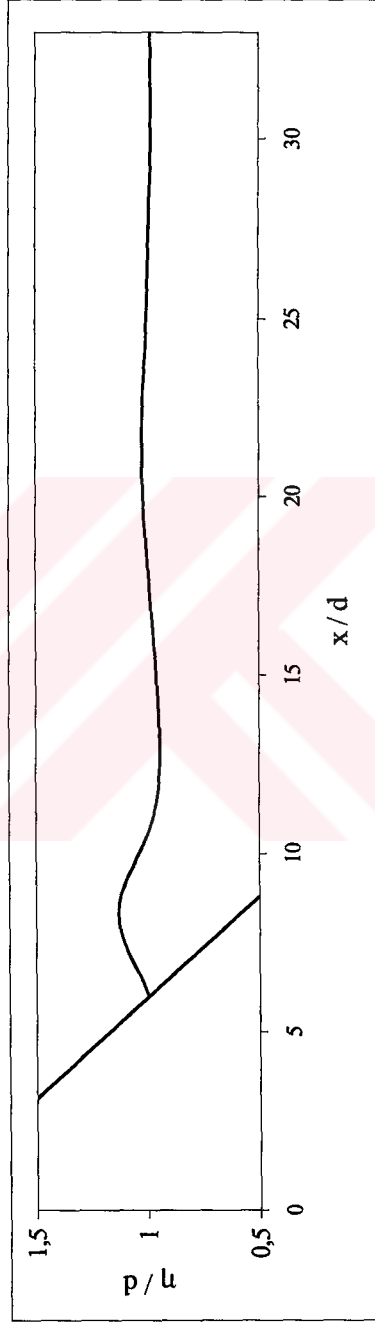
Şekil B.27  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 106)



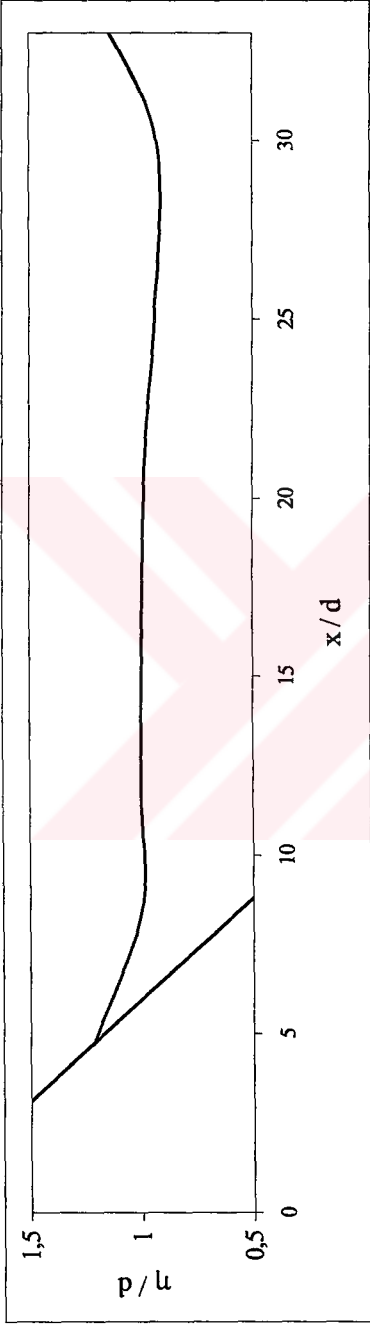
Şekil B.28  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 52$ ) (Deney No : 106)



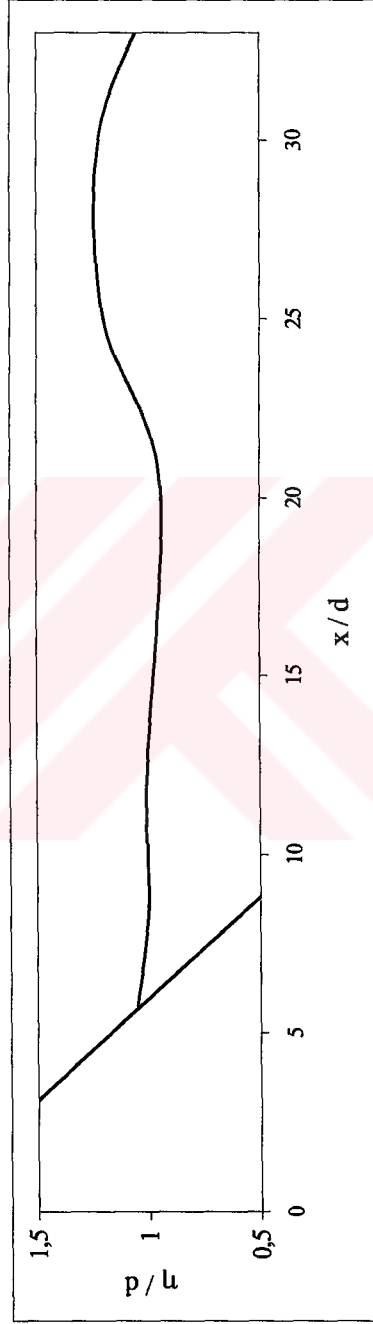
Şekil B.29  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 60$ ) (Deney No : 106)



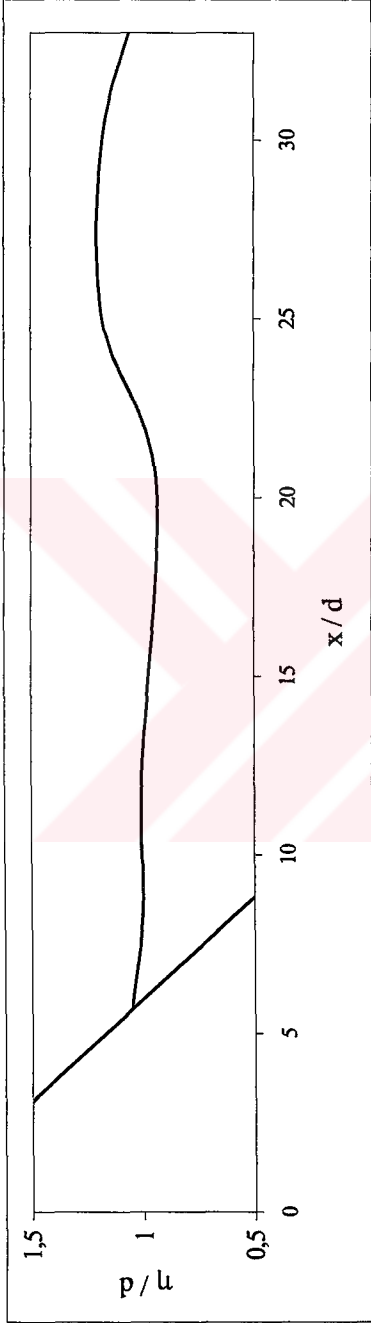
Şekil B.30  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 73$ ) (Deney No : 106)



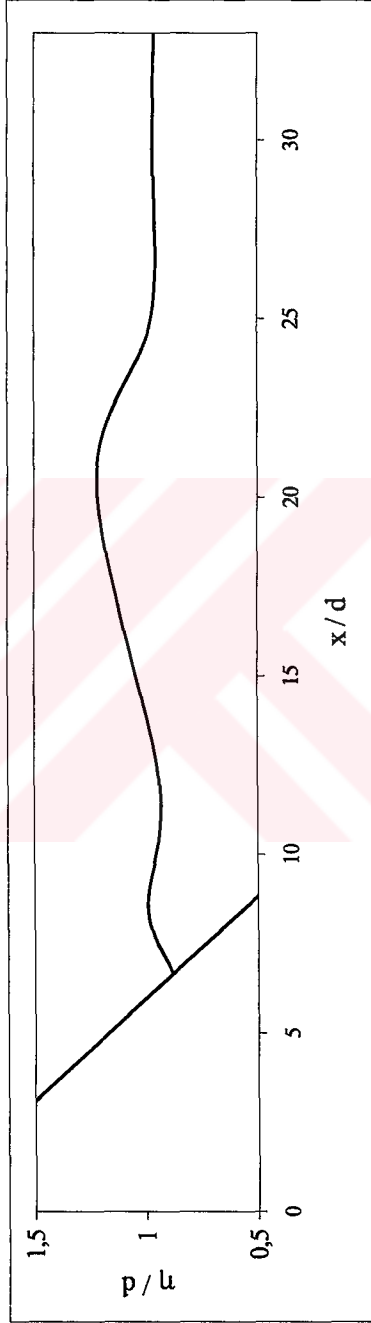
Şekil B.31  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 43$ ) (Deney No : 108)



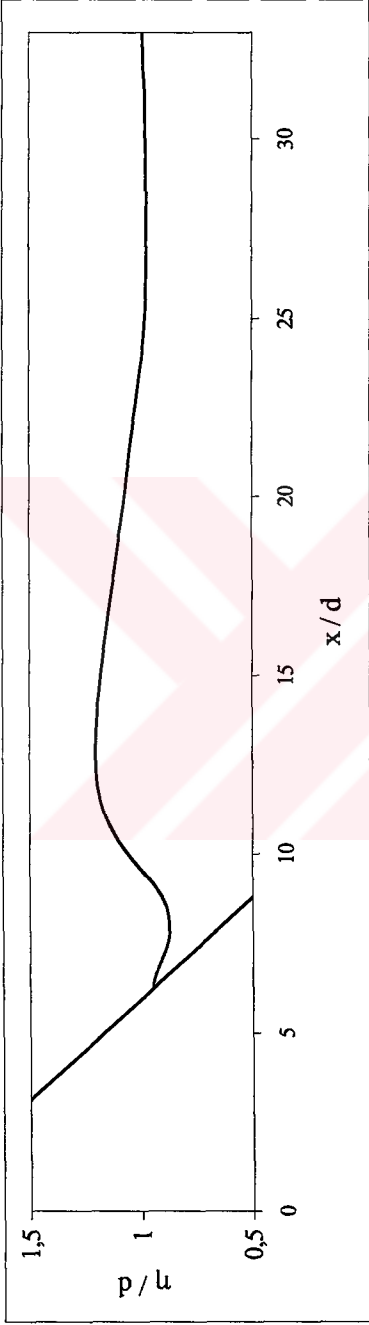
Şekil B.32  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 46.6$ ) (Deney No : 108)



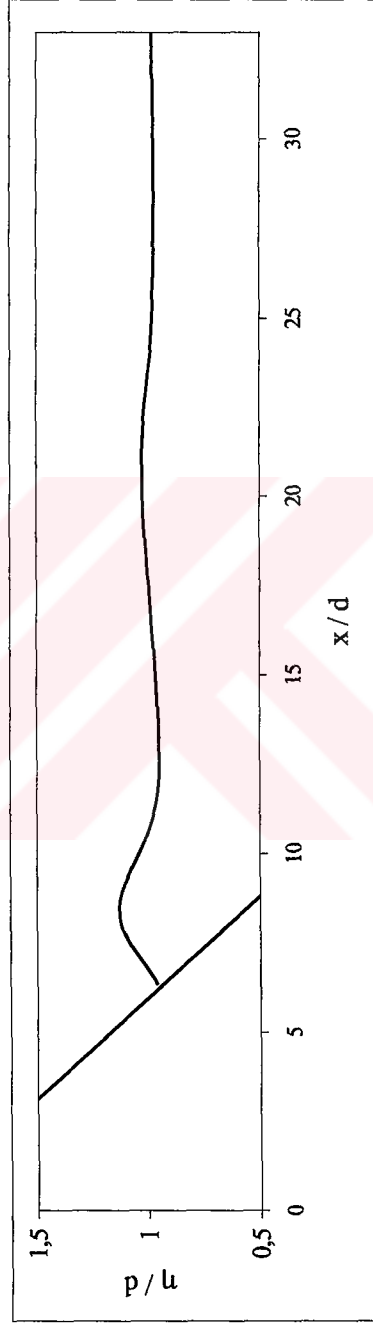
Şekil B.33  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 108)



Şekil B.34  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 56$ ) (Deney No : 108)

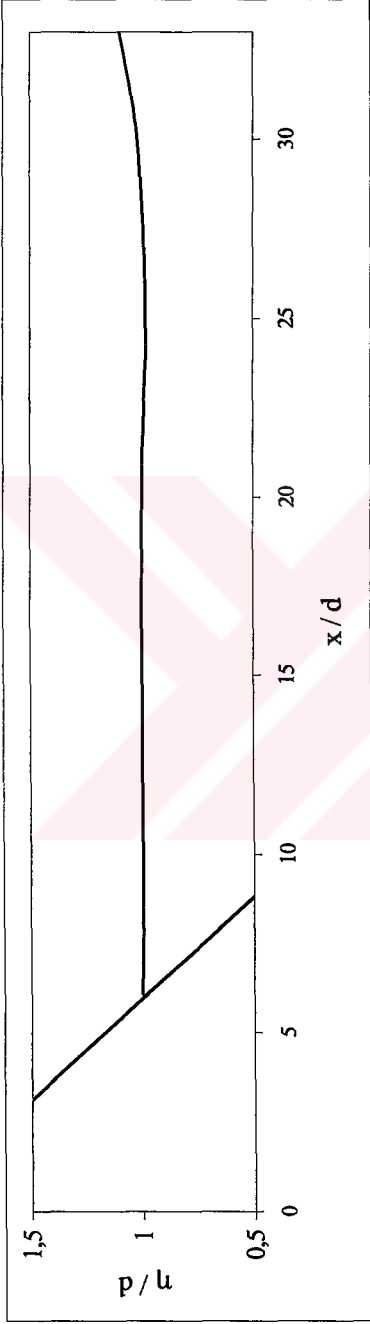


Şekil B.35  $x^*$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 64$ ) (Deney No : 108)

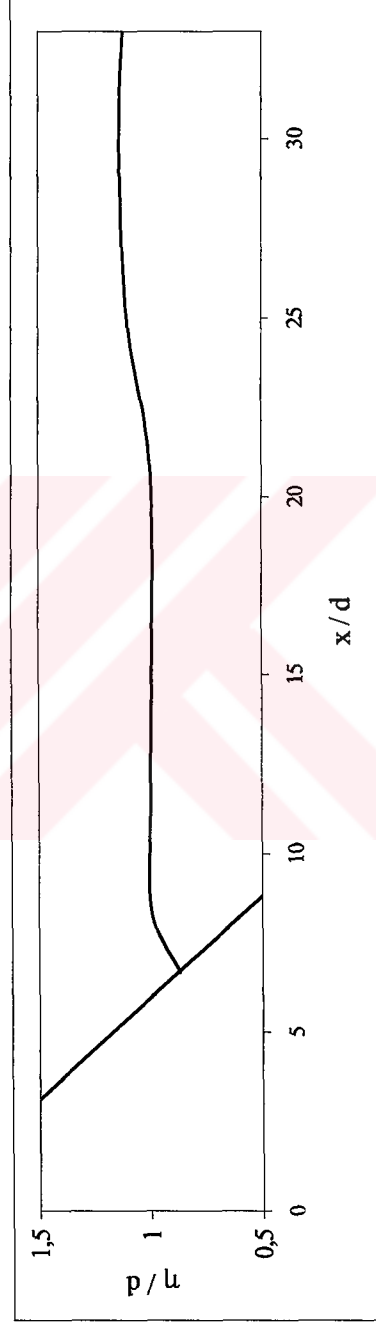


Şekil B.36  $x^*$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 77$ ) (Deney No : 108)

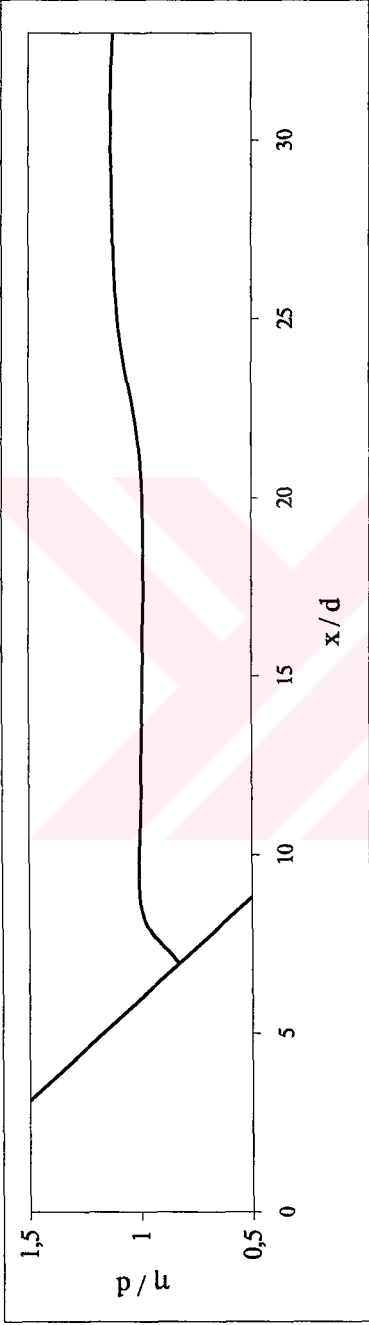




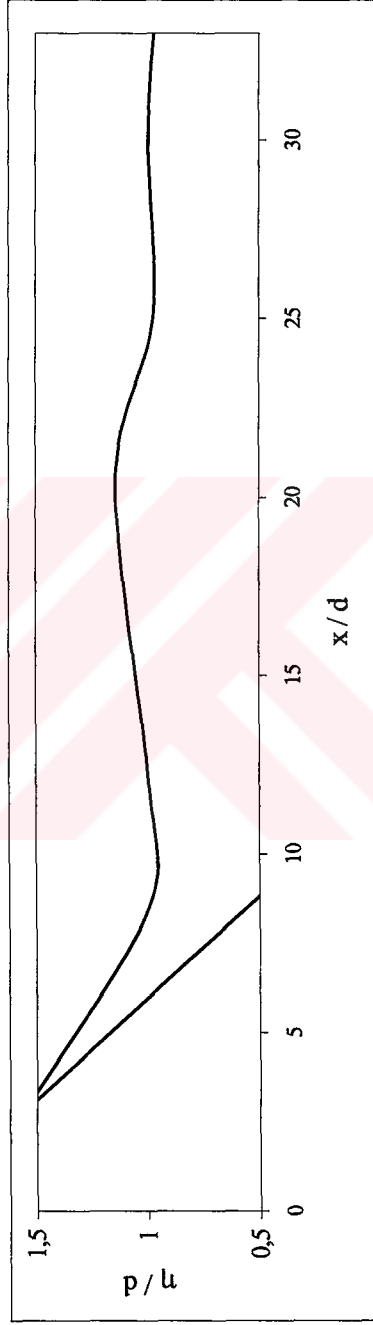
Şekil B.37 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 33$ ) (Deney No : 109)



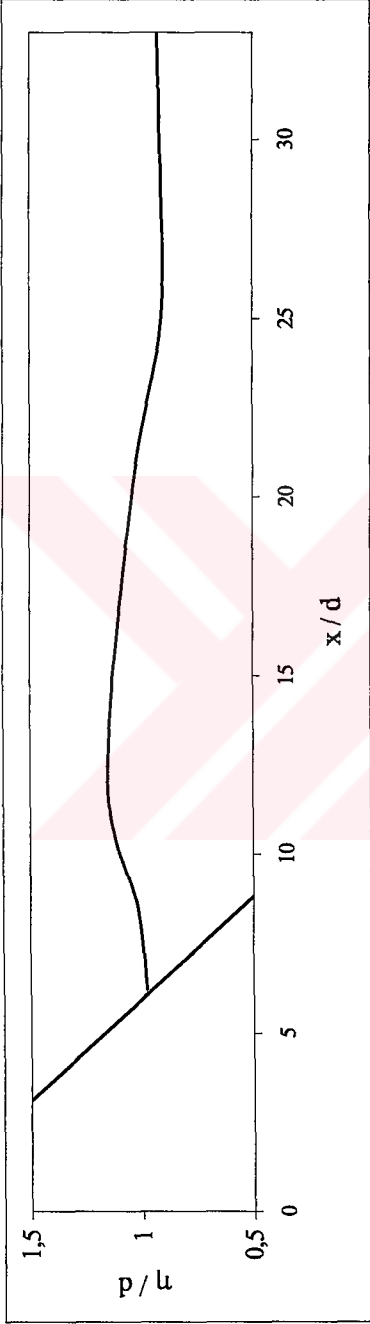
Şekil B.38 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 37$ ) (Deney No : 109)



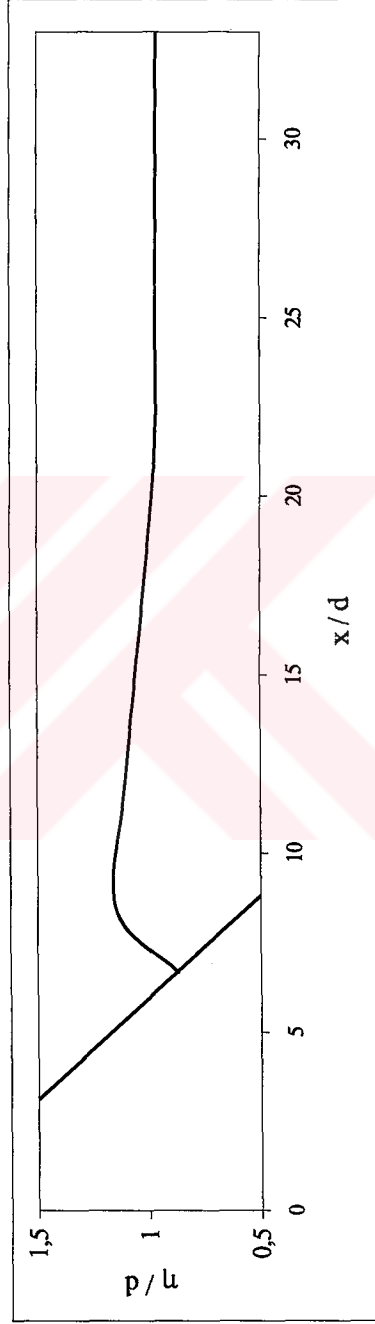
Şekil B.39 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 38$ ) (Dency No : 109)



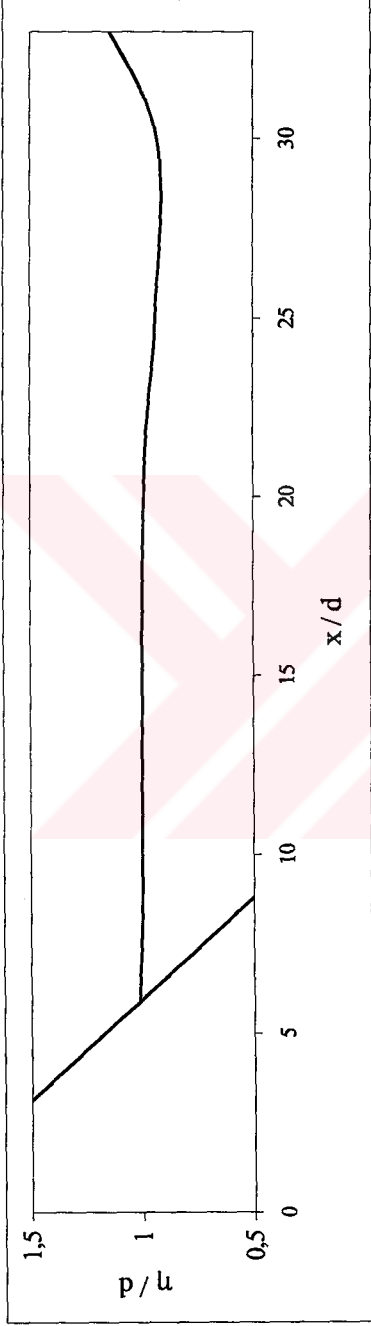
Şekil B.40 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Dency No : 109)



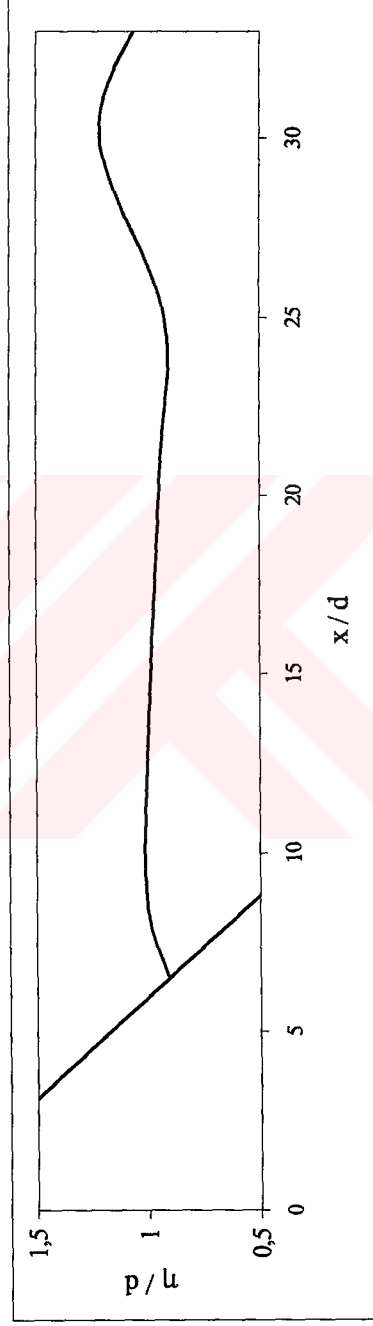
Şekil B.41  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 109)



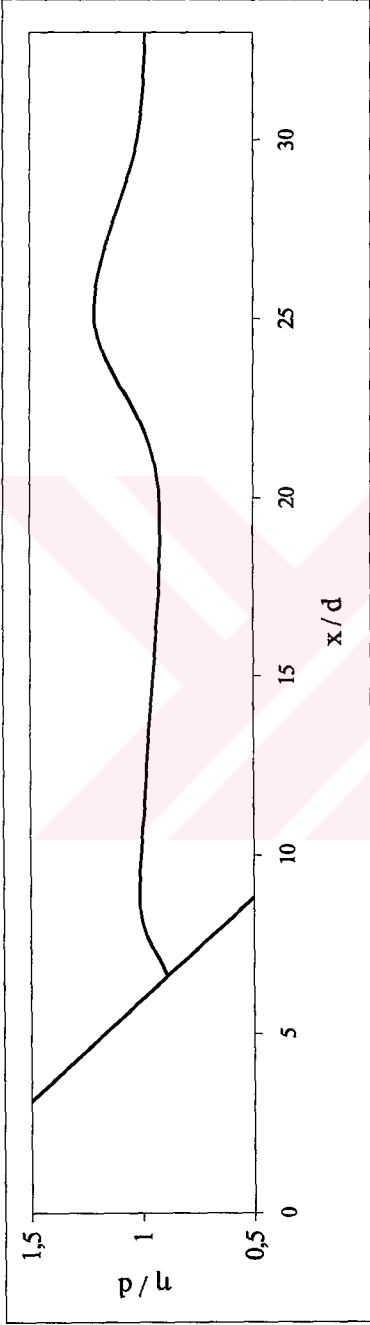
Şekil B.42  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 60$ ) (Deney No : 109)



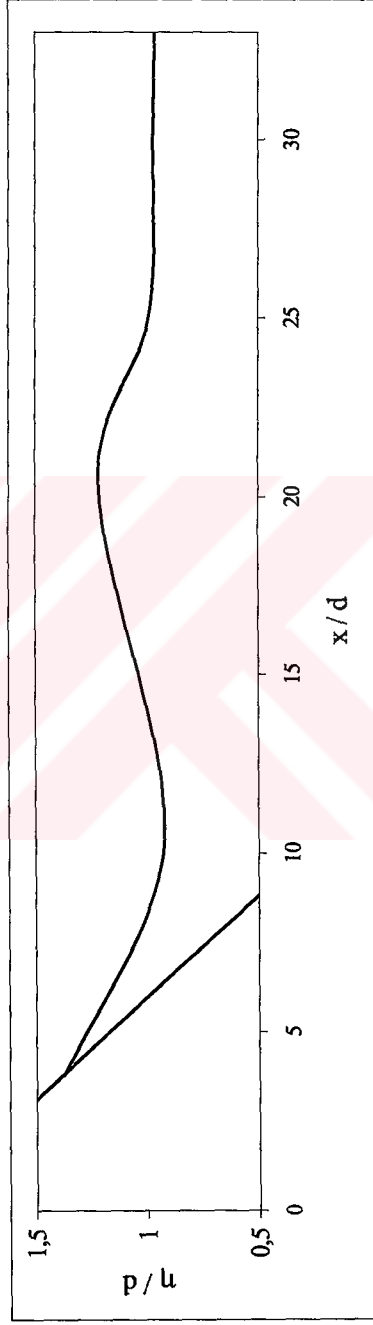
Şekil B.43  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 40$ ) (Deney No : 110)



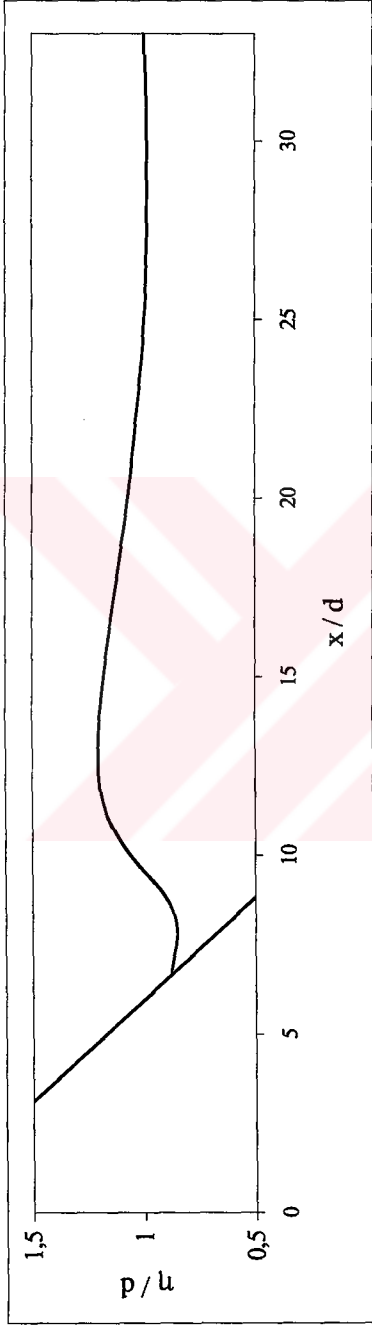
Şekil B.44  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 44$ ) (Deney No : 110)



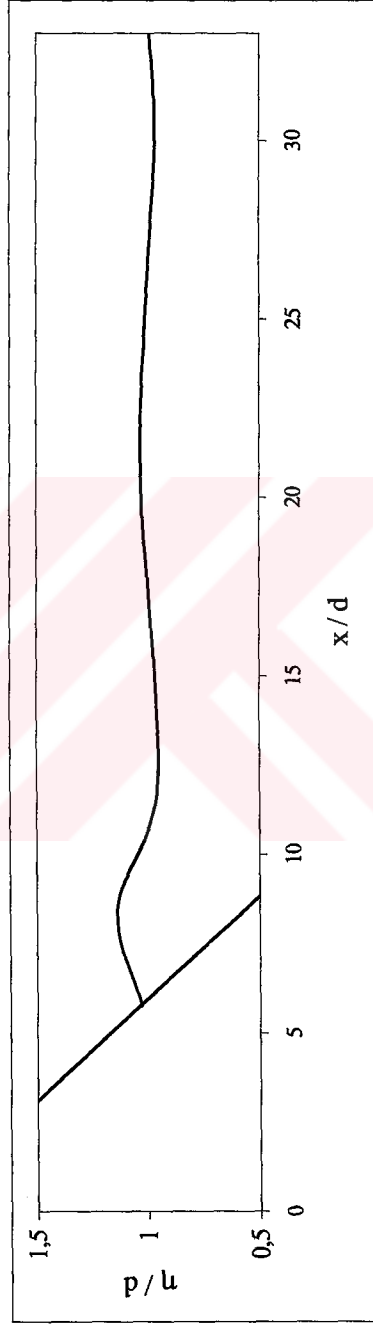
Şekil B.45  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 110)



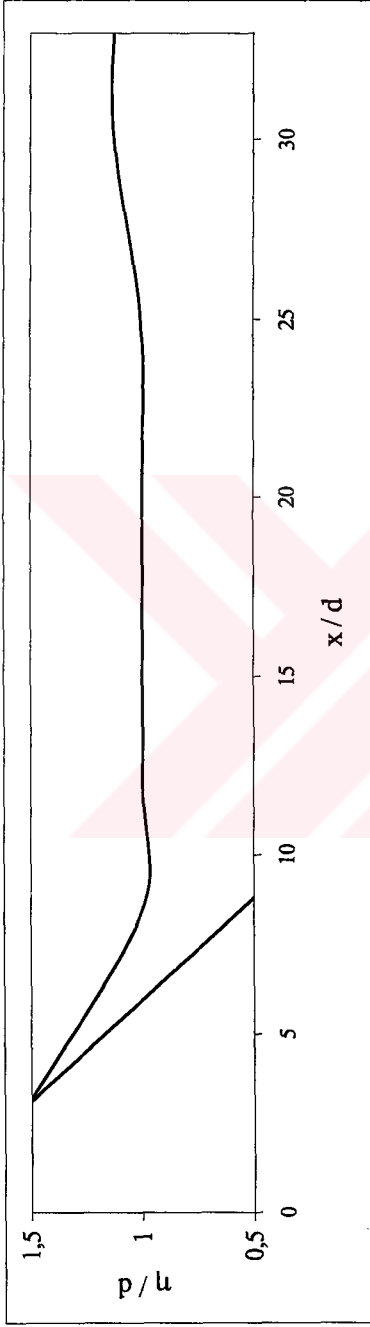
Şekil B.46  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 110)



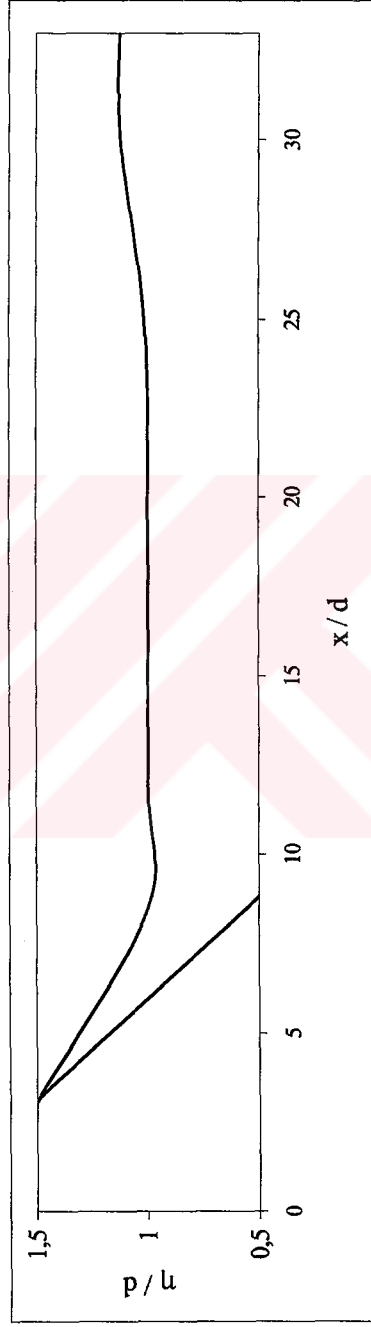
Şekil B.47  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 62$ ) (Deney No : 110)



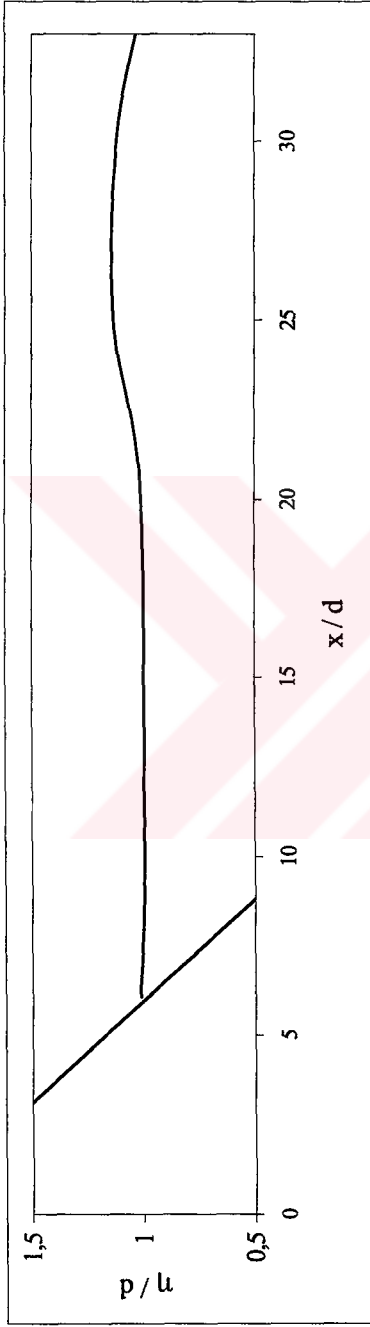
Şekil B.48  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 75$ ) (Deney No : 110)



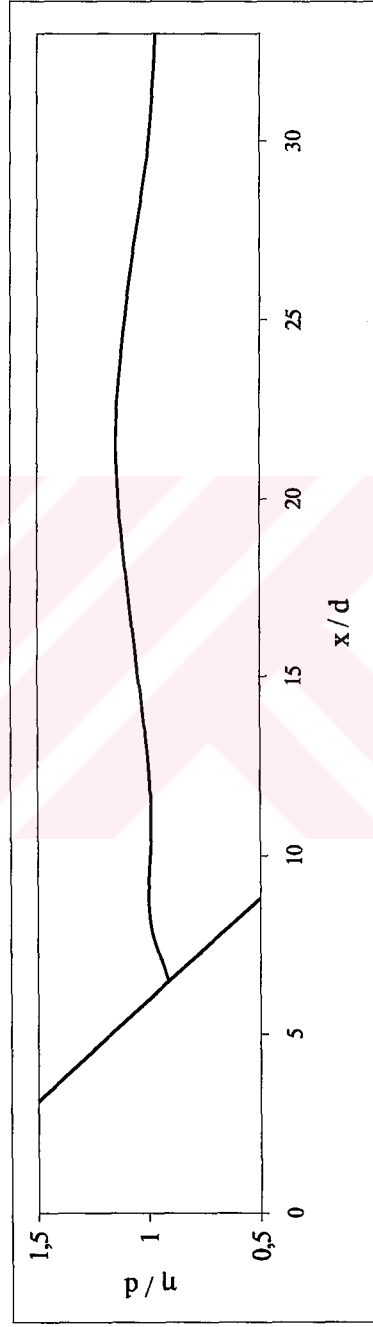
Şekil B.49 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=40$ ) (Deney No : 115)



Şekil B.50 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=41$ ) (Deney No : 115)

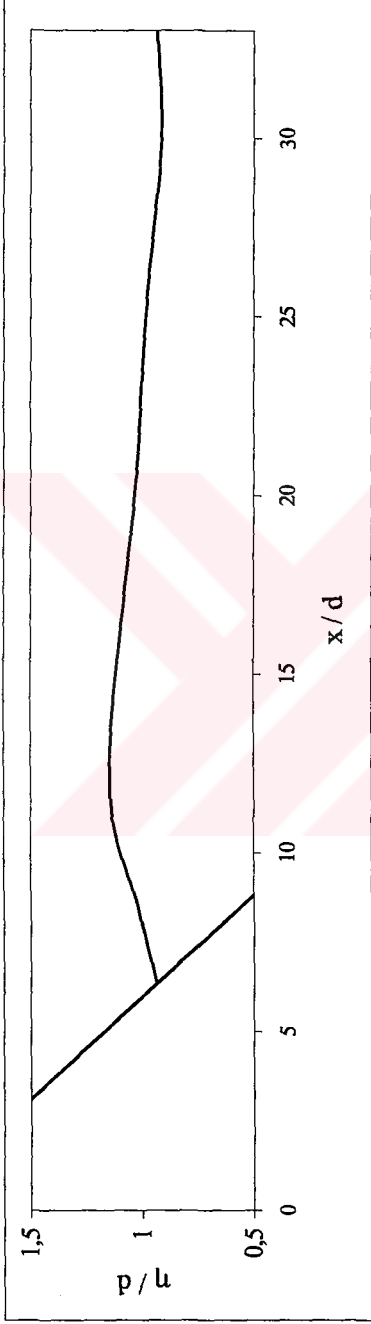


Şekil B.51  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45$ ) (Deney No : 115)

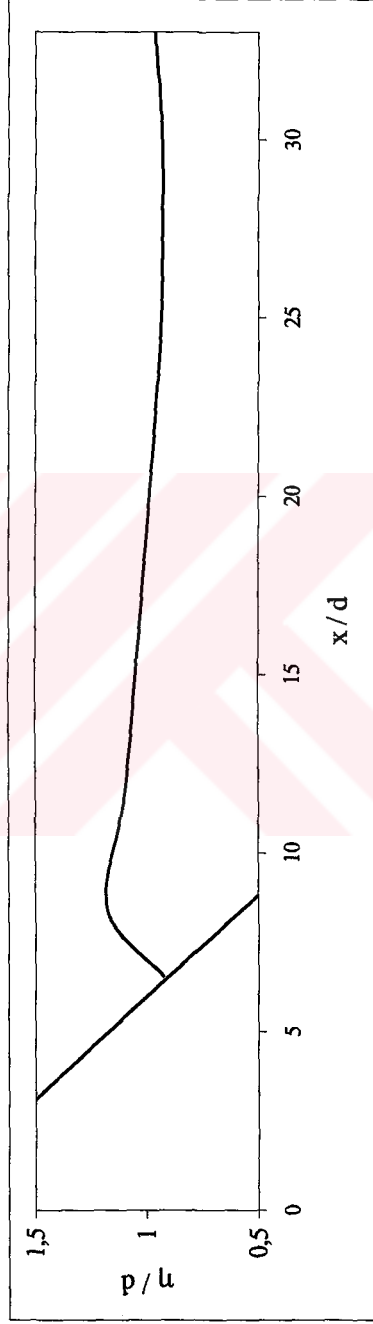


Şekil B.52  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 50$ ) (Deney No : 115)

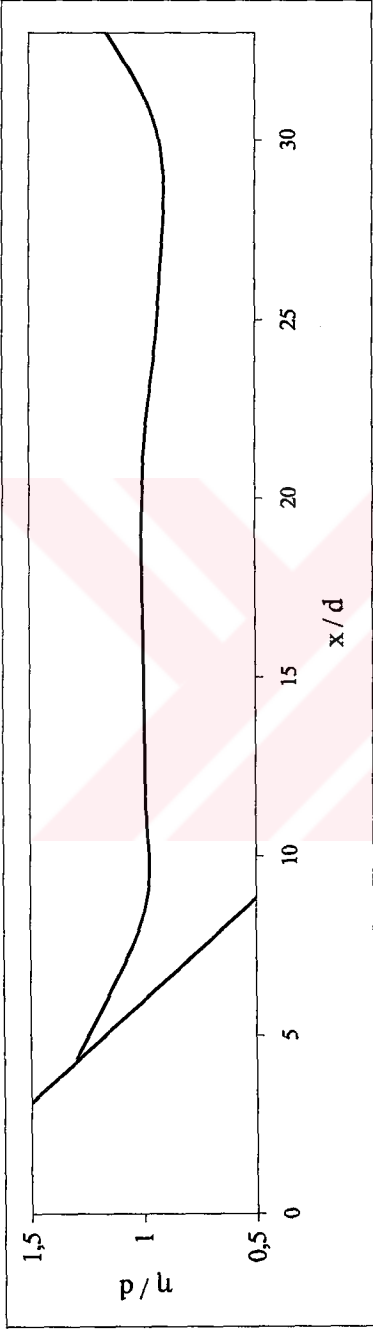




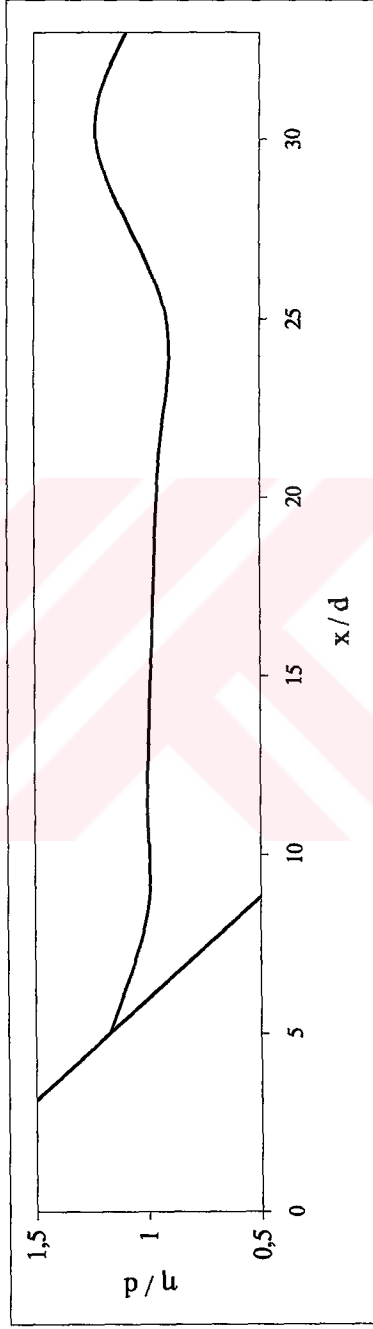
Şekil B.53  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 57.5$ ) (Deney No : 115)



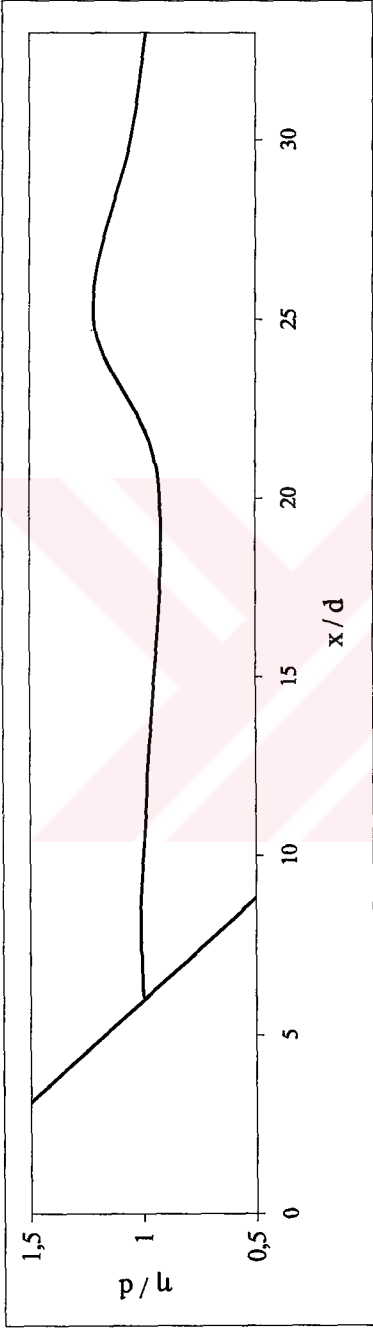
Şekil B.54  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 61$ ) (Deney No : 115)



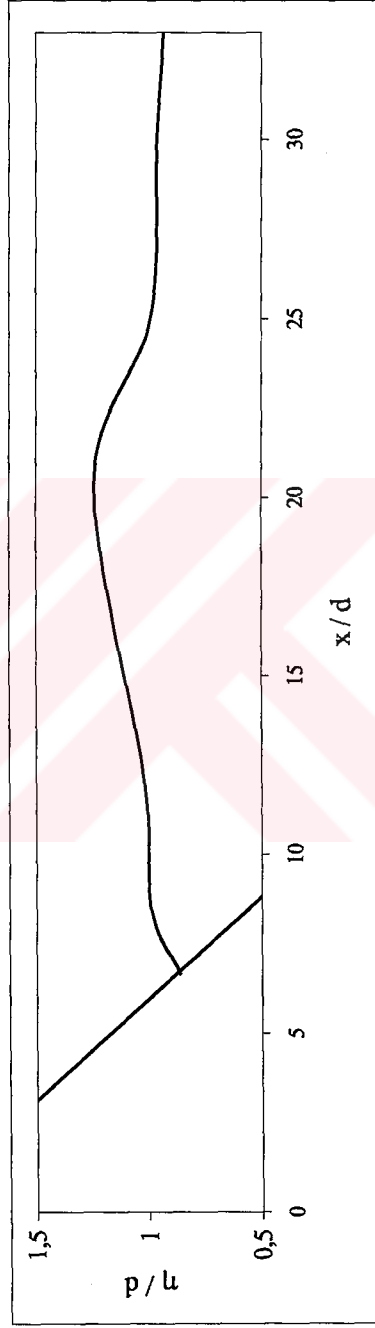
Şekil B.55 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45$ ) (Deney No : 116)



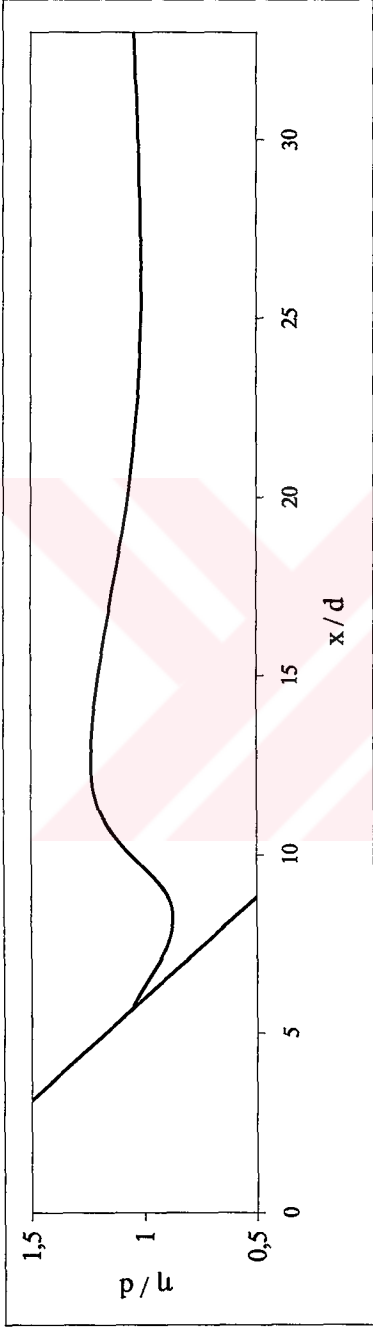
Şekil B.56 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 116)



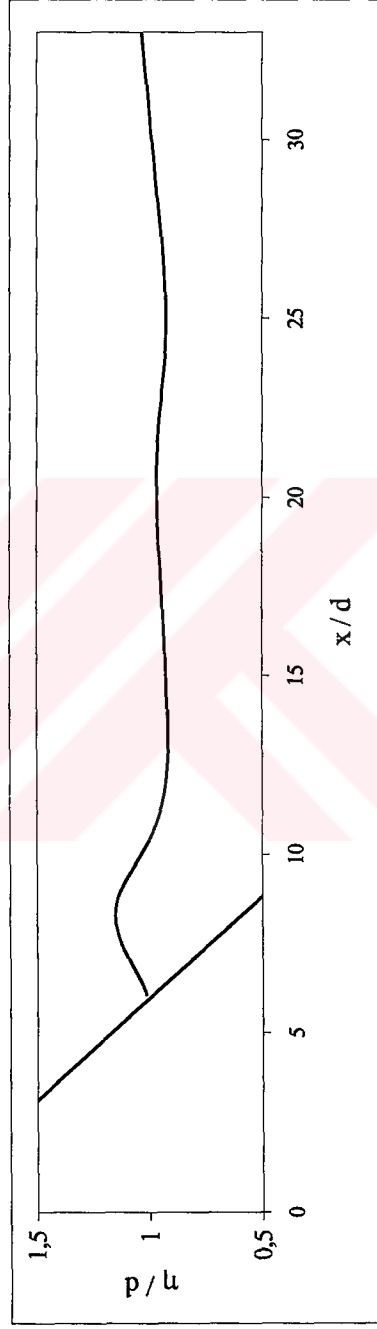
Şekil B.57 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 116)



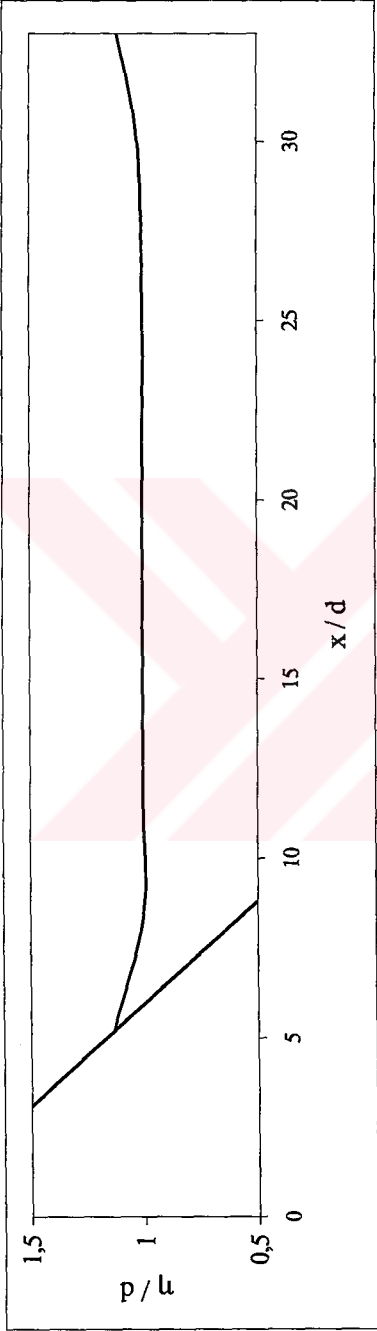
Şekil B.58 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 59$ ) (Deney No : 116)



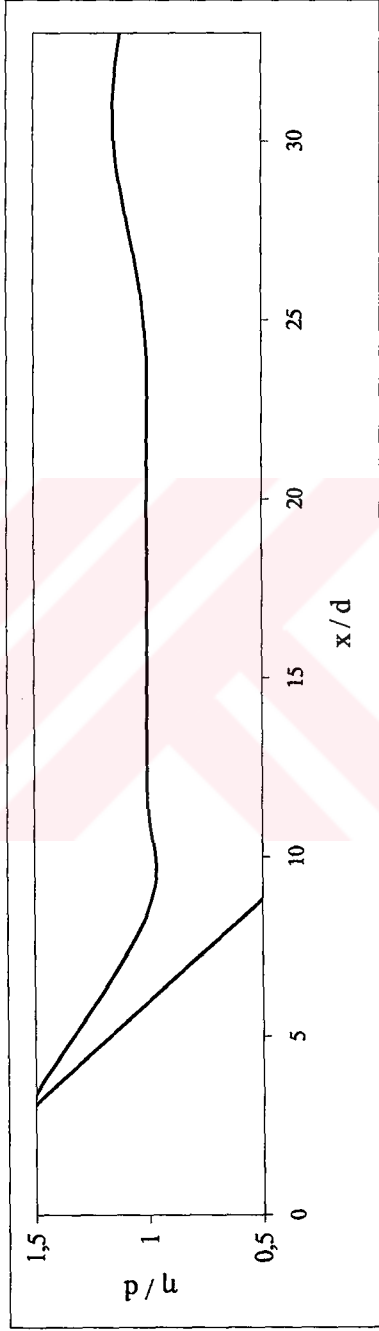
Şekil B.59  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 67$ ) (Deney No : 116)



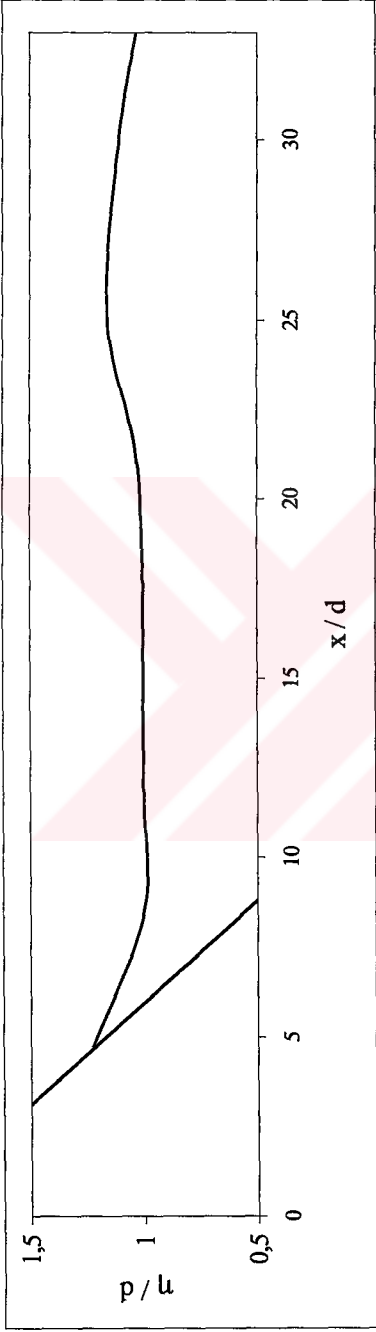
Şekil B.60  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 71$ ) (Deney No : 116)



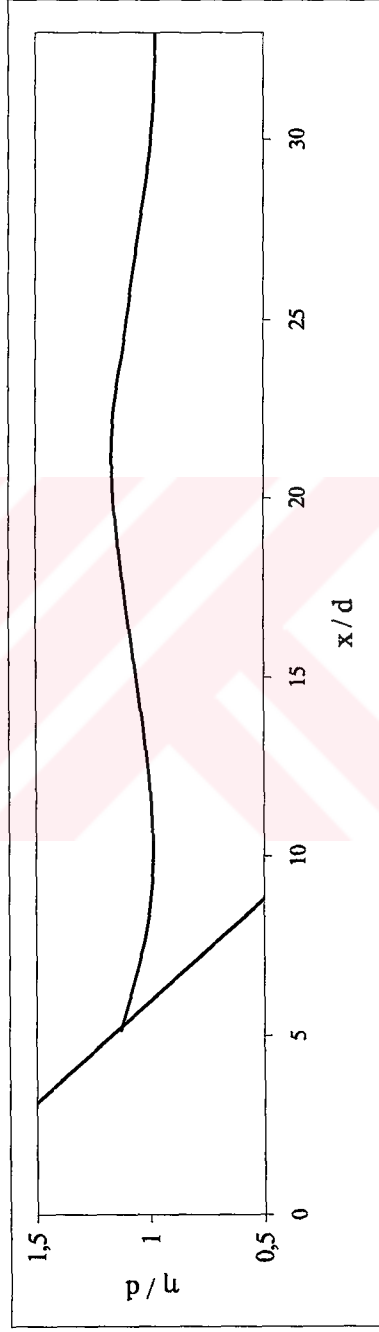
Şekil B.61  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 34$ ) (Deney No : 117)



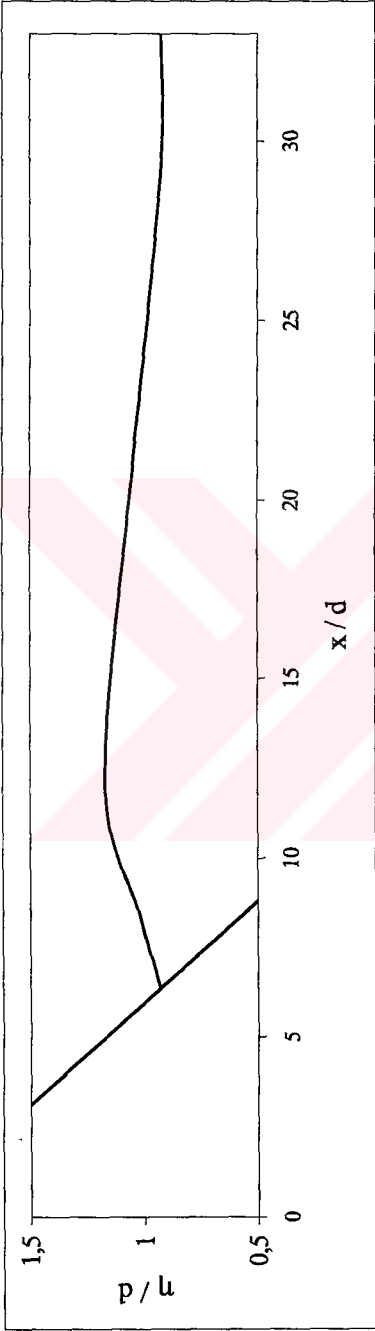
Şekil B.62  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 38$ ) (Deney No : 117)



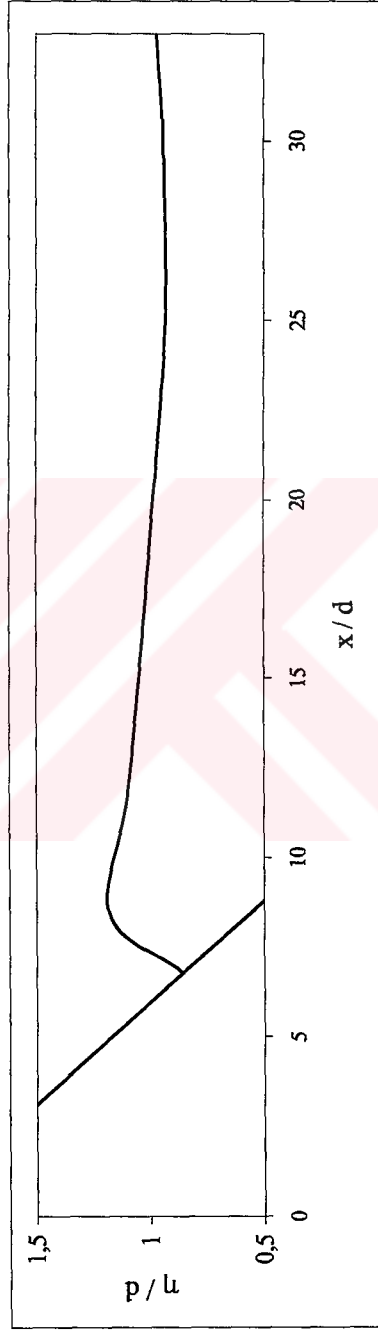
Şekil B.63  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 43$ ) (Deney No : 117)



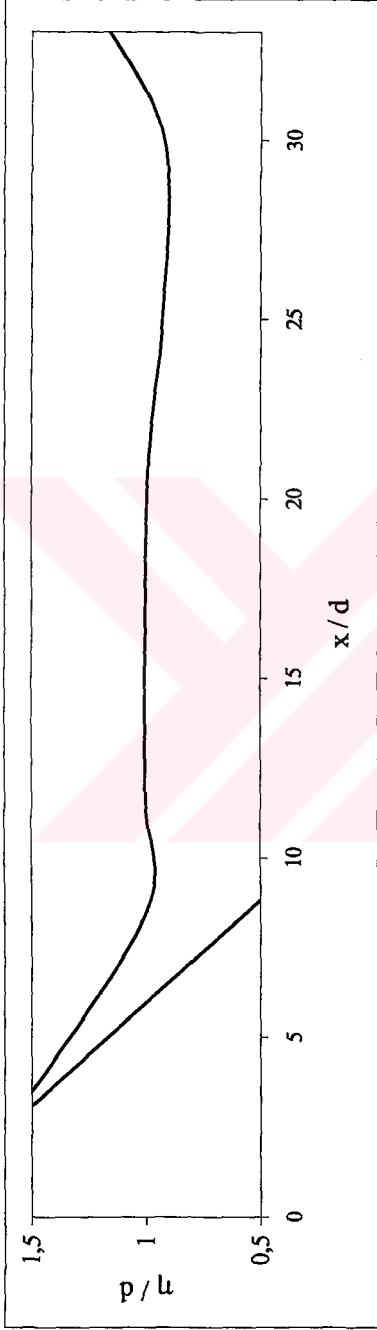
Şekil B.64  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 117)



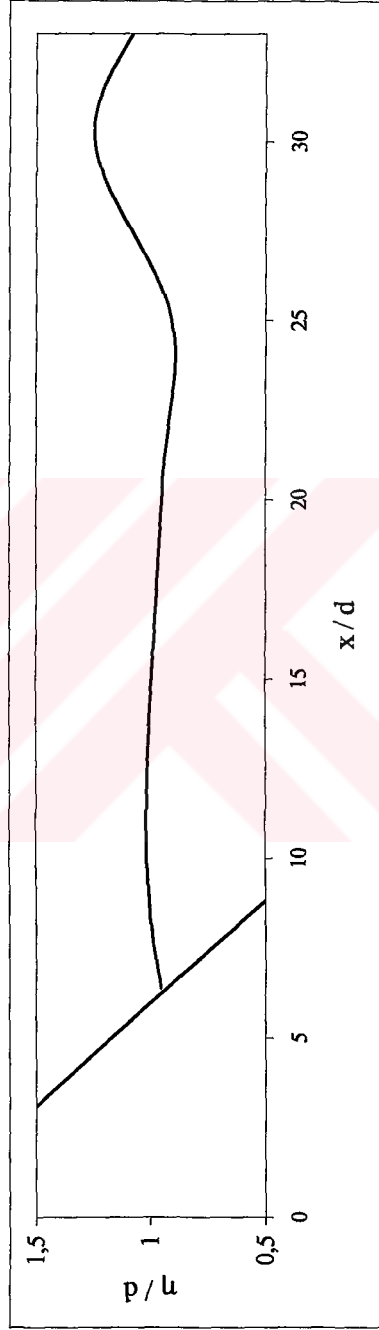
Şekil B.65  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 55$ ) (Deney No : 117)



Şekil B.66  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 60$ ) (Deney No : 117)

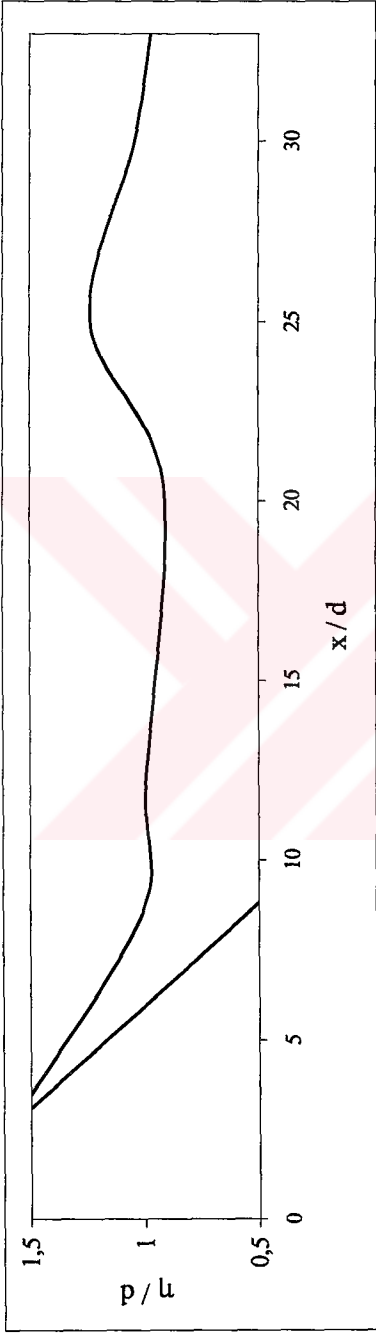


Şekil B.67  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 41$ ) (Deney No : 118)

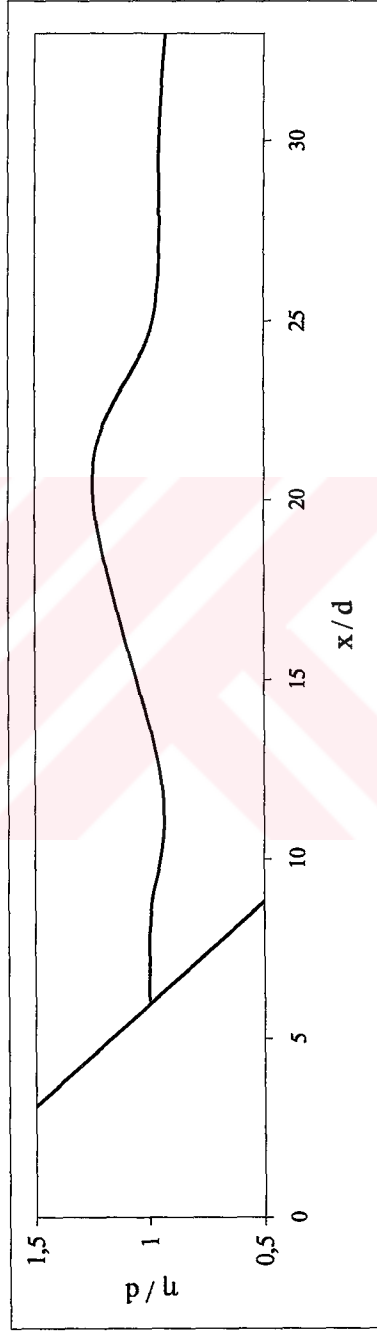


Şekil B.68  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45$ ) (Deney No : 118)

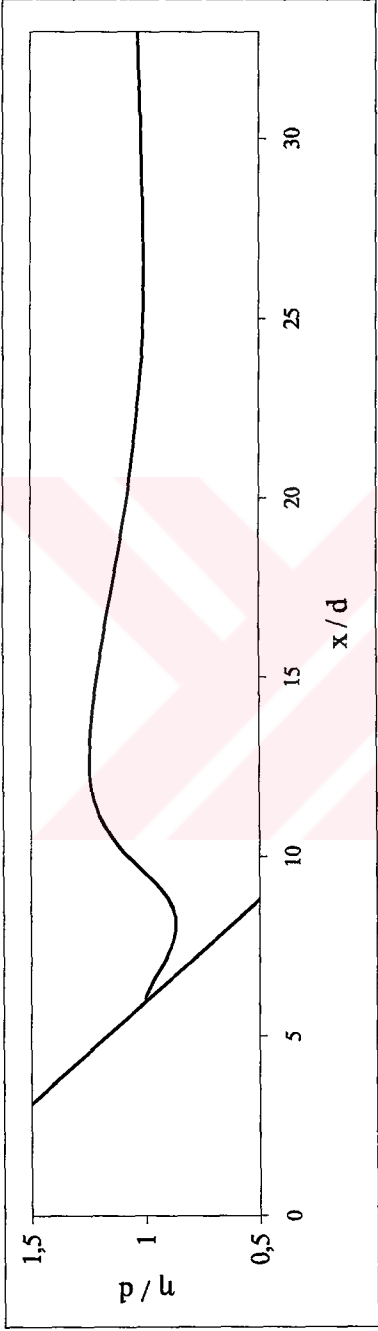




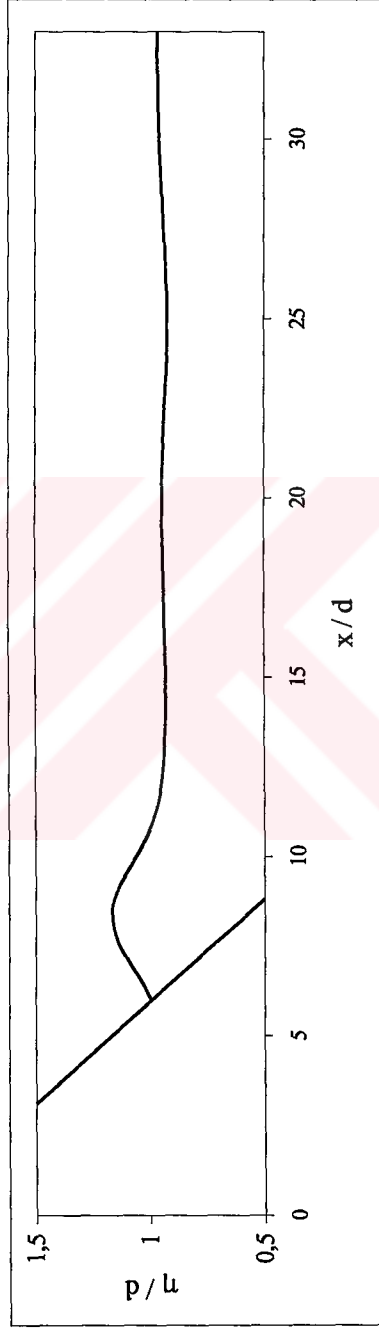
Şekil B.69  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 50$ ) (D deney No : 118)



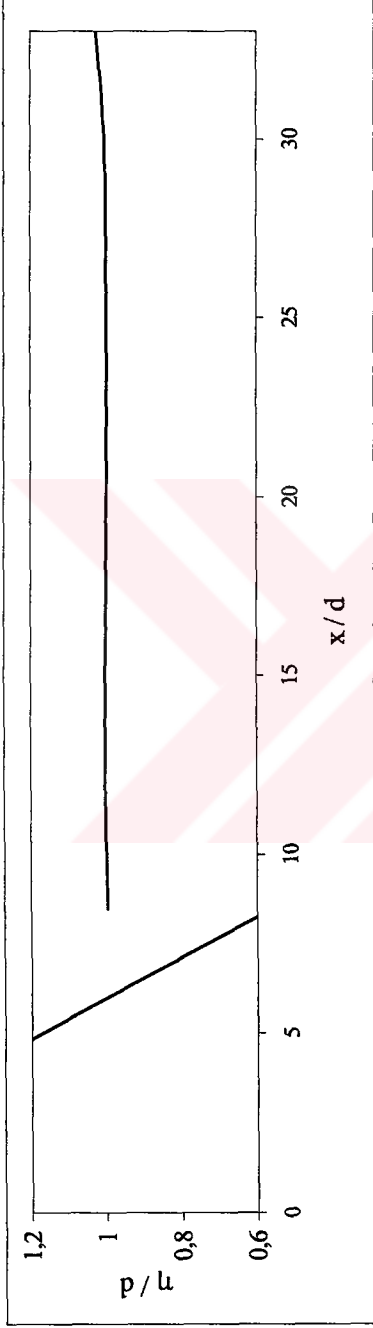
Şekil B.70  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 55$ ) (D deney No : 118)



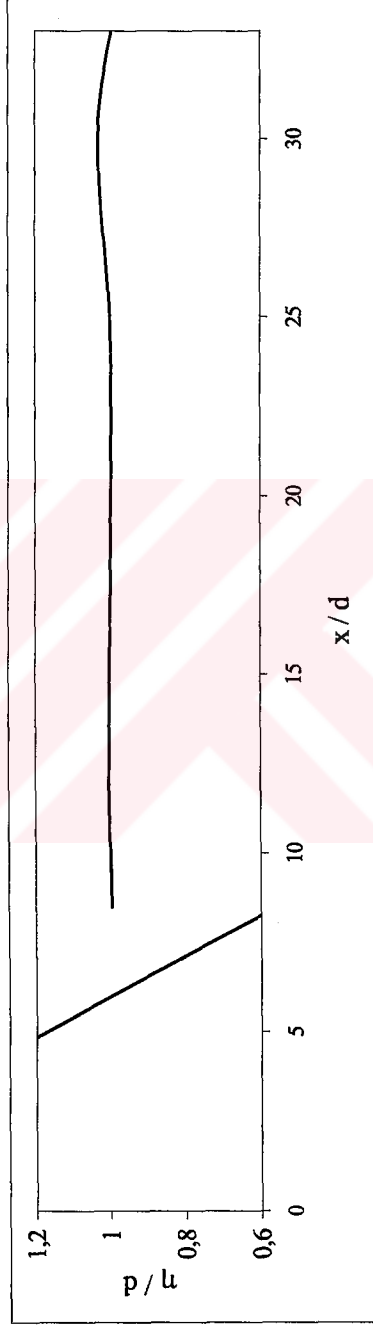
Şekil B.71  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 63$ ) (Deney No : 118)



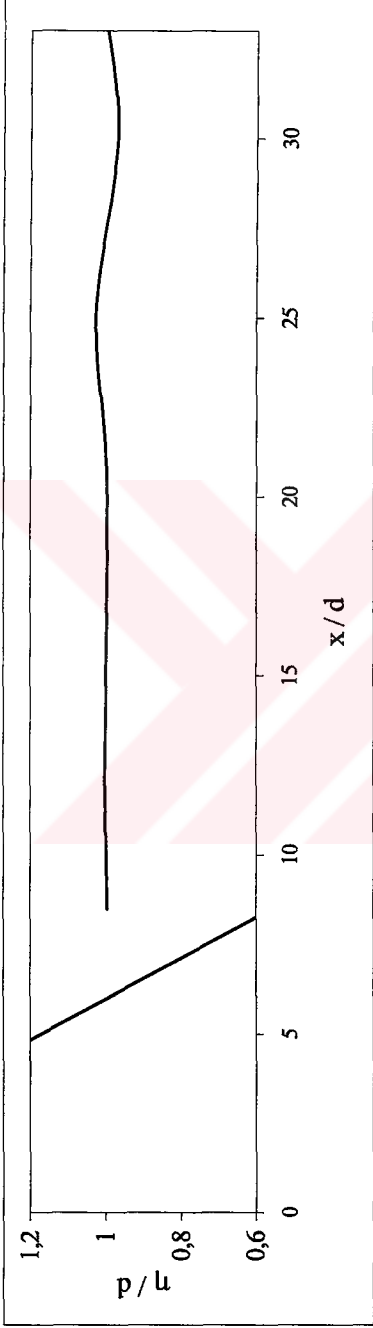
Şekil B.72  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 67$ ) (Deney No : 118)



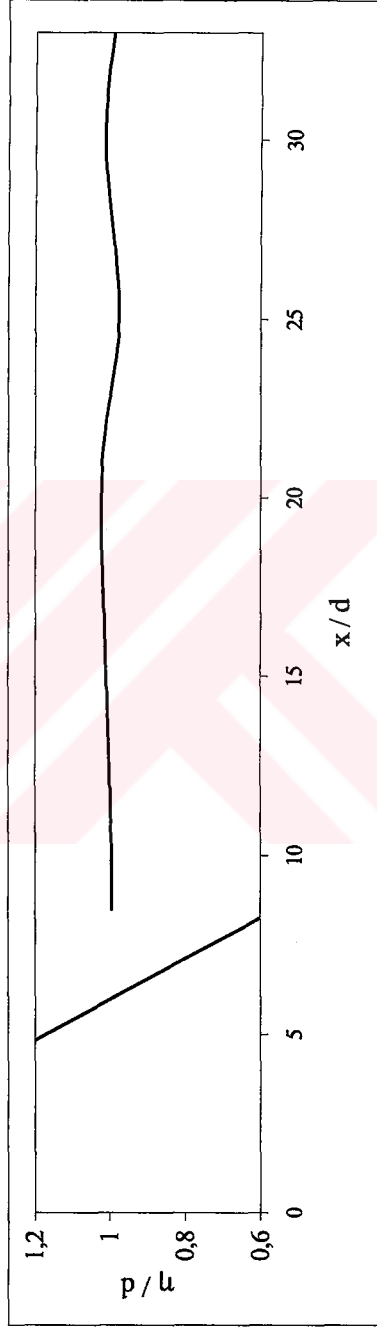
Şekil B.73 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=31$ ) (Deney No : 130)



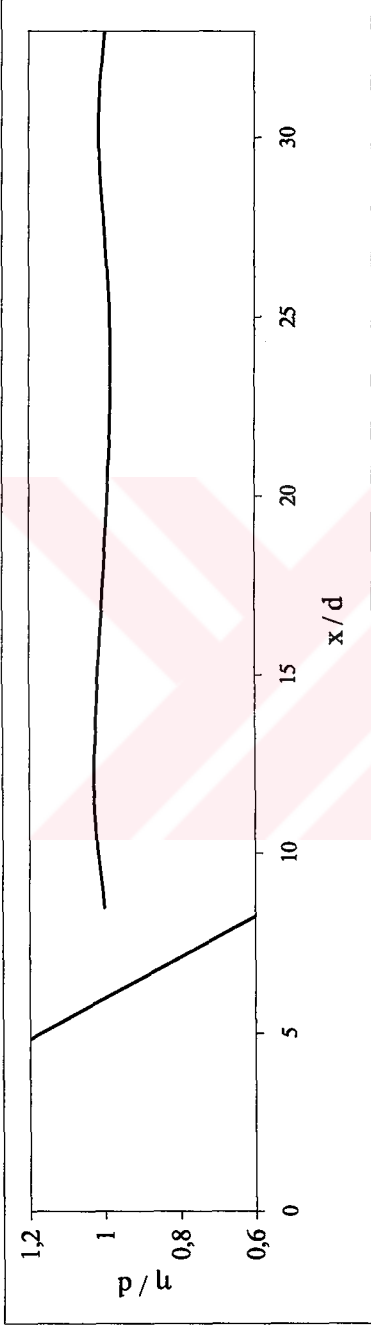
Şekil B.74 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=35$ ) (Deney No : 130)



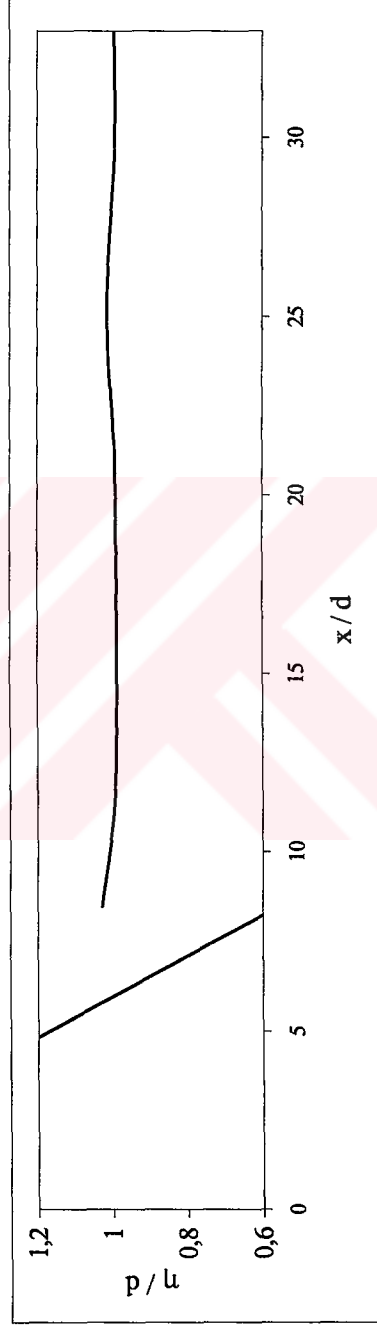
Şekil B.75 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 40$ ) (Deney No : 130)



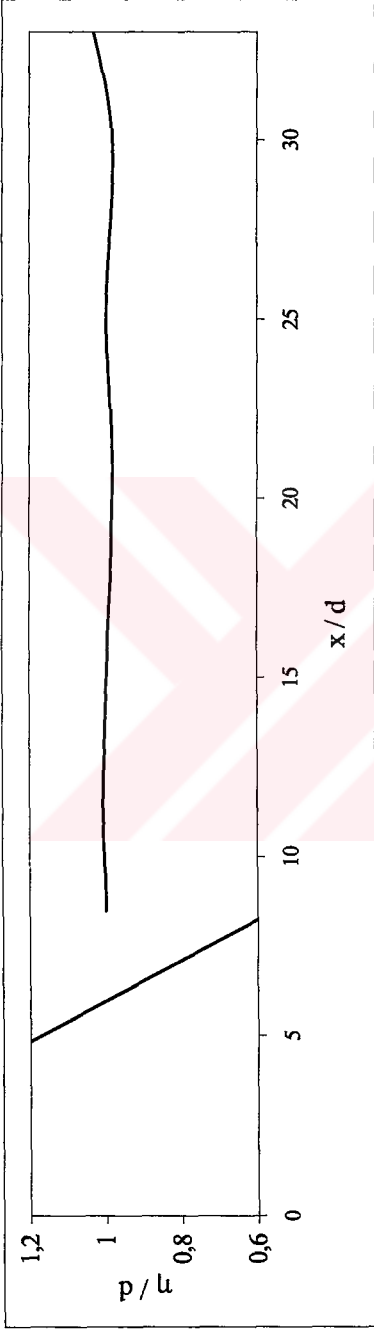
Şekil B.76 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45$ ) (Deney No : 130)



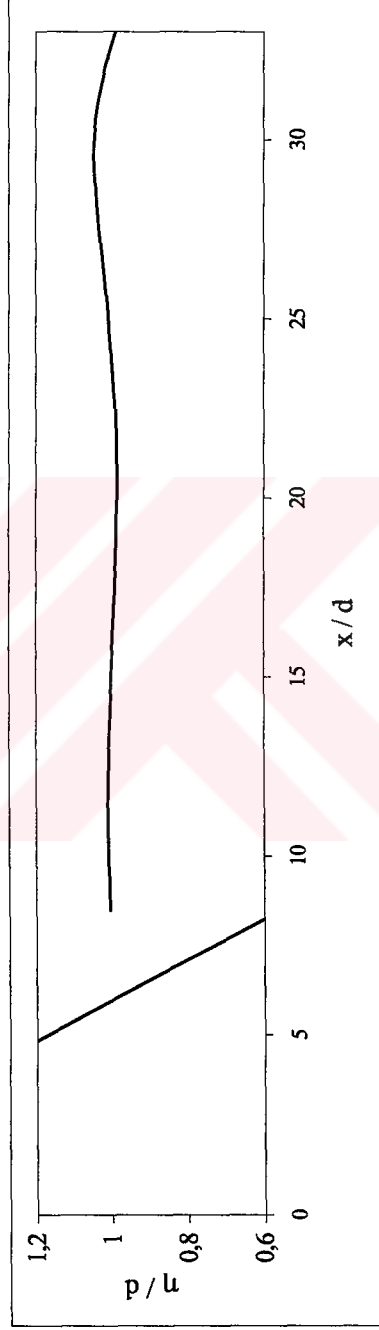
Şekil B.77 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 53$ ) (Deney No : 130)



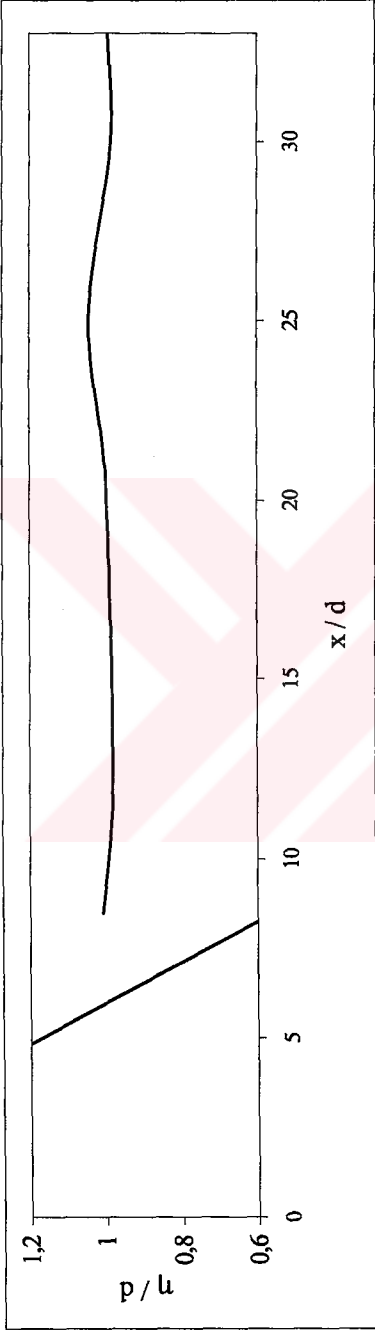
Şekil B.78 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 58$ ) (Deney No : 130)



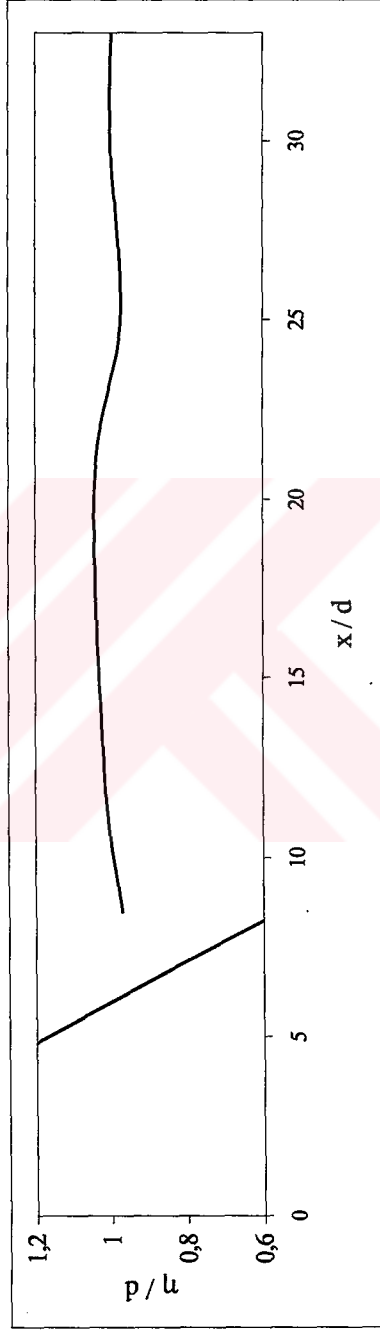
Şekil B.79  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 43$ ) (Deney No : 131)



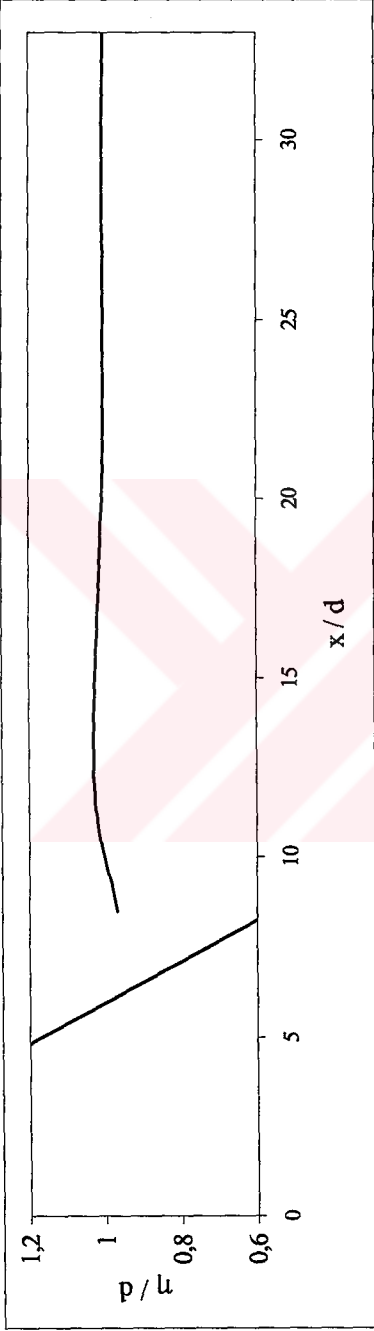
Şekil B.80  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 131)



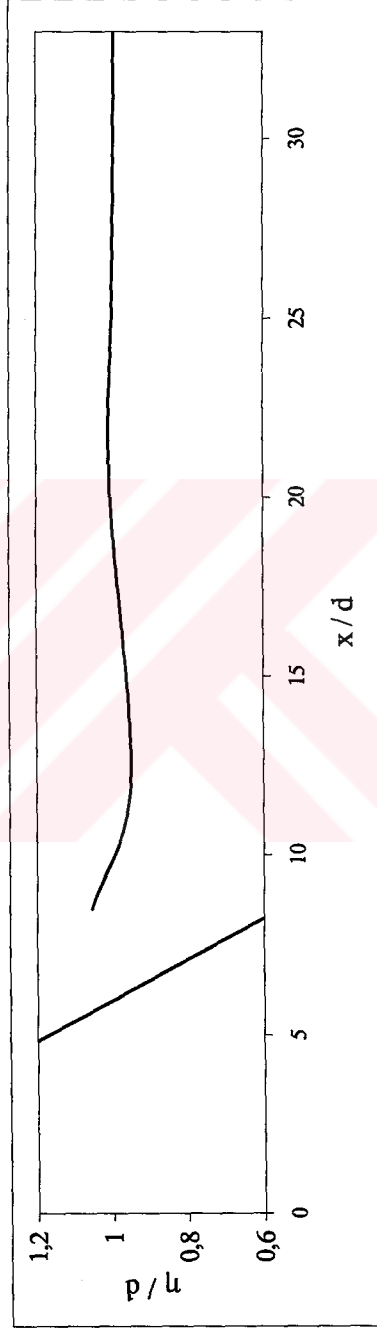
Şekil B.81  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 53$ ) (Deney No : 131)



Şekil B.82  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 58$ ) (Deney No : 131)

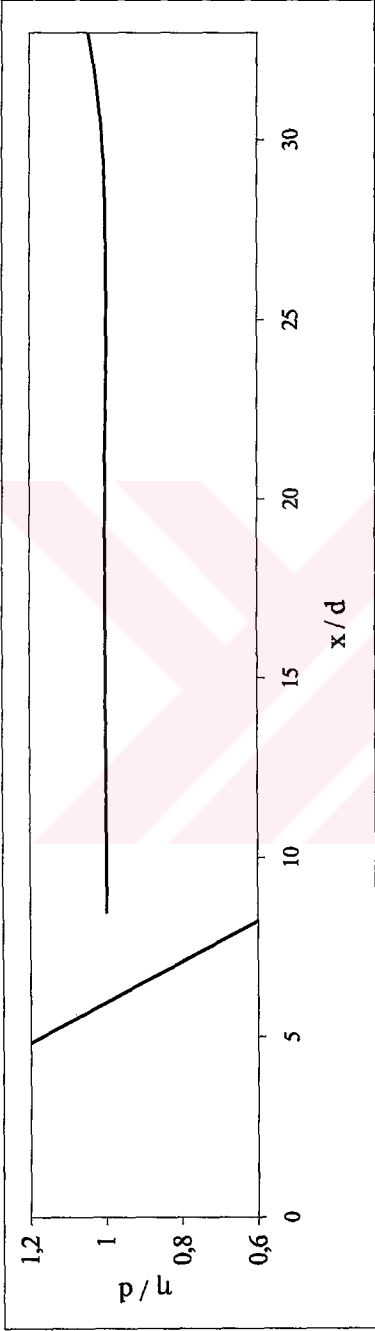


Şekil B.83 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60$ ) (Deney No : 131)

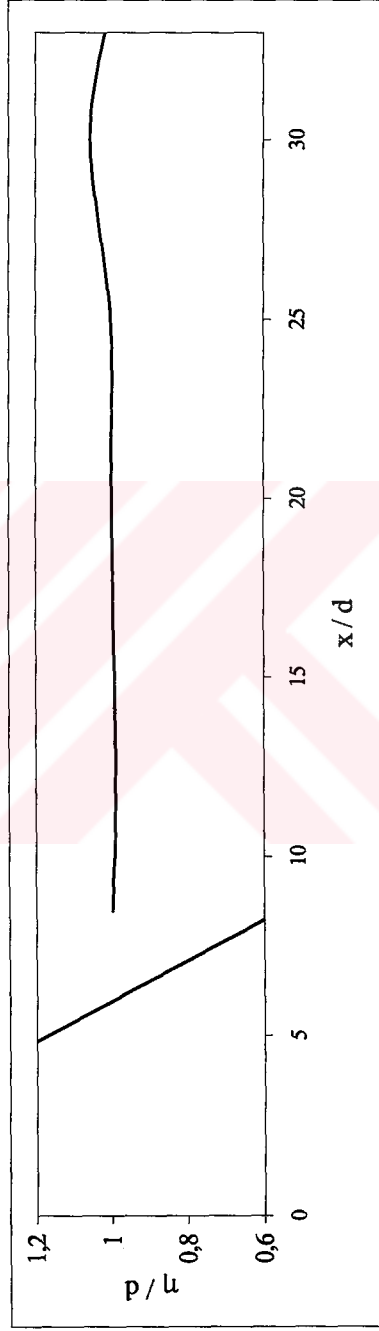


Şekil B.84 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=72$ ) (Deney No : 131)

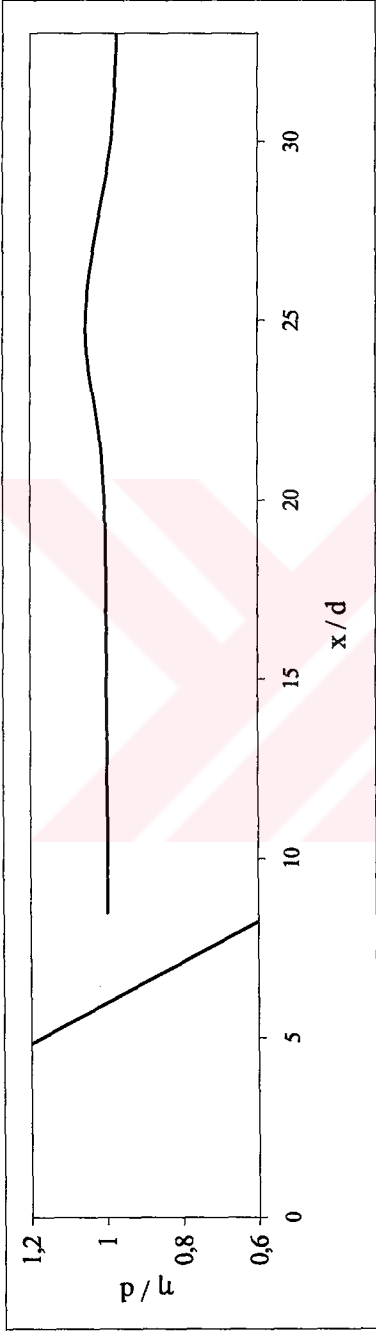




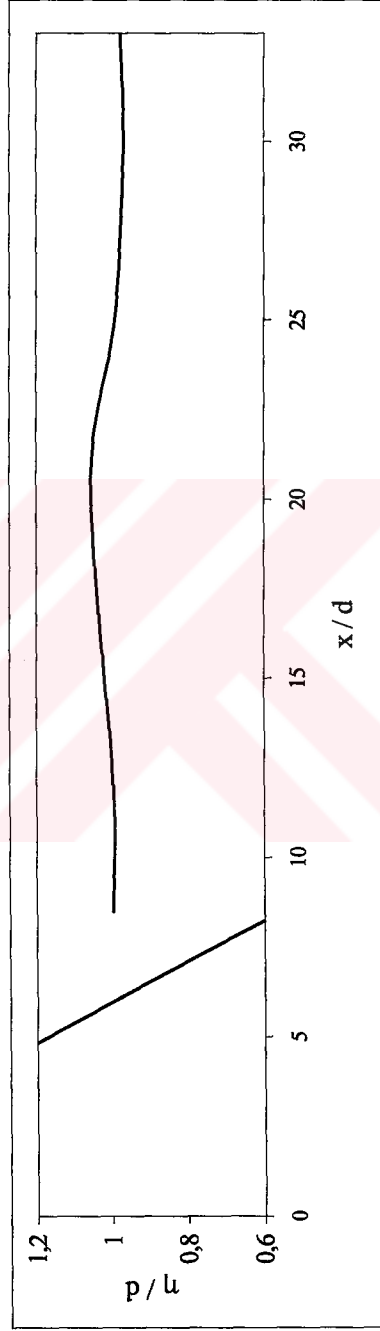
Şekil B.85 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=26$ ) (Deney No : 132)



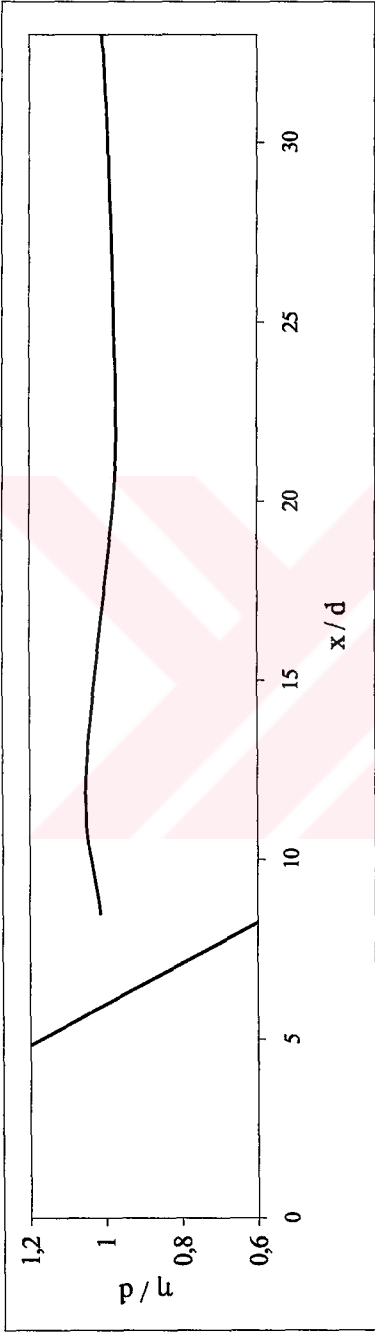
Şekil B.86 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=30$ ) (Deney No : 132)



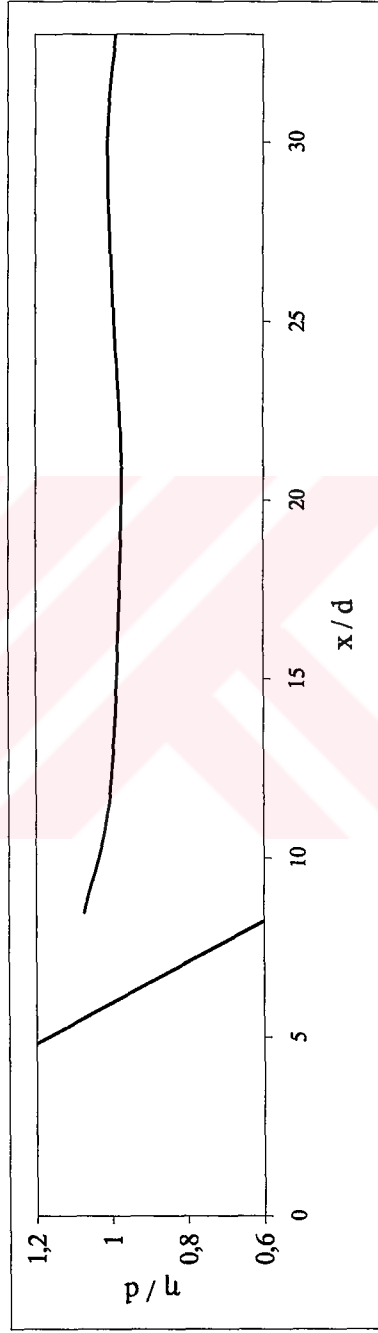
Şekil B.87 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 35$ ) (Deney No : 132)



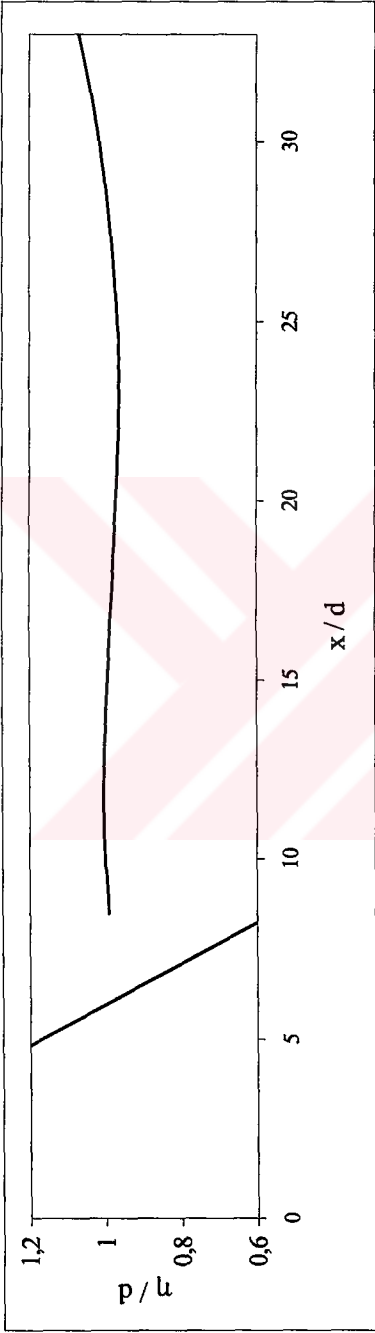
Şekil B.88 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 40$ ) (Deney No : 132)



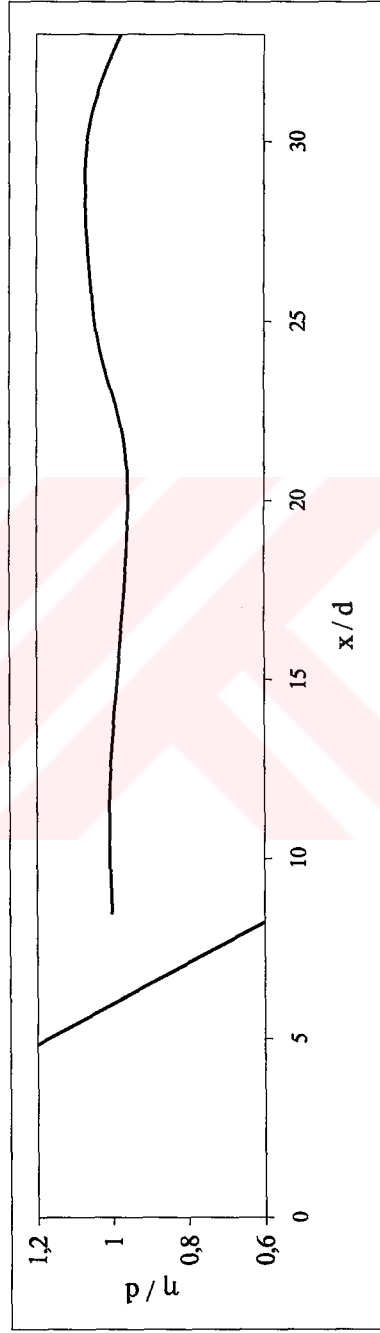
Şekil B.89  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (D deney No : 132)



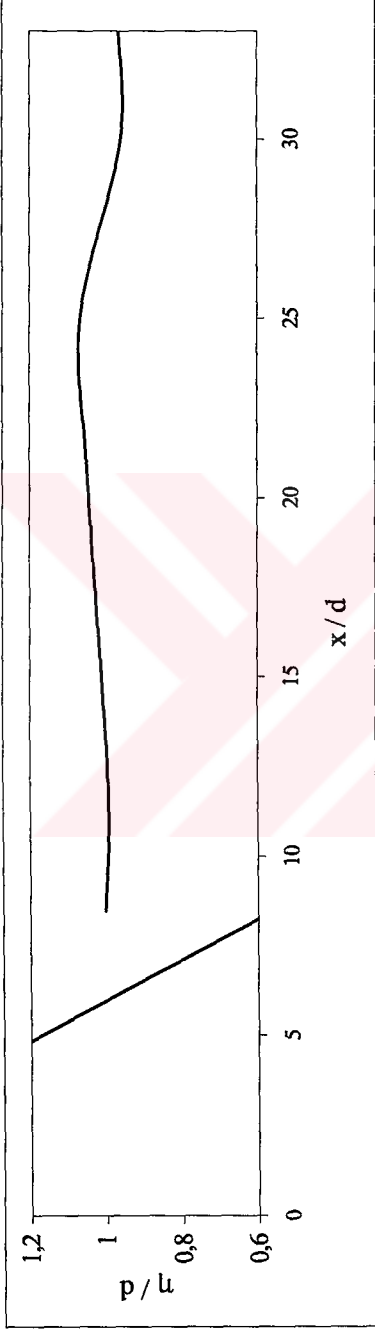
Şekil B.90  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=53$ ) (D deney No : 132)



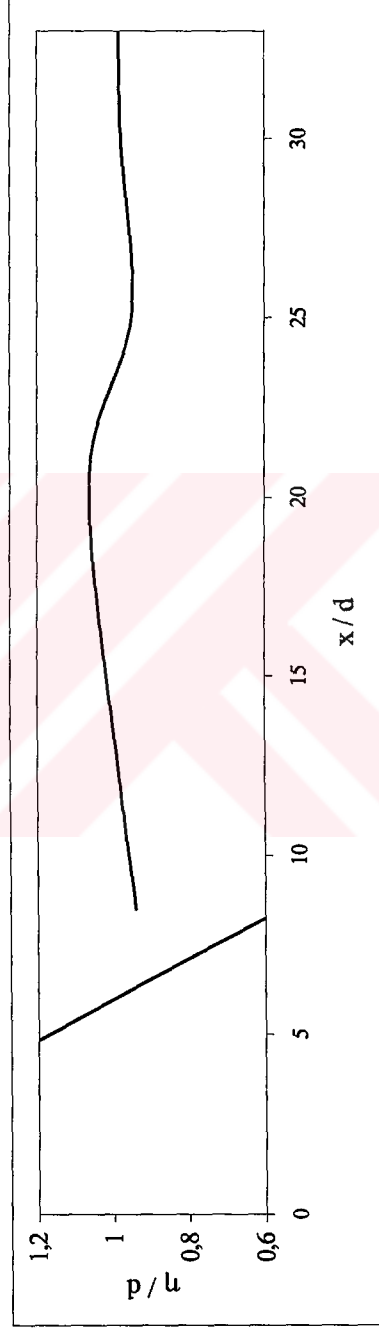
Şekil B.91 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 50$ ) (Deney No : 133)



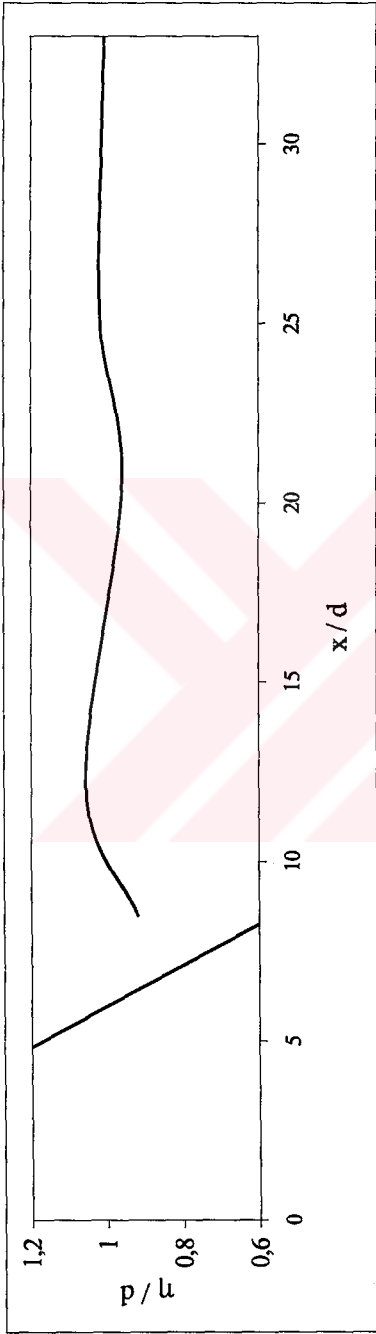
Şekil B.92 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 133)



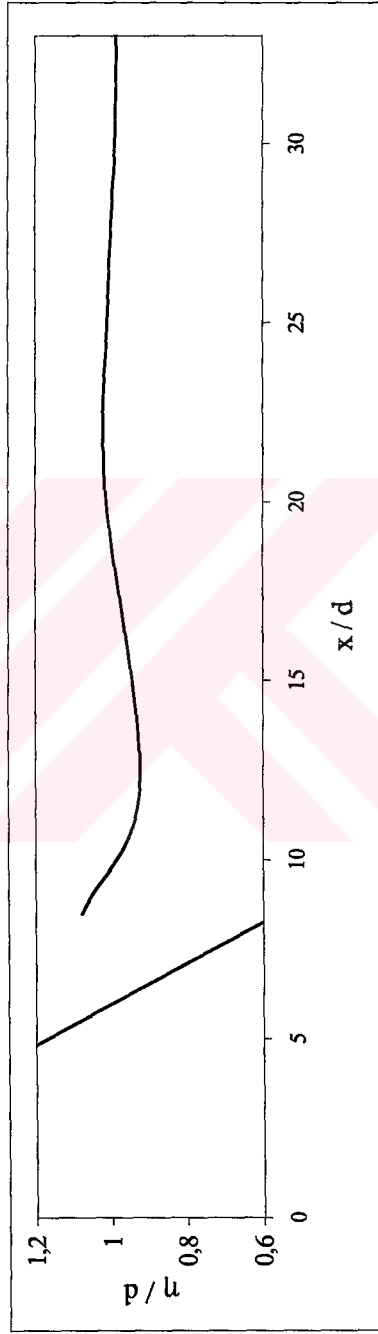
Şekil B.93 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 59$ ) (Dency No : 133)



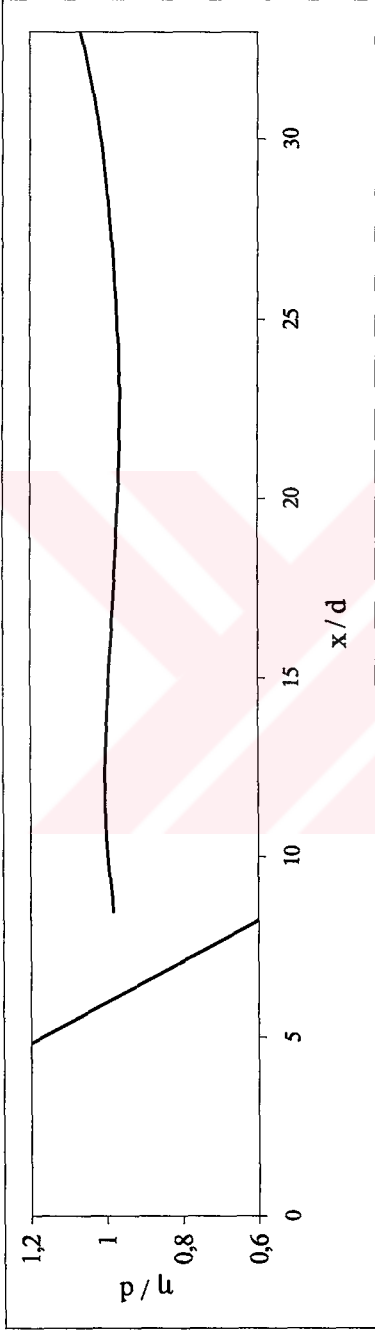
Şekil B.94 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 64$ ) (Dency No : 133)



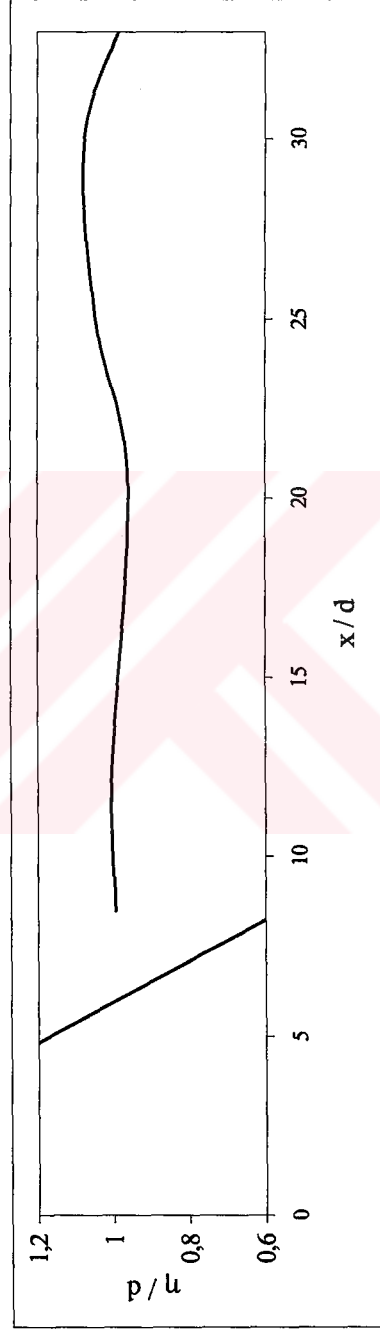
Şekil B.95 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 68$ ) (D deney No : 133)



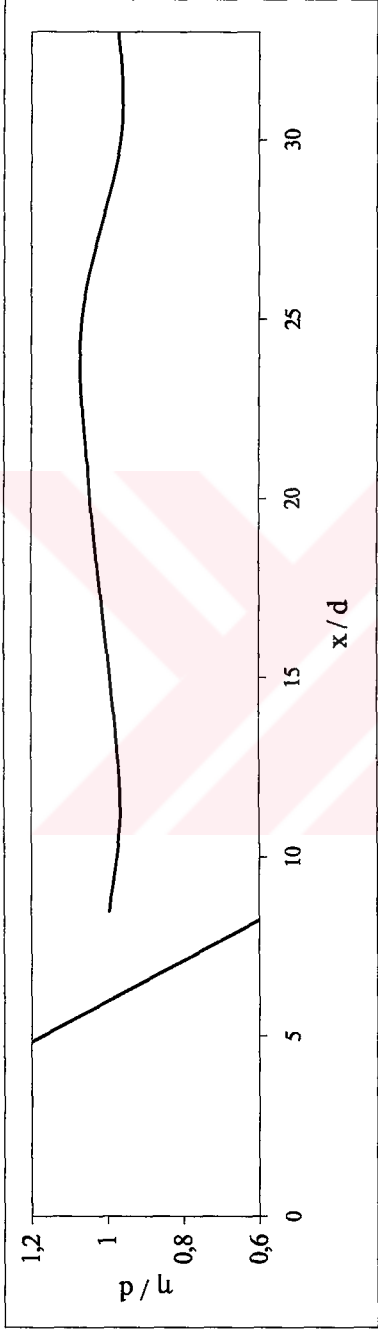
Şekil B.96 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 79$ ) (D deney No : 133)



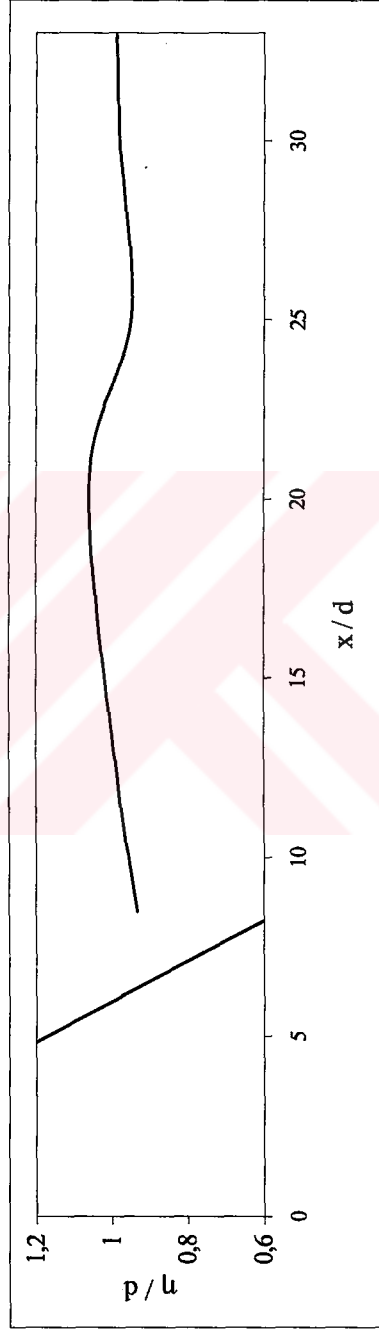
Şekil B.97  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 50$ ) (Deney No : 137)



Şekil B.98  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 137)

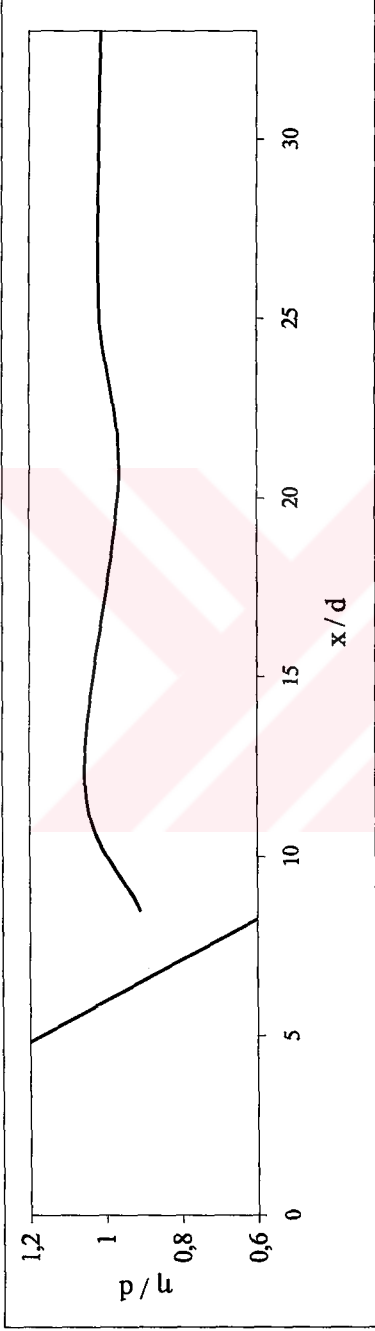


Şekil B.99  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 59$ ) (Deney No : 137)

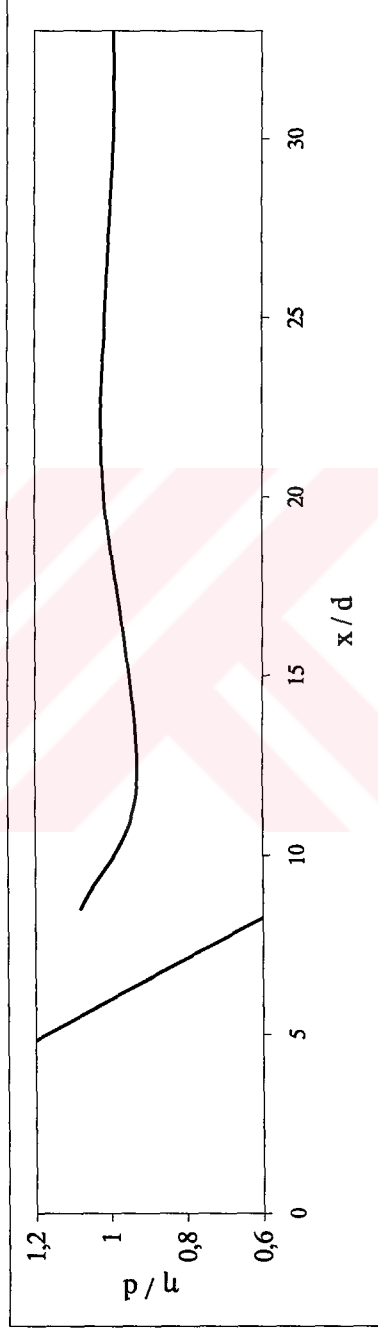


Şekil B.100  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 64$ ) (Deney No : 137)

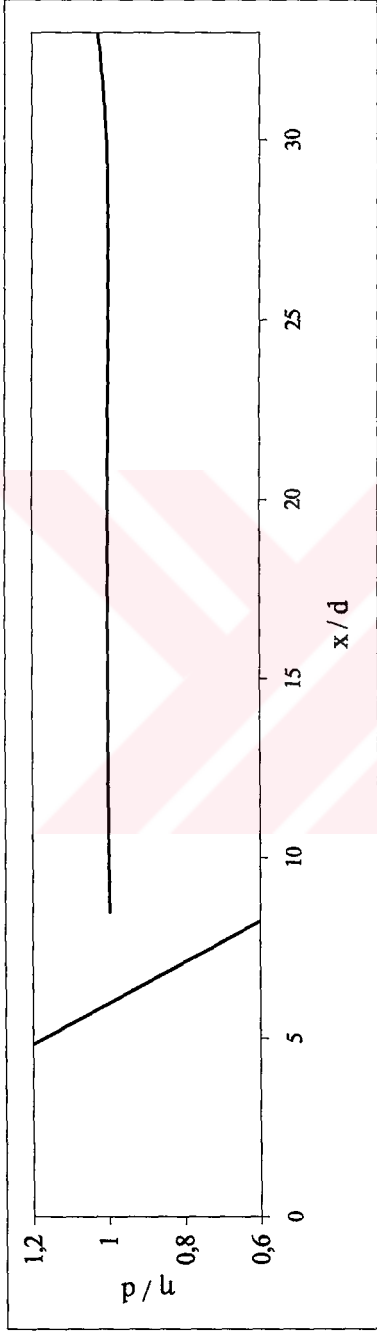




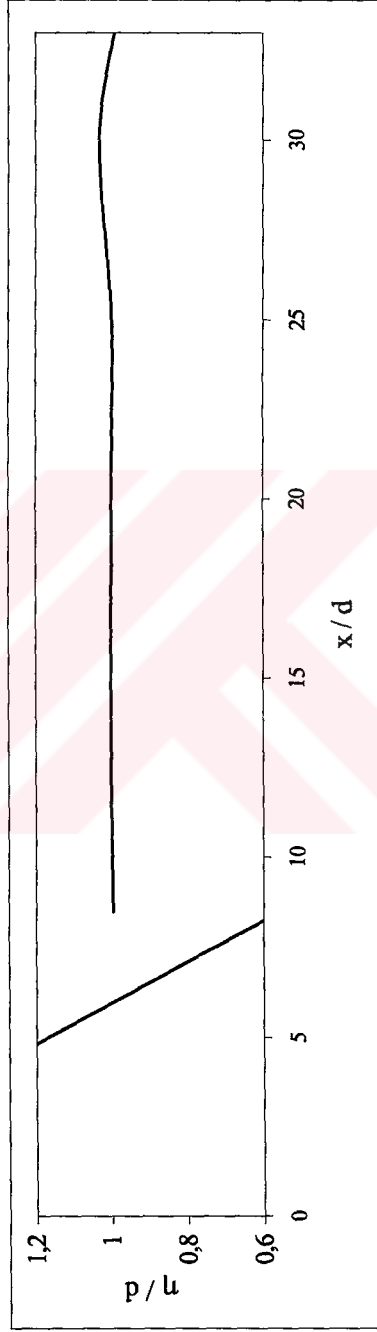
Şekil B.101 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 67$ ) (D deney No : 137)



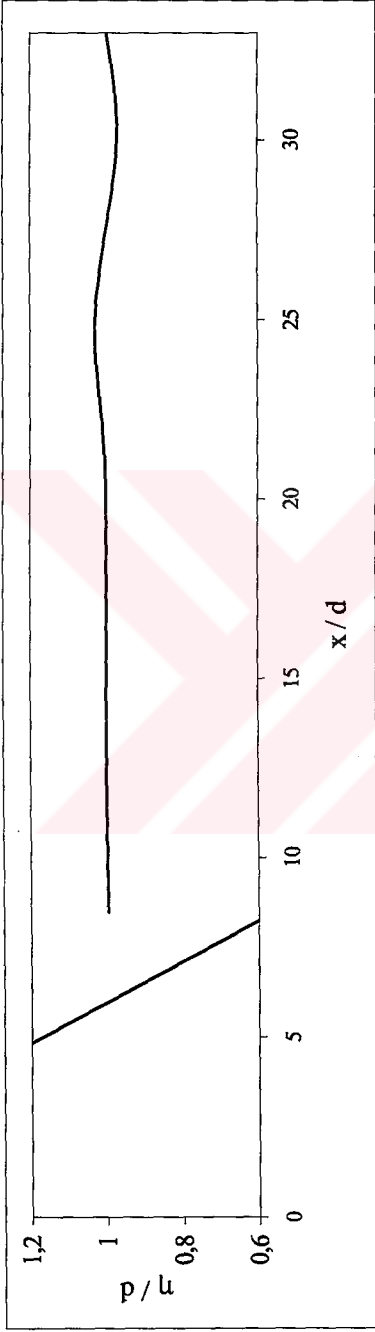
Şekil B.102 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 78.5$ ) (D deney No : 137)



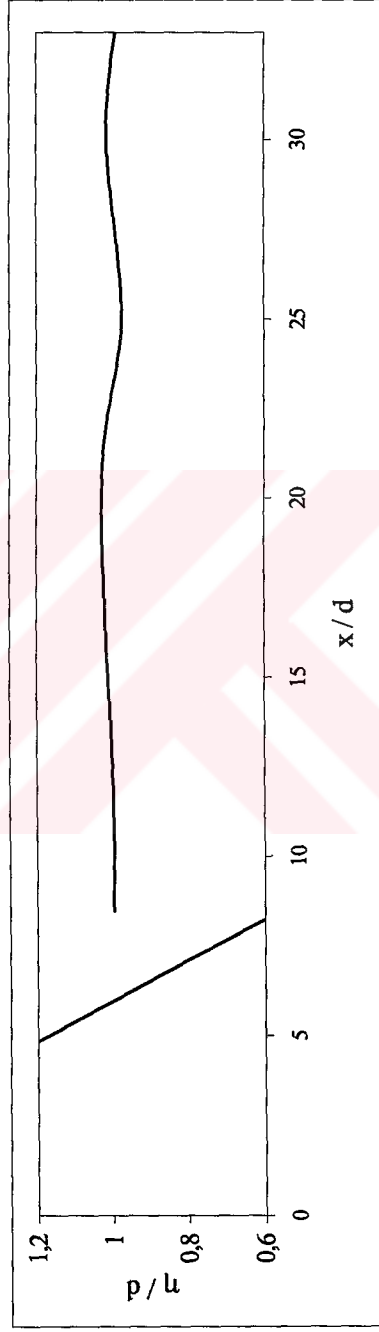
Şekil B.103 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=35$ ) (Deney No : 138)



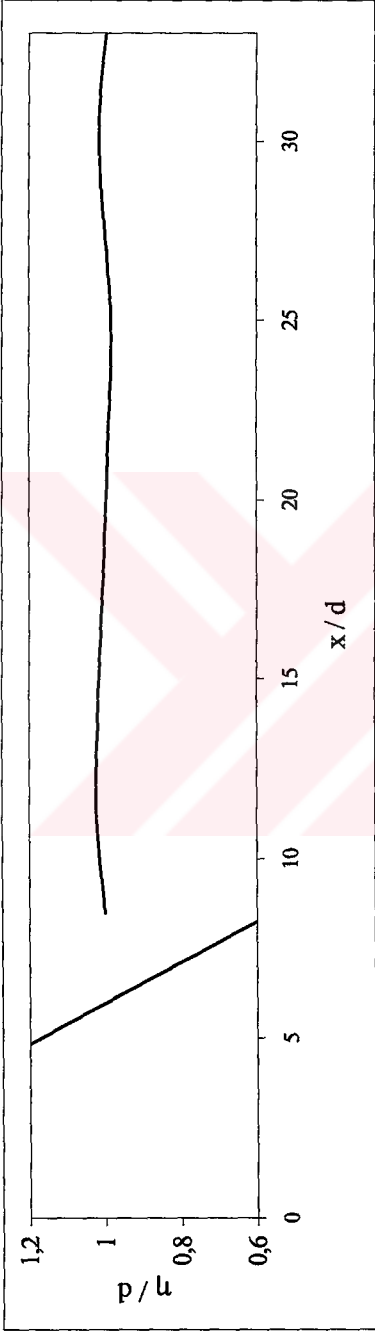
Şekil B.104 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=39$ ) (Deney No : 138)



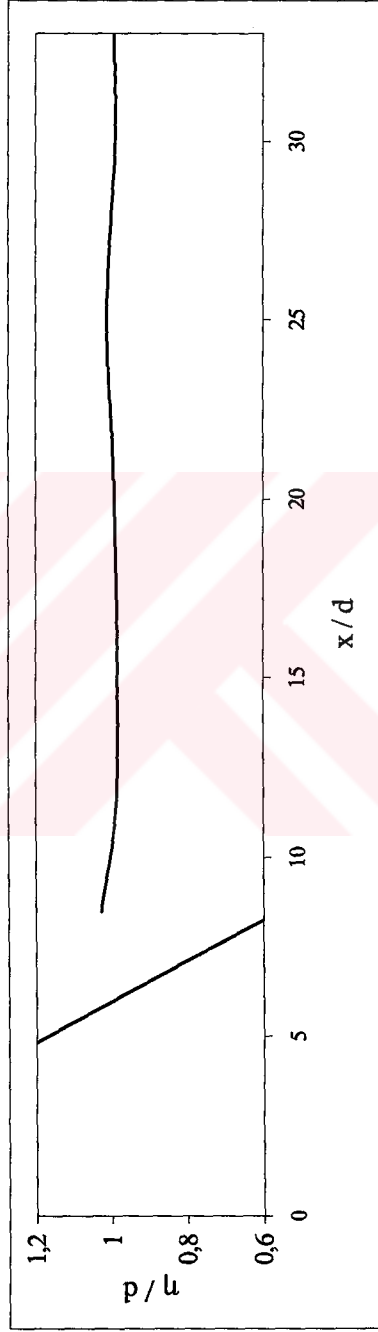
Şekil B.105 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 44$ ) (Deney No : 138)



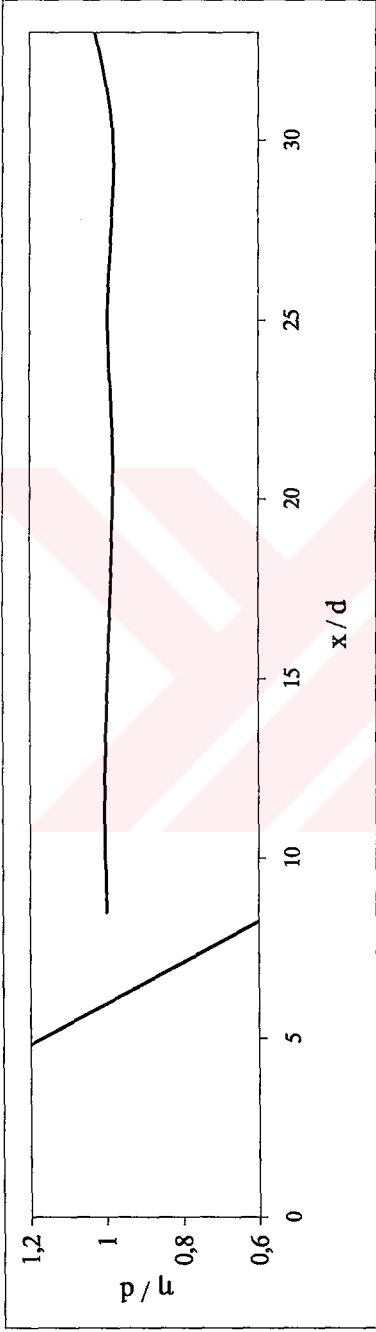
Şekil B.106 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 138)



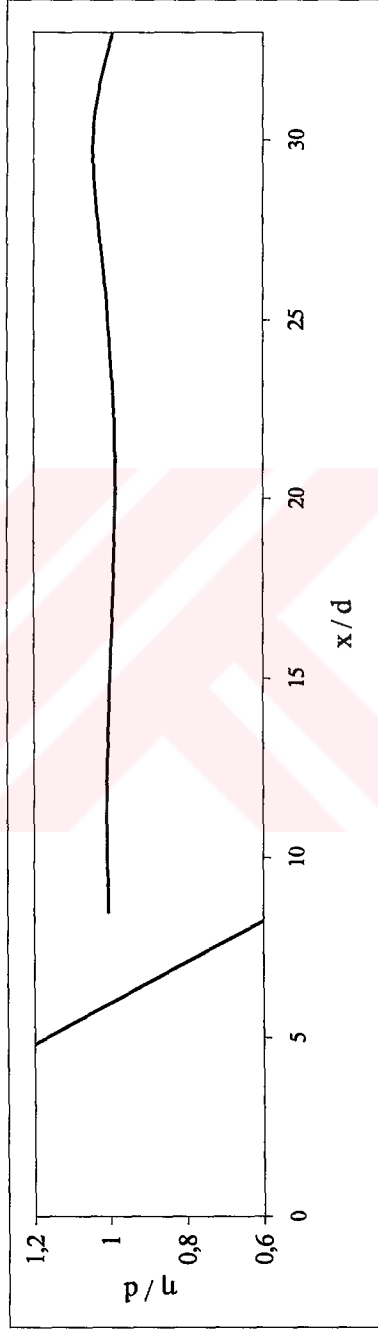
Şekil B.107 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 58$ ) (Deney No : 138)



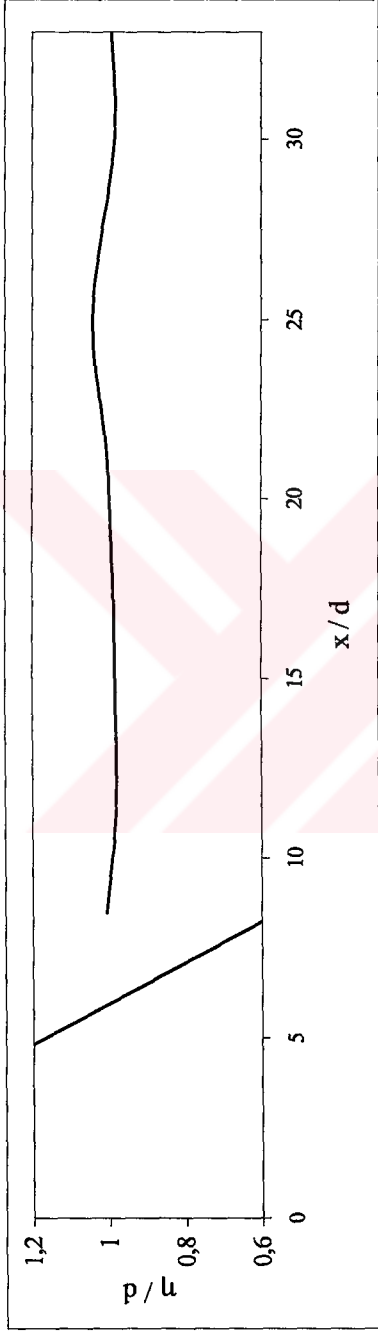
Şekil B.108 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 62$ ) (Deney No : 138)



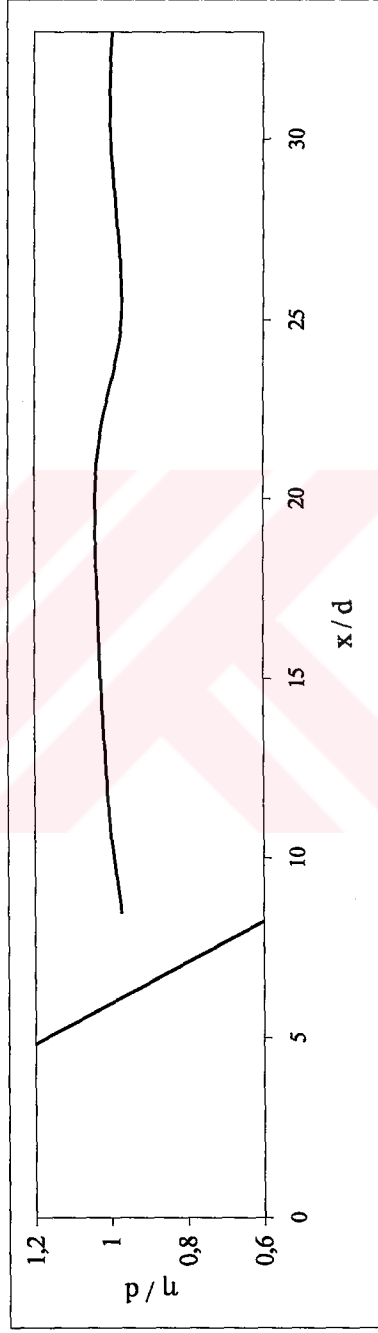
Şekil B.109 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=45$ ) (Deney No : 139)



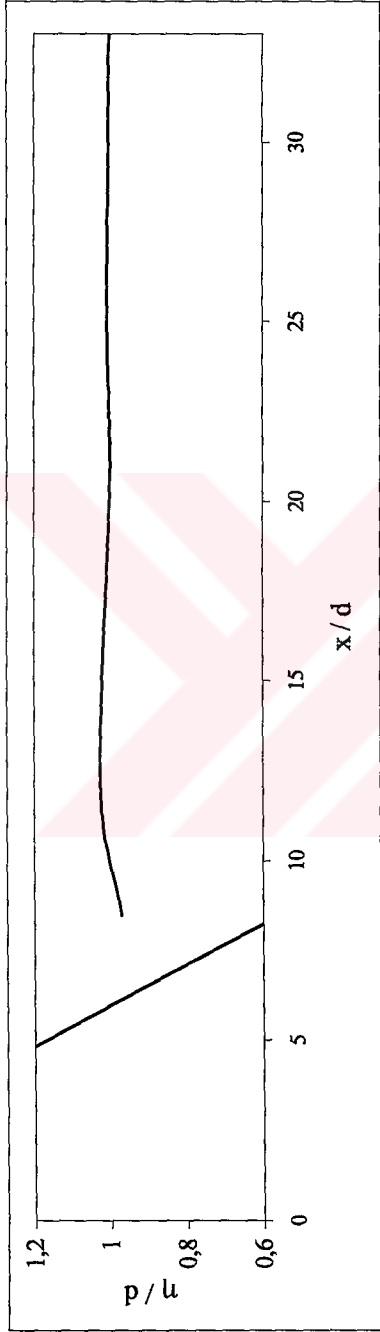
Şekil B.110 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=49$ ) (Deney No : 139)



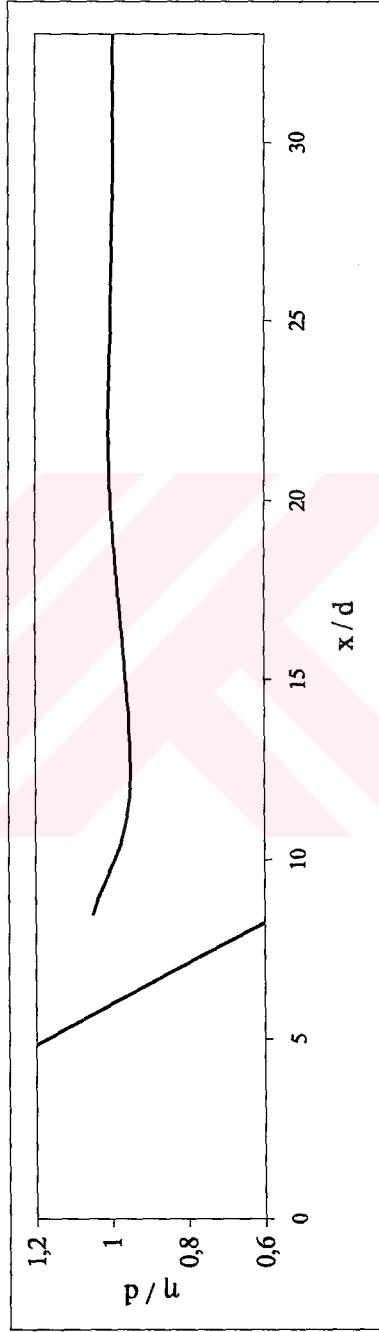
Şekil B.111  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 55$ ) (Deney No : 139)



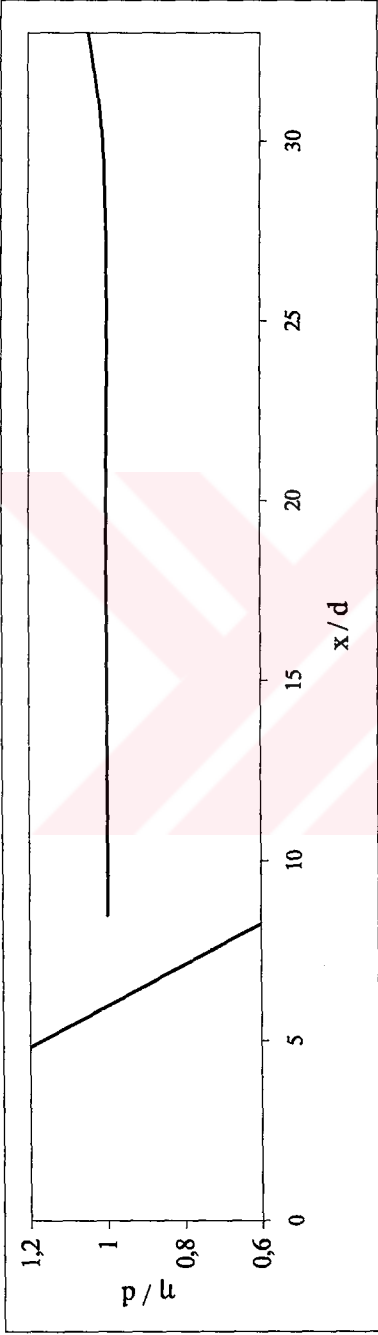
Şekil B.112  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 60$ ) (Deney No : 139)



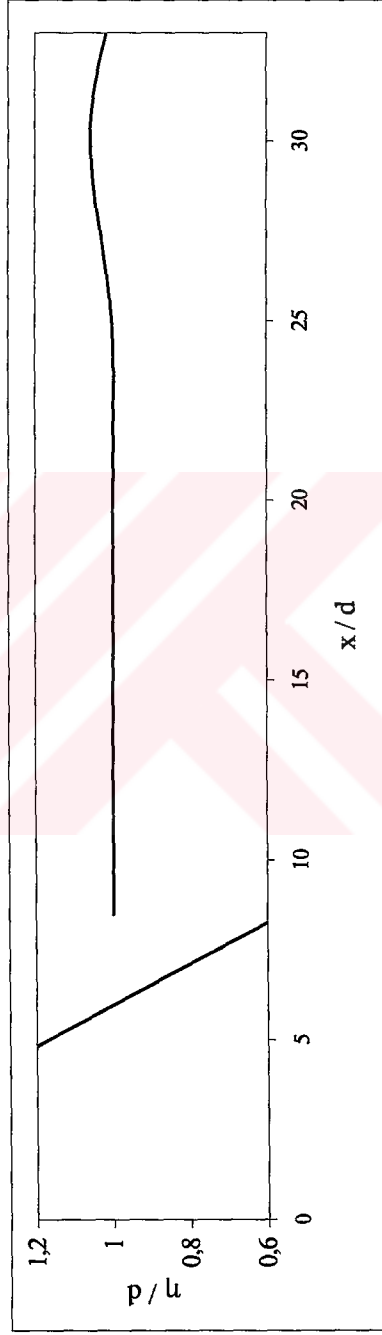
Şekil B.113  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 62$ ) (Deney No : 139)



Şekil B.114  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 74$ ) (Deney No : 139)

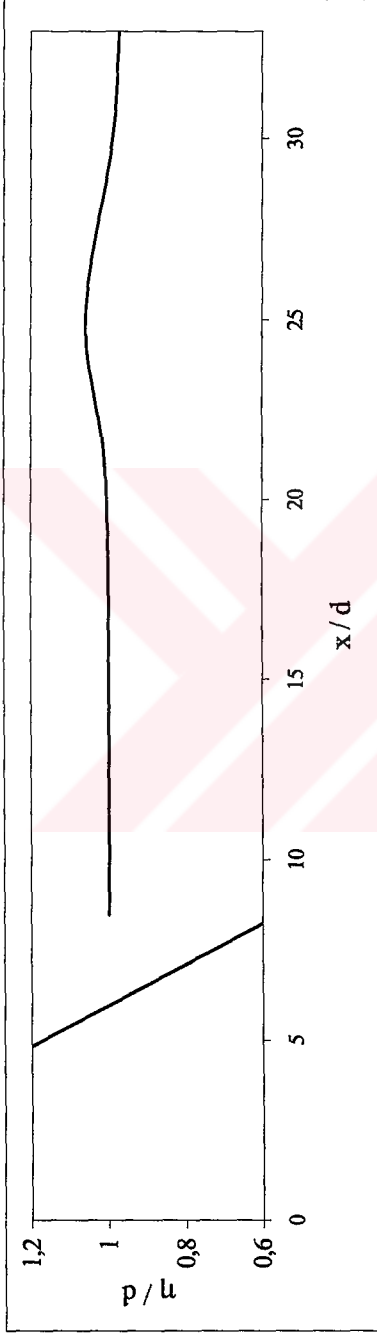


Şekil B.115  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 36.5$ ) (Deney No : 140)

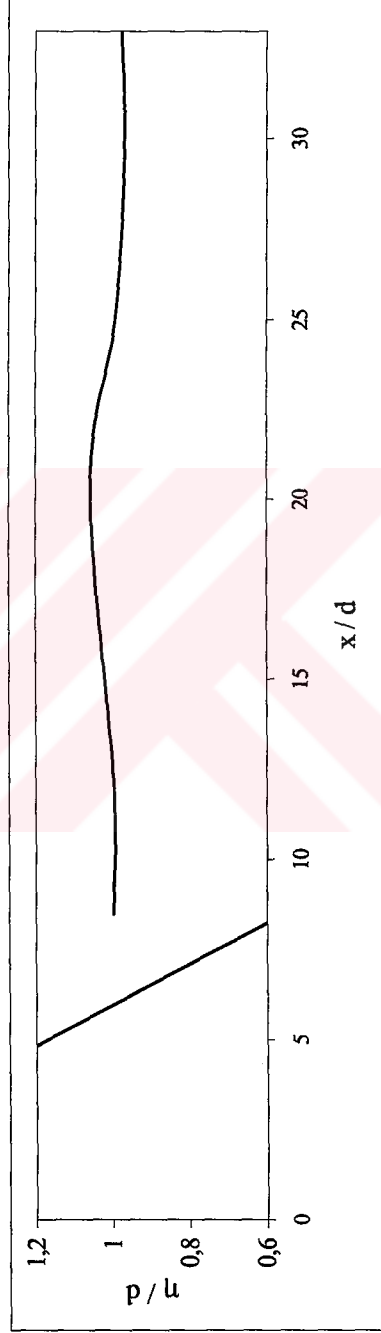


Şekil B.116  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 40$ ) (Deney No : 140)

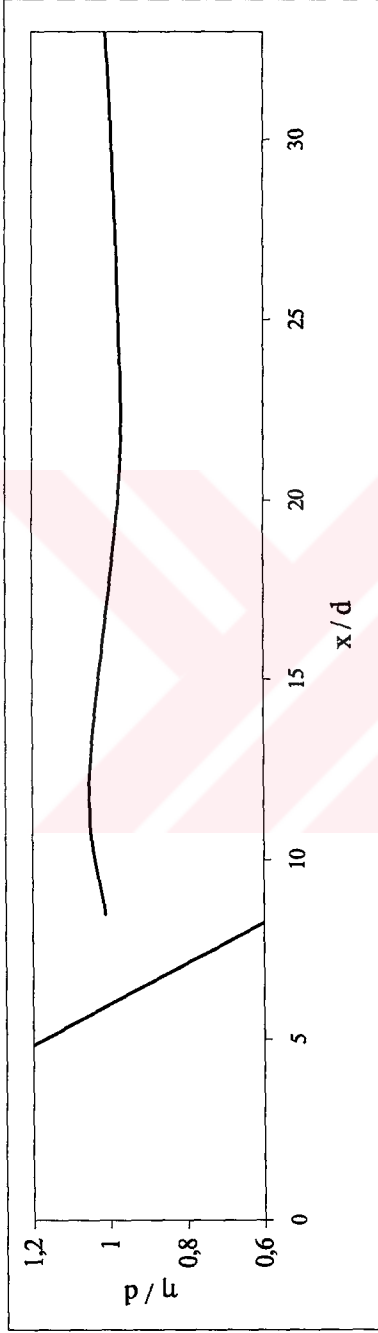




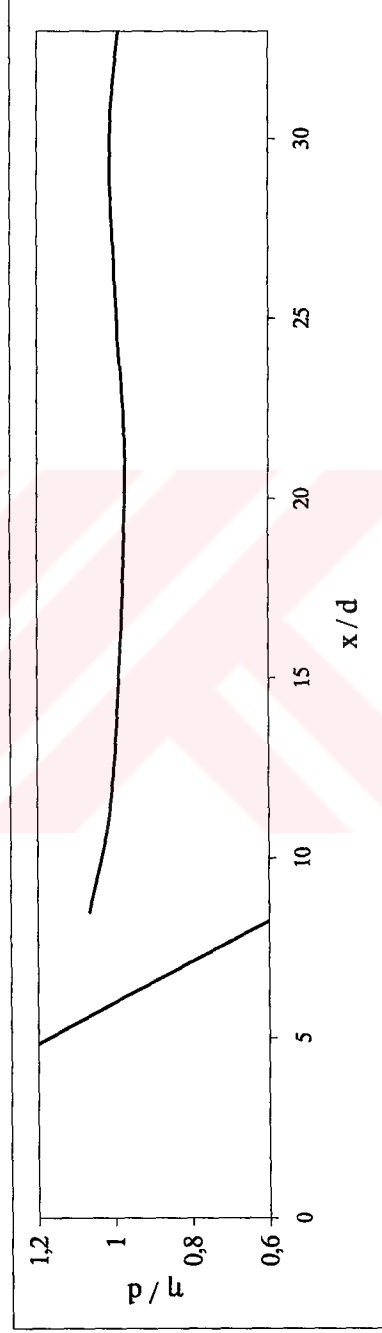
Şekil B.117 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45.5$ ) (D deney No : 140)



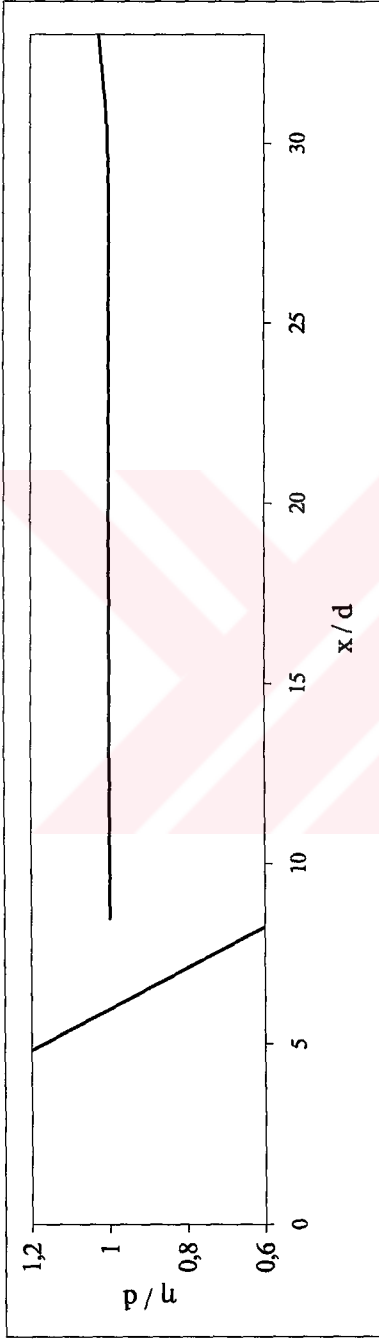
Şekil B.118 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 50$ ) (D deney No : 140)



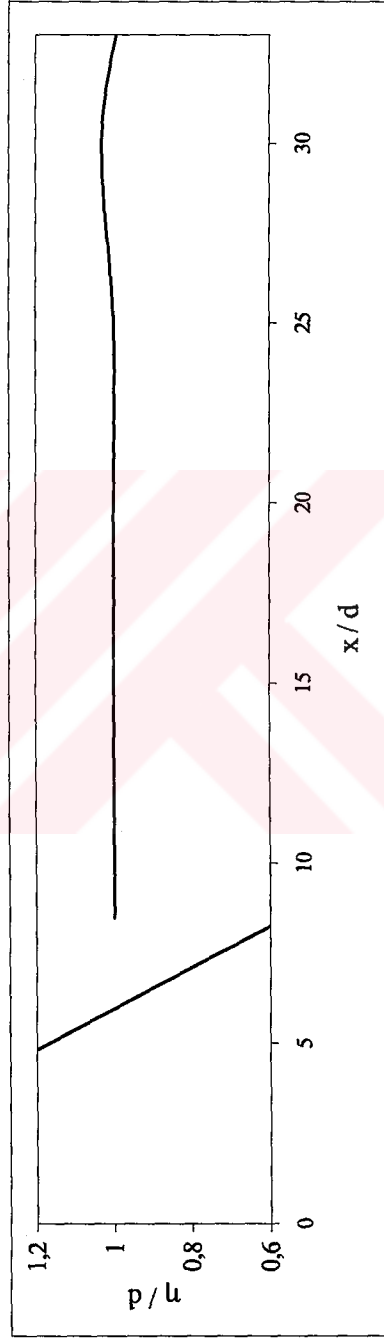
Şekil B.119  $x^3$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 59$ ) (Deney No : 140)



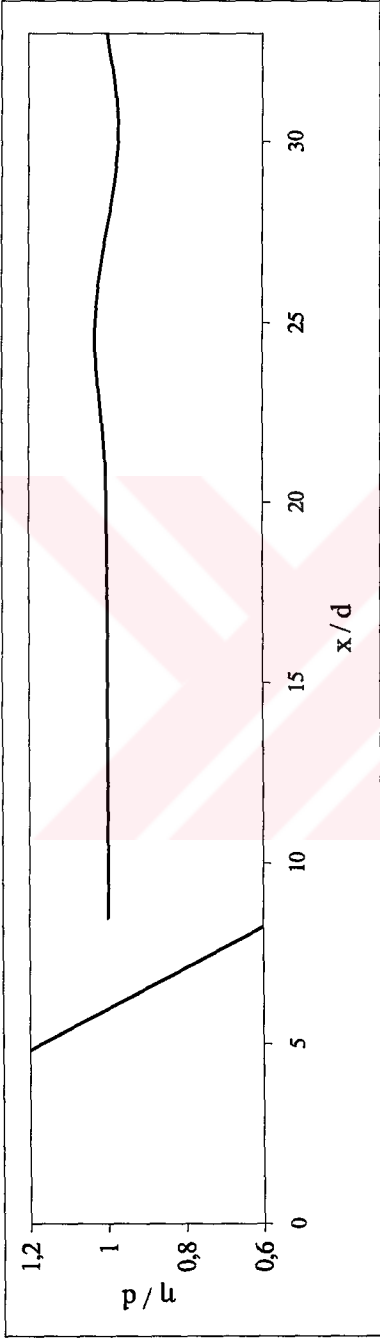
Şekil B.120  $x^3$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 63$ ) (Deney No : 140)



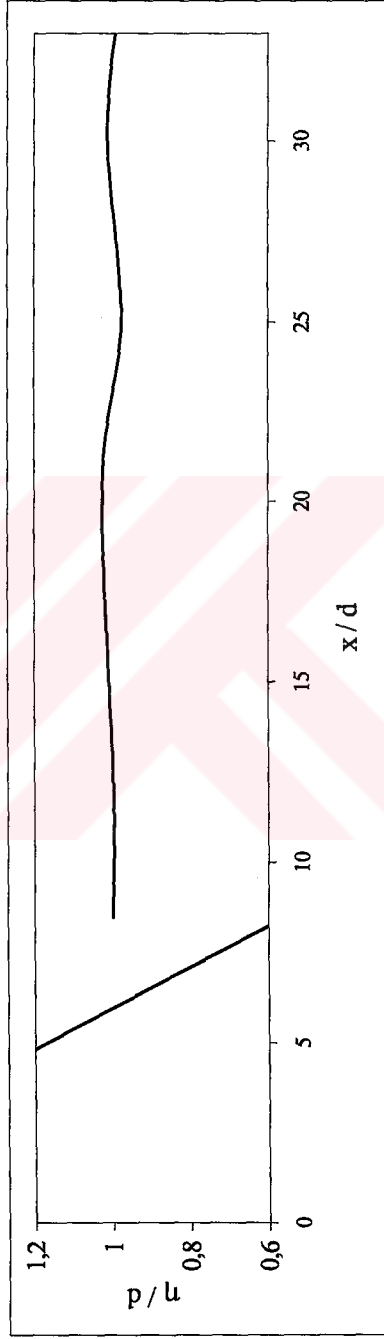
Şekil B.121 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 30.5$ ) (Deney No : 142)



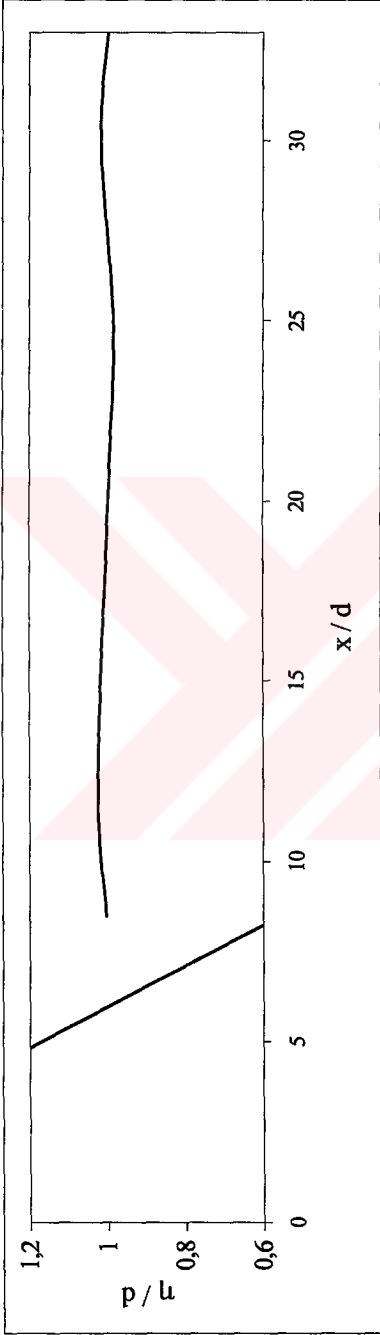
Şekil B.122 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 34$ ) (Deney No : 142)



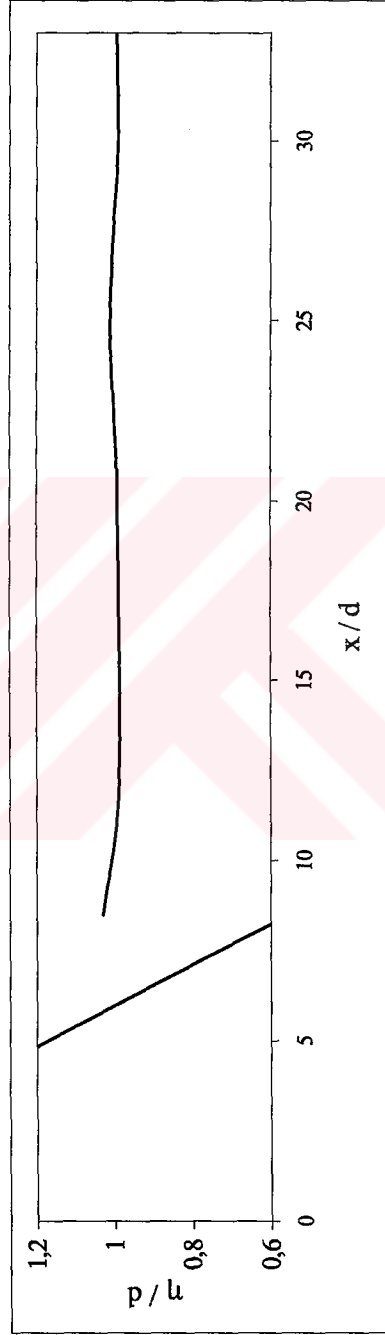
Şekil B.123 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 40$ ) (Deney No : 142)



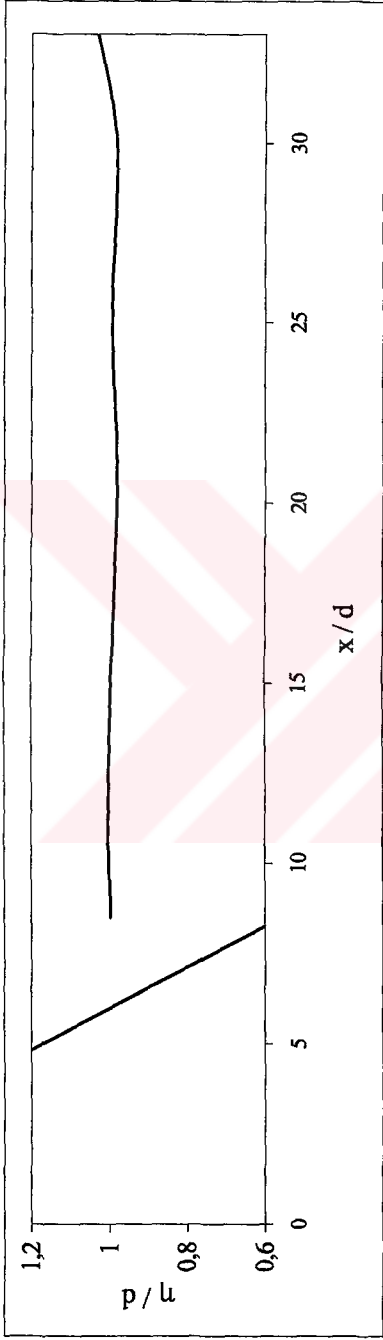
Şekil B.124 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 44$ ) (Deney No : 142)



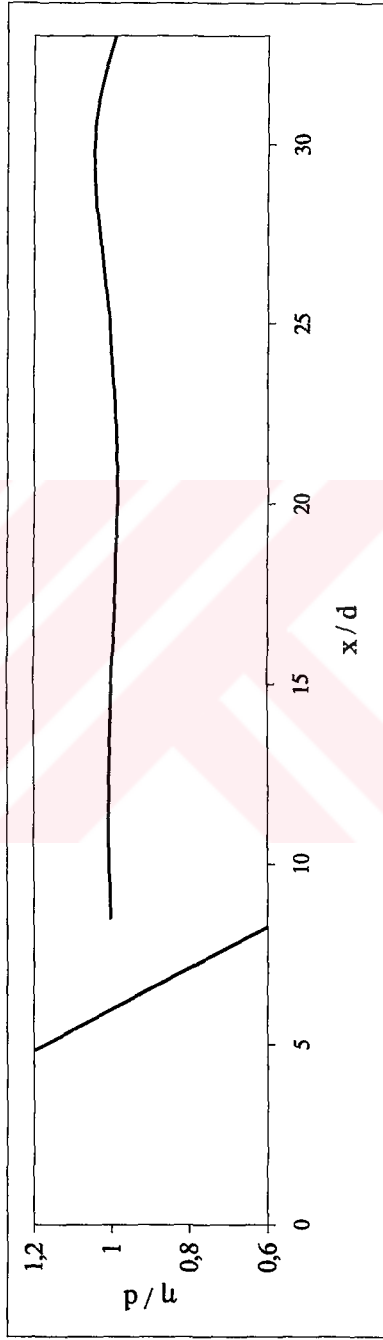
Şekil B.125 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 53$ ) (Deney No : 142)



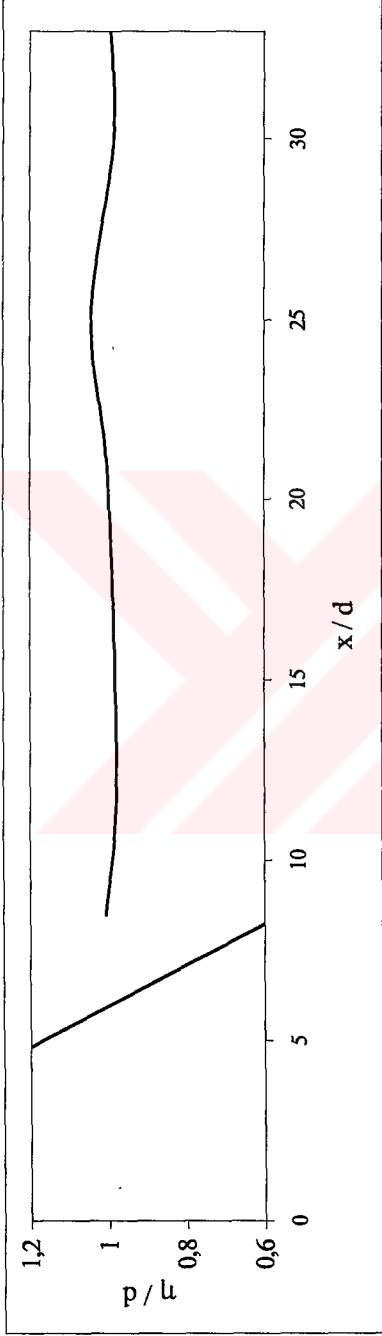
Şekil B.126 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 57.5$ ) (Deney No : 142)



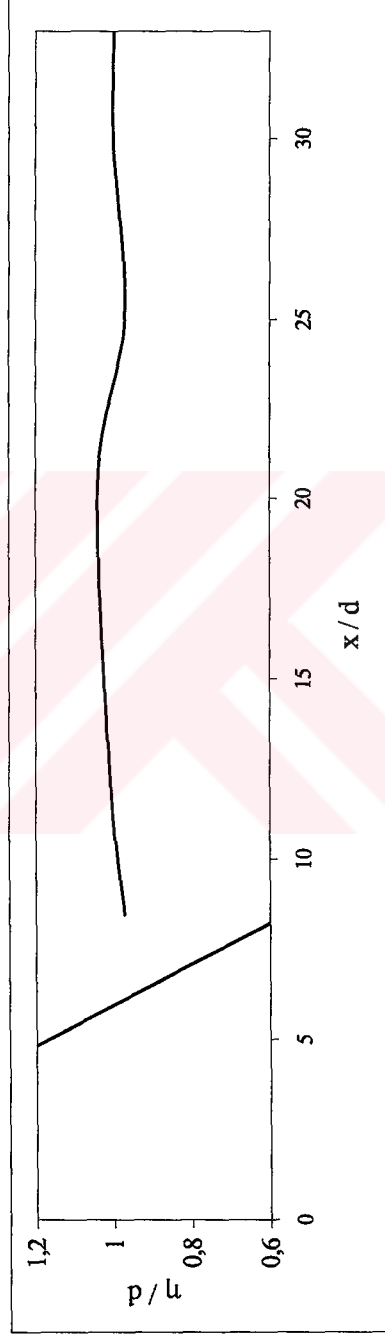
Şekil B.127 x' in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 143)



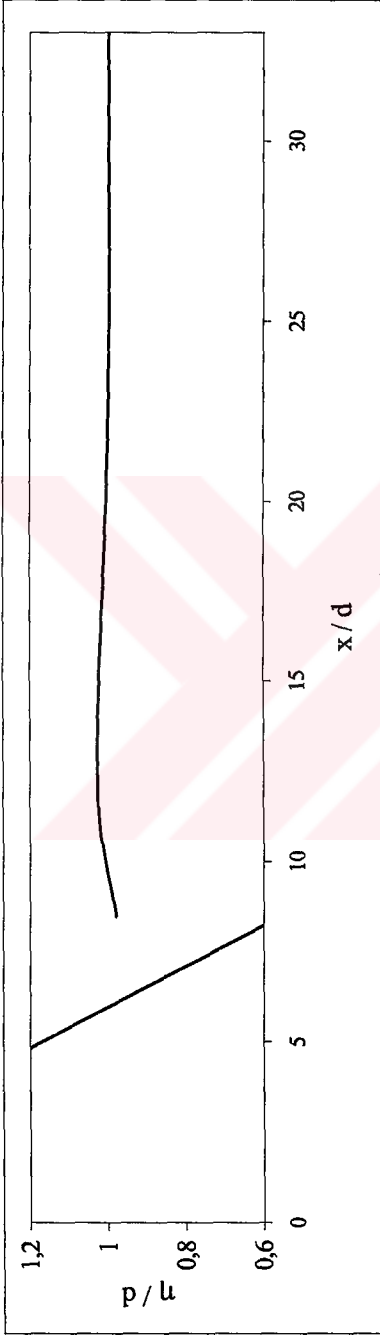
Şekil B.128 x' in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 51$ ) (Deney No : 143)



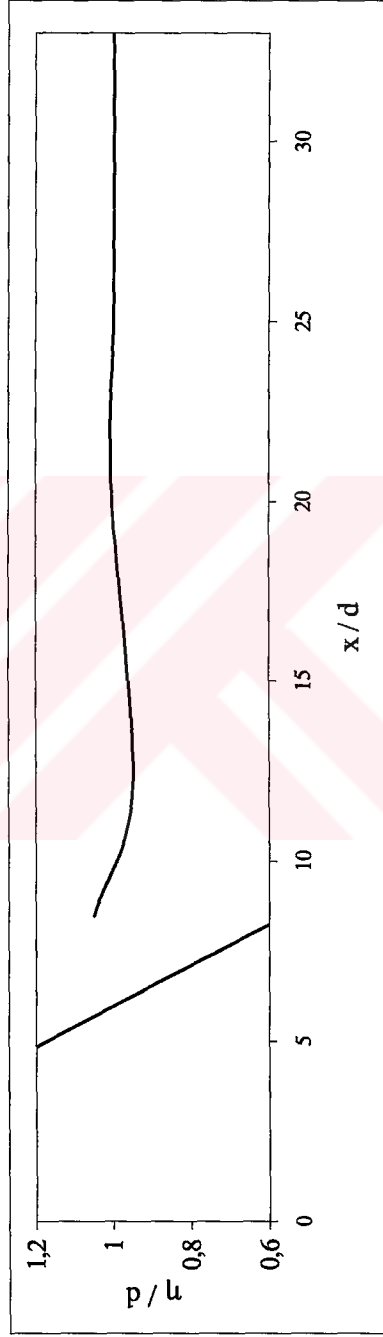
Şekil B.129 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 57$ ) (Deney No : 143)



Şekil B.130 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 62$ ) (Deney No : 143)

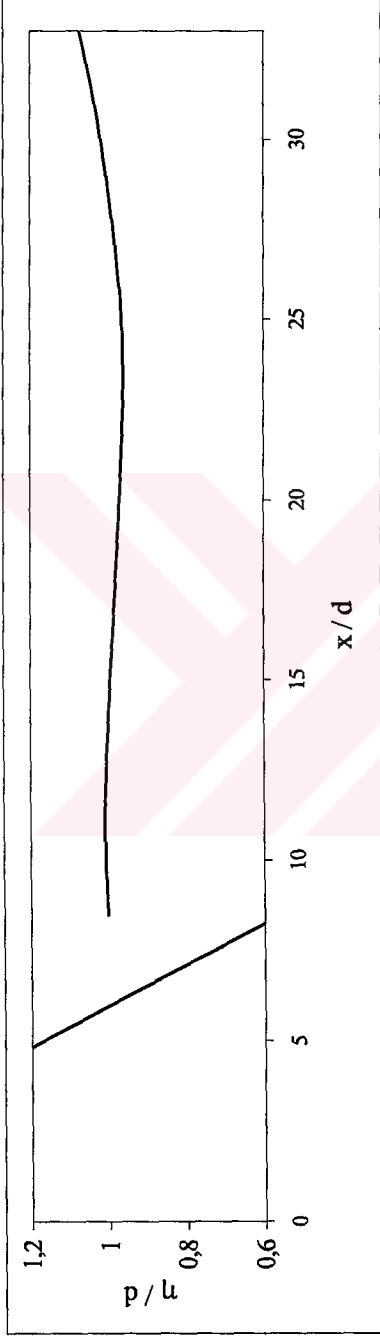


Şekil B.131 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 71$ ) (Deney No : 143)

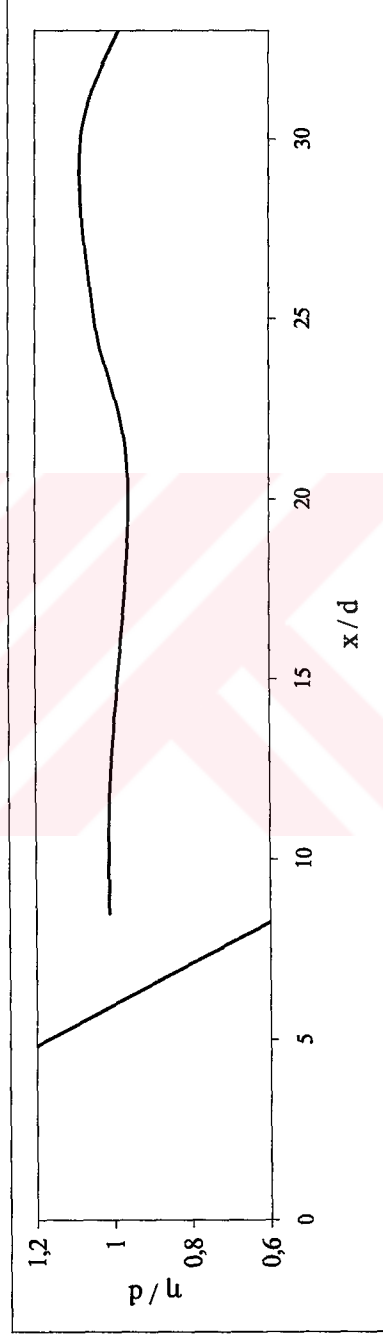


Şekil B.132 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 76$ ) (Deney No : 143)

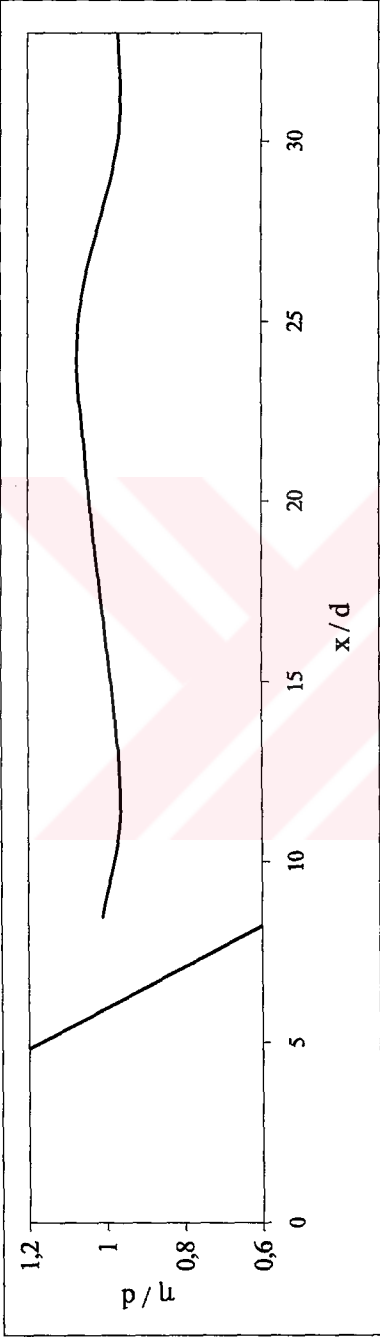




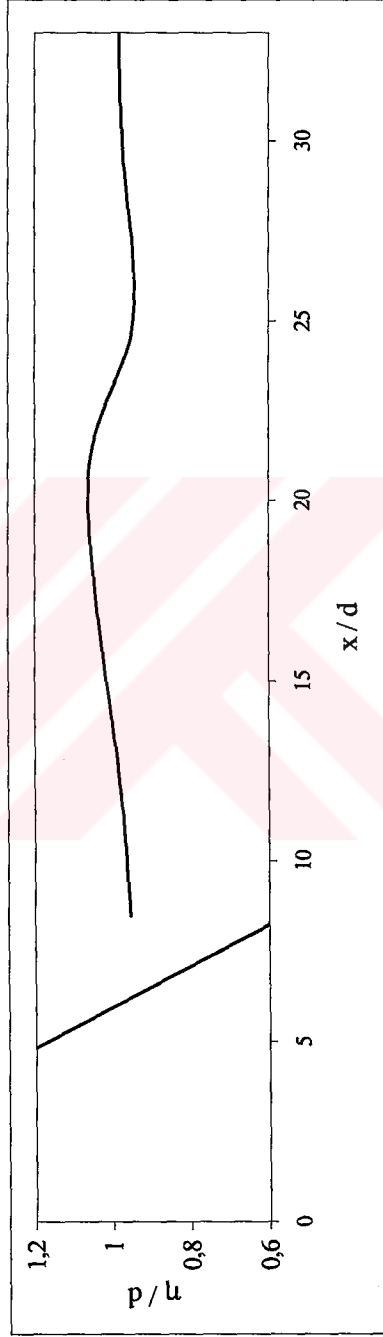
Şekil B.133 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 50$ ) (Deney No : 145)



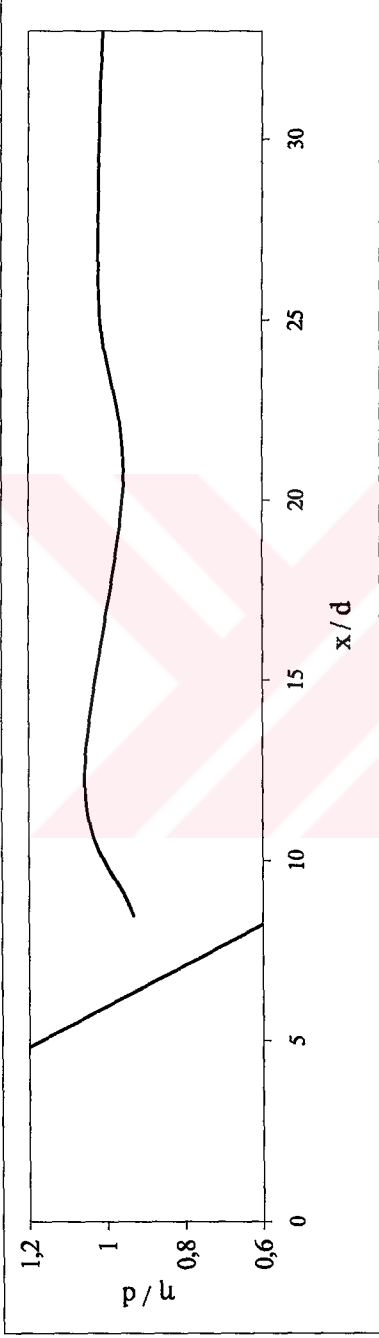
Şekil B.134 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 54$ ) (Deney No : 145)



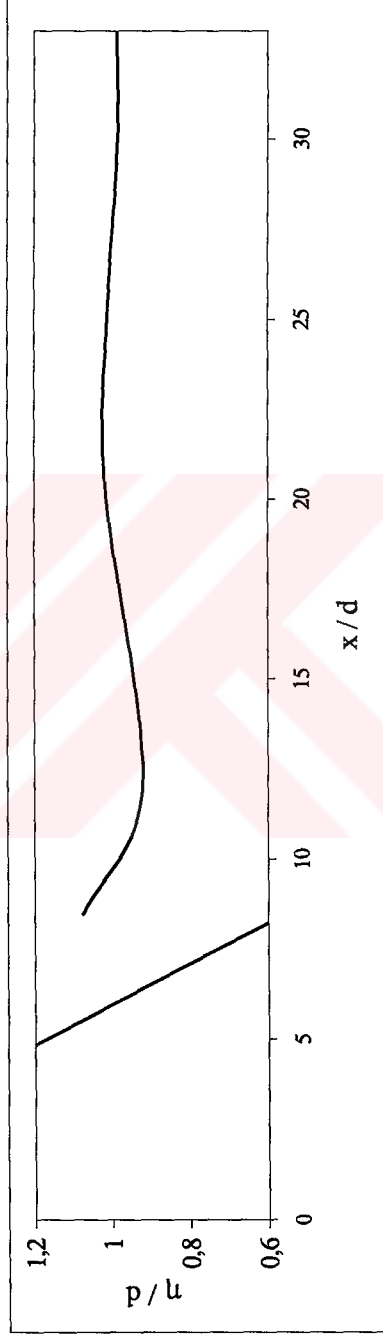
Şekil B.135  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 59$ ) (Deney No : 145)



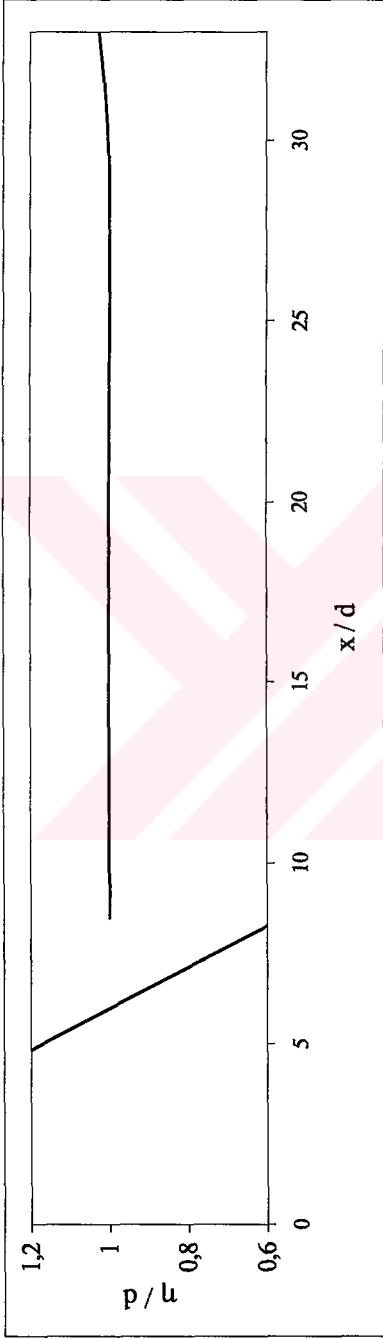
Şekil B.136  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 64$ ) (Deney No : 145)



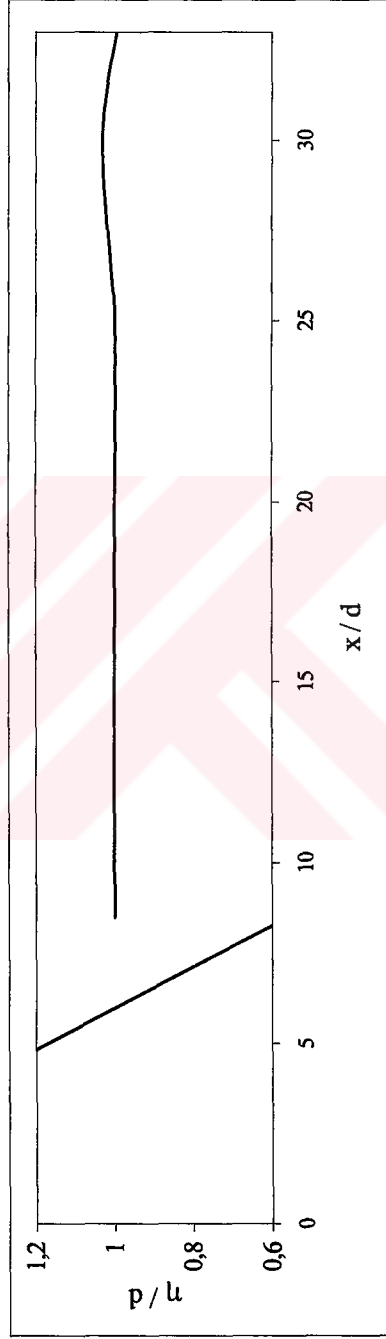
Şekil B.137 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 68$ ) (Deney No : 145)



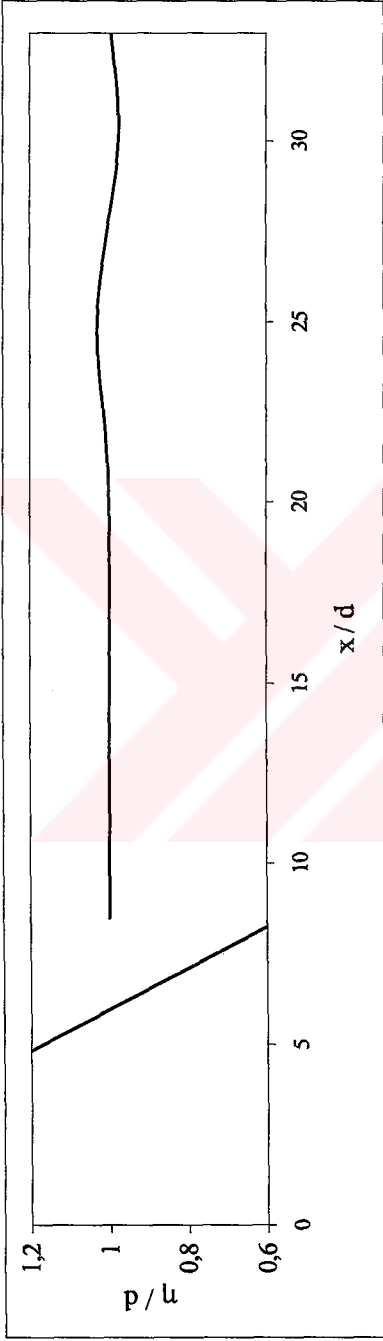
Şekil B.138 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 79$ ) (Deney No : 145)



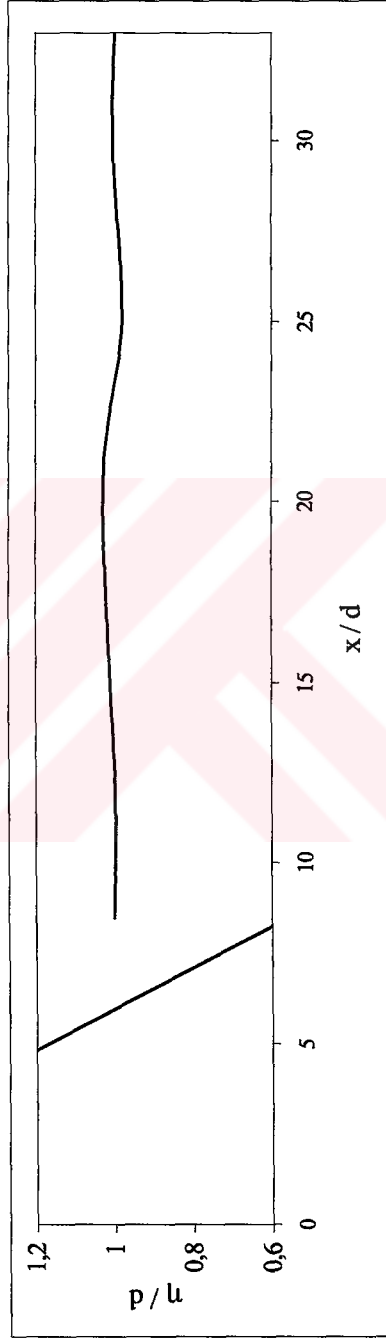
Şekil B.139 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 35$ ) (Deney No : 146)



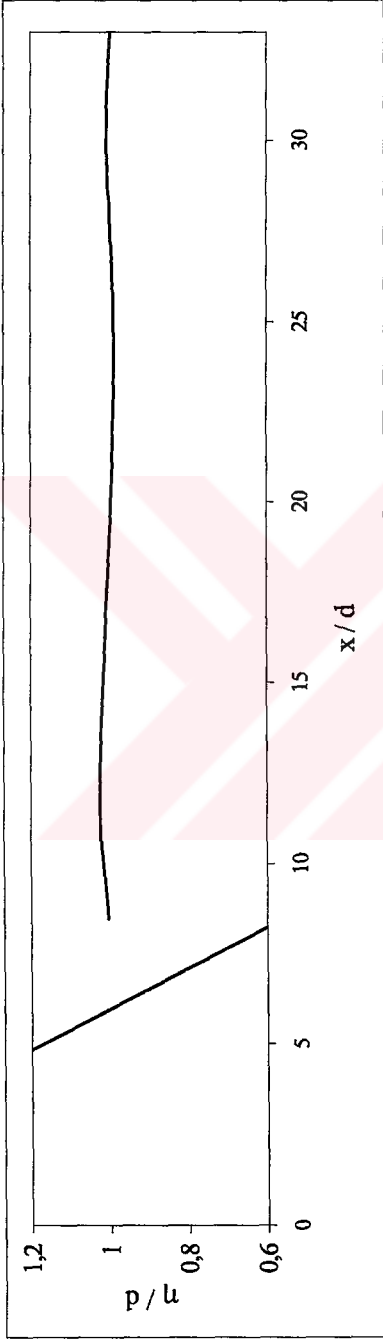
Şekil B.140 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 40$ ) (Deney No : 146)



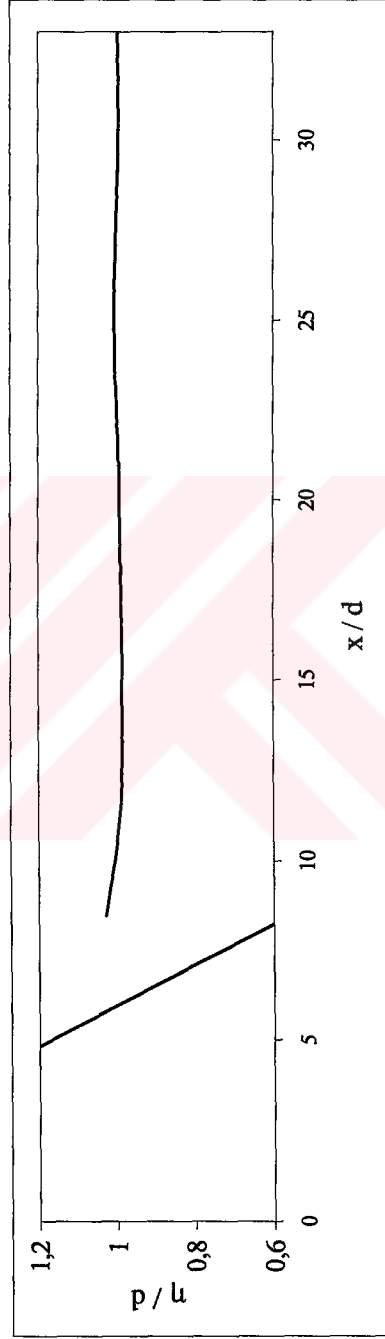
Şekil B.141  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 44$ ) (Deney No : 146)



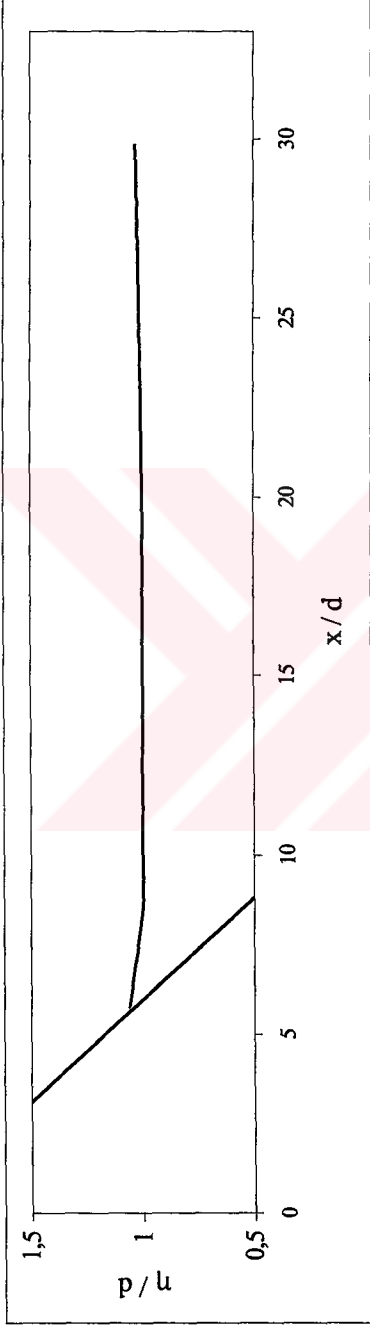
Şekil B.142  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 146)



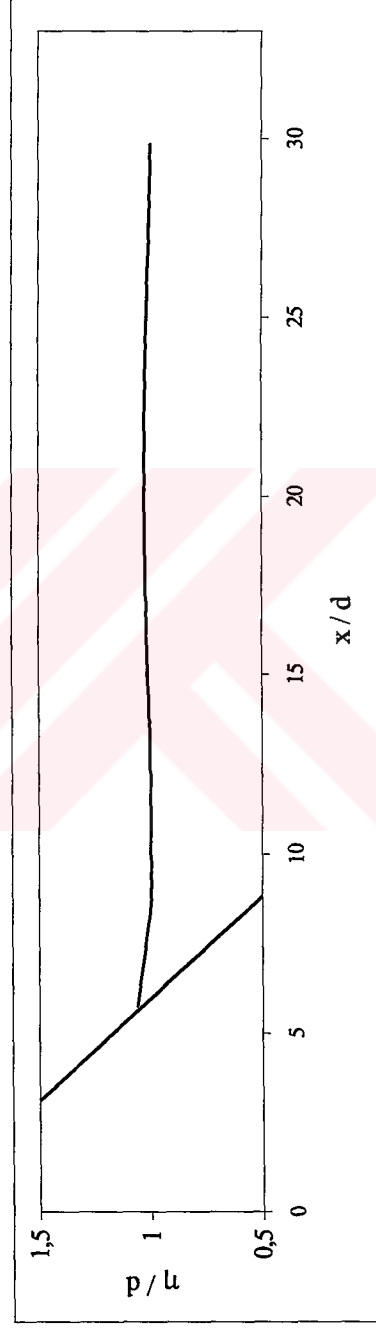
Şekil B.143 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 146)



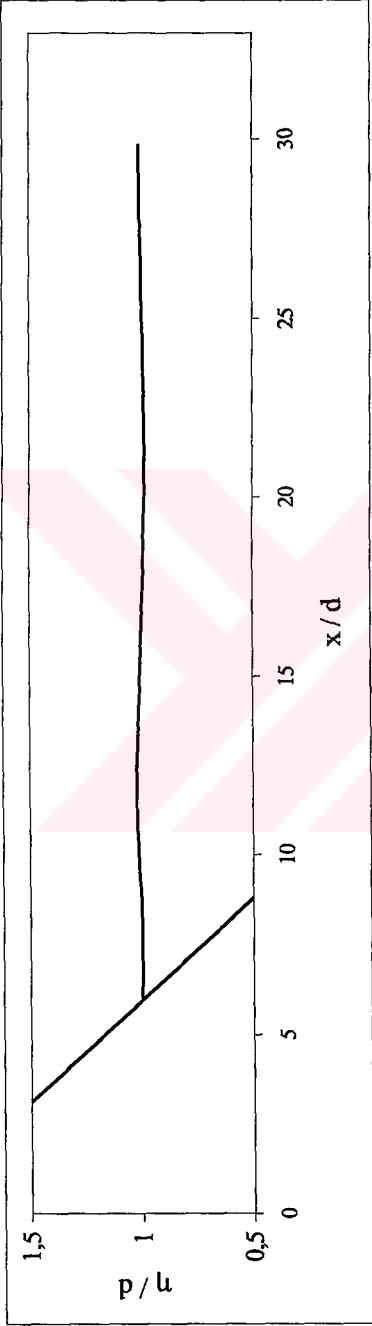
Şekil B.144 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=62$ ) (Deney No : 146)



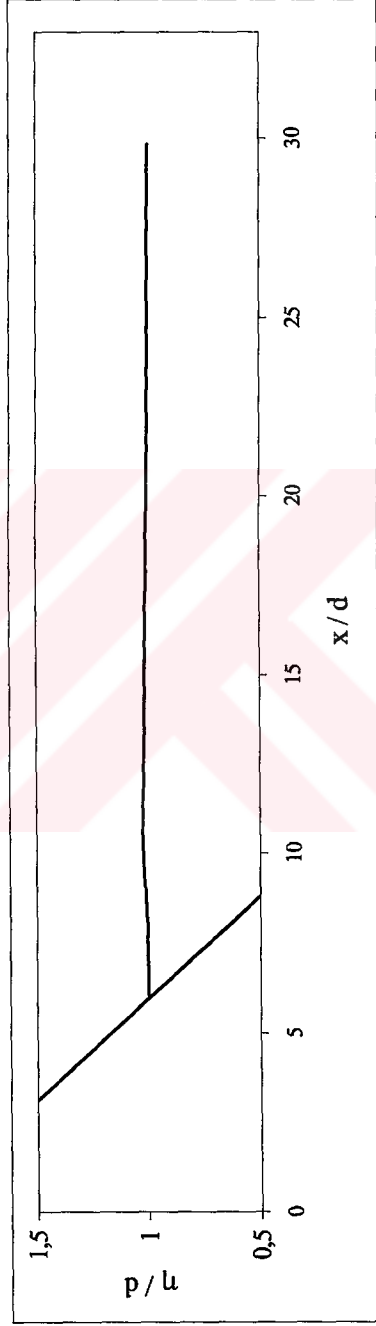
Şekil B.145 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 35$ ) (Deney No : 250)



Şekil B.146 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 250)

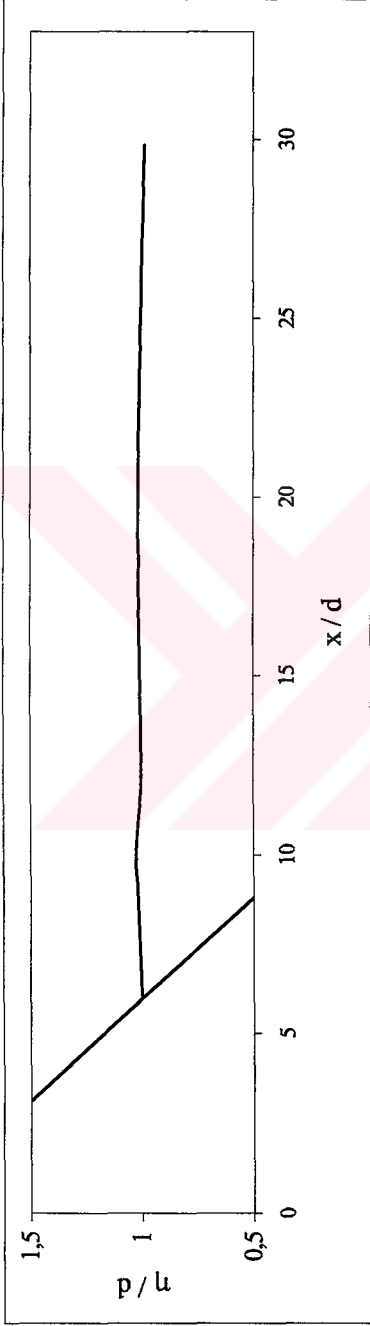


Şekil B.147 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 55.5$ ) (Deney No : 250)

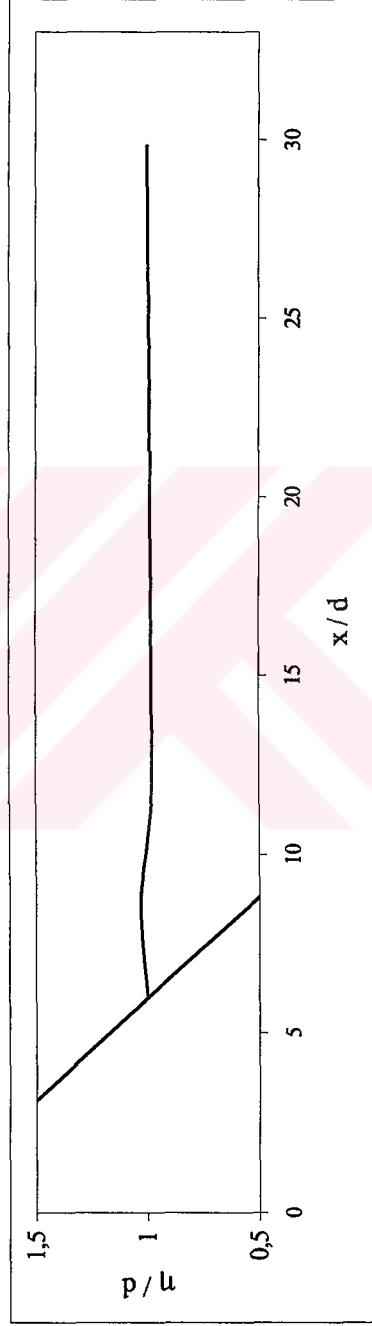


Şekil B.148 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 57$ ) (Deney No : 250)

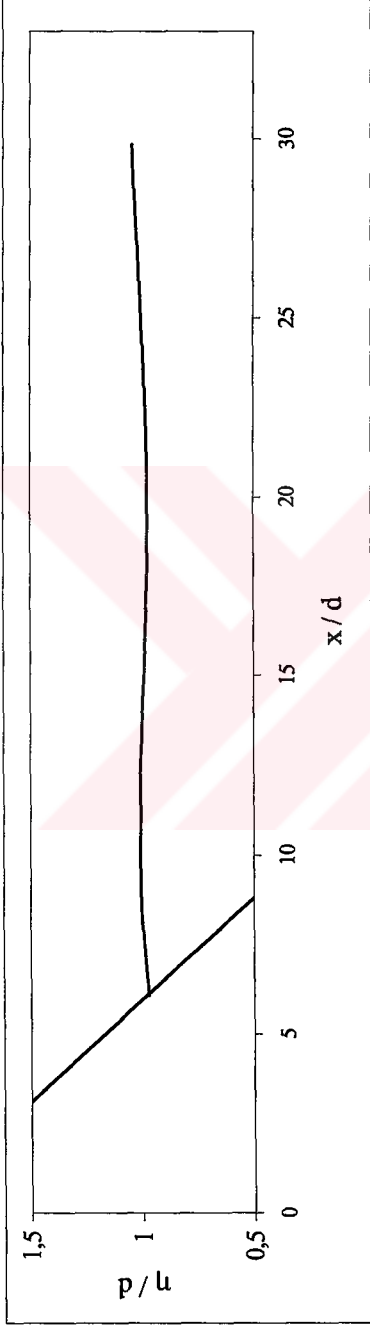




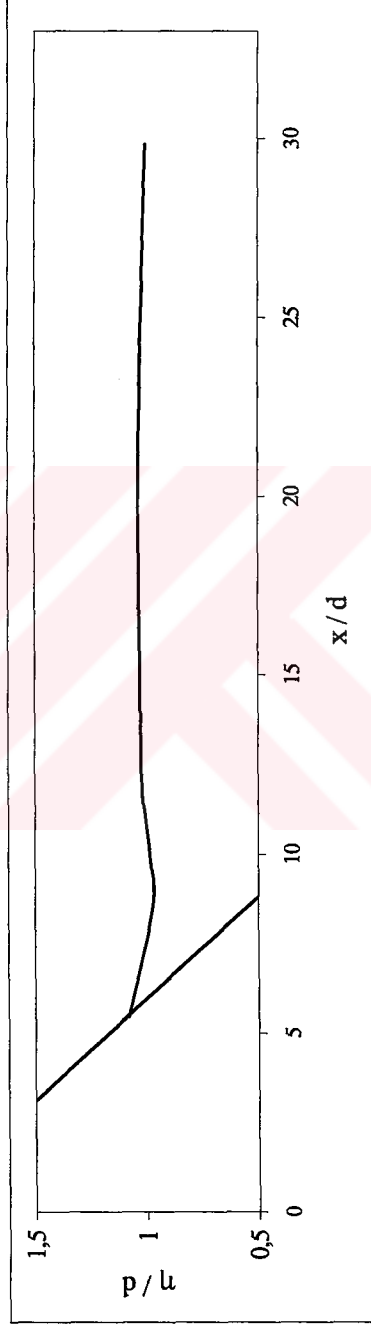
Şekil B.149 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 58$ ) (Deney No : 250)



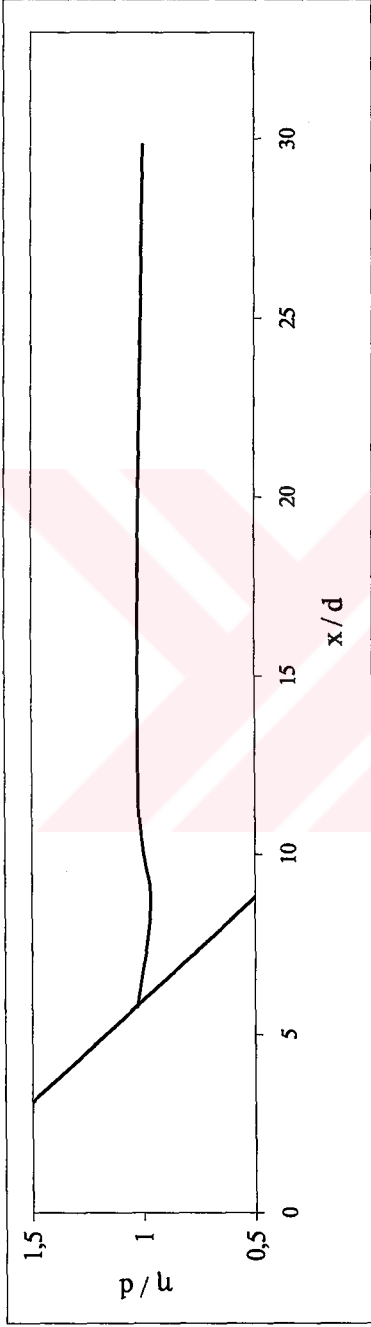
Şekil B.150 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 61$ ) (Deney No : 250)



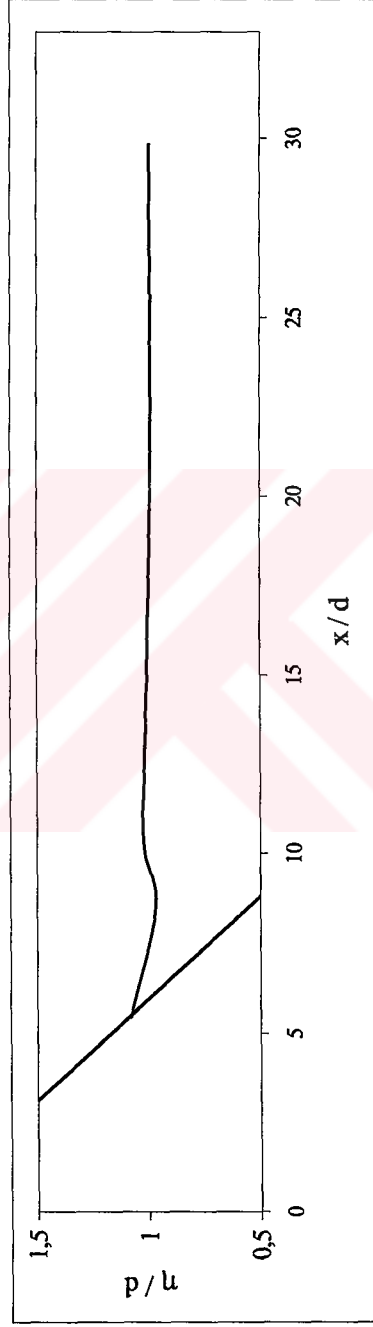
Şekil B.151 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=48$ ) (Deney No : 251)



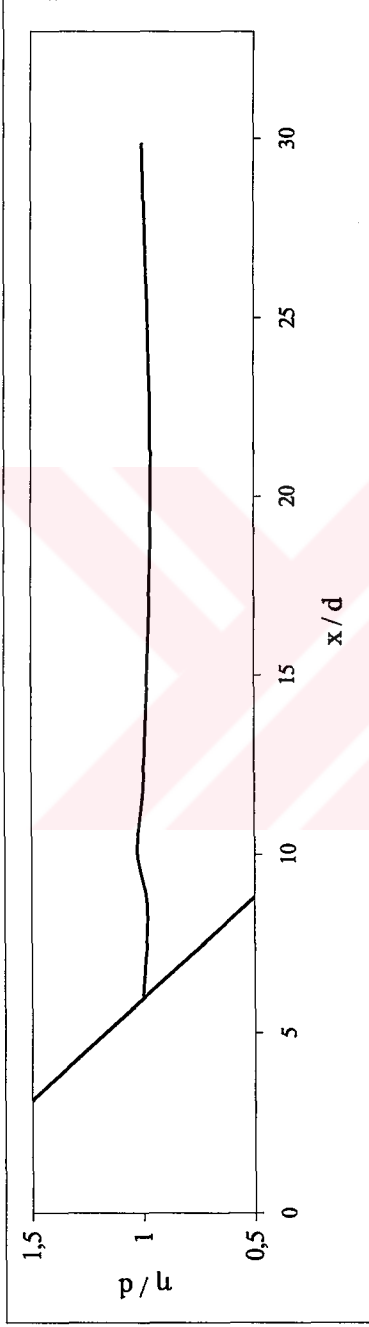
Şekil B.152 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60.5$ ) (Deney No : 251)



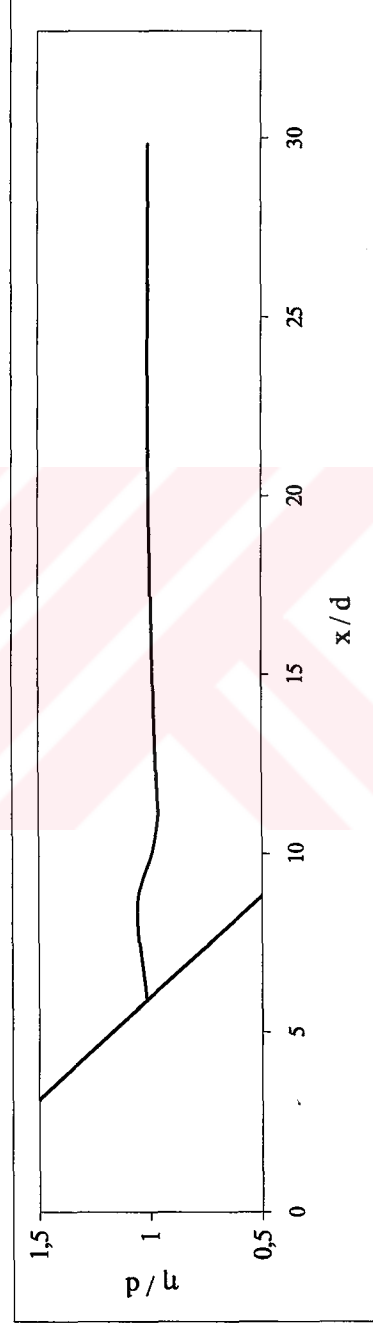
Şekil B.153 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 62$ ) (Deney No : 251)



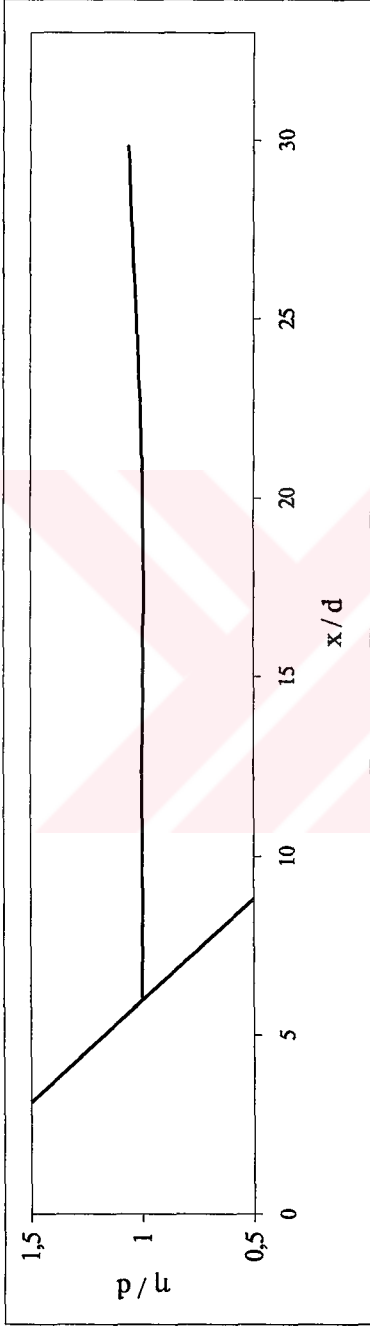
Şekil B.154 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 63$ ) (Deney No : 251)



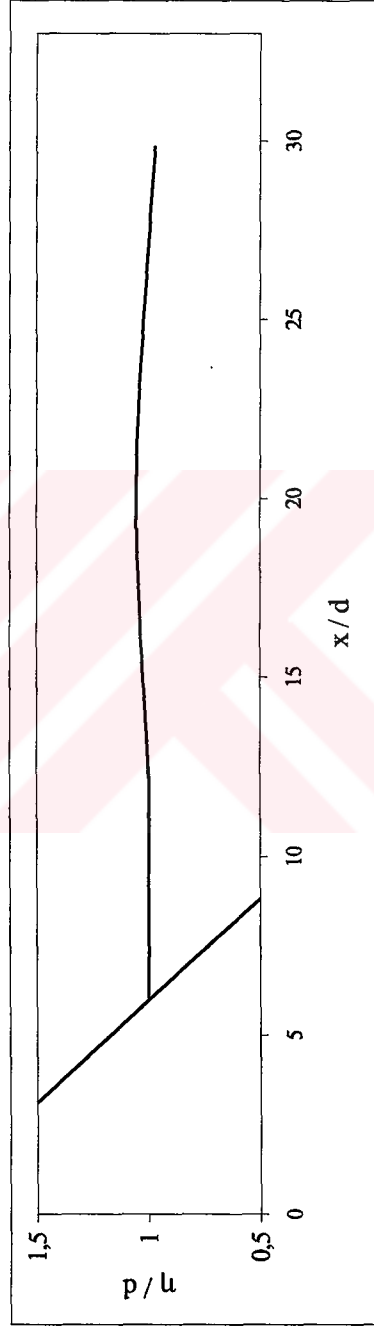
Şekil B.155  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 64$ ) (Deney No : 251)



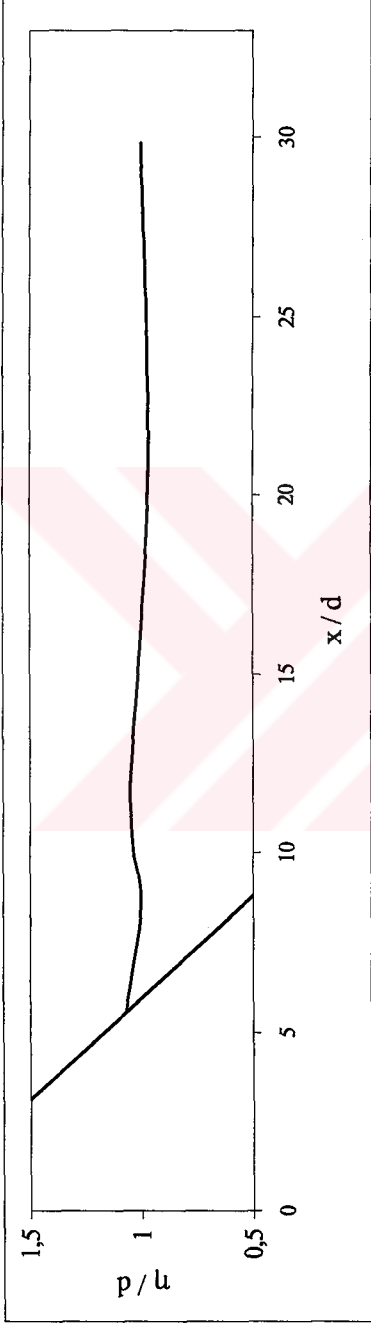
Şekil B.156  $x'$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 75$ ) (Deney No : 251)



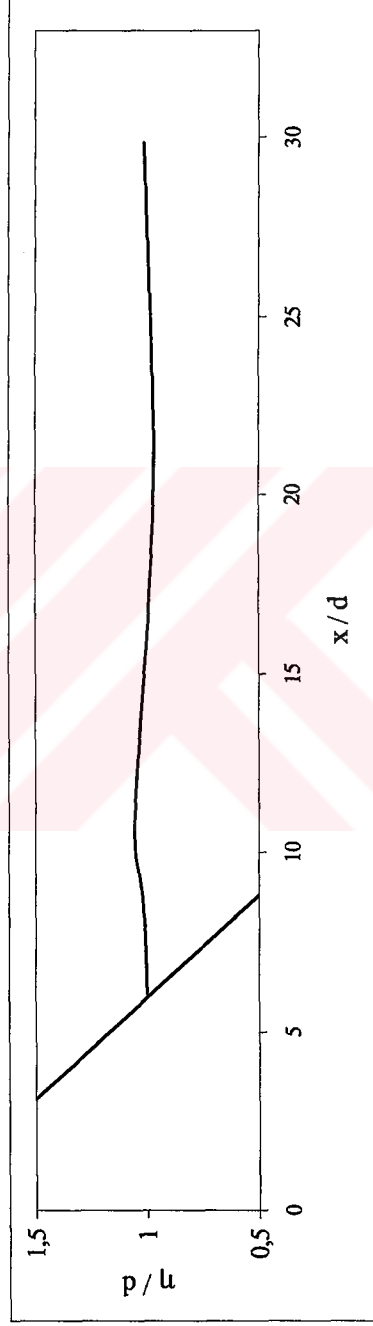
Şekil B.157 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 39.5$ ) (Deney No : 252)



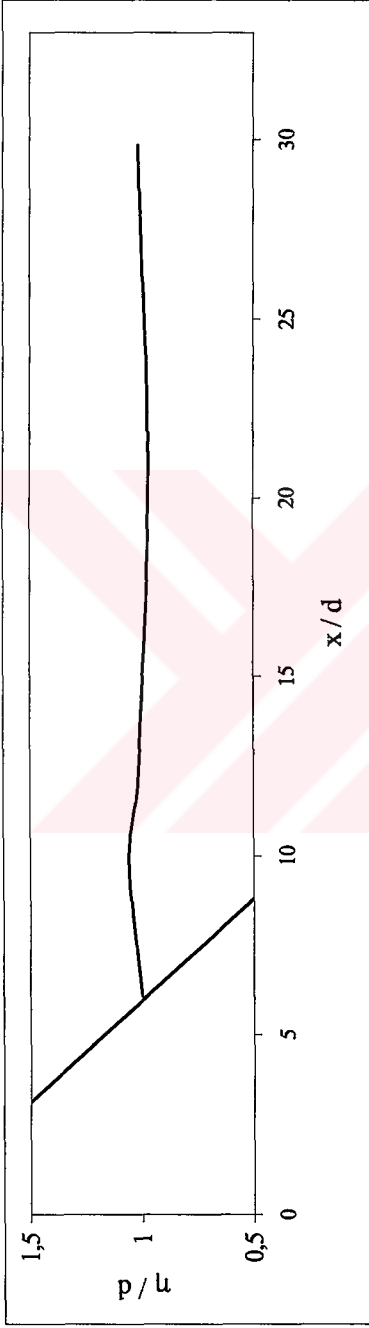
Şekil B.158 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 51$ ) (Deney No : 252)



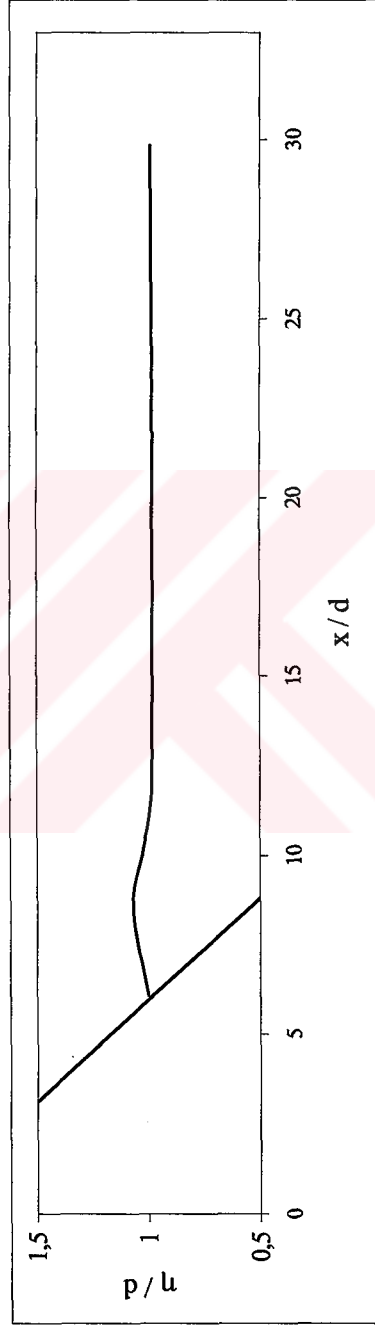
Şekil B.159 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=59$ ) (Deney No : 252)



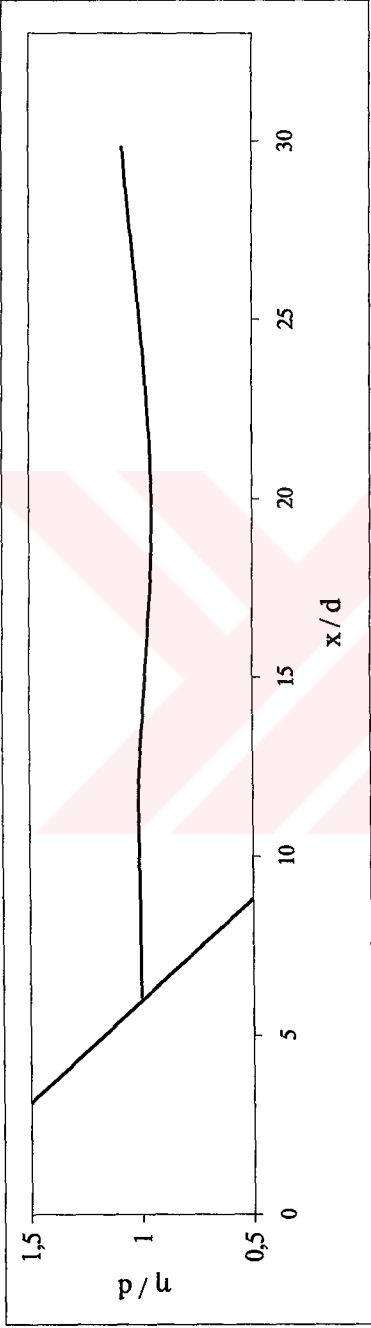
Şekil B.160 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=60$ ) (Deney No : 252)



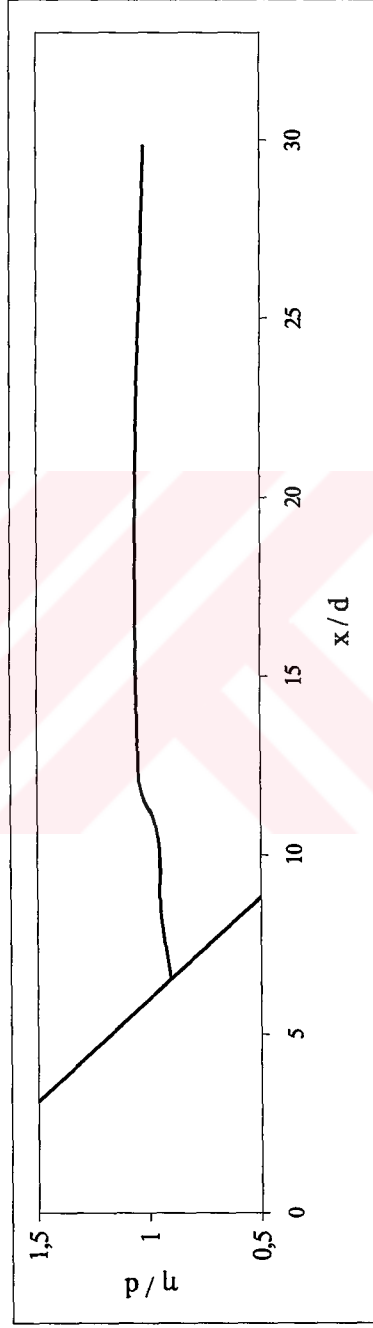
Şekil B.161 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 62$ ) (Deney No : 252)



Şekil B.162 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 65$ ) (Deney No : 252)

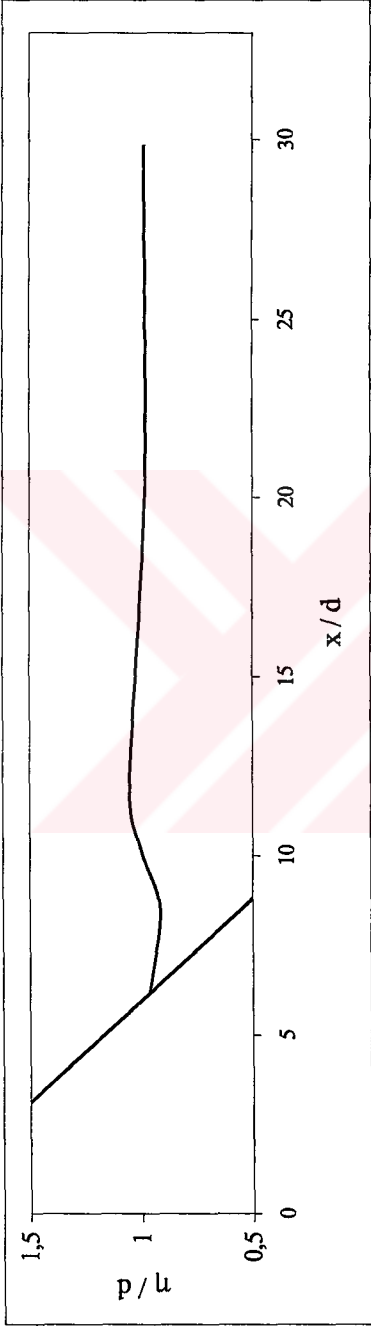


Şekil B.163 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 58$ ) (Deney No : 253)

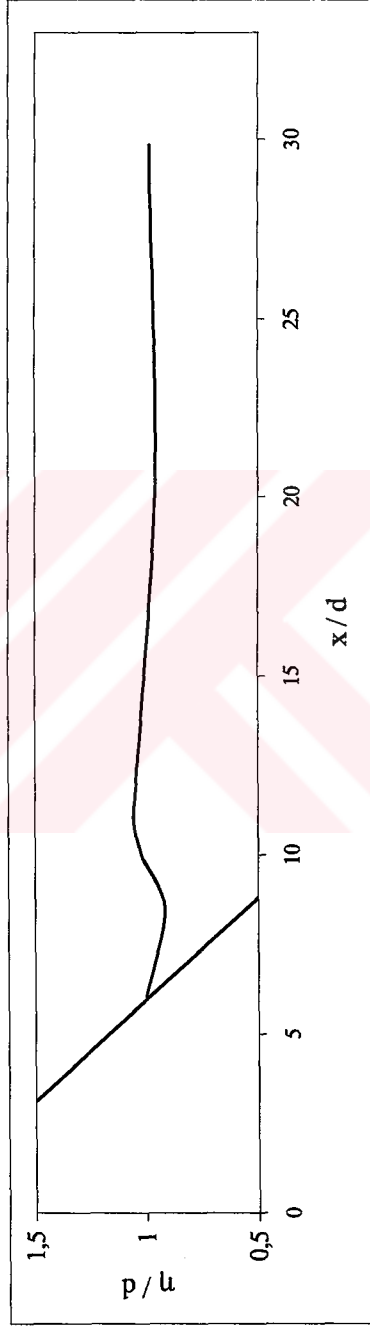


Şekil B.164 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 71$ ) (Deney No : 253)

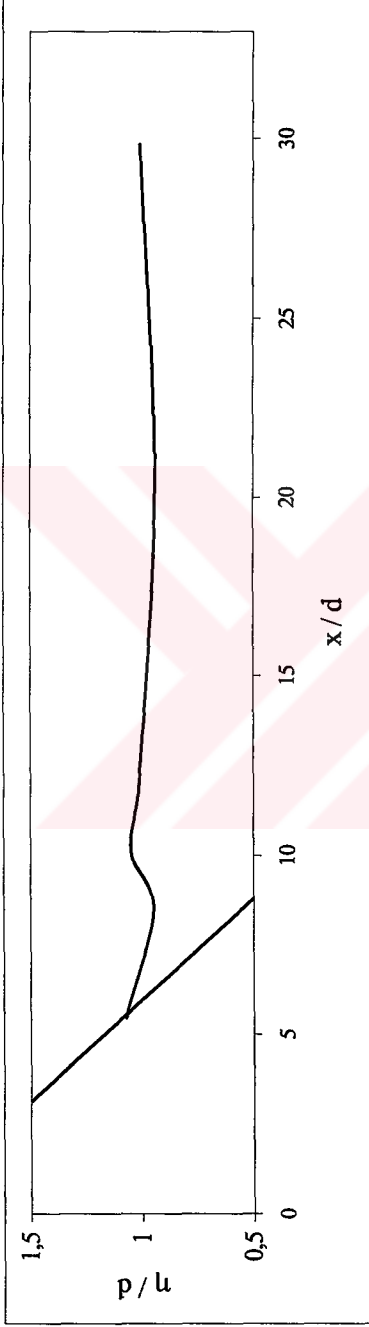




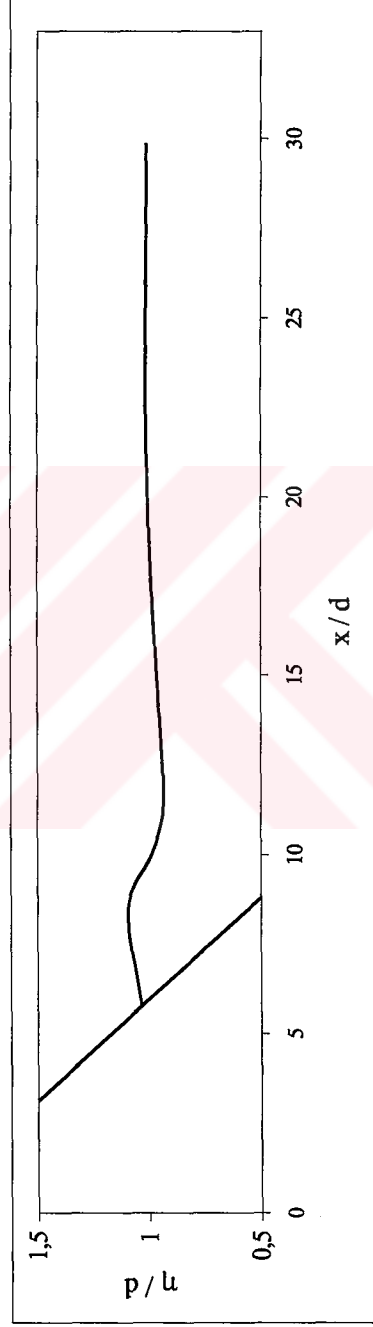
Şekil B.165 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 73$ ) (Deney No : 253)



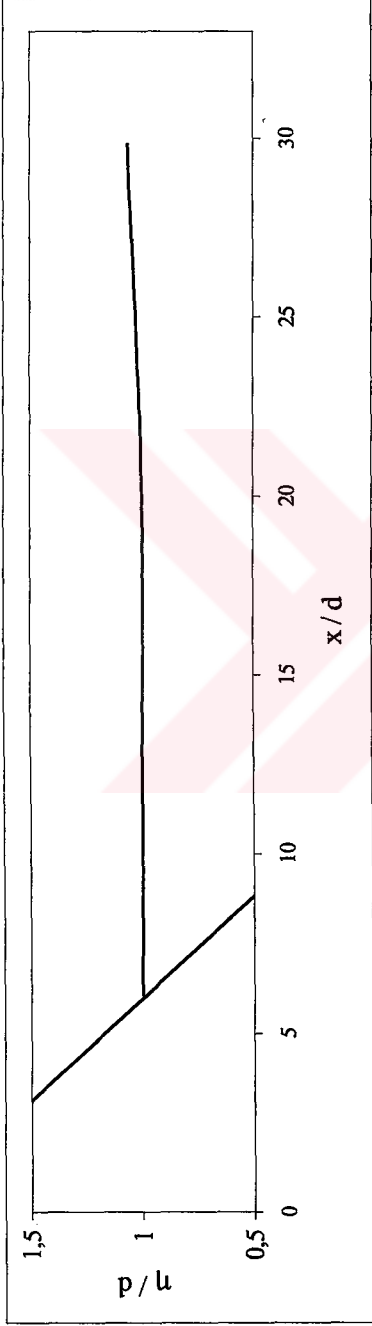
Şekil B.166 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 74$ ) (Deney No : 253)



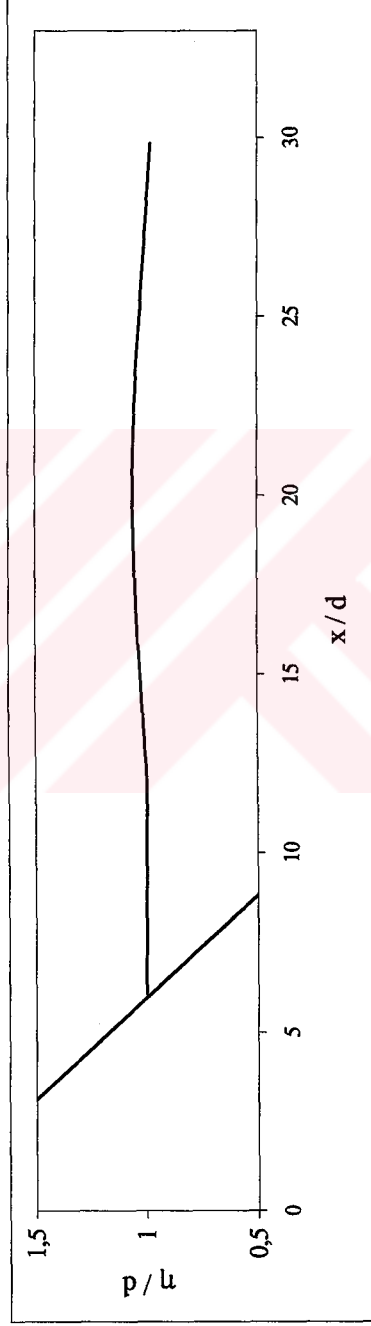
Şekil B.167 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 76$ ) (Deney No : 253)



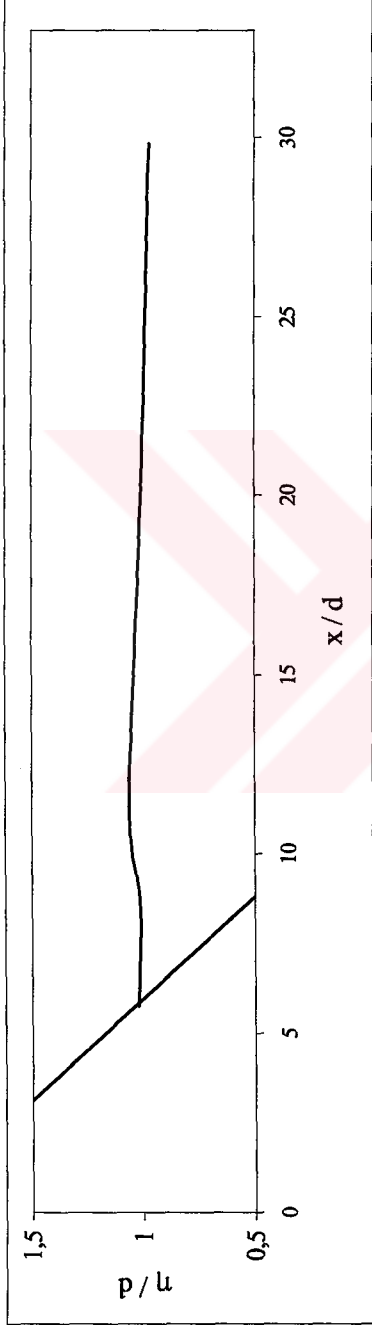
Şekil B.168 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 85$ ) (Deney No : 253)



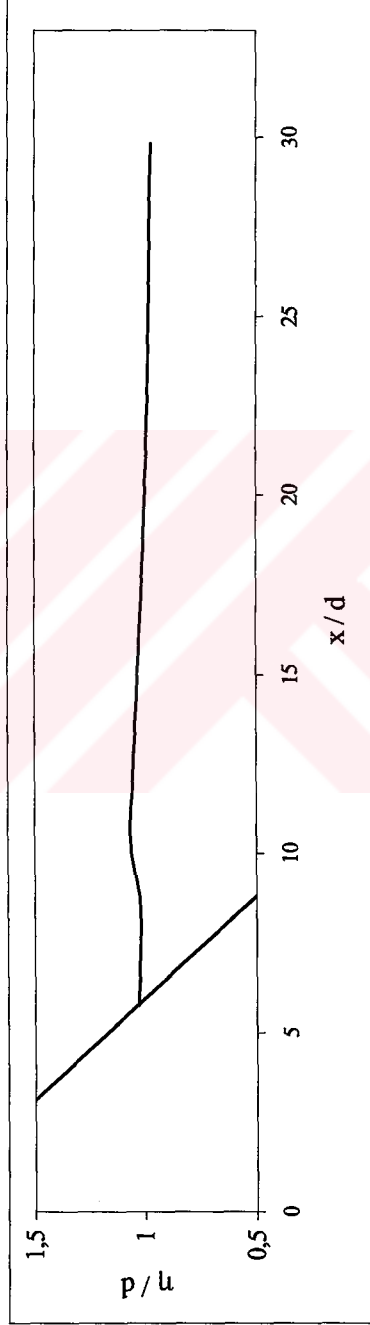
Şekil B.169 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 37$ ) (Deney No : 254)



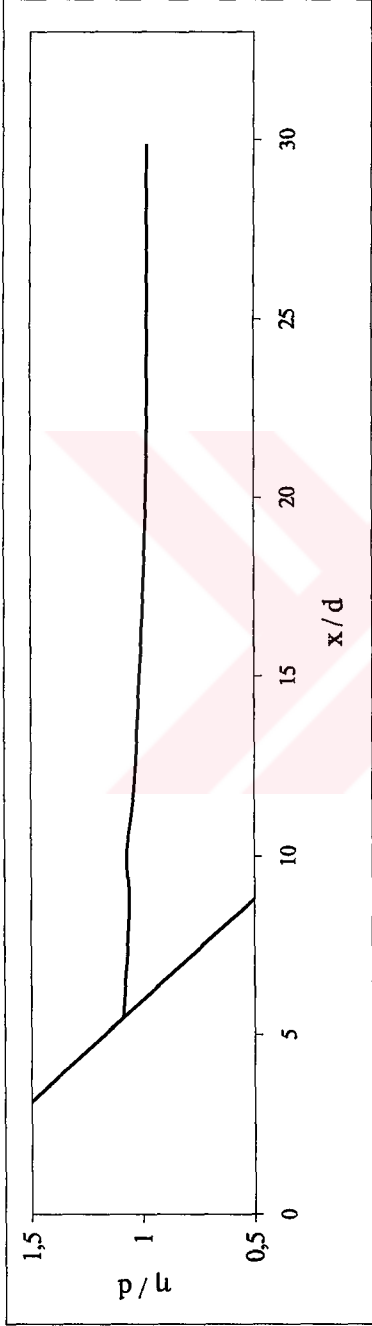
Şekil B.170 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 254)



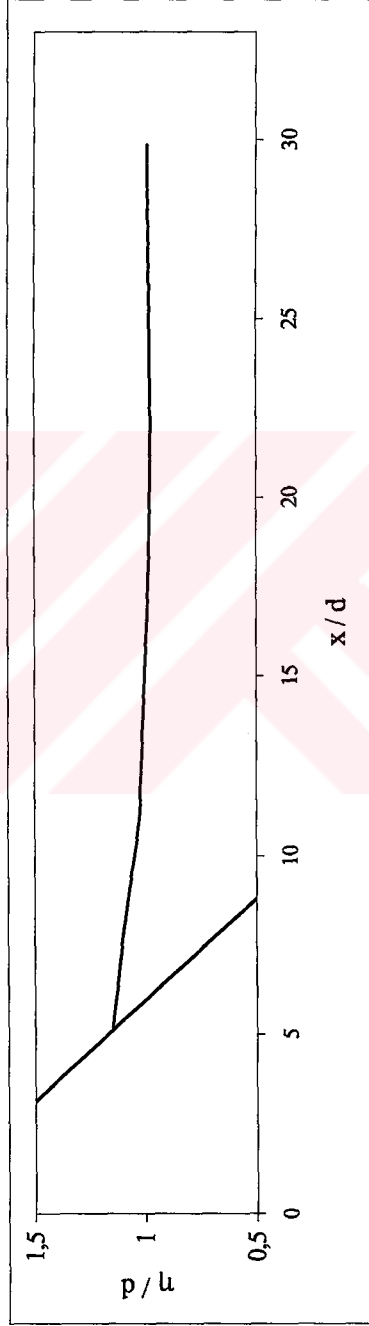
Şekil B.171 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=57$ ) (Deney No : 254)



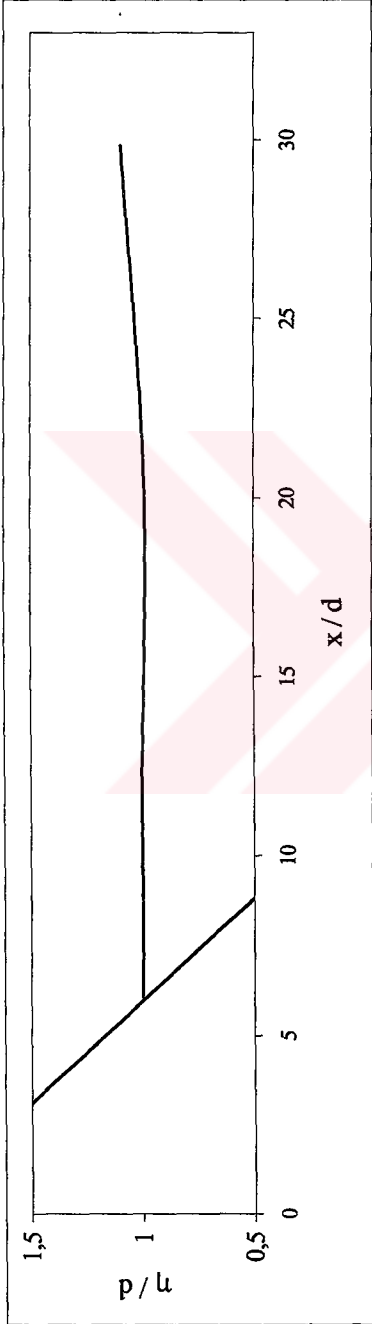
Şekil B.172 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=58$ ) (Deney No : 254)



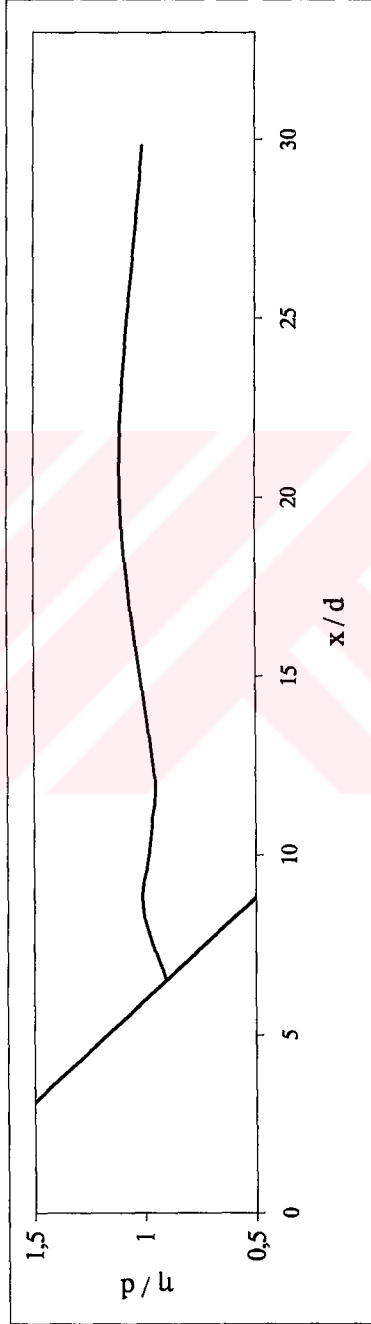
Şekil B.173 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 60$ ) (Deney No : 254)



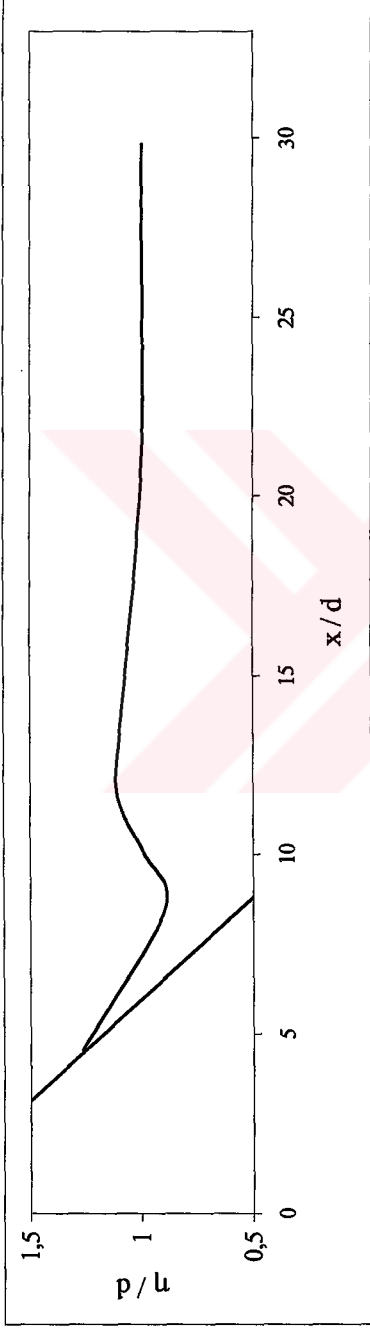
Şekil B.174 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 62$ ) (Deney No : 254)



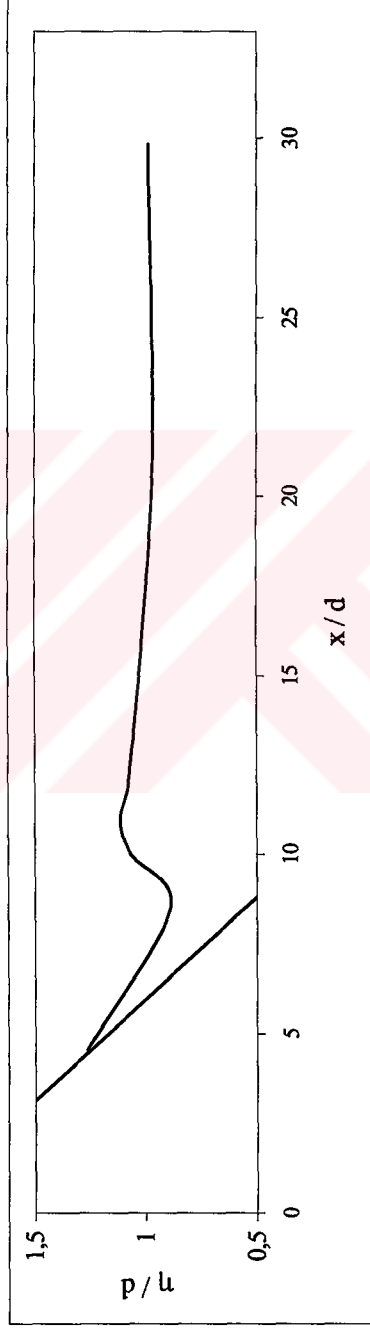
Şekil B.1.175 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 46$ ) (Deney No : 255)



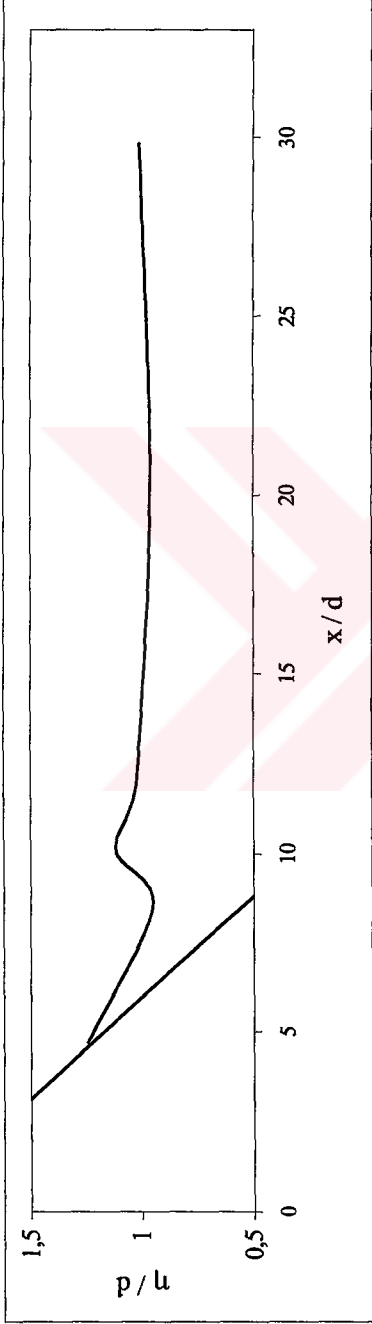
Şekil B.1.176 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 58$ ) (Deney No : 255)



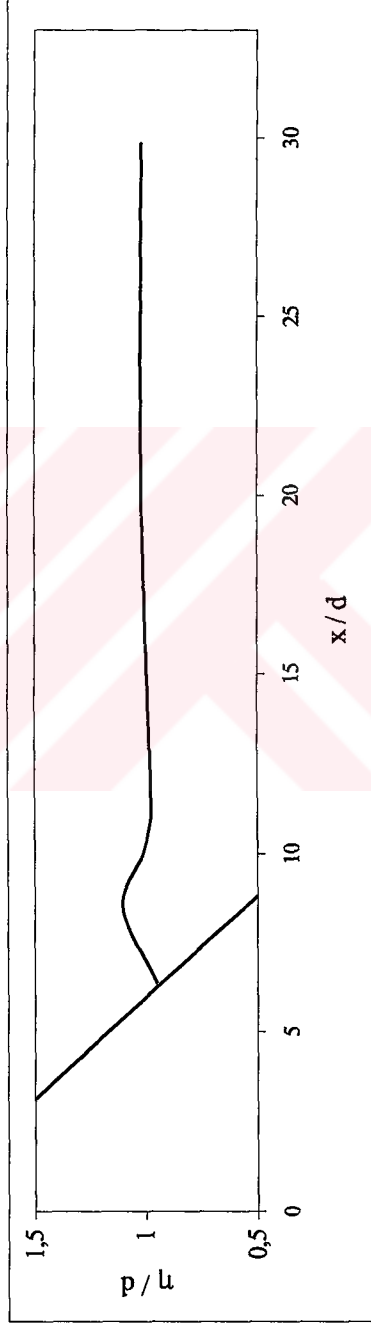
Şekil B.177 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 66$ ) (Deney No : 255)



Şekil B.178 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 67$ ) (Deney No : 255)

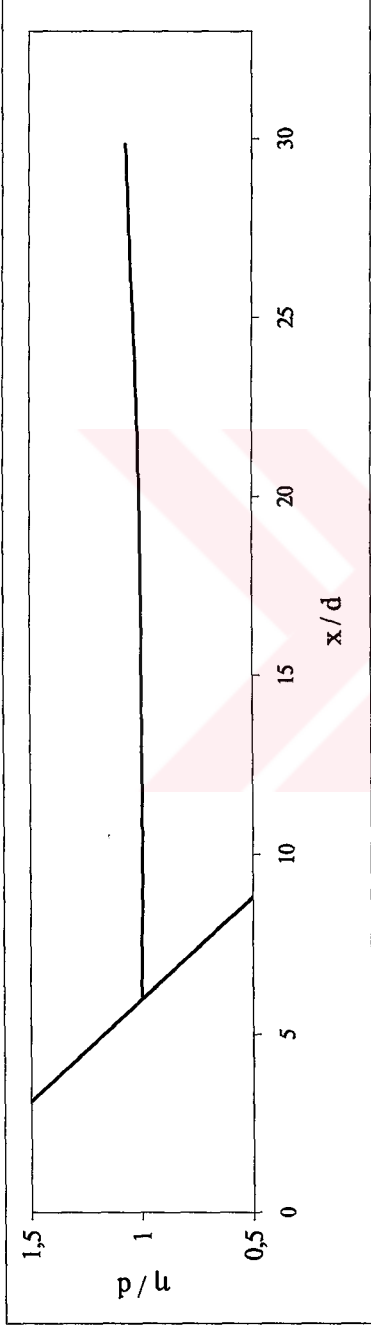


Şekil B.179 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 68$ ) (Deney No : 255)

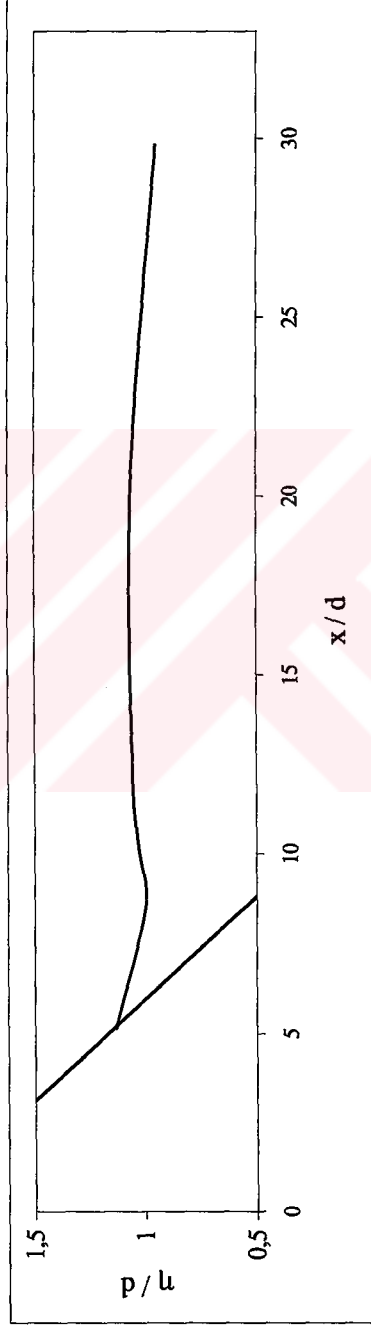


Şekil B.180 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 78.5$ ) (Deney No : 255)

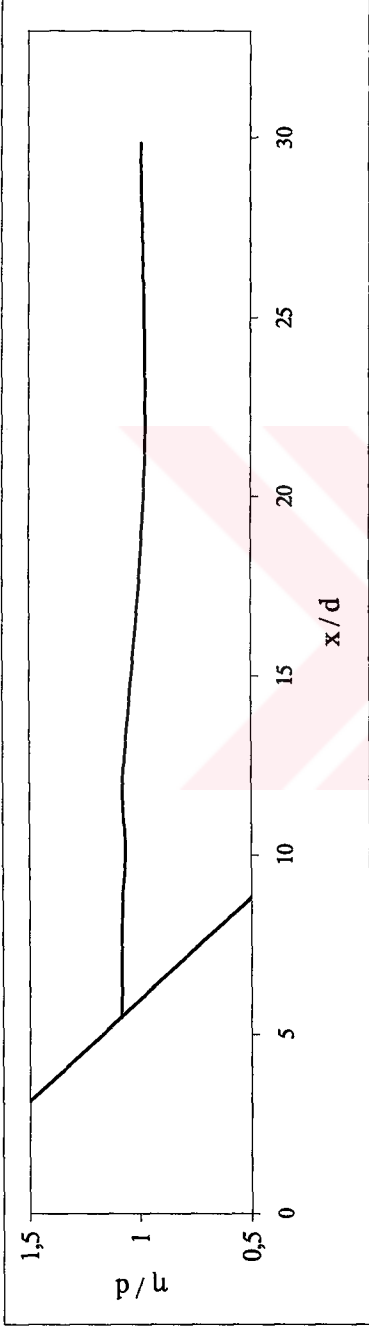




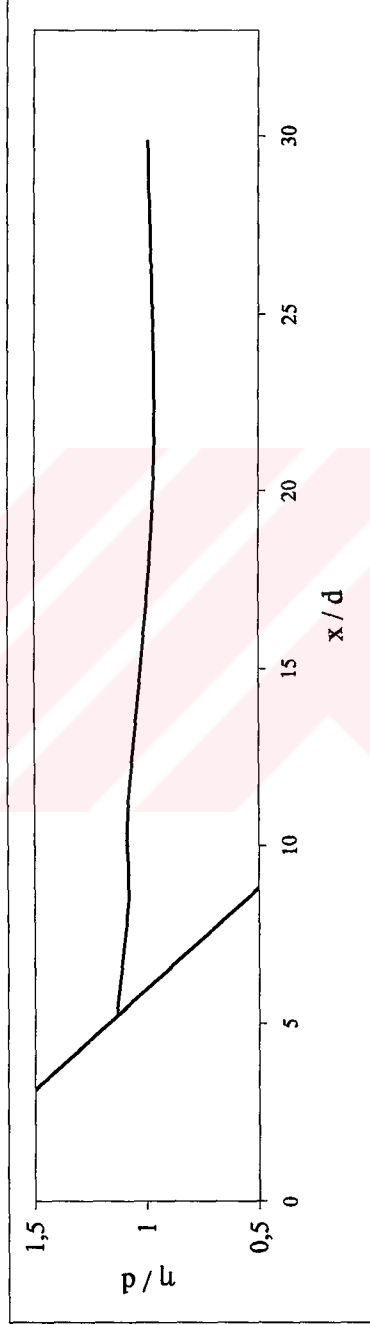
Şekil B.181 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 49$ ) (Deney No : 256)



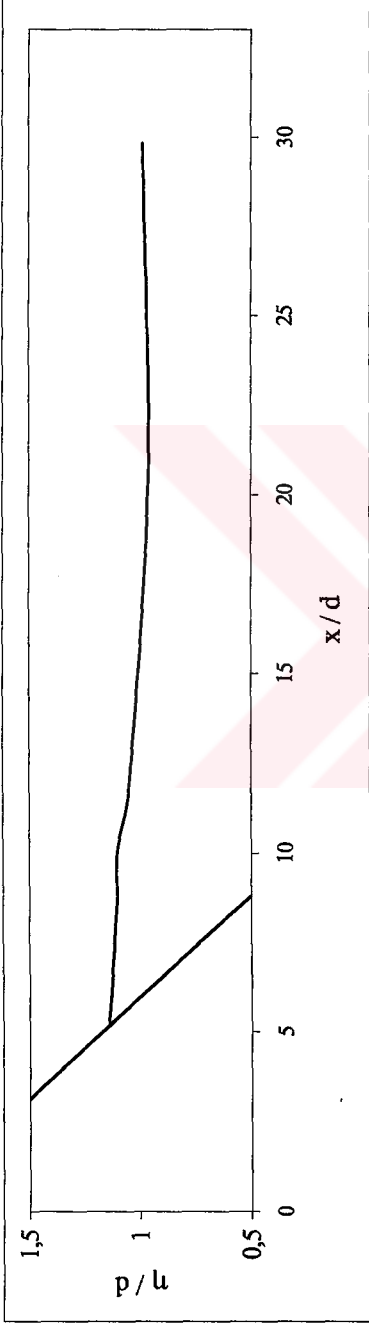
Şekil B.182 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 61$ ) (Deney No : 256)



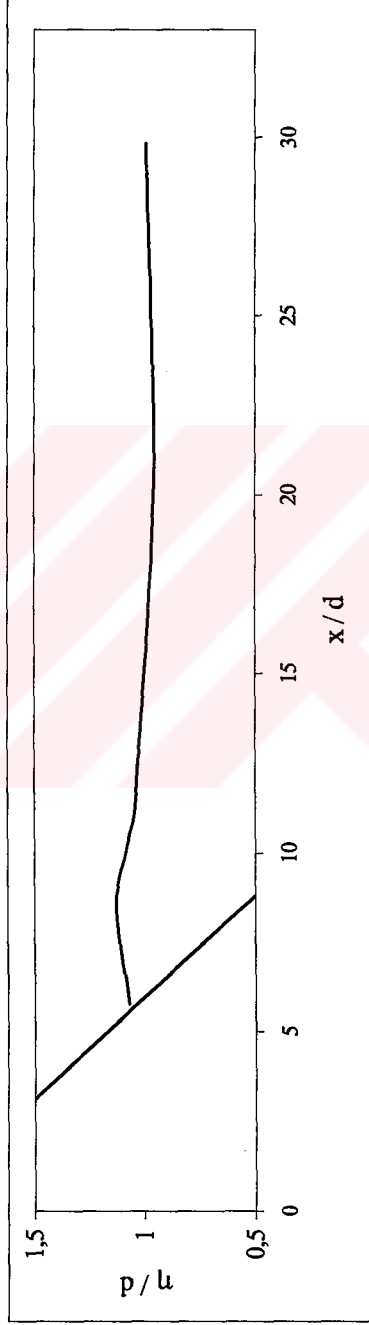
Şekil B.183 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=69$ ) (Deney No : 256)



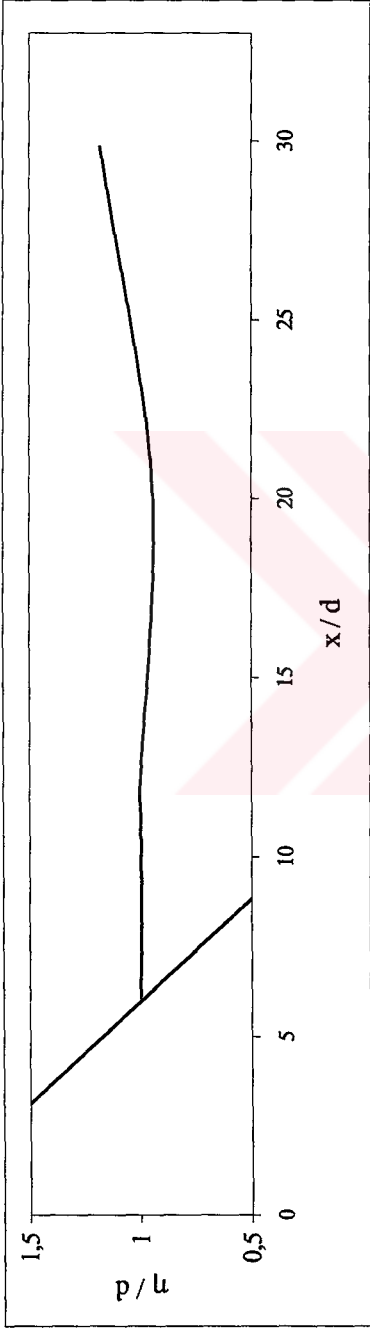
Şekil B.184 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d}=71$ ) (Deney No : 256)



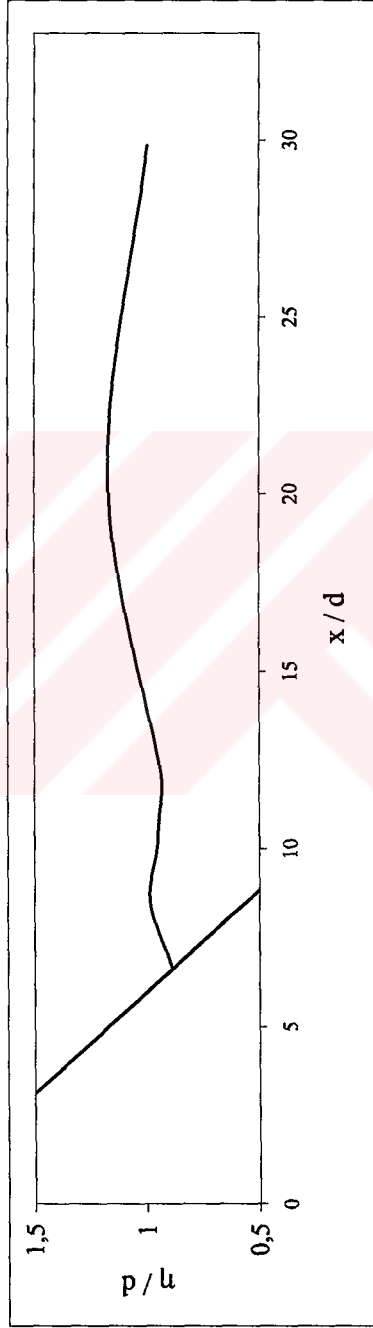
Şekil B.185 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 72.5$ ) (Deney No : 256)



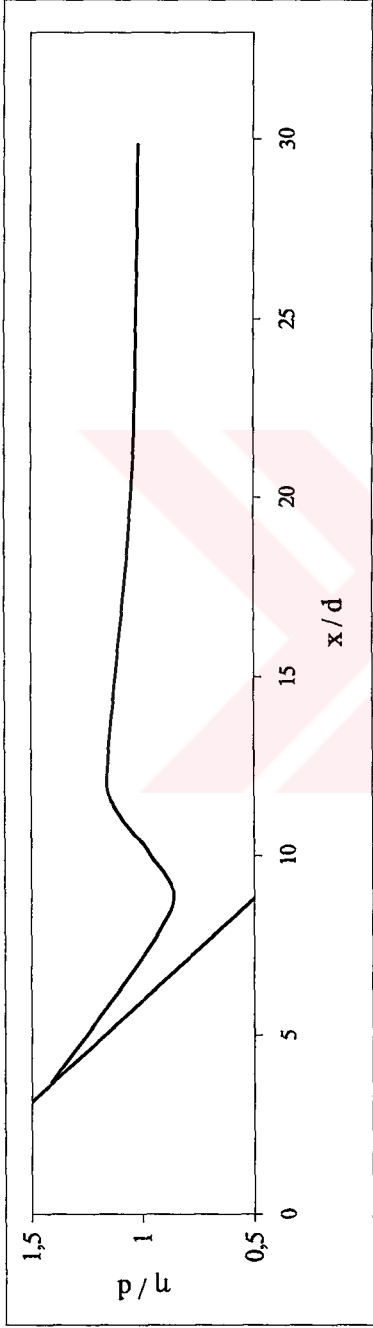
Şekil B.186 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 74$ ) (Deney No : 256)



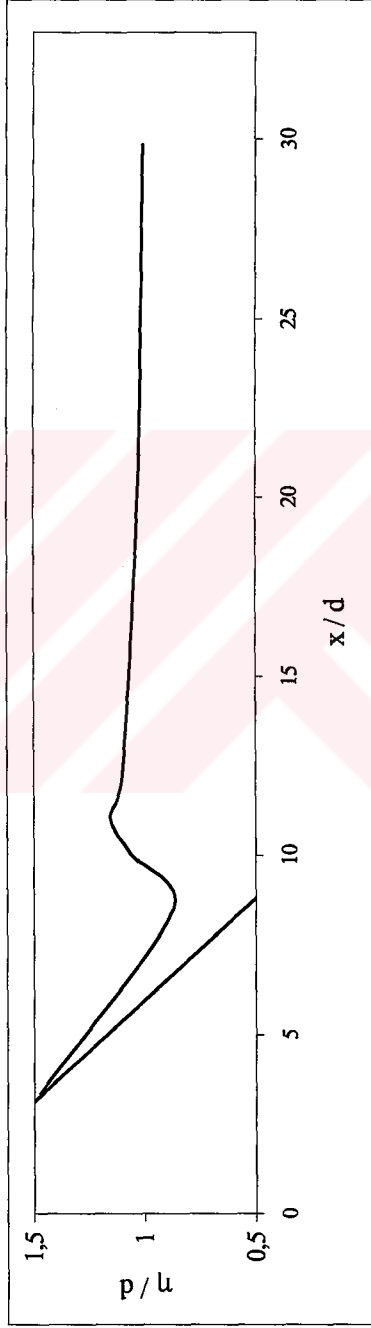
Şekil B.187  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 257)



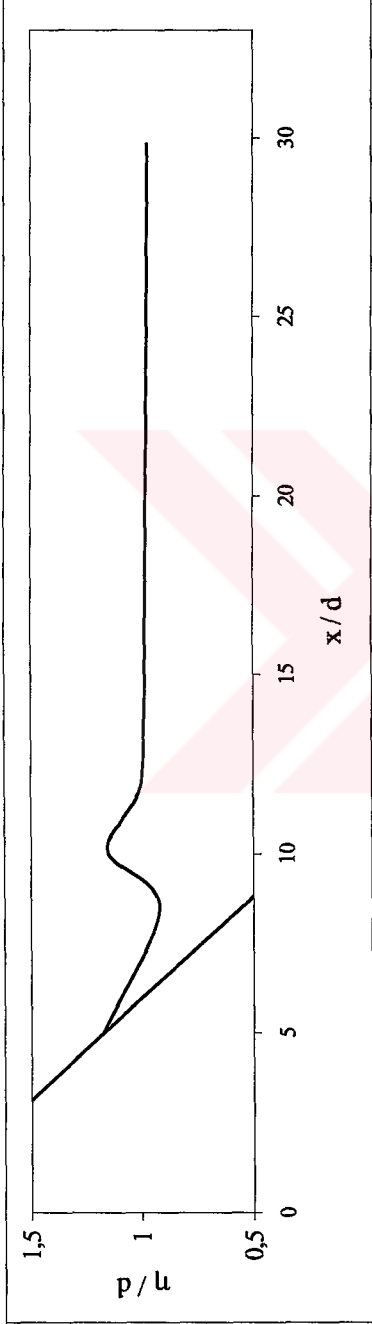
Şekil B.188  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 59$ ) (Deney No : 257)



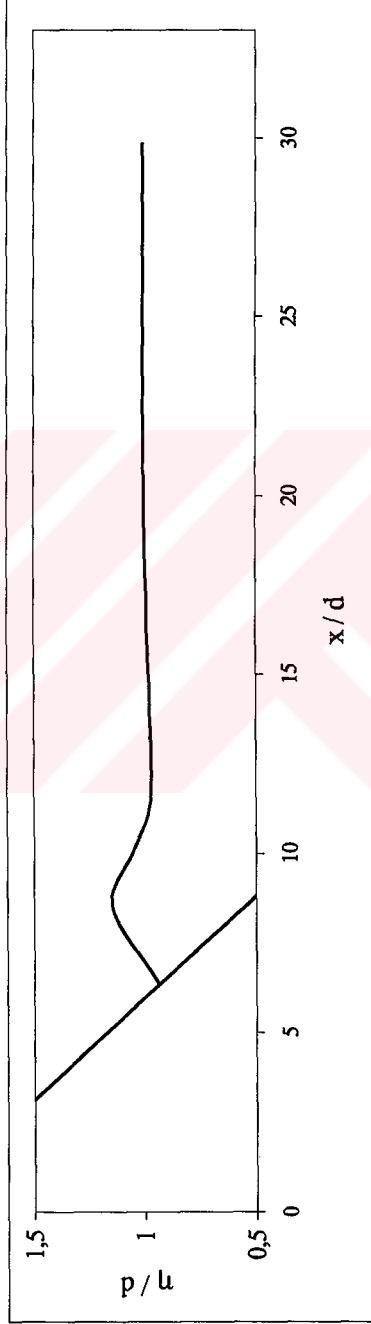
Şekil B.189 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 66.5$ ) (Deney No : 257)



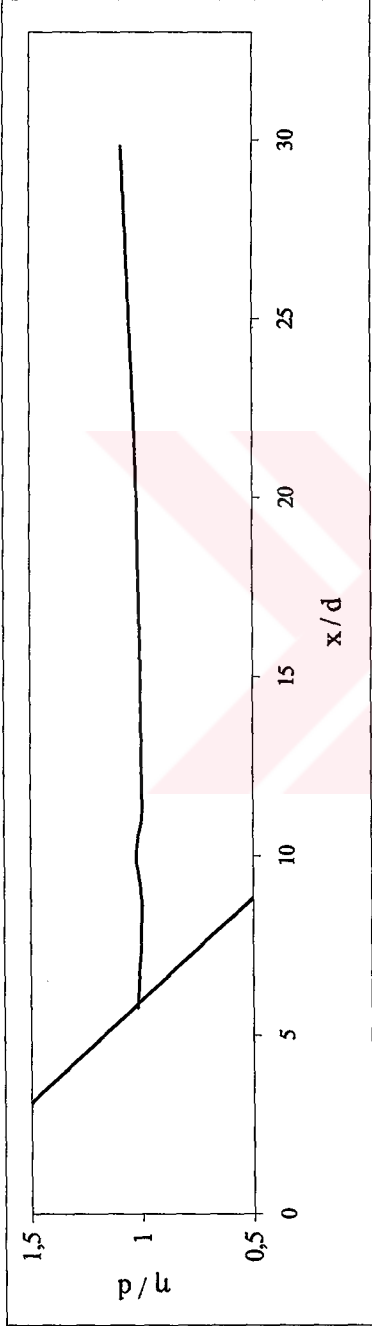
Şekil B.190 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 68$ ) (Deney No : 257)



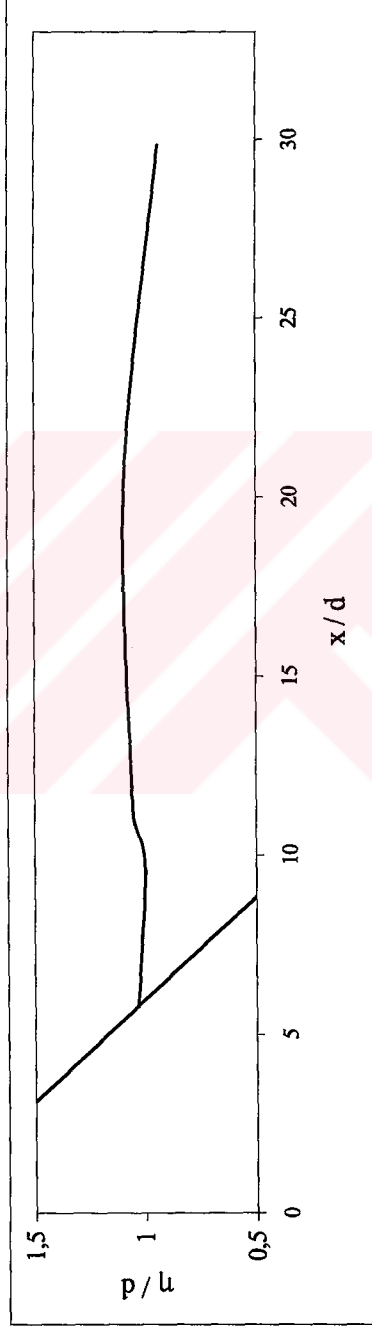
Şekil B.191 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 69$ ) (Deney No : 257)



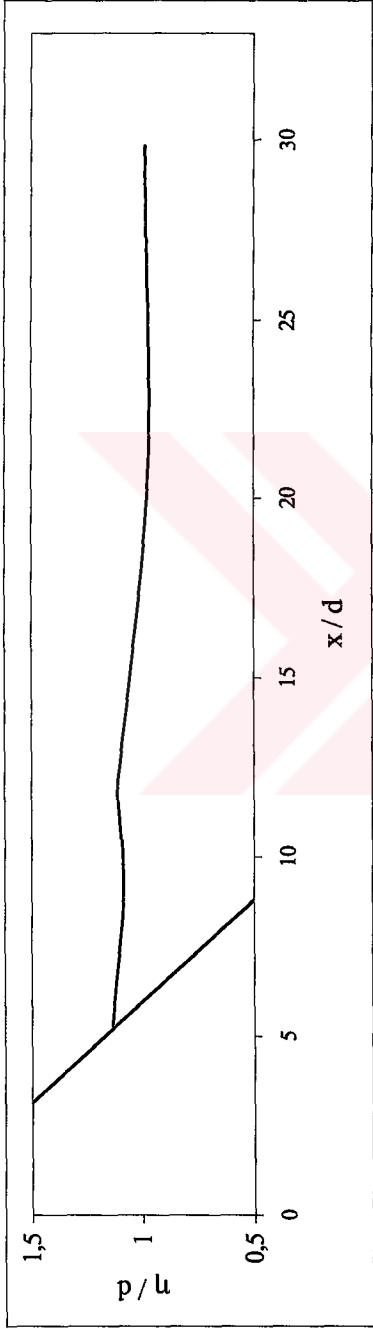
Şekil B.192 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 80$ ) (Deney No : 257)



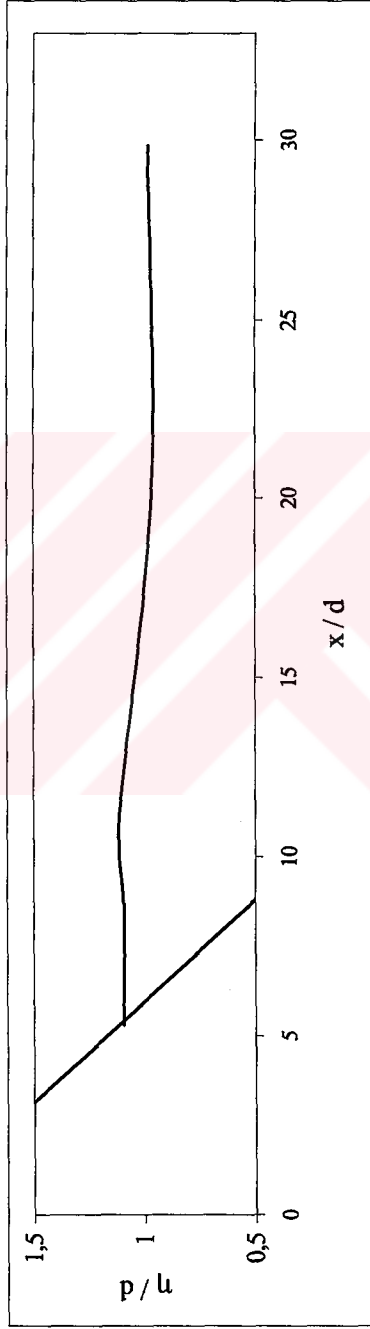
Şekil B.193 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 45.5$ ) (Deney No : 258)



Şekil B.194 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 57$ ) (Deney No : 258)

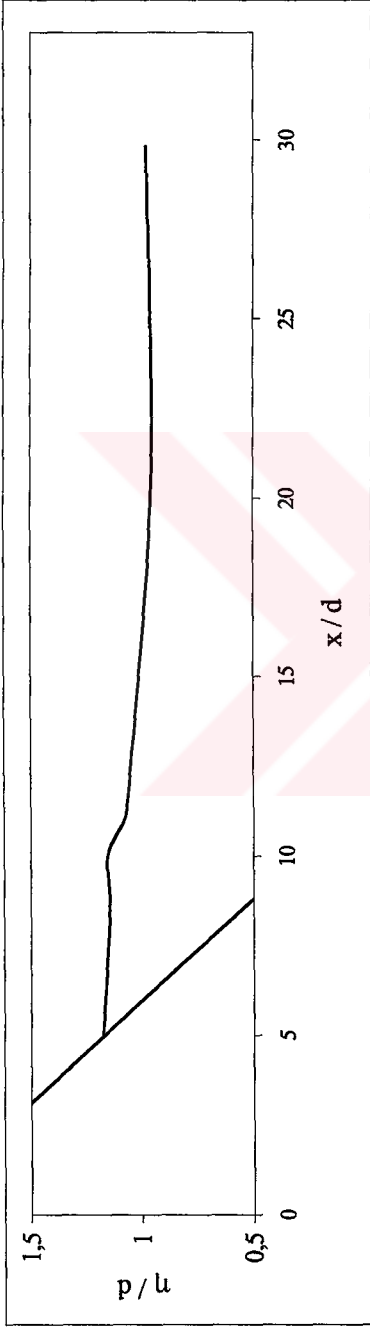


Şekil B.195 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 65$ ) (Deney No : 258)

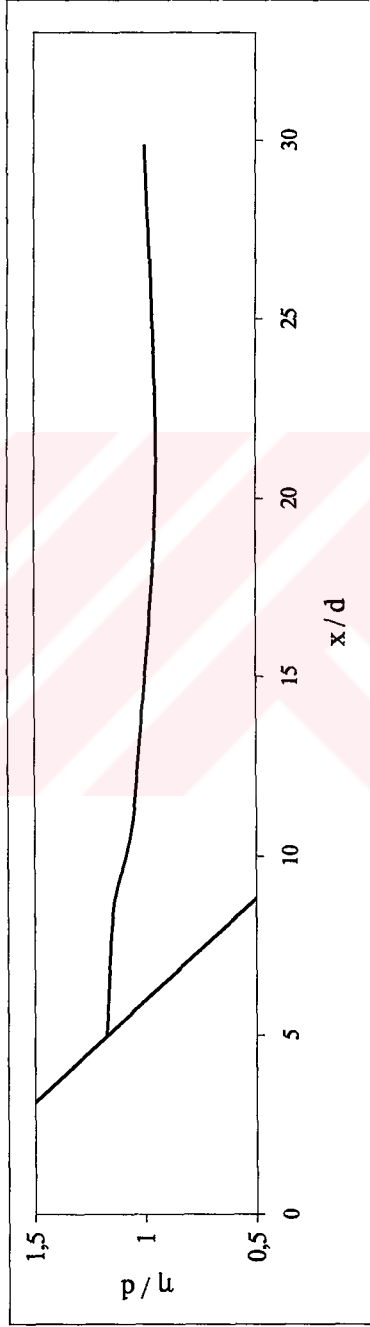


Şekil B.196 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 66$ ) (Deney No : 258)

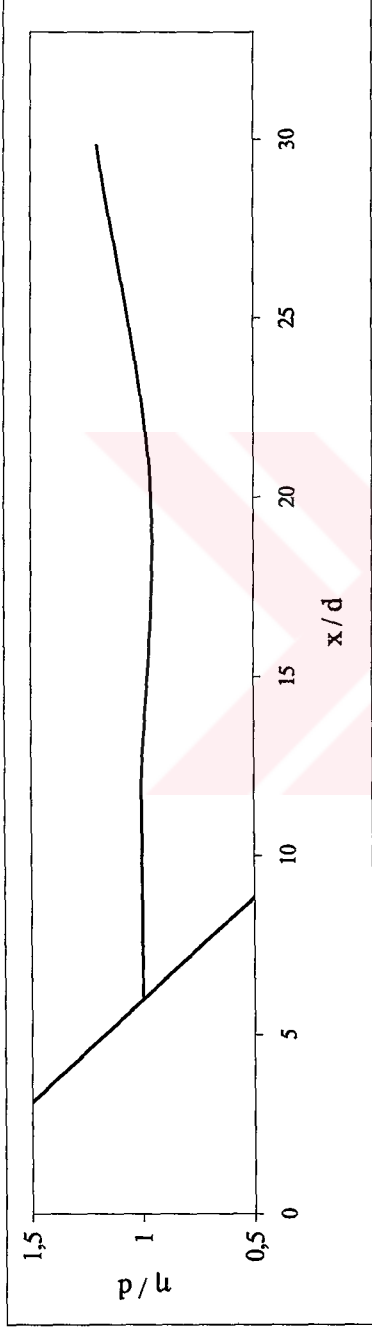




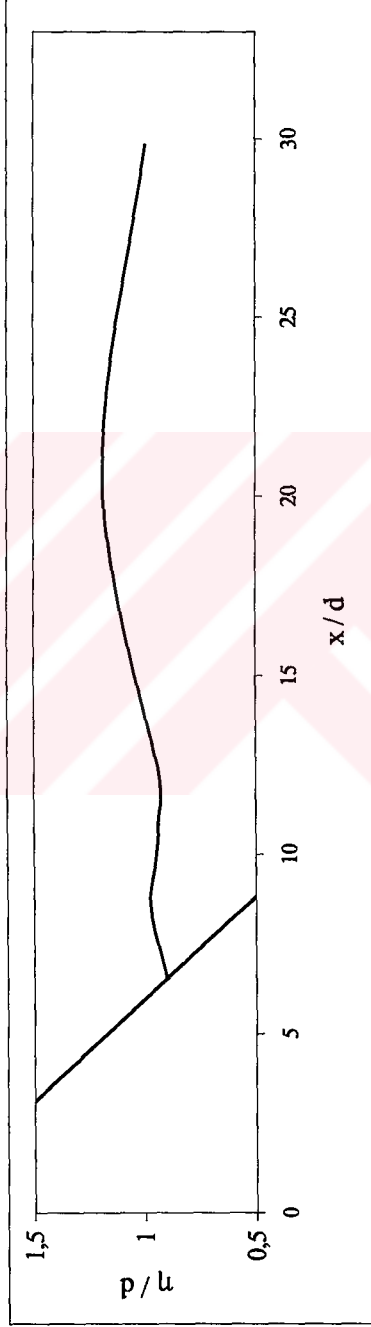
Şekil B.197 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 69$ ) (D deney No : 258)



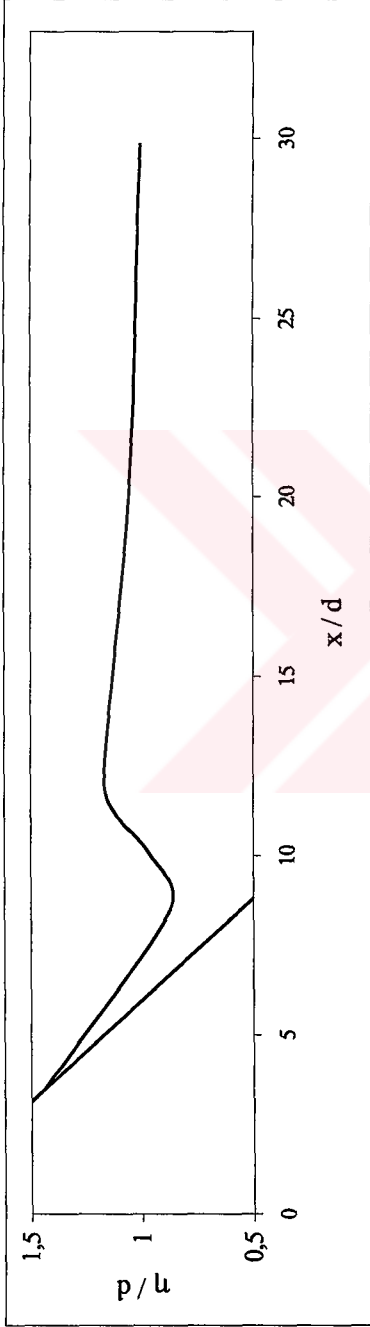
Şekil B.198 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 72$ ) (D deney No : 258)



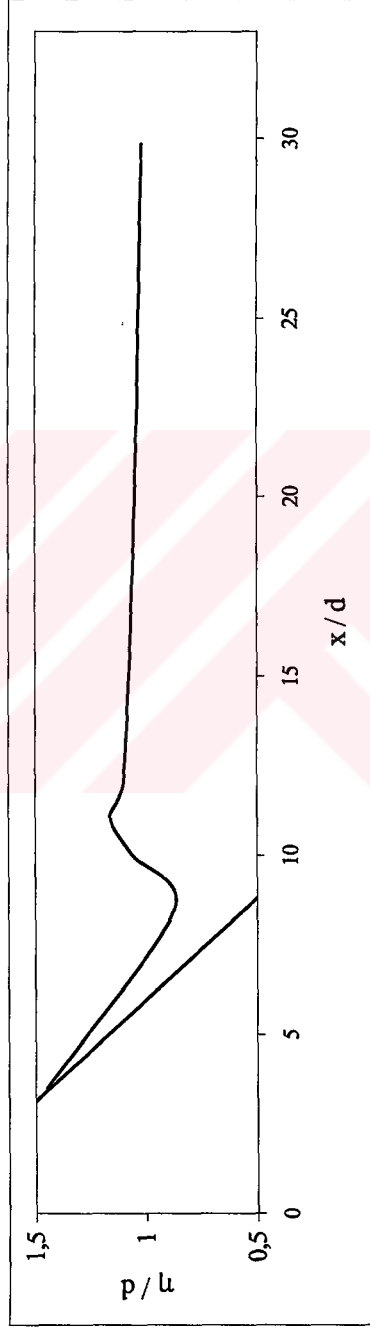
Şekil B.199 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 47$ ) (Deney No : 259)



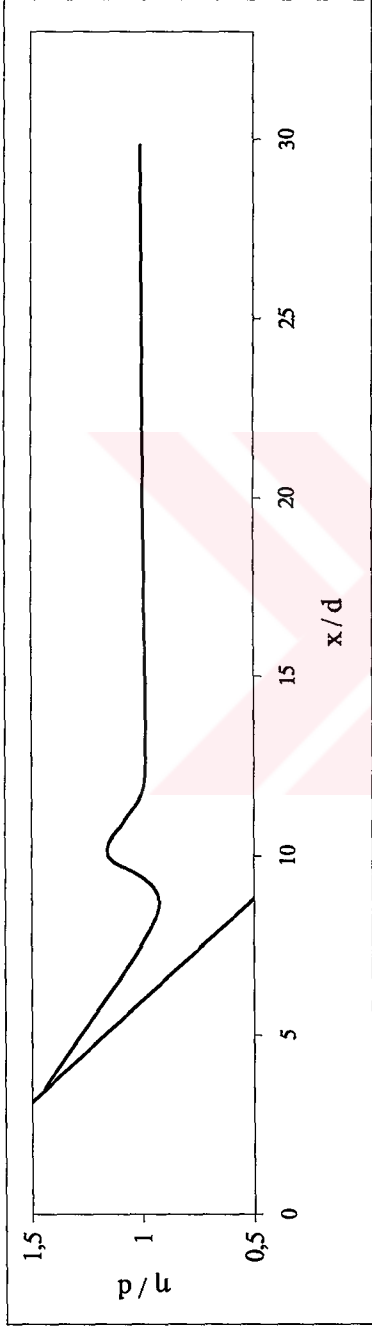
Şekil B.200 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 59$ ) (Deney No : 259)



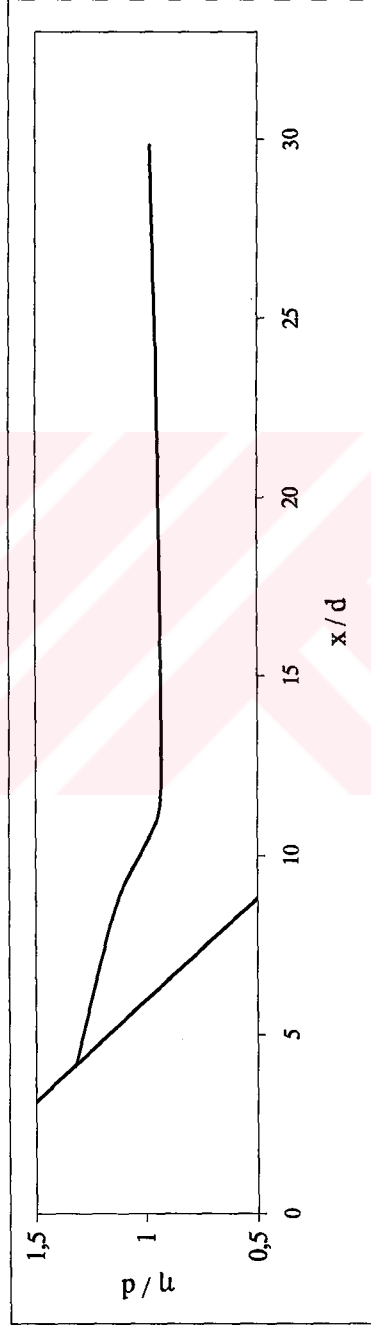
Şekil B.201  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 66.5$ ) (Deney No : 259)



Şekil B.202  $x$ 'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 68$ ) (Deney No : 259)



Şekil B.203 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 69$ ) (D deney No : 259)



Şekil B.204 x'in fonksiyonu olarak dalga profili ( $t\sqrt{g/d} = 71$ ) (D deney No : 259)

## KAYNAKLAR

- [1] Yalçiner, A.C., “1999 İzmit tsunamisi”, Deprem Makaleleri, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ocak, (2000), 43.
- [2] Titov, V.V., Numerical modeling of long wave runup, Ph. D. Thesis, Faculty of Graduate School, University of Southern California, (1997).
- [3] Li, Y. and Raichlen, F., “ Solitary wave runup on plane slopes”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (2001) **127**, 33.
- [4] Svendsen, Ib., A., Hansen, J.B., “On the deformation of periodic long waves over a gently sloping bottom”, *Journal of Fluid Mechanics* (1978) **3**, 433.
- [5] Kırkgöz, M.S., “Breaking and run-up of long wave”, *Tsunamis, Their Science and Engineering*, Tokyo, (1983), 467.
- [6] Pedersen, G. and Gjevik, B., “Runup of solitary waves”, *Journal of Fluid Mechanics*, (1983) **135**, 283.
- [7] Kobayashi, N., Otta a.K. and Roy, I., “Wave reflection and runup on rough slopes”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (1987) **113**, 282.
- [8] Synolakis, C.E., The runup of long waves, PhD Thesis, California Institute of Technology, (1986).
- [9] Synolakis, C.E., “The runup of solitary waves”, *Journal of Fluid Mechanics* , (1987) **185**, 523.

- [10] Lin, P., Chang, K.A, Liu, P., “Runup and rundown of solitary waves on sloping beaches”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (1999), **125**, 247.
- [11] Liu, P.L., Synolakis, C.E. and Yeh H. H., “Report on the international workshop on long wave run-up”, *Journal of Fluid Mechanics*, (1991) **229**, 675.
- [12] Kobayashi, N., Cox, D. T., Wurjanto, A., “Irregular wave reflection and run-up on rough impermeable slopes”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (1990) **116**, 708.
- [13] Zelt, J.A., “The runup of nonbreaking and breaking solitary waves”, *Coastal Engineering*, (1991) **15**, 205.
- [14] Synolakis, C.E. and Skjelbreia, J.E., “Evolution of the maximum amplitude of solitary waves on plane beaches”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (1993) **119**, 323.
- [15] Tadepalli, S and Synolakis, C.E., “ The runup of N-waves”, Proceedings of the Royal Society, London, Series A, (1994) **445**, 99.
- [16] Liu, P.L, Cho, Y.S., Briggs, M.J., Kanoğlu, U., and Synolakis, C.E., “Runup of solitary waves on a circular islands”, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 320, pp. 259-285, 1995.
- [17] Titov, V., Synolakis, C.E., “Modelling of breaking and nonbreaking long-wave evolution and runup using VTCS-2”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (1995) **121**, 308.

- [18] Briggs, M.J., Synolakis, C.E., Harkins, G.S. and Green, D.R., "Laboratory experiments of tsunami runup on a circular island", *Pure and Applied Geophysics*, (1995) **144**, 569.
- [19] Grilli, S.T., Svendsen I.A. and Subramanya, R., "Breaking criterion and characteristics for solitary waves on slopes", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (1997) **123**, 102.
- [20] Kanoglu, U., Synolakis, C.E., "Long wave runup on piecewise linear topographies", *Journal of Fluid Mechanics*, (1998) **374**, 1.
- [21] Maiti, S., Sen, D., "Computation of solitary waves during propagation and runup on a slope", *Ocean Engineering*, (1999) **26**, 1063.
- [22] Pelinovsky, E., Troshina, E., Golinko, V., Osipenko, N. and Petrukhin, N., "Runup of tsunami waves on a vertical wall in a basin of complex topography", *Phys. Chem. Earth (B)*, (1999) **24**, 431.
- [23] Fujima, K., Briggs, M.J., and Yuliadi, D., "Runup of tsunamis with transient wave profiles incident on a conical island", *Coastal Engineering Journal*, (2000) **42**, 175.
- [24] Teng, M.H., Feng, K., "Long wave runup on sloping beaches". [www.ce.utexas.edu/em2000/papers/MHTeng.pdf](http://www.ce.utexas.edu/em2000/papers/MHTeng.pdf), (2000).
- [25] Teng, M.H., Feng, K., and Liao, T.I., "Experimental study on long wave run-up on plane beaches" Proc. of the Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle, USA, (2000), 660.
- [26] Fritz, H.M., Hager, W.H. and Minor, H.E., "Lituya bay case: rockslide impact and wave run-up", *Science of Tsunami Hazards*, (2001) **19**, 3.

- [27] Melito, I., Melby J. A., "Wave runup, transmission, and reflection for structures armored with CORE-LOC", *Coastal Engineering*, (2002) **45**, 33.
- [28] Carrier, G.F, Wu, T.T., and Yeh, H.," Tsunami run-up and draw-down on a plane beach", *Journal of Fluid Mechanics*, (2003) **475**, 79.
- [29] Günaydın, K, Düzensiz dalga etkisi altındaki kıyılarda kısmi kaplama yapısı ile kıyı çizgisinin korunması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2001).
- [30] Ünal, E., Düzenli ve düzensiz dalgaların etkisi ile şev üzerindeki iri danelerin harekete başlaması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (1996).
- [31] Kabdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, (1992).
- [32] Kobayashi, N., Tega, Y. and, Hancock, M.W., "Wave reflection and overwash of dunes", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (1996) **122**, 150.
- [33] Grasmeijer, B.T. and Van Riju, L.C. "Transport of fine sands by currents and waves. III: Breaking waves over barred profile with ripples", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, (1999) **125**, 71.
- [34] Yüksel, Y., Çelik, E., ve Çelikoğlu, Y., Kıyı ve Liman Mühendisliği, Türkiye Mühendisler Mimarlar Odası Birliği, Ankara Şubesi, (1998).
- [35] Özcan, F. Işıl, Ş. Ve Kırıcı, A., Pnömatik Akışkan Gücü, Mert Eğitim Yayınları, İstanbul, (1986).



[36] Yağcı, O., Őevli dalgakıranlarda koruyucu kaplama tabakasında kullanılan antifer blokların stabilitesinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2000).

[37] Kabdaşı, S., Ünal, E., “Düzensiz dalga kanalının performansı”, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı V. Sempozyumu, (1996), 11.

[38] Mutlu, T., Sempatik kıyı koruma yapısı olarak kazıklı dalgakıranların düzenli ve düzensiz dalgalar altındaki performanslarının ve üzerine gelen yüklerin incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (1998).

