

**ŞEVLİ DALGAKIRANLARIN TSUNAMİ ETKİSİ
ALTINDA STABİLİTESİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Bilge BAŞ

(517041008)

Anabilim Dalı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Programı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Sedat KABDAŞLI

KASIM 2007

**ŞEVLİ DALGAKIRANLARIN TSUNAMİ ETKİSİ
ALTINDA STABİLİTESİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Müh. Bilge BAŞ
(517041008)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Kasım 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Kasım 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sedat KABDAŞLI
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Şevket ÇOKGÖR (İTÜ)
Doç. Dr. Emel İRTEM (Balıkesir Üni.)**

KASIM 2007

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında tsunami tipi uzun dalgaların taş dolgu dalgakıranların stabiliteleri üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Öncelikle bu çalışmanın her aşamasında değerli deneyim ve bilgi birikimiyle bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmaları sırasında bana yardımcı olan ve manevi desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Nilay ELGİNÖZ YAŞA'ya, deney sonuçlarının değerlendirilmesinde tecrübeleri ile bana destek olup zamanını ayıran Araş. Gör. V.Ş. Özgür KIRCA ve Araş. Gör. Dr. Oral YAĞCI'ya, deneylerde yardımcı olan Taylan BAĞCI'ya, çalışmayı tamamlayabilmem için beni sürekli teşvik eden Özgür Evren VAROL'a, dalga kayıtlarının değerlendirilmesinde yardımcı olan Araş. Gör. M. Adil AKGÜL'e çok teşekkür ederim. Onlar olmadan bu çalışmayı gerçekleştiremezdim. Ayrıca, deney sisteminin kurulmasında bana yardımcı olan teknisyenler Hasan YALÇIN, Mevlüt ULUÇINAR ve Yaşar AKTAŞ'a teşekkür ediyorum.

Uzun yıllar süren öğrencilik hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve yanımda olan aileme ise ayrıca teşekkür ediyorum.

Kasım, 2007

Bilge BAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
TÜRKÇE ÖZET	xii
İNGİLİZCE ÖZET	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
2.1. Tsunami Tipi Uzun Dalgalar.....	3
2.1.1. Tsunami Tipi Uzun Dalgaların Oluşumu	3
2.1.2. Tsunamilerin Ölçeklendirilmesi	4
2.1.3. Tsunamilerin Özellikleri	6
2.2. Şevli Dalgakıranlarda Stabilite ve Hasar	10
2.2.1. Stabilite Kavramı.....	10
2.2.2. Şevli Dalgakıranlarda Stabilite.....	13
2.2.2.1. Koruyucu Kaplama Tabakası Blok Ağırlığının Belirlenmesi ..	13
2.2.2.2. Çekirdek Porozitesinin Stabilite Üzerindeki Etkisi.....	17
2.2.2.3. Şevli Dalgakıranların Arka Şev Stabilitesi.....	18
2.2.3. Hasar Kavramı.....	21
2.2.3.1. Şevli Dalgakıranlarda Hasar Tipleri.....	22
2.2.3.2. Koruyucu Kaplama Tabakasında Meydana Gelen Hasarın	
Belirlenmesi.....	23
2.3. Şevli Dalgakıranların Tsunami Etkisi Altındaki Stabilitesi	28
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	31
3.1. Deney Sistemi	31
3.1.1. Dalga Kanalı.....	31
3.1.2. Dalga Üretici Sistem	32
3.1.3. Dalga Kaydedici Sistem	35
3.2. Deney Yöntemi	35
3.2.1. Dalgakıran Kesitleri	35
3.2.2. Tsunami Tipi Uzun Dalgalar İle Yapılan Deneyler	36
3.2.2.1. Kronmansız Dalgakıran Kesitleri.....	36
3.2.2.2. Kronmanlı Dalgakıran Kesitleri	37
3.2.2.3. Levhalı Dalgakıran Kesitleri	38
3.2.3. Düzenli Dalga Serileri İle Yapılan Deneyler	38
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	39
4.1. Üretilen Dalgaların Analizi	39
4.2. Tsunami Etkisi Altında Hasar Oranı Değişimlerinin İncelenmesi.....	39
4.2.1. Tsunami Etkisi Altında Kronmansız Konfigürasyonlarda Çeşitli Dalga	
Yüksekliklerinde Meydana Gelen Hasar Oranı Değişiminin İncelenmesi	39

4.2.2. Tsunami Dalgası Etkisi Altında Kronmanlı Konfigürasyonlarda Çeşitli Dalga Yüksekliklerinde Meydana Gelen Hasar Oranı Değişiminin İncelenmesi..	41
4.2.3. Tsunami Etkisi Altında Levhalı Konfigürasyonlarda Çeşitli Dalga Yüksekliklerinde Meydana Gelen Hasar Oranı Değişiminin İncelenmesi	43
4.2.4. Dalgakıran Konfigürasyonlarının Karşılaştırılması	44
4.3. Düzenli Dalga Etkisi Altında Hasar Oranı Değişimlerinin İncelenmesi.....	56
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	60
KAYNAKLAR	62
EKLER.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

BS.	: Blok sayısı
FR.	: Filtre-regülatör
SS	: Su seviyesi
cm	: Santimetre
m	: Metre

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Tsunami ölçek sistemi	5
Tablo 2.2 Çeşitli kıyı yapıları için stabilite parametresi değerleri	10
Tablo 2.3 Statik stabilite üzerinde etkili olan boyutsuz değişkenler ve alabilecekleri değer aralıkları	12
Tablo 2.4 Stabilite katsayıları	15
Tablo 2.5 İki tabakalı koruyucu kaplama tabakası için hasar seviyesi (S)	26
Tablo C.1 Kesit I deney sonuçları (Tsunami Tipi Uzun Dalgalar)	77
Tablo C.2 Kesit II deney sonuçları (Tsunami Tipi Uzun Dalgalar)	78
Tablo C.3 Kesit I deney sonuçları (Düzenli Dalgalar)	79
Tablo C.4 Kesit II deney sonuçları (Düzenli Dalgalar)	80

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Temel fay çeşitleri.....	4
Şekil 2.2 : Tsunami dalgalarının ilerlemesi.....	7
Şekil 2.3 : Çeşitli dalga teorilerinin geçerlilik sınırları.....	8
Şekil 2.4 : Tsunami dalgası formları.....	9
Şekil 2.5 : Tipik bir şevli dalgakıranın ön ve arka şevine etki eden kuvvetler	18
Şekil 2.6 : Şevli dalgakıranların liman tarafındaki hasar.....	21
Şekil 2.7 : Şevli dalgakıranlarda meydana gelen hasar tipleri.....	23
Şekil 2.8 : Hasar dereceleri.....	27
Şekil 2.9 : Şevli bir dalgakıran üzerindeki tsunami yükü.....	30
Şekil 3.1 : Kullanılan deney kanalının fotoğrafı.....	32
Şekil 3.2 : Hava hazırlayıcı (şartlandırıcı).....	33
Şekil 3.3 : Filtre-Regülatör (FR).....	34
Şekil 3.4 : Yağlayıcı (Y).....	34
Şekil 3.5 : El kumandalı sürgülü tip valf ve egzozlar.....	35
Şekil 3.6 : Kronmansız dalgakıran kesiti.....	37
Şekil 3.7 : Kronmanlı dalgakıran kesiti.....	37
Şekil 3.8 : Geçirimsiz levha.....	38
Şekil 4.1 : Kronmansız-Levhasız konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen hasar oranları	40
Şekil 4.2 : Kronmansız-Levhasız konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen H/d-hasar oranı ilişkisi	40
Şekil 4.3 : Kronmansız-Levhasız konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen H/D _{n50} -hasar oranı ilişkisi	41
Şekil 4.4 : Kronmanlı konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen hasar oranları	42
Şekil 4.5 : Kronmanlı konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen H/d-hasar oranı ilişkisi	42
Şekil 4.6 : Levhalı konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen hasar oranları	43
Şekil 4.7 : Levhalı konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen hasar oranı-H/d ilişkisi	44
Şekil 4.8 : Arka şev için kronmansız-levhasız ve levhalı konfigürasyonların karşılaştırılması	45
Şekil 4.9 : Kronmansız-levhasız ve levhalı konfigürasyonlarda arka şev için hasar oranı-H/d ilişkisi	45
Şekil 4.10 : Kronmansız-levhasız ve levhalı konfigürasyonlarda arka şev için hasar oranı-H/D _{n50} ilişkisi	46
Şekil 4.11 : Kesit I – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş	46

	ağırlığı: 50-80 g)	
Şekil 4.12	: Kesit I – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 50-80 g)	47
Şekil 4.13	: Kesit I – Arka şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 50-80 g)	47
Şekil 4.14	: Kesit I – Arka şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 50-80 g)	48
Şekil 4.15	: Kesit I – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)	49
Şekil 4.16	: Kesit I – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)	49
Şekil 4.17	: Kesit I – Arka şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)	50
Şekil 4.18	: Kesit I – Arka şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)	50
Şekil 4.19	: Kesit II – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 70-120 g)	51
Şekil 4.20	: Kesit II – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 70-120 g)	52
Şekil 4.21	: Kesit II – Arka şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 70-120 g)	52
Şekil 4.22	: Kesit II – Arka şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 70-120 g)	53
Şekil 4.23	: Kesit II – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)	54
Şekil 4.24	: Kesit II – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)	54
Şekil 4.25	: Kesit II – Arka şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)	55
Şekil 4.26	: Kesit II – Arka şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)	55
Şekil 4.27	: Kesit I – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)	56
Şekil 4.28	: Kesit I – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)	57
Şekil 4.29	: Kesit II – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 70-120 g)	57
Şekil 4.30	: Kesit II – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 70-120 g)	58
Şekil 4.31	: Kesit II – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)	58
Şekil 4.32	: Kesit II – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)	59
Şekil A.1	: Kesit I.....	66
Şekil A.2	: Kesit II.....	66
Şekil B.1	: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T17).....	68
Şekil B.2	: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T17)	68
Şekil B.3	: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T18).....	69
Şekil B.4	: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili	69

	(Deney No: T18)	
Şekil B.5	: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T19).....	70
Şekil B.6	: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T19)	70
Şekil B.7	: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T20).....	71
Şekil B.8	: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T20)	71
Şekil B.9	: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T21).....	72
Şekil B.10	: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T21)	72
Şekil B.11	: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T22).....	73
Şekil B.12	: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T22)	73
Şekil B.13	: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T23).....	74
Şekil B.14	: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T23)	74
Şekil B.15	: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T24).....	75
Şekil B.16	: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T24)	75

SEMBOL LİSTESİ

m	: Imamura-Ida tsunami büyüklük ölçeği
H	: Maksimum genlik, proje dalga yüksekliği
Δ	: Deprem merkezinden uzaklık, rölatif özgül ağırlık
M	: Deprem büyüklüğü
L	: Dalga boyu
d	: Su derinliği
c	: Dalga ilerleme hızı
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Su derinliği
H_s	: Belirgin dalga yüksekliği
D_{n50}	: Nominal taş çapı
T_{ort}	: Ortalama dalga periyodu
N	: Fırtına süresi ya da dalga sayısı
α	: Şevin yatayla yaptığı açı
P	: Yapının geçirgenliği
S	: Hasar
ξ_m	: Sörf benzerlik parametresi
κ	: Spektral şekil parametresi
R_c/H_s	: Kret yüksekliği
$S_{p,S}$	: Boyutsuz hasar parametresi
K_Δ	: Stabilite katsayısı
γ_s	: Kullanılacak taşın özgül ağırlığı
γ_w	: Deniz suyunun özgül ağırlığı
Ψ	: Stabilite fonksiyonu
R_c	: Kret fribord değeri
W_f	: Ön şev blok ağırlığı
W_b	: Arka şev blok ağırlığı
N_{od}	: Koruyucu tabaka dışına çıkan taş/bloklar
N_{or}	: Kıpırdayan taş/bloklar

A_e, A	: Aşınmaya uğrayan alan
N_{Δ}	: Hasar parametresi
ρ_b	: Koruyucu kaplama tabakası bloklarının bağıl yoğunluğu
ρ_a	: Koruyucu kaplama takası bloklarının özgül kütlesi
G	: Koruyucu tabaka homojenliğine bağlı faktör
y	: Aşan dalga yüksekliği
Y'	: Maksimum tırmanma yüksekliği
η	:Yüzey profili (Su yüzeyinin deniz suyu seviyesinden itibaren yüksekliği)

ÖZET

ŞEVLİ DALGAKIRANLARIN TSUNAMİ ETKİSİ ALTINDA STABİLİTESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Tsunamiler başta depremler olmak üzere çeşitli nedenlerle oluşan uzun periyotlu dalgalardır. Bu dalgalar sahip oldukları büyük dalga enerjisi sayesinde kıyıya ulaştıktan sonra büyük mesafeler kaydederek kara yapılarına zarar verip can ve mal kaybına neden olmalarının yanı sıra kıyı yapılarına da zarar vermektedirler. Bu çalışmada geleneksel kıyı koruma yapılarından biri olan taş dolgu dalgakıranların tsunami tipi uzun dalgalar etkisi altındaki stabilitesi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda yer alan $22.5 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ ölçülere sahip dalga kanalında farklı şev eğimine sahip iki dalgakıran kesiti kurulmuştur. Kurulan her bir dalgakıran kesiti için 3 farklı konfigürasyon (kronmansız-levhasız, levhalı ve kronmanlı) oluşturulmuş ve bu kesitlerin tsunami etkisi altındaki stabiliteleri incelenmiştir. Söz konusu uzun dalgalar, pnömatik prensibi ile çalışan bir piston; ve bu pistona bağlı yatay bir levha yardımı ile oluşturulmuştur. Oluşturulan dalgalar, dalga kanalına aralıklı olarak yerleştirilen dört adet rezistans tip dalga probu ile ölçülmüştür. Ayrıca, kurulan kesitlerde kronmansız-levhasız ve kronmanlı konfigürasyonlar için düzenli dalga etkisi altında da deneyler yapılmıştır.

Gerçekleştirilen her bir deneyde taş hareketleri gözlenerek hasar oranları belirlenmiş ve oluşturulan dalga yükseklikleri dalga problemleri, data logger ve bilgisayar aracılığıyla elde edilmiştir. Deneyler sonucu dalga yüksekliği-hasar oranı grafikleri oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda, proje dalga yüksekliği ile mukayese edilebilir büyüklükte bir tsunami etkisi altında şevli dalgakıranların kabul edilebilir bir hasar ile stabilitelerini korudukları görülmüştür. Ayrıca, stabiliteye aşmanın önemli oranda olumsuz etki yaptığı, dalgakıran kesitinin geçirimli olmasının stabiliteye katkı yapmadığı, kronman duvarı olması halinde ise yansıma nedeniyle stabilitenin olumsuz etkilendiği bulgularına varılmıştır.

SUMMARY

EXAMINING STABILITY OF RUBBLE MOUND BREAKWATERS UNDER TSUNAMI WAVE ATTACK

Tsunamis are long period waves caused by mainly earthquakes. Beside propagating into land in great distances and causing loss of lives and properties through their great wave energy, these waves damage coastal structures, too. In this study, stability of rubble mound breakwaters, which are one of traditional coastal protection structures, were examined experimentally under tsunami type long waves. For this purpose, two rubble mound breakwater cross sections with different slope grades were set up in a $22.5\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ dimensioned wave flume in Hydraulics Laboratory of ITU Faculty of Civil Engineering. For each cross sections, three configuration alternatives (with no crownwall and plate, with plate and with crownwall) were constituted and stability of mentioned configurations under tsunami wave attack were examined. The long waves were generated with the help of a pneumatic piston and an engaged horizontal plate. These long waves were measured by the help of four resistance type wave gauges that were placed in the wave flume. In addition, experiments were conducted with regular waves for “with no crownwall and plate” and “with crownwall” configurations.

During each experiment, damage ratios were determined by observing movement of rocks on primary armour layer and wave heights were recorded with wave gauges, data logger and PC. After experiments, wave height-damage ratio graphics were formed and experimental results were evaluated.

After the evaluation of test results, it was observed that rubble mound breakwater cross sections conserved their stabilities under tsunami impact that was nearly same with project wave height. Also, it was found out that overtopping affected stability negatively, impermeable cross sections did not affect stability positively and presence of crownwall reduced stability because of reflection.

1.GİRİŞ

Tsunami dalgaları başta depremler olmak üzere çeşitli nedenlerle oluşan uzun periyotlu dalgalardır. 26.12.2004 tarihinde gerçekleşen Güney Doğu Asya depremi nedeniyle oluşan tsunami 19 ülkeyi etkilemiş ve 12 ülkede can ve mal kaybına neden olmuştur. Meydana gelen deprem ve tsunami sonucu 300000 kişi hayatını kaybetmiş ve 1,5 milyon kişi evsiz kalmıştır. Ayrıca, 4–12 m yüksekliğinde dalga tırmanması değerlerine sahip tsunami dalgalarının kıyıdan km mertebesinde içeri girmesi ve yapılar üzerine uyguladığı kuvvetler sonucu binalar, köprüler ve altyapı birimleri hasara uğramıştır. Kara yapıları yanında, bölgedeki kıyı yapıları da zarar görmüştür.

Dalgaların kıyıya ve kıyı yapılarına etkilerinin azaltılması için kullanılan en geleneksel yöntem, dalgakıranlar inşa edilerek dalganın enerjisinin kıyıya ulaşmadan azaltılmasıdır. Şevli dalgakıranların düzenli ve düzensiz dalgalar etkisi altındaki stabilitesi ile ilgili literatürde pek çok çalışma mevcut olmasına rağmen, spesifik olarak şevli dalgakıranların tsunami karşısındaki davranışını inceleyen az sayıda literatür kaynağı vardır. Mevcut kaynaklarda bu konu ile ilgili formüller verilmemekle birlikte, yıkım modelleri ve dökme taş dalgakıran yapısının zayıf noktaları ile ilgili bilgi verilmektedir.

Bu çalışma ile şevli dalgakıranların tsunami etkisi altındaki stabilitesinin laboratuvar ortamında çeşitli değişkenler için incelenerek söz konusu kıyı yapılarının dizayn kriterleri için öneriler getirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda çeşitli şevli dalgakıran konfigürasyonları oluşturularak tsunami etkisinde stabiliteleri incelenmiştir.

Şevli dalgakıranların tsunami dalgası etkisi altındaki stabilitelerinin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmanın ikinci bölümünde konu ile ilgili olarak daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu kısımda, öncelikle tsunami dalgaları ve şevli dalgakıranlarda stabilite kavramı hakkında genel bilgi verilmiştir. Daha sonra, şevli dalgakıranların tsunami dalgaları etkisi altındaki stabiliteleri ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar ve sonuçları ele alınmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde oluşturulan deney sisteminin özellikleri açıklanmış ve yürütülen deney programı ile ilgili bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar sunularak değerlendirilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise yapılan çalışmanın genel bir değerlendirilmesi yapılarak elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

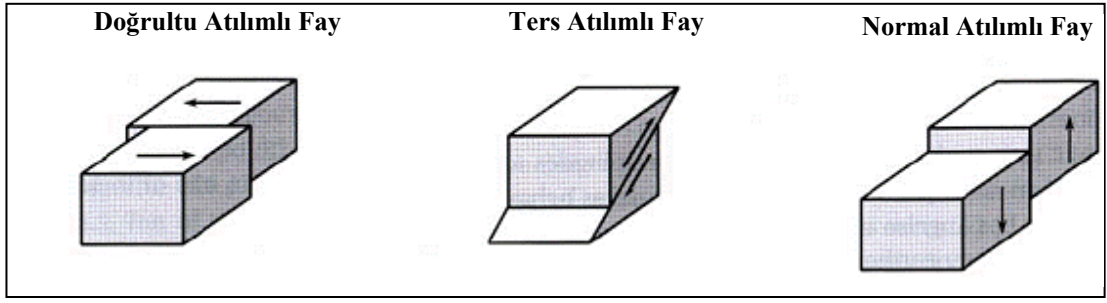
2.1. Tsunami Tipi Uzun Dalgalar

2.1.1. Tsunami Tipi Uzun Dalgaların Oluşumu

Tsunamiler çoğunlukla denizaltında meydana gelen depremler nedeniyle oluşan uzun periyotlu dalgalardır. Depremlerin yanı sıra toprak kaymaları, volkanlar ve göktaşları da tsunami oluşumuna neden olan diğer etkenler olarak sıralanabilmektedir.

Deprem nedeniyle oluşan tsunami dalgaları deniz tabanının yukarı doğru kabarması ya da çökmesi nedeniyle su sütununun etkilenmesiyle oluşmaktadırlar. Dolayısıyla oluşan tsunami dalgalarının büyüklüğünü etkileyen en önemli faktör tsunami dalgalarına neden olan depremin derecesidir.

Oluşan tsunami dalgasının şiddeti kaynak mekanizmasının büyüklüğü ve yer değiştiren su kütlesi üzerindeki etkisine bağlıdır (Yalçiner, vd., 2002). Bu durumda, söz konusu tsunami dalgalarının oluşabilmesi için depremin büyüklüğünün yanı sıra oluşma şekli de önemli bir faktördür. Dikey yer deformasyonunun şekli ve uzunluğu bir deprem sonucunda tsunami dalgası oluşup oluşmayacağını belirlemektedir. Deprem sonucu oluşan yer deformasyonu doğrultu atılımlı, ters atılımlı ve normal atılımlı fay hareketleri olmak üzere temel olarak üç şekilde oluşmaktadır (Şekil 2.1). Doğrultu atılımlı faylar yer kabuğunun yatay olarak hareketine neden olurken, ters atılımlı ve normal atılımlı faylar düşey hareket oluşmasına neden olmaktadır. Denizaltında yer alan ters atılımlı ve normal atılımlı faylar deniz tabanı ile birlikte üzerindeki su kütlesinin düşey olarak aşağı-yukarı hareketine dolayısıyla dalga hareketi oluşmasına neden olmaktadır. Genellikle faylar doğrultu atılımlı ve ters atılımlı hareketlerin her ikisini de içermekle birlikte, düşey hareketlerin daha ağırlıklı olduğu ve yeterli derecede deniz tabanı deformasyonu oluşturan faylar tsunami oluşturmaktadır (Cuypers, 2004).



Şekil 2.1: Temel fay çeşitleri

2.1.2. Tsunamilerin Ölçeklendirilmesi

Özellikle Japon araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalarda, tsunami dalgalarının incelenmesi özellikle deprem şiddetine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Şiddet ve büyüklük, tsunami dalgalarını tanımlamak için kullanılan iki temel parametredir. Bir tsunami dalgasının şiddeti dalganın belirli bir yerdeki gücü, büyüklüğü ise toplam enerjisidir (Cuypers, 2004).

Imamura (1949) ve Ida (1967) tsunami büyüklüğünü değerlendirmek amacıyla (2.1) bağıntısını geliştirmişlerdir. Bu bağıntıda H maksimum tsunami dalga yüksekliği (m), m ise Imamura-Ida tsunami büyüklük ölçeğidir. m ölçeği -1 ile 4 arasında değişen değerler almaktadır (Cuypers, 2004).

$$m = \log_2 H_{\max} \quad (2.1)$$

Imamura-Ida ölçeği tsunami büyüklüğünü tanımlamak için ortaya konulmuştur. Bu çalışmadan sonra, Soloviev (1970) tarafından tsunamilerin şiddet bazında değerlendirilmesi için yeni bir eşitlik geliştirilmiştir (Denklem 2.2). Bununla birlikte, halen fiziksel bir büyüklüğe dayandığı ve etki tanımı içermediği için bu bağıntı da tsunami büyüklüğünü vermektedir (Cuypers, 2004).

$$i = \log_2(\sqrt{2} \cdot H_{ort}) \quad (2.2)$$

Abe (1983), tsunami büyüklüğünü tanımlamak için maksimum dalga genliğini esas alan bir bağıntı tanımlamıştır. Bu eşitlikte H maksimum genlik, Δ deprem merkezinden uzaklık, b ve D ise katsayılarıdır (Cuypers, 2004).

$$M_t = a \log H + b \log \Delta + D \quad (2.3)$$

Horikawa (1978), tsunami dalgalarını dalga yüksekliği ve oluşturdukları hasar bakımından bir m değeri ile tanımlayan bir ölçek sistemi geliştirmiştir (Tablo 2.1). Aynı çalışmada, istatistiksel verilere dayanılarak tsunami büyüklüğü (m) ve deprem büyüklüğü (M) arasındaki ilişki (2.4) bağıntısı ile gösterilmiştir. Burada M, depremin merkezinden 100 km uzaklıkta ölçülen Richter ölçeğine göre deprem büyüklüğüdür.

$$m = 2.61M - 18.44 \quad (2.4)$$

Önemli derecede yüksekliğe sahip bir tsunami dalgası M'nin 6.5'tan az olması durumunda meydana gelmemektedir. Verilen bir deprem büyüklüğü için olası tsunami dalgası yüksekliği ise aşağıdaki bağıntı ile belirlenebilmektedir (Horikawa, 1978):

$$\log_{10} H = 0.75M - 5.07 \quad (2.5)$$

Tablo 2.1: Tsunami ölçek sistemi (Horikawa, 1978)

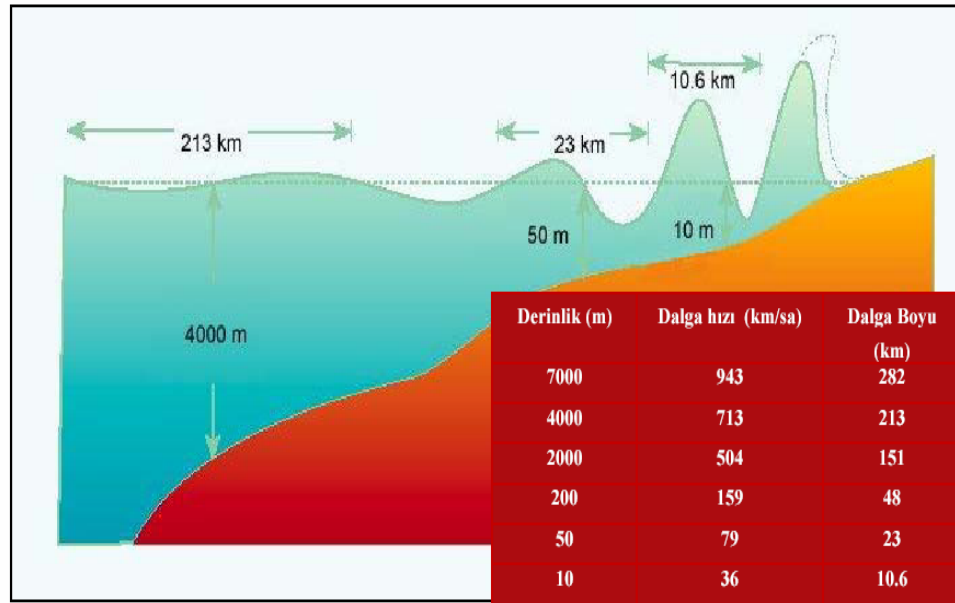
Tsunami Derecesi (m)	Kıyıdaki Maksimum Tsunami Dalgası Yüksekliği (m)	Hasar
-1	< 0.5	Hasar yok
0	yaklaşık 1.0 m	Hasar yok
1	yaklaşık 3.0 m	Kıyı şeridindeki evlerde hasar. Gemi ve teknelerin denize sürüklenmesi.
2	4.0-6.0 m	Bazı evlerin sürüklenmesi ve can kayı görölmesi.
3	10.0-20.0 m	400 km'den fazla kıyı şeridinde hasar.
4	> 20 m	500 km'den fazla kıyı şeridinde hasar.

Shuto (1993) tsunami şiddetini dalga yüksekliğine bağlı olarak tanımlayan bir bağıntı geliştirmiştir. Shuto (1993) söz konusu eşitliğin tsunami şiddetini yansıtabilmesi için, eşitlikte yer alan dalga yüksekliği (H) değerinin zarar gören alandaki maksimum

dalga yüksekliği olarak tanımlanmasını önermiştir. Bu çalışmanın sonucunda, tsunami şiddetini 0-5 arasında altı birimde dalga yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak beklenen hasara dayalı şekilde ölçeklendirmiştir. Papadopoulos ve Imamura (2001) ise tsunami dalgalarının verdiği zararları insanlar, nesneler ve binalar olmak üzere ayrı ayrı ele almış ve Shuto (1993)'nın geliştirdiğı şiddet ölçeğı ile ilişkilendirerek yeni bir şiddet ölçeğı önermişlerdir (Papadopoulos ve Imamura, 2001).

2.1.3. Tsunamilerin Özellikleri

Oluştukları noktaların yakınlarında, tsunami dalgaları genellikle 200 km'yi aşan dalga boyu uzunluğuna sahiptirler. Okyanuslarda maksimum su derinliğı 8–10 km olduğundan, dalga boyu su derinliğine göre oldukça büyük olan bu dalgalar ($L \gg d$) sığ su dalgası şeklinde ilerlemektedirler. Bu nedenle ilerleme hızları $c = \sqrt{gh}$ formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada, c dalga ilerleme hızı (m/s), g yerçekimi ivmesi (m/s^2), h ise su derinliğidir. Dolayısıyla tsunami dalgalarının ilerleme hızı sadece su derinliğine bağlıdır. Bu nedenle derin suda hızlı, sığ suda yavaş ilerlemektedirler. Tsunami dalgaları açık denizde küçük genliğe sahip olmalarına karşın kıyıya yaklaştıklarında sığlaşma, sapma ve rezonans etkisiyle bu dalgaların genlikleri oldukça artmaktadır (Şekil 2.2). Kıyıya gelen dalga, denizin önce geri çekilmesi ya da karaya doğru ilerlemesini oluşturmakta, bu olayın ardından ise karada dalga tırmanması ve su taşınımı meydana gelmektedir. Bu durum tsunami dalgalarının kıyı alanlarında büyük miktarda can ve mal kaybına yol açmasına neden olmaktadır (Cuypers, 2004).



Şekil 2.2: Tsunami dalgalarının ilerlemesi (Cuypers, 2004)

26 Aralık 2004'te Andaman Adaları yakınında ve Sumatra'nın kuzeyinde meydana gelen tsunami bilinen en yıkıcı tsunamidir. 2004 yılından önce bilinen en güçlü tsunami, 1883 yılında Sunda Adası grubunda yanardağ patlaması sonucu oluşmuştur. 35 m dalga yüksekliğine ulaşan tsunami dalgası 36830 kişinin ölümüne neden olmuştur. Pasifik Okyanusu'nda 684 yılından beri 30 m'yi aşan büyüklükte 4 adet tsunami tespit edilmiştir (<http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/IntroOc>).

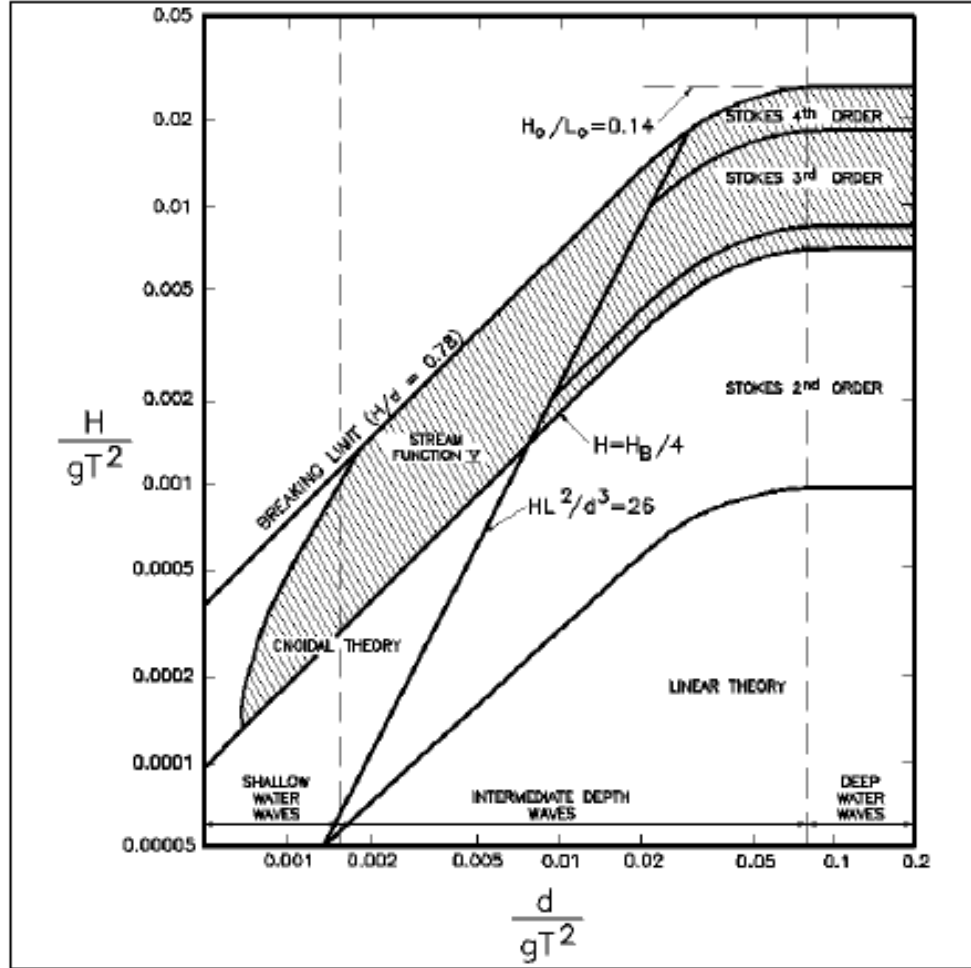
(2.5) denklemiyle tanımlanan Ursell parametresi (U_r) dalga dikliği (H/L) ve bağlı su derinliği (d/L)'nin yanı sıra çeşitli dalga teorilerinin geçerlilik sınırlarının belirlenmesi ve frekans dağılımı ile nonlinear etkilerin önemini belirlemek amacıyla kullanılan bir parametredir.

$$U_r = \frac{(H/L)}{(d/L)^3} \quad (2.5)$$

Burada H açık deniz dalga yüksekliği, d derinlik, L ise karakteristik yatay uzunluktur.

Sığ suda yayılan uzun dalgalar en iyi şekilde Cnoidal ve Stokes dalga teorileri ile tanımlanmaktadır. Cnoidal dalga teorisinin kullanılma sınırları $d/L < 1/8$ ve $U_r > 26$ olduğu değerlerdir. Dalga boyu uzarsa ve sonsuza giderse dalgalar bu teorisin sınırları dışına çıkmakta ve bu durumda Solitary dalga teorisine göre

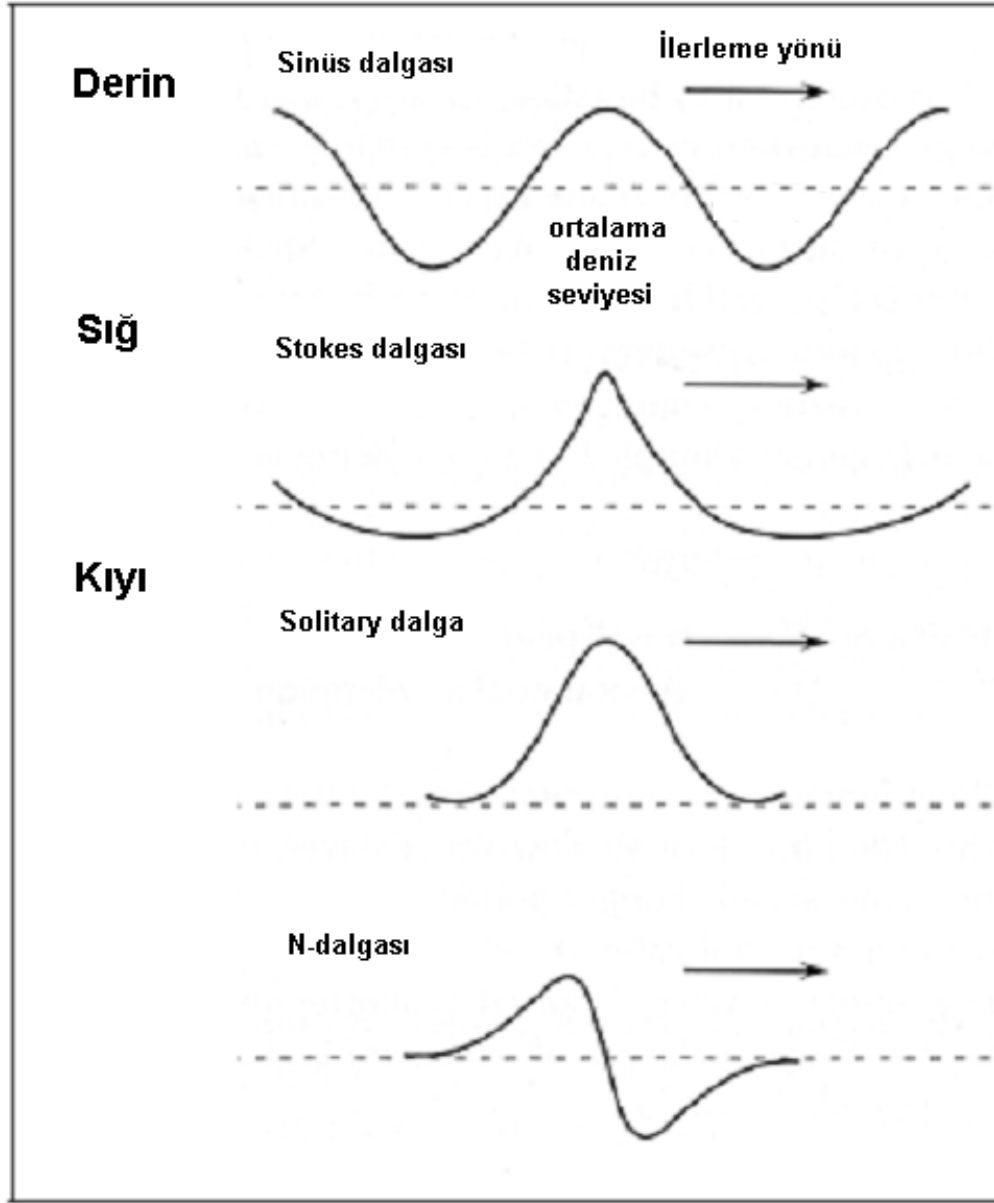
değerlendirilmektedirler. Bu sınırda, çok sığ su şartlarında uzun yatay dalga çukuru ve çok dik tepeli görünüm alan ardışık dalgalar bağımsız tekil dalga olarak göz önüne alınabilmektedirler (Yüksel, vd., 1998).



Şekil 2.3: Çeşitli dalga teorilerinin geçerlilik sınırları (Le Méhauté, 1976)

Okyanusta açık denizdeki tsunami dalgaları hemen hemen sinüs dalgası şeklindedir ve bu aşamada lineer dalga teorisi ile tanımlanabilmektedirler. Kıyıya yaklaştıkça, tsunami dalgaları dikleşirler ve dalga çukurları daha düz hale gelir. Bu aşamada olan dalgalar matematiksel olarak 2. dereceden Stokes dalga teorisi ile tanımlanabilirler. Tsunami dalgaları kıyıya yaklaştıkça dalga çukuru kaybolur ve yalnızca dalga tepesi kalır. Bu aşamadaki tsunami dalgaları ise solitary dalga teorisi ile tanımlanabilirler. 90'lı yıllardan sonra araştırılan büyük tsunami dalgalarının iki kutuplu bir şekle sahip olduğunun gözlenmesiyle bu dalgalar N-dalgaları (Şekil 2.4) şeklinde tanımlanmaya başlamışlardır. N-dalgası şeklinin benimsenmeye bu yıllarda başlanmasının bir nedeni, solitary dalgaların N-dalgalarına göre matematiksel olarak daha kolay

tanımlanması ve deney çalışmaları sırasında daha kolay üretilmesidir. Bununla beraber, solitary dalgalar ile N-dalgaları birçok ortak özellik taşımaktadır. Aradaki en önemli fark N-dalgalarının kırılmadan önce daha dik hale gelmesidir. Bu nedenle daha önce solitary dalgalar ile yapılmış çalışmalar halen geçerli bilgiler içermektedir (Cuypers, 2004).



Şekil 2.4: Tsunami dalgası formları (Cuypers, 2004)

2.2. Şevli Dalgakıranlarda Stabilit  ve Hasar

2.2.1. Stabilit  Kavramı

Dalgakıranlar ve kaplamalar genellikle hiç hasar olmaması ya da çok az hasar olması kabul  ile projelendirilmektedirler. Burada kastedilen hasar, yapının bütünüyle yer değiştirmesi (kesonlar) ya da koruyucu tabaka bloklarının yer değiştirmesidir. Farklı kıyı yapılarının dalga etkisindeki stabilitelerinin karşılaştırılabilmesi için ortak bir $H_s/\Delta D_{n50}$ parametresi tanımlanmıştır. Burada, H_s , belirgin dalga yüksekliği, Δ , rölatif özgül ağırlık, D_{n50} ise koruyucu kaplama tabakası bloklarının nominal çapıdır. Keson ve büyük bloklu yapılar gibi kıyı yapılarında $H_s/\Delta D_{n50}$ küçük değerler alırken, çakıl ve kum sahillerde stabilit  parametresi büyüktür. Çeşitli yapılar için stabilit  parametresinin aldığı değerler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: Çeşitli kıyı yapıları için stabilit  parametresi değerleri

Yapı	$H_s/\Delta D_{n50}$
Kesonlar ve Kıyı Duvarları	< 1
Stabil Dalgakıranlar	1–4
S Profiller ve Batık Dalgakıranlar	3–6
Kaya şevler ve Plajlar	6–20
akıl Plajlar	15–500
Kum Plajlar	> 500

D_{n50} değeri denklem (2.6)’da gösterilen şekilde tanımlanmaktadır.

$$D_{n50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_a} \right)^{1/3} \quad (2.6)$$

Kıyıları ve limanları dalga etkisine karşı korumak amacıyla inşa edilen kıyı yapıları dizayn koşullarına göre statik olarak stabil ve dinamik olarak stabil kıyı yapıları olarak sınıflandırılabilir. Statik olarak stabil kıyı yapıları, hiç hasar olmaması ya da çok az hasar olması koşuluna göre tasarlanmış yapılardır. Kesonlar ve klasik dalgakıranlar bu yapılara örnek olarak verilebilir. Bu yapılarda hasar, koruyucu

kaplama tabakası bloklarının yer değiştirmesi olarak tanımlanır ve söz konusu bloklar dalga etkisine karşı stabil kalacak büyüklükte boyutlandırılırlar. Statik stabilite hasar parametresi ile tanımlanmaktadır. Bu yapılar için stabilite parametresi kabaca 4'ten küçük olarak verilmektedir (Van der Meer, 1988).

Van der Meer (1988), yapmış olduğu çalışma sonucunda statik olarak stabil şevlerdeki blokların stabilitesine etki eden başlıca değişkenleri aşağıdaki şekilde belirlemiştir:

H_s : Belirgin dalga yüksekliği

T_{ort} : Ortalama dalga periyodu

N : Fırtına süresi ya da dalga sayısı

h : Su derinliği,

D_{n50} : Nominal taş çapı

Δ : Rölatif özgül ağırlık

α : şevin yatayla yaptığı aç

P : Yapının geğirgenliği

Statik stabilite üzerinde etkili olan boyutsuz değişkenler, Hasar (S) ve dalga sayısı (N) arasındaki ilişkiyi veren $S / \sqrt{N}$ ($N < 8500$) oranı, $H_s / \Delta D_{n50}$ olarak tanımlanan stabilite sayısı, dalga dikliği ve şev eğiminin etkisini plunging tipi dalgalar için veren sörf benzerlik parametresi (ξ_m), $\cot \alpha$ ve 0.1–0.6 değer aralığında değişen yapı geçirgenlik katsayısı (P) olarak sıralanabilir. Bu değişkenlerin statik olarak stabil yapılar için alabileceği değer aralıkları Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3: Statik stabilite üzerinde etkili olan boyutsuz değişkenler ve alabilecekleri değer aralıkları

Değişken	İfade	Aralık
Dalga yüksekliği parametresi	$H_s / \Delta D_{n50}$	1–4
Dalga periyodu parametreleri, dalga dikliği	s_m	0.01–0.06
Sörf benzerlik parametresi	ξ_m	0.7–7
Dalga sayısının bir fonksiyonu olarak hasar	$S / \sqrt{N}$	< 0.9
Şev açısı	$\cot \alpha$	1.5–6
Koruyucu kaplama tabakası bloklarının değişim oranı	D_{85}/D_{15}	1–2.5
Yapının geçirgenliği	P	0.1 (geçirimsiz)-0.06 (geçirimli)
Spektral şekil parametresi	κ	0.3–0.9
Kret yüksekliği	R_c/H_s	-1–2

Van der Meer (1988) tarafından düzensiz dalga etkisi altında statik stabilitenin incelendiği deneysel çalışmalarda ise söz konusu parametreler arasındaki ilişki dalga kırılma tipine bağlı olarak plunging tipi ve surging tipi kırılma için denklem (2.7) ve (2.8) 'te verilmiştir.

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \frac{6.2P^{0.18} \left(S_p / \sqrt{N} \right)^{0.2}}{\sqrt{\xi}} \quad (2.7)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0P^{-0.13} \left(S_p / \sqrt{N} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi^p \quad (2.8)$$

Burada, D_{n50} koruyucu kaplama tabakası bloklarının nominal çapı, S_p boyutsuz hasar parametresi, H_s yapı önündeki belirgin dalga yüksekliği, ξ sörf benzerlik parametresi, P yapının geçirgenliği, N ise dalga sayısıdır.

Dinamik olarak stabil kıyı yapılarının dizayn aşamasında ise belirli oranda profil değişimi kabul edilmektedir. Dalga etkisi ile hareket eden taneler (taş, çakıl ve kum) profili değiştirmekte, belirli bir süre sonra ise denge profiline ulaşılmaktadır. Denge profilinde taneler tırmanma ve çekilme durumlarında dalga etkisi ile hareket etmektedirler; ancak net taşınım miktarı sıfıra eşittir. Dinamik olarak stabil yapılar için stabilite parametresi kabaca 6'dan büyük olarak verilmektedir. Yapıyı oluşturan tek bir tanenin stabilitesi ise statik stabilite kapsamında değerlendirilmektedir (Van der Meer, 1988).

2.2.2. Şevli Dalgakıranlarda Stabilite

Daha önce de belirtildiği gibi, şevli dalgakıranlar statik olarak stabil yapılar sınıfına girmektedirler ve statik stabilite hasar parametresi ile tanımlanmaktadır. Şevli dalgakıranlarda koruyucu tabaka stabilitesi öncelikle kullanılan taş/blok tipine, derin ya da sığ su dalga koşullarına, dalgakıran kret seviyesine ve dalgakıran yapısına bağlıdır.

Bu kısımda öncelikle şevli dalgakıranlarda stabilitenin sağlanması için dizayn aşamasındaki en önemli parametre olan koruyucu kaplama tabakasındaki blok ağırlıklarının belirlenmesi ile ilgili bilgi verilmiştir. Daha sonra ise söz konusu kıyı yapılarında hasar miktarının belirlenme yöntemleri açıklanmıştır.

2.2.2.1. Koruyucu Kaplama Tabakası Blok Ağırlığının Belirlenmesi

Taş dolgu dalgakıranlarda yapının dalga kuvvetlerine ve diğer etkilere karşı stabil durmasını sağlayan başlıca etken söz konusu kıyı yapısında kullanılan blokların ağırlığıdır. Bu nedenle taş dolgu dalgakıranlarda kullanılan blok ağırlıklarının hesaplanması bu yapıların tasarlanması sürecinde gerçekleştirilen en önemli adımlardan birisidir. Literatürde koruyucu kaplama tabakasında kullanılan blok ağırlıklarının hesaplanması ile ilgili olarak geliştirilmiş birçok ampirik formül mevcuttur (Kabdaşlı, 1992).

Şevli dalgakıranların koruyucu kaplama tabakasında kullanılan taş ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla geliştirilen ilk formül Irribaren (1938) formülüdür:

$$W = \frac{K_{\Delta}}{(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)^3} \times \frac{H^3 \times \gamma_s}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3} \quad (2.9)$$

Burada K_{Δ} , stabilite katsayısı, α , şev açısı, H , proje dalga yüksekliği (m), γ_s , kullanılacak taşın özgül ağırlığı (kg/m^3), γ_w , deniz suyunun özgül ağırlığı (kg/m^3), μ sürtünme faktörüdür.

Koruyucu kaplama tabakası taş ağırlıkları ile ilgili olarak kullanılan en yaygın formül ise Eşitlik (2.10) ile verilmiş olan Hudson formülüdür (Kabdaşlı, 1992).

$$W = \frac{\gamma_s \times H^3}{K_D \times \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \times \cot \alpha} \quad (2.10)$$

Burada, W , koruyucu kaplama tabakası taş ağırlığı (kg), K_D , stabilite katsayısı, γ_s , kullanılacak taşın özgül ağırlığı (kg/m^3), γ_w , deniz suyunun özgül ağırlığı (kg/m^3), H , proje dalga yüksekliği (m) ve α , şev açısıdır. Koruyucu tabakada birden fazla sıra blok kullanılması durumunda blok ağırlıkları $0.75 W - 1.25 W$ arasında alınabilmektedir (Kabdaşlı, 1992).

Formülde yer alan K_D stabilite sayısının aldığı değerler Tablo 2.4'te verilmiştir (Shore Protection Manual, 1984). K_D katsayısı formülde yer almayan birçok parametreyi içerdiğinden dalgakıran tasarlanırken seçilecek stabilite katsayısı oldukça önemlidir. Bu katsayı aşağıdaki parametreleri içermektedir:

- Blokların şekli
- Tabakadaki blok sayısı
- Blokların yerleştirme şekli
- Yüzey pürüzlülüğü
- Dalganın kırılıp kırılmaması
- Yapının bölümleri
- Gelen dalganın açısı
- Blokların su seviyesinin altındaki derinlikleri

- Alt tabakanın boyutu ve porozitesi
- Çekirdeğin su seviyesinden yüksekliği
- Üst yapının özellikleri
- Model ölçeğinin etkileri

Tablo 2.4: Stabilite katsayıları (SPM, 1984)

Kaplama Cinsi	(N) Kaplama Sıra Sayısı	Yerleşti rme Metodu	Yapının Gövdesi		Yapının Kafası		
			K _D		K _D		Eğim
			Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Cota
Tabii taş Düzgün	2	Rastgele	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 - 3.0
Pürüzlü	>3 1		1.64	3.2 2.9	1.44	2.3 2.3	
Pürüzlü	2	Rastgele	2.0	4.0	1.9 1.6 1.3	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
Pürüzlü	>3	Rastgele	2.2	4.5	2.1	4.2	1.5-3.0
Parallelepiped	2 2	Özel	5.8 7.0-20.0	7.0 8.5-24.0	5.3 -	6.4 -	
Tetrapod ve Quadripod	2	Rastgele	7.0	8.0	5.0 4.5 3.5	6.0 5.5 4.0	1.5 2.0 3.0
Tribar	2	Rastgele	9.0	10.0	8.3 7.6 6.0	9.0 8.5 6.5	1.5 2.0 3.0
Dolos	2	Rastgele	15.8	31.8	8.0 7.0	16.0 14.0	2.0 3.0
Küp	2	Rastgele	8.5	7.5	-	5.0	1.5-3.0
Heksapod	2		8.0	9.5	6.0	7.0	1.5-3.0
Toskane	2	Üniform	11.0	22.0	-	-	1.5-3.0
Tribar	1		12.0	15.0	7.5	9.5	1.5-3.0
Tabii taş	-	Rastgele	2.0	2.5	-	-	1.5-3.0

Hudson formülünün duyarlılığı ile ilgili olarak Yüksel ve diğ. (1998) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile taş ağırlığındaki bir değişimin diğer parametreler üzerindeki etkisi aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Dalga yüksekliğindeki % 10'luk bir artış taş ağırlığını % 33 arttırmaktadır.
- Taşın yoğunluğundaki % 10'luk bir artış taş ağırlığını yaklaşık olarak % 50 azaltmaktadır.
- Deniz suyu yoğunluğundaki % 2,5'luk bir artış taş ağırlığını % 13 arttırmaktadır.

- K_D ve eğim parametrelerinin lineer etkisi vardır. Taş boyutlarında yapılacak % 10'luk bir hata yine taş ağırlığında % 33'lük bir hataya neden olabilmektedir.

Hudson formülünün temel avantajları basit bir formül olması ve birçok koruyucu kaplama tabakası bloğu için K_D stabilite sayısının belirlenmiş olmasıdır. Buna karşın, söz konusu formül aşağıda verilmiş olan belirli sınırlar dâhilinde kullanılabilmektedir (Meer, 1993):

- Sadece düzenli dalgalar için kullanım,
- Formülde dalga periyodu ve fırtına süresinin göz önüne alınmaması,
- Hasar seviyesinin tanımlanmaması,
- Yalnızca, dalga aşmasına izin verilmeyen ve geçirimli çekirdek yapılarında kullanılması

Bruun ve Günbak (1976) dalgakıran minimum stabilitesi ile belirli bir Irribaren sayısı aralığı arasında bir ilişki olduğunu bulmuşlar ve bu durumu, dalga periyodu ile dalga çekilme/tırmanma periyodunun çakışmasıyla oluşan rezonansa bağlı olarak açıklamışlardır.

Losada ve Gimenez-Curto (1979) koruyucu kaplama tabakası taş ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla Irribaren sayısına bağlı olarak aşağıdaki formülü geliştirmiştir:

$$W = \frac{\gamma_s}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3} \times H^3 \times \Psi \quad (2.11)$$

Burada, W , koruyucu kaplama tabakası taş ağırlığı (kg), γ_s , kullanılacak taşın özgül ağırlığı (kg/m^3), γ_w , deniz suyunun özgül ağırlığı (kg/m^3), H , *proje* dalga yüksekliği (m) ve Ψ , stabilite fonksiyonudur.

Formülde kullanılan stabilite fonksiyonu çeşitli parametrelere bağlıdır:

$$\Psi = \Psi \left(\frac{H}{L}, \alpha, \text{blok tipi, pürüzlülük, geçirimlilik, hasar kriteri} \right) \quad (2.12)$$

Bu fonksiyon Hudson formülü ile aşağıdaki şekilde ilişkilendirilmiştir:

$$\Psi = \frac{1}{K_D \times \cot \alpha} \quad (2.13)$$

Stabilite fonksiyonunun bağılı olduğu son dört parametre sabit tutulursa, fonksiyon $\frac{H}{L}$, nin dolasıyla Irribaren sayısının bir fonksiyonu olacaktır:

$$\Psi\left(\frac{H}{L}, \alpha\right) = \Psi\left(\frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}}\right) = \Psi(Ir) \quad (2.14)$$

$Ir = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}}$ şeklinde tanımlanan Irribaren sayısı, daha sonra Battjes (1974) tarafından

sörf-benzerlik parametresi olarak tanımlanmıştır.

Losada ve Gimenez-Curto (1979,1980) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda, deneylerde kullanılan Irribaren sayısı aralığı ve uygulanan hasar kriterinde, şev açısı azaldıkça stabilitenin tüm blok tipleri için arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, porozite ve pürüzlülüğün Irribaren sayısının stabilite üzerindeki etkisini ve bunun sonucu olarak da dalga periyodunun stabilite üzerindeki etkisini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Bir Irribaren sayısı aralığının minimum stabiliteyi verdiği bulunmuştur. Bununla birlikte, bulunan aralık iyi tanımlanmış dar bir bant yerine geniş bir aralıktır ve önemli derecede saçılmalar gözlenmiştir. Losada vd. tarafından 1986 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise bu sonuçların yanı sıra saçılmanın hasar ölçütü arttıkça daha şiddetli hale geldiği ortaya konulmuştur.

Sawaragi, vd. (1982) ise düzgün ve geçirimli şevler üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada dalga tırmanması ve çekilmesi sırasında hız ölçümleri yapmış ve bu çalışmalarda iyi tanımlanmış bir Irribaren sayısı için oldukça belirgin bir maksimum değer bulmuşlar; buna karşın, kaba ve geçirimli yüzeylerde belirgin bir maksimum değeri ve Irribaren sayısı belirleyememişlerdir.

2.2.2.2. Çekirdek Porozitesinin Stabilite Üzerindeki Etkisi

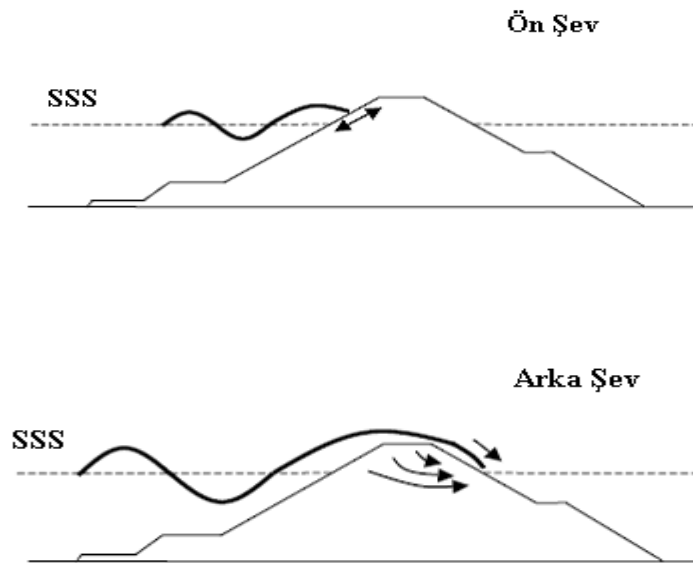
Şevli dalgakıranların stabilitesi için uygun ağırlıkta koruyucu kaplama tabakası ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla belirlenen formüllerin çoğu çekirdek porozitesi parametresini içermemektedir. Van der Meer (1988) tarafından geliştirilen formülde

porozite (geçirimsizlik) parametresi tüm yapı için verilmiştir. Esas olarak, artan porozite değeriyle birlikte dalgakıranın içerisine olan akım da artmakta ve bu durum yapı çekirdeği içerisinde enerji dağılımını artırarak stabilitenin artmasını sağlamaktadır (Hedge ve Srinivas, 1995).

Hedge ve Srinivas (1995) ve Hedar (1986) tarafından farklı çekirdek porozite değerleri kullanılarak yürütülen deneysel çalışmalarda hasarın çekirdek porozitesi arttıkça azaldığı bulunmuştur.

2.2.2.3. Şevli Dalgakıranların Arka Şev Stabilitesi

Tipik bir şevli dalgakıranın ön ve arka şevine etki eden kuvvetler Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Şevli dalgakıranların arka şevinin stabilitesi üzerinde etkili olan kuvvetler dalga aşması nedeniyle oluşan hidrolik yük ve dalgakıran içinden geçen akımdır. Dalgakırana gelen tüm dalgalar aşmadığından, dalgakıranların bu bölümünün maruz kaldığı dalga sayısı ön şeve göre oldukça düşüktür. Dalgakıranların ön şev stabilitesinde ise gelen dalga ve geri çekilme etkili olmaktadır.



Şekil 2.5: Tipik bir şevli dalgakıranın ön ve arka şevine etki eden kuvvetler (Van Dijk, 2000)

Walker (1976) düzenli ve aşan dalga koşulları altında R_c/H ve W_f/W_b parametrelerini değiştirerek gerçekleştirdiği deneyler sonucunda R_c/H değerinin 0.7'yi aşması durumunda dalgakıranın arka kısmında yer alan koruyucu kaplama tabakası

bloklarının ön taraftakilere göre azaltılabileceğini, aksi durumda ise daha büyük bloklar yerleştirilmesi ya da daha iyi yerleştirme yöntemlerinin uygulanması gerektiği sonucuna varmıştır. Burada, R_c kret fribord değeri, H dalga yüksekliği, W_f ön şev blok ağırlığı, W_b ise arka şev blok ağırlığıdır. Aynı çalışmada dalgakıranın arka kısmı için üç adet yıkım mekanizması belirlenmiştir (Van Dijk, 2000):

- Dalgakıranın ön yüzü ve krete çarpan dalgaların neden olduğu gözenek basınçlarına bağlı olarak yıkım
- Arka kısım topuk korumasında jet çarpmasına bağlı olarak yıkım
- Arka kısımda jet çarpmasına bağlı olarak yıkım

Vidal (1990) ise düzensiz dalgalar ile yaptığı deneylerde, tüm bölümlerde aynı büyüklükte taş kullanarak şevli dalgakıran stabilitesini ön şev, arka şev, kret ve tüm dalgakıran olmak üzere dört kısımda incelemiştir. Bu çalışma sonucunda, aşağıdaki sonuçları elde etmiştir (Van Dijk, 2000):

- Ön şev stabilitesi dalga aşmaması durumunda minimumdur.
- Kret seviyesi düşürüldüğünde ön şev stabilitesi artmaktadır.
- Sıfır fribord seviyesinin biraz altında kret stabilitesi minimumdur.
- Düşük kretli kıyı yapılarında, kret yüksekliği düşürüldüğünde kret stabilitesi de azalır.
- Arka şev stabilitesi, kret stabilitesi ve ön şev stabilitesinden oldukça yüksektir.
- Arka şevde meydana gelen hasarlar ön şeve ve krete göre daha küçük bölgelerde meydana gelir.
- Kret seviyesi düşürüldüğünde arka şev stabilitesi artar.

Van Der Meer (1988) de dalgakıran ön-arka şevleri ve kretinde aynı büyüklükte taş kullanarak ve düzensiz dalga etkisi altında yaptığı çalışmalarda kret fribord (R_c), belirgin dalga yüksekliği (H_s), maksimum periyot (T_p) ve dalga sayısı (N) parametrelerinin söz konusu bölümlerin stabiliteyi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda $R_c/H_s=0.8$ iken arka şevin minimum stabiliteye sahip olduğu, $R_c/H_s>0.8$ iken stabilitenin arttığı, $R_c/H_s>1.5$ için ise neredeyse hiç hasar

gözlenmediği belirlenmiştir. Ayrıca, dalga sayısının arka şev stabilitesi üzerindeki etkisinin önemsiz derecede olduğu gözlenmiştir. Aynı çalışmada, muhtemelen daha fazla aşma meydana gelmesi nedeniyle, daha uzun dalga periyotlarının arka şevde daha yüksek hasara neden olduğu belirlenmiştir (Van Dijk, 2000).

De Jong (1996) tarafından benzer şekilde ön ve arka şevde aynı ağırlık aralığı kullanılarak antiferlerle gerçekleştirdiği deneysel çalışmada Van der Meer ve Vidal'le büyük ölçüde benzer sonuçlar elde etmiştir. Söz konusu çalışma sonucu, dalgakıran kreti sakin su seviyesinin altında olduğunda arka şev stabilitesinin en yüksek seviyede olduğu ortaya konulmuştur. Bağlı kret fribord değerlerinin (R_c/H_s) etkisi incelendiğinde ise bu değerdeki ufak değişimlerin bile arka şev stabilitesini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Aynı çalışmada ortalama dalga dikliği (s_{om}) değeri düştükçe arka şev için hasar sayısının (N_{od}) arttığı da tespit edilmiştir. Ayrıca, artan fırtına süresiyle birlikte ön şev, kret ve arka şev olmak üzere dalgakıranın tümünde hasarın arttığı da ortaya konulmuştur. De Jong, arka şev stabilitesini Van der Meer tarafından tanımlanan stabilite sayısı ile aynı şekilde tanımlamıştır (Denklem, 2.15). Söz konusu stabilite parametresi, ortalama dalga dikliği, arka şev hasarı, dalga sayısı, yerleşim yoğunluğu, kret yüksekliği ve nominal taş büyüklüğüne bağlıdır (Van Dijk, 2000).

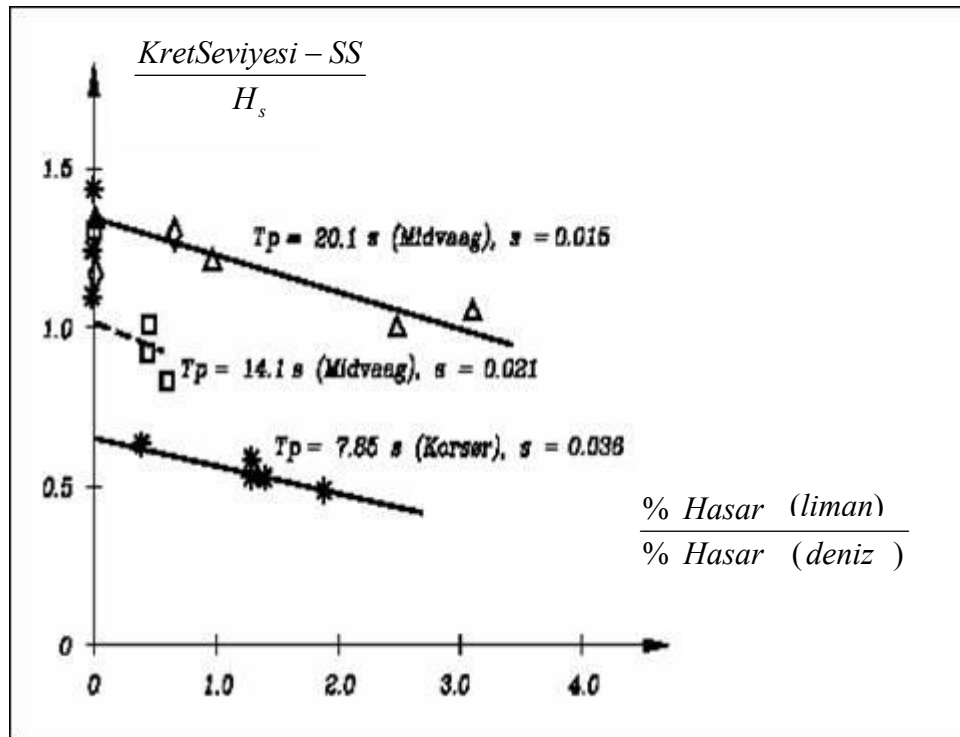
$$N = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \quad (2.15)$$

Andersen, Juhl ve Sloth (1992) tarafından düzensiz dalgalarla yapılan deneysel çalışmada üç dalga parametresi ve dört dalgakıran parametresi değiştirilip diğer parametrelerin sabit tutulduğu deneylerde, dalgakıran arka şevinin hasarı kimi zaman çekirdeğin dalga etkisine açılmasıyla sonuçlanan arka şev koruyucu kaplama tabakasının yıkımı olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu deneylerde sakin su seviyesinin hemen üzerinde taşların yer değiştirmesiyle başlayan hasar birkaç aşmadan sonra arka şev koruyucu kaplama tabakasının yıkımı ile sonuçlanmıştır. Andersen aşan dalga hızının arka şev stabilitesini etkileyen en önemli faktör olduğunu öne sürmüş ve kret üzerindeki u_c hızını bir referans değer olarak kullanmıştır (Van Dijk, 2000).

Aynı çalışmada, arka şev stabilitesinin ortalama dalga yüksekliğine bağlı kret fribord yüksekliğine, dalga dikliğine, ön şev eğimine, koruyucu kaplama tabakası blok büyüklüğü ve yoğunluğuna bağlı olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu çalışmaya göre,

kret fribord yüksekliğinin artırılması, koruyucu kaplama tabakası blok büyüklüğünün ve bağıl yoğunluğunun artırılması ve arka şev eğiminin azaltılması arka şev stabilitesini arttırmaktadır (Van Dijk, 2000).

Jensen (1984) geleneksel şevli dalgakıranlar üzerinde düzensiz dalga etkisinde yaptığı iki örnek olay çalışmasında dalgakıranların liman tarafının üst kısımlarında ve kret üzerinde hasarı belirlemeye çalışmıştır. Çalışmalarının duruma özel olduğuna dikkat çeken Jensen, sonuçların ön tahminler için kullanılabileceğini belirtmiştir. Sözü edilen çalışma sonucunda, dalga dikliğinin dalgakıranların liman kısmındaki hasarı önemli derecede etkilediği belirlenmiştir (CEM, 2006).



Şekil 2.6: Şevli dalgakıranların liman tarafındaki hasar (Van Dijk, 2000)

2.2.3. Hasar Kavramı

Statik olarak stabil olan yapılara gelen dalgalar bu yapılar üzerinde tırmanır ve bu sırada sürtünme ve türbülans etkisiyle enerjilerini kaybederler. Dalgaların etkisine maruz kalan koruyucu kaplama tabakası blokları normal koşullarda hareket etmez ya da bu tabaka dışına çıkmazlar. Ancak daha büyük dalgalara maruz kaldıklarında hareket etmeye başlarlar. Koruyucu kaplama tabakasında tetrapod, dolos, acropod gibi beton bloklar kullanılması durumunda ise oldukları yerdeki hareketleri bu blokların ince kısımlarından kırılmalarına ve koruyucu kaplama tabakasının işlevini

yitirmesine neden olabilir. Tabii ocak taşı kullanılması durumunda bloklar kendi hareketleri ile oluşan çarpma etkisine karşı oldukça dayanıklı olduklarından stabilite hesaplarında bu etki göz önünde bulundurulmaz.

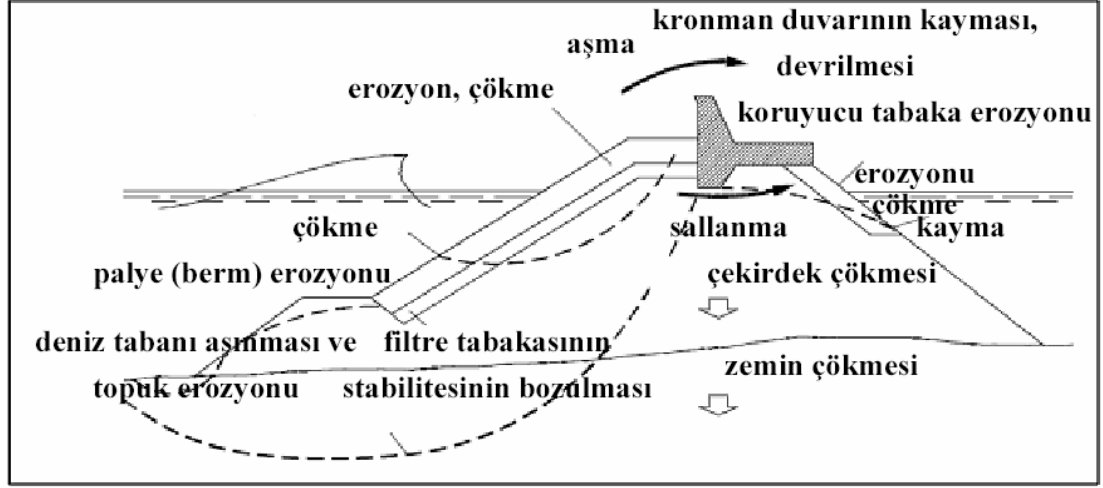
Stabilitenin çeşitli etkilerle bozulması inşa edilen kıyı yapılarının yıkımına neden olabilmektedir. Kıyı yapıları için yıkım kısaca, “yapının performansı ve işlevselliğinin dizayn aşamasında belirlenenin altına düşmesine neden olan hasar” olarak tanımlanmaktadır (CEM, 2006).

2.2.3.1. Şevli Dalgakıranlarda Hasar Tipleri

Dalgakıranlarda meydana gelen hasarları aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür (Kabdaşlı, 1992):

- $\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s/L_0}} < 2.0$ olduğunda kırılan dalgalar dolayısıyla tamamen yıkılma
- Dalganın hareketleri nedeniyle blokların kaldırılması
- Özellikle dik şevlerde şevin tamamen kayması
- Bazı durumlarda blokların küçük hareketlere başlamaları ve bunların giderek artarak stabilitesinin bozulması
- Dalga perdesinin altının ayrılması
- Dalganın aşması sonucu iç şevin bozulması
- Çekirdek malzemesinin çok kaba olması nedeniyle suyun dalgakıran içinde yükselerek yıkanmaya yol açması
- Topuk erozyonu

Şevli dalgakıranlarda gözlenen hasar tipleri ayrıca Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Şevli dalgakıranlarda meydana gelen hasar tipleri (CEM, 2006)

2.2.3.2. Koruyucu Kaplama Tabakasında Meydana Gelen Hasarın Belirlenmesi

Şevli dalgakıranların koruyucu tabakalarında meydana gelen hasar genel olarak koruyucu tabakayı oluşturan taş/bloklardan hareket edenlerin sayılması ya da şev eğiminin aşınan yüzey profilinin başlangıç profili ile karşılaştırılmasıyla belirlenmektedir (CEM,2006).

Sayma yöntemi ile hasar belirlenmesi, koruyucu tabakada yer alan ve dalga etkisiyle hareket eden blokların sayılması ile gerçekleştirilmektedir. Blok hareketleri çeşitli çalışmalarda hareket etmeme, kırırdama, orijinal pozisyonu terk ederek yer değiştirme, vb. şekilde sınıflandırılmaktadır.

Hareket eden taş sayısına bağlı olarak verilen hasar oranı genellikle hareket eden taş/blok sayısının toplam taş/blok sayısına ya da belirli bir bölgedeki taş/blok sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır. Belirli bir bölge seçilmesinin nedeni aksi halde farklı kıyı yapılarında meydana gelen hasarın karşılaştırılmasının zor olmasıdır. Genellikle bu bölge deniz suyu seviyesinden $\pm H_s$ mesafedeki noktalar arasındaki alan olarak seçilmekte ve bu bölge içerisinde yer alan blok sayısı referans sayısı olarak seçilmektedir. Ancak bu sayının H_s ile beraber değişmesinden dolayı belirli bir hasar seviyesine karşılık gelen H_s değerinin kullanılması ya da $\pm n.D_n$ noktaları arasındaki bölgedeki blok sayısının referans olarak alınması yoluna gidilebilmektedir.

Van der Meer (1988), D_n genişliğinde dalgakıran boyunca alınan dikey bir şerit içerisinde, hareket ederek koruyucu tabaka dışına çıkan taş/bloklar için N_{od} ve

kıpırdayan taşlar için N_{or} terimlerini kullanmış ve hasar oranını aşağıdaki şekilde tanımlamıştır.

$$N_{od} = (\text{koruyucu tabaka dışına çıkan taş/blok sayısı}) (\text{seçilen kesit genişliği, } D_n)$$

$$N_{or} = (\text{kıpırdayan taş/blok sayısı}) (\text{seçilen kesit genişliği, } D_n)$$

Meer ve Heydra (1991) hasar tespitinde sadece koruyucu tabakadan ayrılan blokları değil daha az derecede hareket eden blokları da saymışlardır. Bu çalışmada, blokların sayısı harekete bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$N_{od} = \text{koruyucu tabakadan ayrılan blok sayısı (an az } 2D_n \text{'den fazla)}$$

$$N_{o>0.5} = 0.5 D_n \text{'den büyük mesafede hareket eden blok sayısı}$$

$$N_{o<0.5} = 0.5 D_n \text{'den küçük mesafede hareket eden blok sayısı}$$

Söz konusu çalışmada yer alan hasar-dalga yüksekliği eğrilerinde, maksimum dalga yüksekliğinde, N_{od} % 90 güvenlik bandı altında hatta dışında yer almaktadır. Bu durum blokların çoğunluğunun hareket etmelerine karşın koruyucu tabakada kalmaları sonucu elde edilmiştir.

Yağcı, ve diğ. (2003) ise şevli dalgakıranların koruyucu tabakalarında yer alan taş/blokların hareketinin koruyucu kaplama tabakasında meydana gelen hasara katkısını farklı oranlarla tanımlamıştır:

- Kıpırdama: Bloklar gelen dalganın etkisi ile oldukları yerde hareket ederler. Hasara katkı oranı % 25'tir.
- Dönme: Bir bloğun yerini boşaltarak nominal çaptan daha az ötelenmesi hareketidir. Hasara katkı oranı % 50'dir.
- Yuvarlanma: Dönme: Bir bloğun yerini boşaltarak nominal çaptan daha fazla ötelenmesi hareketidir. Hasara katkı oranı % 100'dür.

Bu durumda hasar oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\text{Hasar Oranı} = \frac{(0.25 \text{ Kıpırdayan BS} + 0.5 \text{ Dönen BS} + \text{Yuvarlanan BS})}{\text{Toplam Blok Sayısı}} \quad (2.16)$$

Burada BS blok sayısıdır.

Literatürde aşınmaya uğrayan alana (A_e) bağlı olarak yapılan hasar oranı tanımları mevcuttur. Hudson (1958) hasarı orijinal hacmin erozyona uğrayan yüzdesi olarak tanımlamıştır.

$$D (\%) = \frac{\text{Profilden ortalama aşınan alan}}{\text{Orijinal alanın ortalama alanı}} \times 100 \quad (2.17)$$

Iribaren (1938) ise koruyucu tabakadaki aşınma derinliği D_n 'e ulaştığında meydana gelen ağır hasar sınırını tanımlamıştır.

Thomson ve Shuttler (1975) yaptıkları çalışma sonucunda aşınan alan ve blok büyüklüğüne bağlı olarak bir hasar parametresi (N_Δ) tanımlamışlardır (Van der Meer, 1988).

$$N_\Delta = \frac{A \rho_b 9 D_{n50}}{\rho_a D_{n50}^3 \frac{\pi}{6}} \quad (2.18)$$

Burada, A enkesitte aşınmaya uğrayan alan, ρ_b koruyucu kaplama tabakası bloklarının bağıl yoğunluğu, ρ_a koruyucu kaplama takası bloklarının özgül kütlesi, D_{n50} koruyucu kaplama tabakası bloklarının nominal çapıdır. Formüldeki bağıl yoğunluk koruyucu kaplama tabakasının porozitesinin hesaba katılması amacıyla kullanılmıştır; ancak, prototipte ölçümü problem yaratabilir. Ayrıca, taşın kütlesi yerine çapının kullanılması da bir dezavantajdır.

Broderick (1983), riprap ve kayalardan oluşmuş şevli dalgakıran koruyucu tabakaları için şev uzunluğu ile şeve paralel çökme ve kaymalardan bağımsız, düşey çökmeleri içeren boyutsuz bir hasar parametresi tanımlamıştır (Van der Meer, 1988):

$$S = \frac{A_e}{D_{n50}^2} \quad (2.19)$$

Burada, S , aşınan alana sığabilecek D_{n50} uzunluğunda kenara sahip karelerin sayısı ya da koruyucu tabakada D_{n50} genişliğinde bir şeritte D_{n50} uzunluğunda kenara sahip küplerin sayısı olarak tanımlanabilmektedir. Bu şeritte aşınan taş sayısı porozite, taşların çeşitliliği ve şekillerine bağlı olarak boyutsuz hasar parametresinden az ya da çok olabilir. Boyutsuz hasar parametresinin (S) dolos ve tetrapod gibi daha kompleks

bloklar için kullanımı yüzey profilinin tanımlanmasının zorluğundan dolayı uygun değildir.

Boyutsuz hasar parametresi Hudson'ın hasar olmaması kriterine göre 1–3 aralığında değerler almaktadır. Daha düşük ve daha yüksek hasar durumlarında, $2D_{50}$ kalınlığındaki koruyucu kaplama tabakası için deneyler sonucu elde edilen hasar değerleri Tablo 2.5'te verilmiştir (Van der Meer, 1988).

Tablo 2.5: İki tabakalı koruyucu kaplama tabakası için hasar seviyesi (S) (Van der Meer, 1988)

Blok Tipi	Eğim	Hasar Başlangıcı (onarıma gerek yok)	Orta Derecede Hasar (onarım gerektirir)	Çökme (çekirdek dalga etkisine maruz kalır)
Kaya	1:1.5	2	3–5	8
Kaya	1:2	2	4–6	8
Kaya	1:3	2	6–9	12
Kaya	1:4	3	8–12	17
Kaya	1:6	3	8–12	17

Çökmeler ihmal edilirse, N_{od} ve S arasında aşağıdaki bağıntı bulunmaktadır:

$$N_{od} = G (1-p) \times S \quad (2.20)$$

Burada; p, koruyucu kaplama tabakası porozitesi, G ise koruyucu tabaka homojenliğine bağlı bir faktördür.

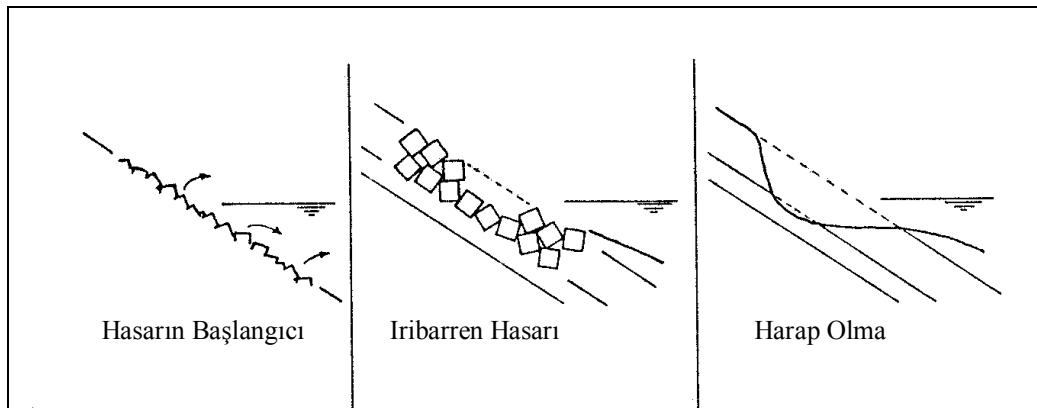
Losada, vd. (1986) dalgakıran koruyucu tabakasında meydana gelen hasar için gözleme dayalı olarak üç hasar kriteri tanımlamışlardır:

- **Hasarın Başlangıcı:** Koruyucu tabakada yer alan bloklardan belirli bir sayının orijinal yerlerinden kendi kenar uzunluklarından daha uzun bir mesafeye ilerleyerek yer değiştirmesidir. Bu şekilde yer değiştiren blok sayısı, bir

sonraki hasar derecesi olan Irribaren hasarı oluşumunda yer değiştiren blok sayısının % 10-15'i kadardır. Bu hasar tanımı keyfi bir tanım olmakla birlikte güvenli ve tehlikeli durumlar arasındaki bir limit olarak fiziksel anlam taşımaktadır.

- **Irribaren Hasarı:** Koruyucu tabakadaki bir bölgede bir alt tabakadaki blokların hareketine izin verecek ölçüde büyük hasar meydana gelmesidir. Koruyucu tabakada bir boşluk oluştuğunda alt tabaka da etkilenmektedir ve bu durum daha ileri bir risk derecesini göstermektedir. Koruyucu tabaka blokları arasındaki sürtünme katsayısı, bu tabaka ve alt tabaka arasındaki sürtünme katsayısından daha büyüktür. Bununla birlikte, Irribaren Hasarı oluştuğunda koruyucu tabaka bloklarının dizilişi büyük ölçüde değişmekte ve bloklar arasındaki sıkışma artmaktadır. Bu nedenle, yıkımın oluşması için dalga yüksekliğinin artması gerekmektedir.
- **Harap Olma:** Bu aşamada hasar alt tabakayı tamamen açığa çıkaracak kadar büyüktür. Koruyucu tabaka blokları şevden sürekli olarak ayrılırlar ve koşullar yeterince uzun süre aynı kalırsa enkesit yok olur.

1991 yılında Vidal vd. tarafından koruyucu kaplama tabakasında küp bloklar kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda yukarıdaki hasar tanımlarına ek olarak “Harap Olma Başlangıcı” olarak adlandırılan bir hasar tanımı daha yapılmıştır. Harap Olma Başlangıcı tanımı koruyucu tabakadan iki-üç bloğun ayrılarak ikinci tabakadaki blokların dalga etkilerine açık olmasını içermektedir.



Şekil 2.8: Hasar dereceleri (Losada, ve diğ., 1986)

2.3. Şevli Dalgakıranların Tsunami Etkisi Altındaki Stabilitesi

Spesifik olarak dökme taş dalgakıranların tsunami karşısındaki davranışını inceleyen az sayıda literatür kaynağı mevcuttur. Mevcut kaynaklarda bu konu ile ilgili formüller verilmemekle birlikte, yıkım modelleri ve dökme taş dalgakıran yapısının zayıf noktaları ile ilgili bilgi verilmektedir.

Kamel tarafından 1970 yılında yürütülen çalışmada Hilo limanının tsunami karşısındaki dayanıklılığının artırılması için çözüm geliştirmek amacıyla iki boyutlu model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yürütülen deneysel çalışmada proje dalgası olarak bölgede o zamana kadar görülmüş olan en büyük tsunami dalgasının yüksekliği ve süresi % 25 arttırılarak alınmıştır. Söz konusu çalışmada deneylerde aşan ve aşmayan olmak üzere iki farklı sınıfta kesitler kullanılmış, sonuçlar bu sınıflar için sırasıyla aşan dalga yüksekliği (y), aşma süresi (t) ve maksimum tırmanma yüksekliğine (Y') göre değerlendirilmiştir. Kullanılan koruyucu tabaka taş ağırlıkları ve eğim değiştirilerek uygulanan deneylerde aşma süresi ve dalgakıranın deniz tarafında meydana gelen maksimum tırmanma yüksekliğinin gelen tsunami dalgasının şekline bağlı olduğu ortaya konulmuştur. Ancak, gelen tsunami dalgasının tam olarak şekli tahmin edilemediğinden dalgakıran kesitlerinin beklenen aşma yüksekliğine göre boyutlandırılması önerilmiştir (Cuypers, 2004).

Aynı çalışmada, aşma kesiti olarak tasarlanan bir taş dolgu dalgakıranın stabilitesinin, aşma yüksekliği, dalgakıranın arka şev eğimi ve bu bölümdeki taş ağırlığına bağlı olduğu bulunmuştur. Aşma yüksekliği arttıkça, dalgakıranın stabilitesini sağlamak için eğim daha düz ve kullanılan taş ağırlığı daha yüksek olmalıdır. Dalgakırandaki hasar koruyucu tabaka taşlarının yıkanmasıyla topuğun üstünde başlamakta ve koruyucu tabaka taşlarının yuvarlanmasıyla sürmektedir. Aşma süresi arttıkça meydana gelen hasar da artmaktadır. Dalgakıranın liman kısmındaki koruyucu tabaka taşlarının stabilitesi aşan dalga hızına bağlıdır. Aşan dalga yüksekliği, aşan dalga miktarının bir göstergesidir ve arka kısımdaki hızı hesaplamada kullanılabilir. Dalgakıranın ön şevi ise kısa periyotlu dalgalara dayanabilecek şekilde projelendirilmelidir (Cuypers, 2004).

Kamel (1970) tarafından yapılan çalışmada, arka şevi dik olan ve aşma görülen şevli dalgakıran geliştirme çabaları başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Gerekli koruyucu tabaka taşları çok büyüktür ve baştaki hasar tüm kesitin çökmesini tetiklemiştir. Elde edilen

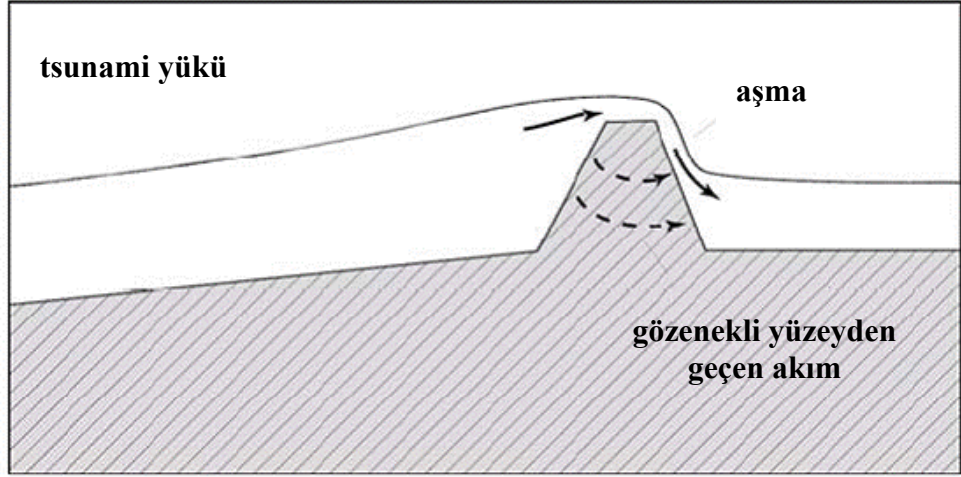
sonuçlara göre, Hilo Limanı için inşa edilecek şevli dalgakıranın pahalı bulunması, dizayn tsunami dalgasını tahmin etmedeki belirsizlik ve koruma çalışmalarının genellikle başarısızlıkla sonuçlanması nedeniyle çalışmanın gerçekleştirilmesinden vazgeçilmiştir (Cuypers, 2004).

Hitachi (1994) tarafından yapılan çalışmalarda ise Japonya, Kamaishi Körfezi'nde, körfezin denize açılan ağzının genişliğini % 5'e azaltarak liman alanını tsunamilerden korumak amacıyla inşa edilecek şevli dalgakıranın projelendirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde, bölgede o güne dek görülmüş olan en büyük iki tsunami dalgasının yükseklikleri proje dalgası olarak seçilmiş; söz konusu tsunamilerle ilgili ayrıntılı bilgi mevcut olmadığından bölgedeki yüzey dalga yükseklikleri kullanılarak yapılan nümerik modelleme ile tsunami dalgası profili tahmin edilmiştir. Ağızdaki daralma nedeniyle, 8 m/s'den büyük bir akıntı meydana gelmiştir. Yapılan çalışmada taş dolgu bir eğim üzerine yerleştirilmiş keson-tip bir batık dalgakıran kullanılmıştır. Koruyucu kaplama tabakası bloklarının stabilitesinin araştırılması için 16 dakika periyota sahip bir tsunami dalgasına karşılık gelen bir tsunami dalgası üretilmiştir. Taş dolguyu oluşturan bloklar boyutlandırılırken CERC formülü kullanılmış ve deneylerde gözlenen hasar oranı stabilite formülleriyle hesaplanan hasar oranlarıyla hemen hemen aynı olarak bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, akım koşulları için kullanılan stabilite formülü tsunami dalgası etkisi için de kullanılabilir. Periyot uzunluğu nedeniyle, akım periyodik akımdan çok düzenli bir akıma benzemektedir (Cuypers, 2004).

Literatür çalışmalarından görüldüğü gibi, tsunamiden korunma amaçlı bir şevli dalgakıran tasarlanırken deniz tarafı kısa periyotlu dalgalara göre tasarlanmalıdır. Sadece şevli dalgakıranın liman kısmındaki koruyucu tabaka tsunami yüküne göre tasarlanmalıdır.

Şevli dalgakıranın liman tarafındaki tsunami yükü iki bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.9):

- dalgakıran üzerindeki akım
- dalgakıran taşları içerisinden geçen akım



Şekil 2.9: Şevli bir dalgakıran üzerindeki tsunami yükü

Aşan suyun akım hızları ile ilgili bilgi mevcutsa dalgakıran üzerindeki akımın stabiliteye etkisi stabilite denklemleri ile hesaplanabilmektedir. Geçirimli yüzeylerden geçen akım şartları altındaki hasar mekanizmasının belirlenmesi ise daha zordur. Yüksek derecede geçirimli şevli dalgakıran yapısındaki akımın hesaplanması akım geçirgenlik nedeniyle laminar halden türbülanslı hale geldiğinden oldukça kompleks hale gelmektedir. (Cuypers, 2004).

Cuypers (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada özellikle aşan dalga yükünün arka şev stabilitesine katkısı Kamel (1970) tarafından yürütülen çalışmaya göre çeşitli aşma hızına bağlı formüller kullanılarak hesaplanmış ve Kamel (1970)'in deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda deney sonuçları ile uyumlu olduğu belirlenen formüller bulunmasına rağmen, hesaplanan hız değerlerinin gerçekte gözlenebilirliği ve formüllerin deney koşullarına uygunluğu kesin olarak belirlenememiştir. Söz konusu çalışma sonucunda, kısa periyotlu dalgalara göre projelendirilmiş bir dalgakıranda tsunami dalgası aşması görüldüğünde yıkım meydana geleceği sonucuna varılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde yürütülen tez çalışmasının deneysel kısmında kullanılan deney sistemi ve deneylerin yürütülme şekli ile ilgili bilgi verilerek deney bulgularının elde edilme yöntemi ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.1. Deney Sistemi

Bu çalışmada, Gedik (2004, 2005a, 2005b) tarafından “Uzun Dalgaların Tırmanma Yüksekliğinin Deneysel İncelenmesi” konulu çalışmalarda kullanılan ve söz konusu çalışmalarda uzun dalga oluşturulabileceği belirlenmiş olan deney sistemi kullanılmıştır.

Kullanılan deney sistemi temel olarak dalga kanalı, dalga üretici sistem ve dalga kaydedici sistem olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Aşağıda bu birimlerin özellikleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

3.1.1. Dalga Kanalı

Deneyler İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı’nda yer alan dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Dalga kanalı 22.5 m × 1.0 m × 0.5 m boyutlarındadır. İskeleti demirden inşa edilen kanalın yan duvarları deneyler sırasında gözlem yapılabilmesi amacıyla camdan yapılmıştır. Kullanılan dalga kanalının fotoğrafı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Kullanılan deney kanalının fotoğrafı

3.1.2. Dalga Üretici Sistem

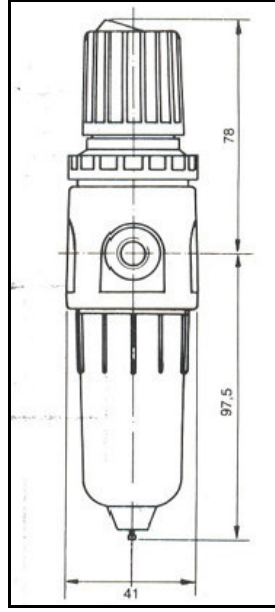
Deneylerde dalga, dalga kanalına yerleştirilen yatay bir levhanın basınçlı hava ile hareket ettirilmesiyle elde edilmiştir. Yatay levha $0.97 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} \times 0.002 \text{ m}$ boyutlarında olup PHS16B mafsalı ile pnömatik silindire bağlanmıştır.

Pnömatik sistemde gerekli olan basınçlı hava bir kompresör (sıkıştırıcı) tarafından üretilerek bir hortum aracılığıyla sisteme iletilmektedir. Basınçlı hava sisteme girmeden önce FR (Y) 1/4 hava hazırlayıcı (şartlandırıcı) içerisinde geçirilmektedir (Şekil 3.2).

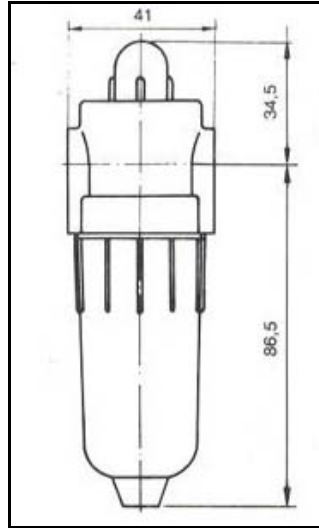


Şekil 3.2: Hava hazırlayıcı (şartlandırıcı)

Kullanılan hava hazırlayıcı birleşik filtre-regülatör (FR) (Şekil 3.3) ve yağlayıcıdan (Y) (Şekil 3.4) oluşmaktadır. Sıkıştırılmış hava, pnömatik sistemde su damlacıkları, toz, kompresör yağlama yağı artıkları, pas parçacıkları, çapaklar, vb. maddeler içermektedir. Sistemdeki tüm elemanlar sıkıştırılmış hava ile temas halinde bulunduklarından olası arızaları önlemek ve bu elemanların ömürlerini uzamak amacıyla sıkıştırılmış hava bu sistemdeki filtreden geçirilerek içerisindeki yabancı maddelerden arındırılmaktadır. Filtre çalışma basıncı 0-10 bardır. Sistemde yer alan regülatör ise kompresörden gelen ve basıncı sürekli olarak değişen havanın sisteme giriş basıncının istenen değere ayarlanmasını sağlamaktadır. Regülatör giriş basıncı 0-16 bar, çıkış basıncı ise 0,5-10 bar basınç değerlerinde çalışmaktadır. Aşınmaların ve sürtünme nedeniyle oluşan kayıpların en aza indirilmesi ve korozyona karşı korunma amacıyla sisteme giren hava yağlayıcı aracılığıyla yağlanmaktadır. Yağlayıcının çalışma basıncı 0-10 bardır. Yağlayıcıda özel hava hazırlayıcı yağ kullanılmaktadır (Gedik, 2004).

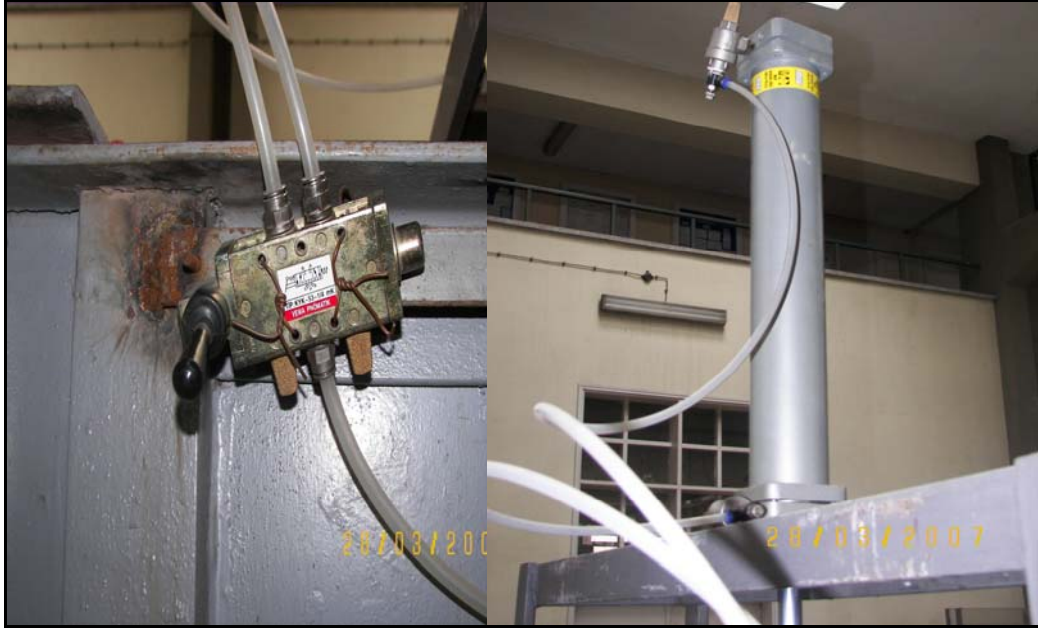


Şekil 3.3: Filtre-Regülatör (FR) (www.mert.com)



Şekil 3.4: Yağlayıcı (Y) (www.mert.com)

Tsunami dalgası oluşturmak için kullanılan yatay levhayı hareket ettiren NS80-500 pnömatik silindirin hareket ettirilerek dalga üretilmesi için el kumandalı sürgülü tip valf kullanılmıştır (Şekil 3.5). Kullanılan sürgülü valf iki yönde hareket edebildiğinden sistemde aynı basınç değerlerinde iki farklı dalga üretilmektedir. Pistonun kanaldaki su kütlesini ani bir şekilde hareket ettirebilmesi için pistonun giriş ve çıkışına çabuklaştırıcı egzoz ve pistonun hızını ayarlayabilmek için bu egzozların üzerlerine hız ayar valfleri yerleştirilmiştir (Gedik, N., 2004).



Şekil 3.5: El kumandalı sürgülü tip valf ve egzozlar

Düzenli dalga kullanılarak yapılan deneyler aynı dalga kanalında dalga paleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.1.3. Dalga Kaydedici Sistem

Deneyler sırasında üretilen dalgaların neden olduğu su yüzeyi deplasmanlarının ölçülmesi için dalga kanalına 4 adet pirinçten yapılmış, rezistans tip dalga elektrodu yerleştirilmiştir. Kullanılan dalga elektrotları, dalga probunun çubukları arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su yüzeyinin alçalıp yükselmesi sırasında direncin değişmesi prensibine dayalı olarak çalışmaktadır. Probların ölçtüğü direnç değerlerini (volt) uzunluk birimine (cm) doğru bir şekilde çevirebilmek için her kullanımdan önce kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu dalga problemlerinden bir tanesi oluşturulan dalgakıran kesiti önündeki 1/20 eğimli kum şev üzerine, diğerleri ise dalga paletine doğru aralıklı olarak yerleştirilmiştir. Dalga problemlerinden gelen verileri kaydedebilmek amacı ile ise bir dalga monitörü, bir data logger ve bir PC kullanılmıştır.

3.2. Deney Yöntemi

3.2.1. Dalgakıran Kesitleri

Çalışma için dalga kanalında 1/2 (Kesit I) ve 1/1.25 (Kesit II) olmak üzere iki farklı şev eğimine sahip iki adet kronman duvarsız dalgakıran kesiti kurulmuştur (Ek A).

Söz konusu kesitlerde kullanılacak koruyucu kaplama tabakası taş ağırlıkları Hudson formülüne göre belirlenmiştir. Dalgakıran alt anroşman tabakası için tüm kesitlerde 18-30 g ağırlık aralığında taş kullanılmıştır. Çekirdek dolguda ise çok ince malzeme kullanılmıştır. Kesitler hazırlanırken anroşman tabakaları yerleştirilmeden önce çekirdek dolgu ıslatılarak malzeme arasındaki boşlukların dolması nedeniyle oluşacak çökme engellenmiştir. Anroşman tabakalarındaki taşlar yerleştirilmeden önce yıkanarak aralarındaki toz malzeme uzaklaştırılmıştır. Her iki anroşman tabakasında yer alan taşlar yaklaşık 30 cm yükseklikten bırakılarak rastgele yerleşim sağlanmıştır. Bu şekilde taşların daha sıkı yerleşerek deneyler sırasında belirlenecek hasar değerlerini etkilememesi amaçlanmıştır.

Her bir dalgakıran kesiti kronmansız, kronmanlı ve çekirdek üzerindeki taş tabakaları arasından geçen akımı engellemek için kullanılan geçirimsiz levha yer alacak şekilde üç kez değiştirilerek aynı şev eğimleri için farklı kesit konfigürasyonları elde edilmiştir.

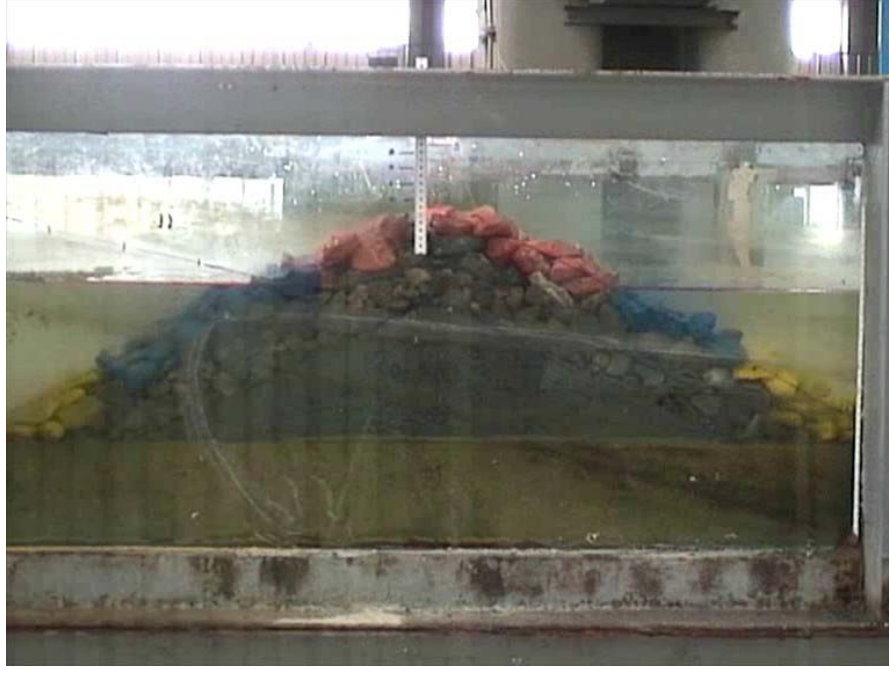
Dalgakıran koruyucu tabakasında kullanılan malzemenin ağırlığının etkisinin gözlenebilmesi için her kesitteki deneyler ayrıca 30-50 g ağırlık aralığındaki taşlar ile tekrarlanmıştır.

3.2.2. Tsunami Tipi Uzun Dalgalar İle Yapılan Deneyler

Kurulan her iki dalgakıran kesitinde tüm konfigürasyonlarda tsunami dalgası ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Her konfigürasyonda üç farklı basınç değerinde (6 Bar, 8 Bar ve 10 Bar) ve piston aşağı ve yukarı hareket ettirilerek iki farklı piston konumunda toplam 6 deney yapılmıştır. Her deneyde piston bir kez hareket ettirilerek tek bir dalga gönderilmiştir. Her deney yaklaşık 20 saniye sürdürülmüştür. Tsunami dalgası üretilerek yapılan toplam deney sayısı 72'dir. Elde edilen dalga karakteristikleri kullanılarak Bölüm 5'te verilen değerlendirmeler yapılmıştır.

3.2.1.1. Kronmansız Dalgakıran Kesitleri

Dalga kanalında inşa edilen farklı şev eğimlerine sahip iki adet dalgakıran kesitine levha düşey yönde hareket ettirilerek farklı yüksekliğe sahip tsunami dalgaları oluşturulmuştur (Şekil 3.6). Dalgakırandaki meydana gelen hasarı belirlemek amacıyla kesitte yer alan taşların hareketi gözlenmiştir.



Şekil 3.6: Kronmansız dalgakıran kesiti

3.2.1.2. Kronmanlı Dalgakıran Kesitleri

Kronmansız olarak inşa edilen dalgakıran kesitlerinde dalgakıran tepesinde yer alan koruyucu kaplama tabakası taşları kaldırılıp aynı kret yüksekliğini sağlayacak şekilde ahşap kronman yerleştirilerek kronmansız dalgakıran için gerçekleştirilen deneyler tekrarlanmıştır (Şekil 3.7). Dalgakıranda meydana gelen hasarı belirlemek amacıyla kesitte yer alan taşların hareketi gözlenmiştir.



Şekil 3.7: Kronmanlı dalgakıran kesiti

3.2.1.3. Levhalı Dalgakıran Kesitleri

Kronmansız olarak inşa edilen dalgakıran kesitlerinde aşan dalga yükünün stabiliteye etkisini belirleyebilmek için kretten çekirdek tabakasına kadar bir geçirimsiz bir levha yerleştirilerek kronmansız dalgakıran için gerçekleştirilen deneyler tekrarlanmıştır (Şekil 3.8). Dalgakıranda meydana gelen hasarı belirlemek amacıyla kesitte yer alan taşların hareketi gözlenmiştir.



Şekil 3.8: Geçirimsiz levha

3.2.3. Düzenli Dalga Serileri İle Yapılan Deneyler

Tsunami dalgasının yanı sıra, düzenli dalga serileri ile tsunami dalgasının etkisini karşılaştırmak amacıyla tsunami dalgası ile gerçekleştirilen deneylerde oluşturulan kronmansız levhasız ve kronmanlı dalgakıran kesiti konfigürasyonlarında dalga kanalına monte edilen dalga paleti ile düzenli dalga oluşturulmuştur. Her konfigürasyon için iki farklı periyotta ve 3 farklı eksantrisite değerinde toplam 6 dalga serisi üretilmiştir. Düzenli dalga serilerinde her deney 5 dk sürdürülmüştür. Dalgakıranda meydana gelen hasarı belirlemek amacıyla kesitte yer alan taşların hareketi gözlenmiştir. Düzenli dalga serileri ile yapılan toplam deney sayısı 48'dir. Elde edilen dalga karakteristikleri kullanılarak Bölüm 4'te verilen değerlendirmeler yapılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Üretilen Dalgaların Analizi

Tsunami dalgaları üretilerek gerçekleştirilen deneylerde yükseklikleri 5.69 ile 10.11 arasında değişen açık deniz dalgaları üretilmiştir. Deney sonuçları kullanılarak hazırlanan su yüzü profili grafikleri, su yüzü profili $(1 + \frac{\eta}{d})$ -zaman serisi grafikleri ile birlikte EK B’de verilmiştir. Ayrıca, oluşturulan grafik sayısı nedeniyle bu grafiklerin bir kısmı ve kaydedilen tez videoları bu tezin arka kapağında yer alan CD içerisinde verilmiştir.

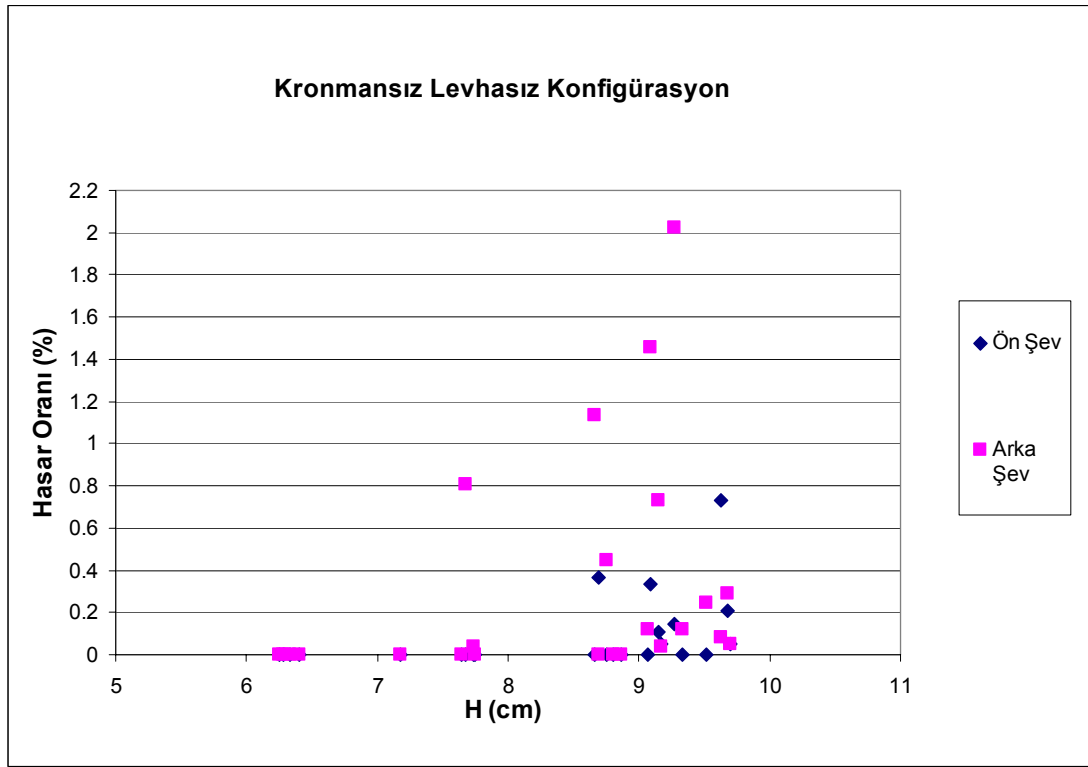
Düzenli dalga serileri üretilerek gerçekleştirilen deneylerde ise yükseklikleri 3.86 ile 12.6 cm arasında değişen düzenli dalgalar üretilmiştir. Ölçülen yükseklikler hesaplamalarda kullanılırken, en yüksek 1/10 dalga yüksekliği değerinin ortalaması olan $H_{1/10}$ değeri göz önüne alınmıştır.

4.2. Tsunami Etkisi Altında Hasar Oranı Değişimlerinin İncelenmesi

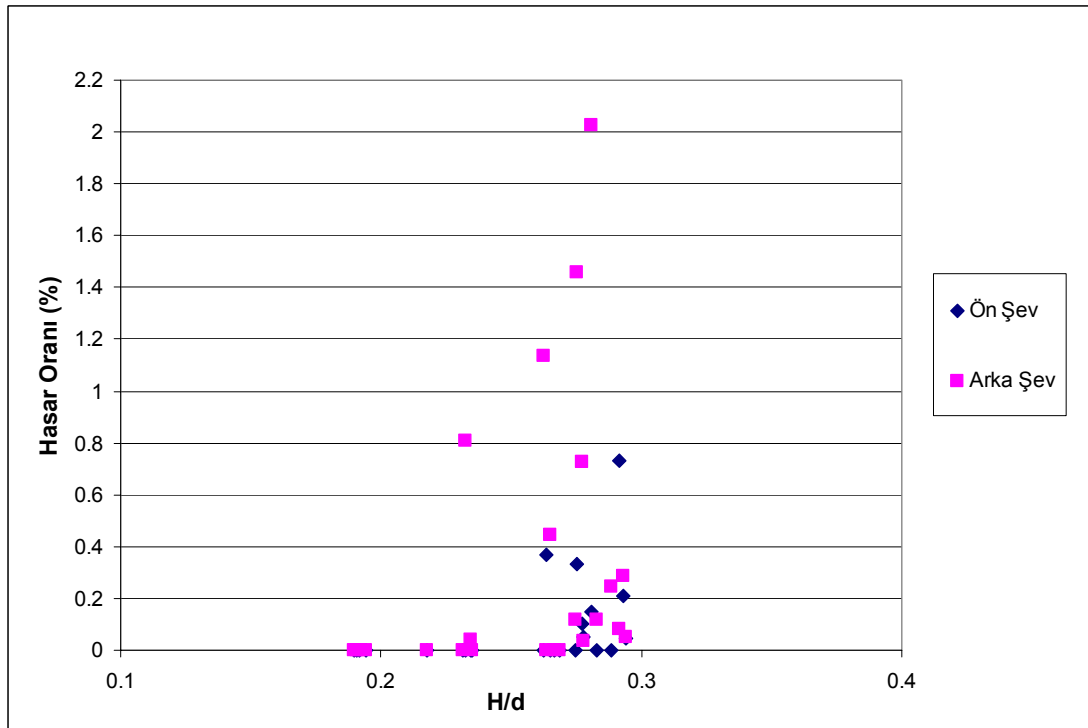
Bu bölümde oluşturulan deney kesitlerinde tsunami dalgası etkisi oluşturularak yürütülen deney sonuçları değerlendirilmiştir. Söz konusu deney sonuçları genel olarak EK C’de verilmiştir.

4.2.1. Tsunami Etkisi Altında Kronmansız Konfigürasyonlarda Çeşitli Dalga Yüksekliklerinde Meydana Gelen Hasar Oranı Değişiminin İncelenmesi

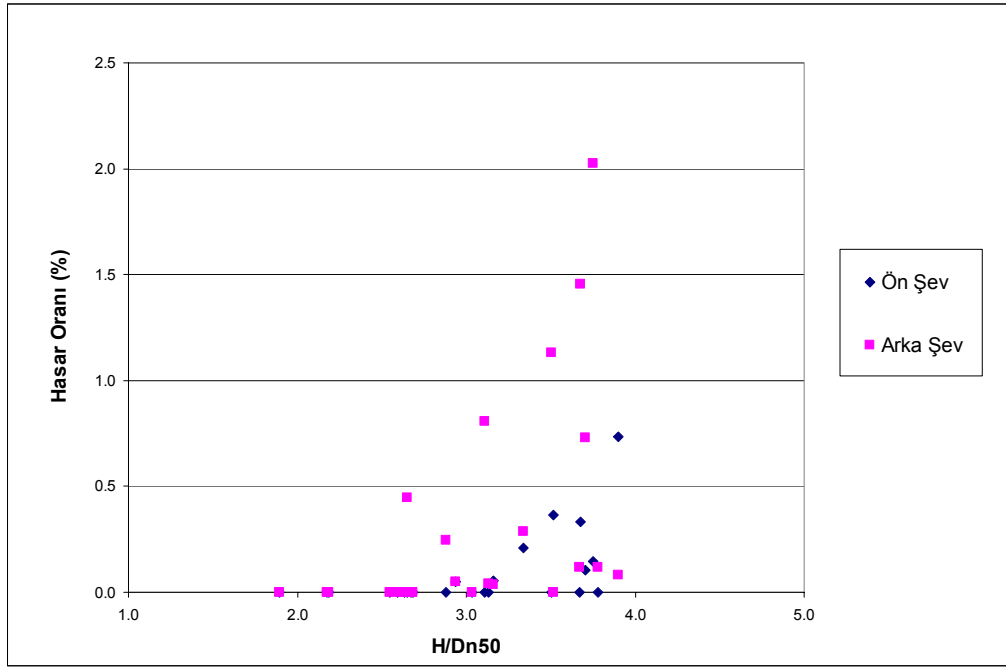
Kronmansız konfigürasyonlarda yapılan deney sonuçlarının tümünde gözlenen dalga yüksekliği-hasar oranı, H/d -hasar oranı ve H/D_{n50} -hasar oranı grafiği oluşturulan dalgakıran kesitlerinin ön ve arka şevleri için sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.1: Kronmansız-Levhasız konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen hasar oranları



Şekil 4.2: Kronmansız-Levhasız konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen H/d-hasar oranı ilişkisi

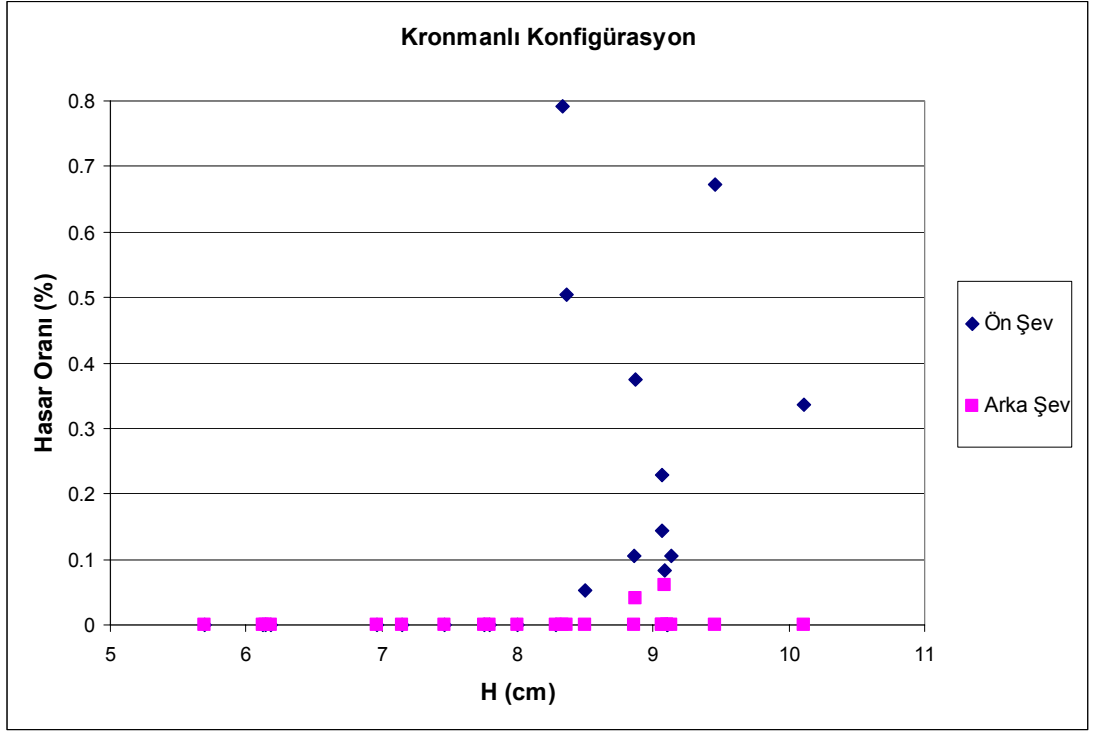


Şekil 4.3: Kronmansız-Levhasız konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen H/D_{n50} -hasar oranı ilişkisi

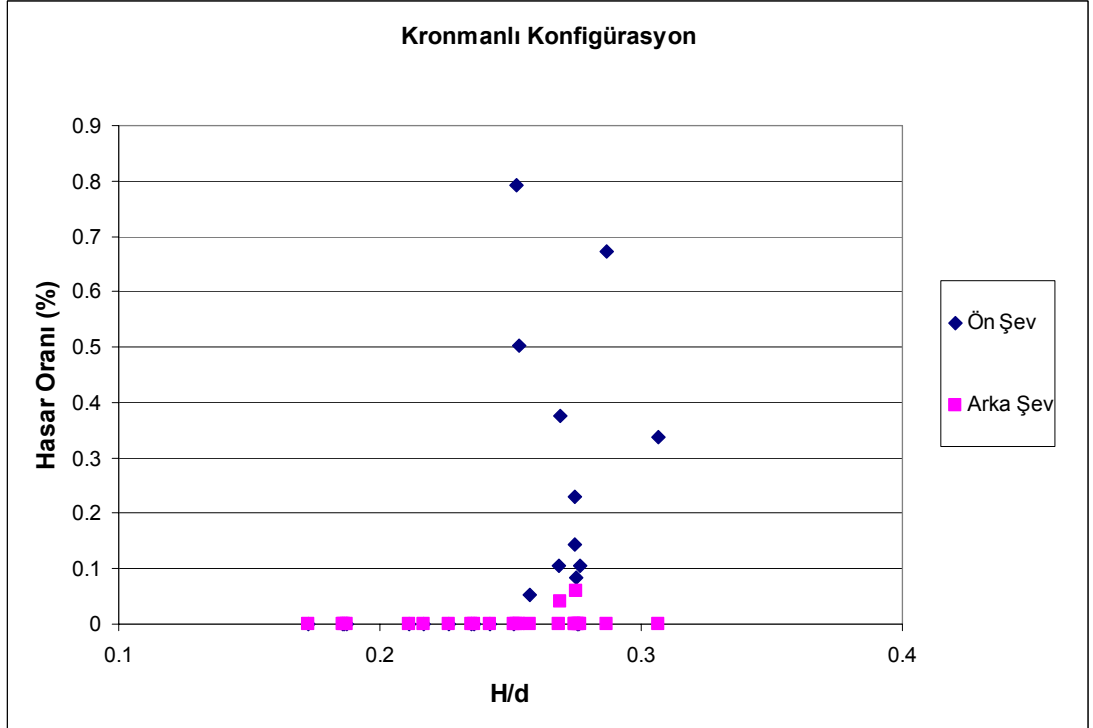
Dalgakıran üzerinde bir yapı olmaması durumunda dalgakıran kesitlerinin arka kısımlarında daha yüksek hasar oranları gözlenmiştir. Bu durumun nedeni tsunami dalgasının dalgakıranı aşarak ve dalgakıran koruyucu tabaka taşları arasından geçerek oluşturduğu etkidir (Şekil 4.1).

4.2.2. Tsunami Etkisi Altında Kronmanlı Konfigürasyonlarda Çeşitli Dalga Yüksekliklerinde Meydana Gelen Hasar Oranı Değişiminin İncelenmesi

Kronmanlı konfigürasyonlarda yapılan deney sonuçlarının tümünde gözlenen hasar oranları-dalga yüksekliği ve hasar oranları- H/d grafiği oluşturulan dalgakıran kesitlerinin ön ve arka şevleri için Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4: Kronmanlı konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen hasar oranları

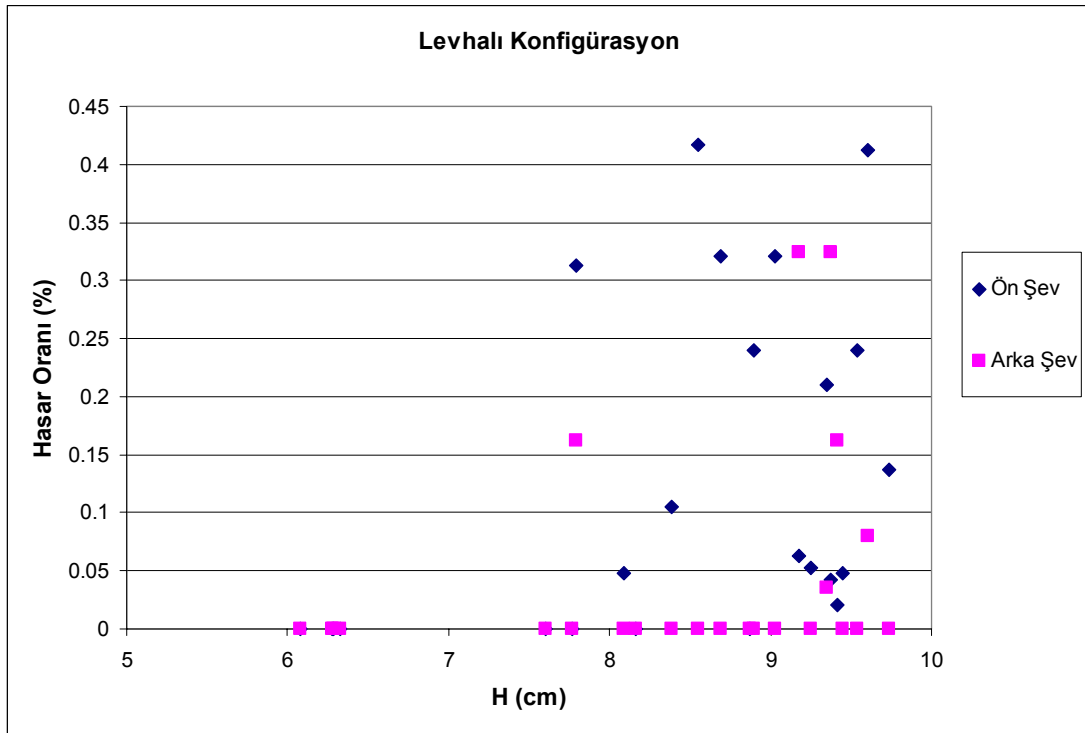


Şekil 4.5: Kronmanlı konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen H/d-hasar oranı ilişkisi

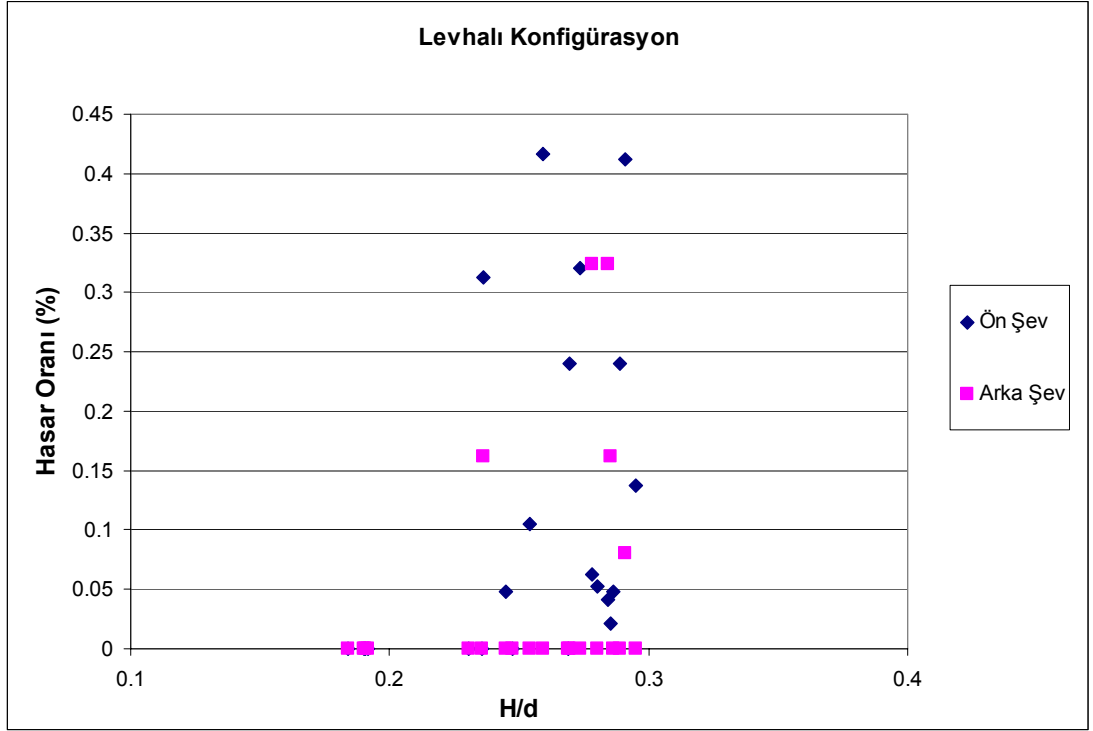
Dalgakıranın arka şevine dalga aşması kronman nedeniyle engellendiğinden deneylerin çoğunda arka şevde hasar gözlenmemiştir. Yalnızca ikinci kesitte düşük taş ağırlığı ile yapılan deneylerde kronmanın dalga kuvveti etkisiyle deplasman yapması sebebiyle hasar gözlenmiştir.

4.2.3. Tsunami Etkisi Altında Levhalı Konfigürasyonlarda Çeşitli Dalga Yüksekliklerinde Meydana Gelen Hasar Oranı Değişiminin İncelenmesi

Levhalı konfigürasyonlarda yapılan deney sonuçlarının tümünde gözlenen hasar oranları-dalga yüksekliği ve hasar oranı-H/d grafiği oluşturulan dalgakıran kesitlerinin ön ve arka şevleri için sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6: Levhalı konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen hasar oranları



Şekil 4.7: Levhalı konfigürasyonda ön ve arka şevlerde gözlenen hasar oranı-H/d ilişkisi

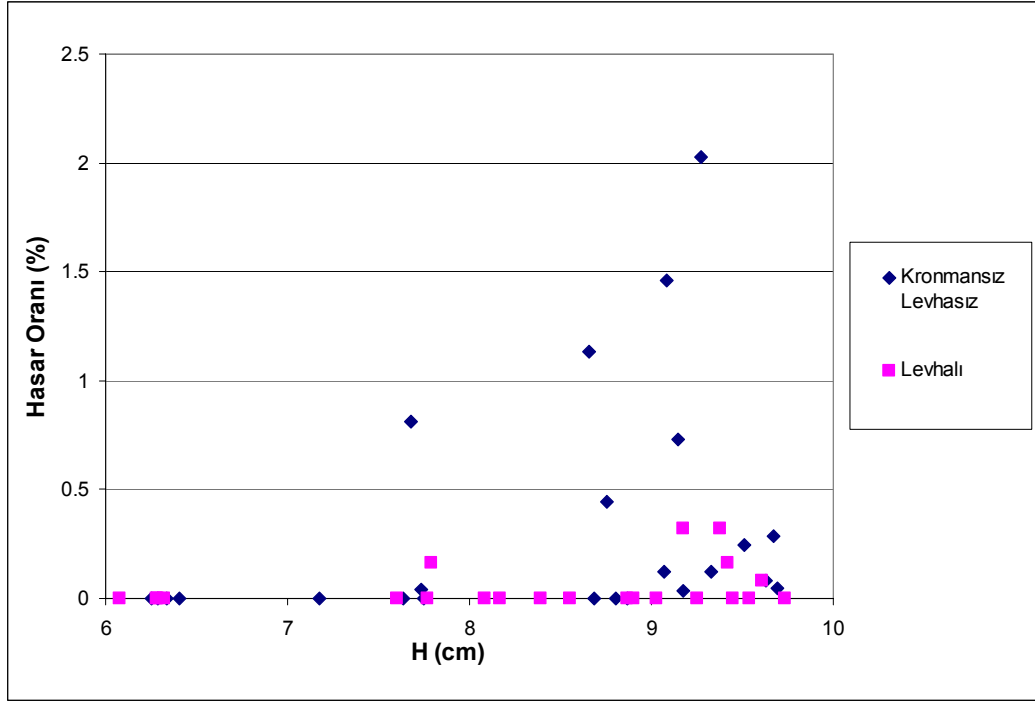
Levhalı konfigürasyonlarda dalgakıran koruyucu kaplama tabakası taşları arasındaki akım bir levha ile kesilerek aşan dalga yükünün etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneylerin çoğununda arka şevde hasar gözlenmezken ön şevde hasar gözlenmeyen deney olmamıştır.

4.2.4. Dalgakıran Konfigürasyonlarının Karşılaştırılması

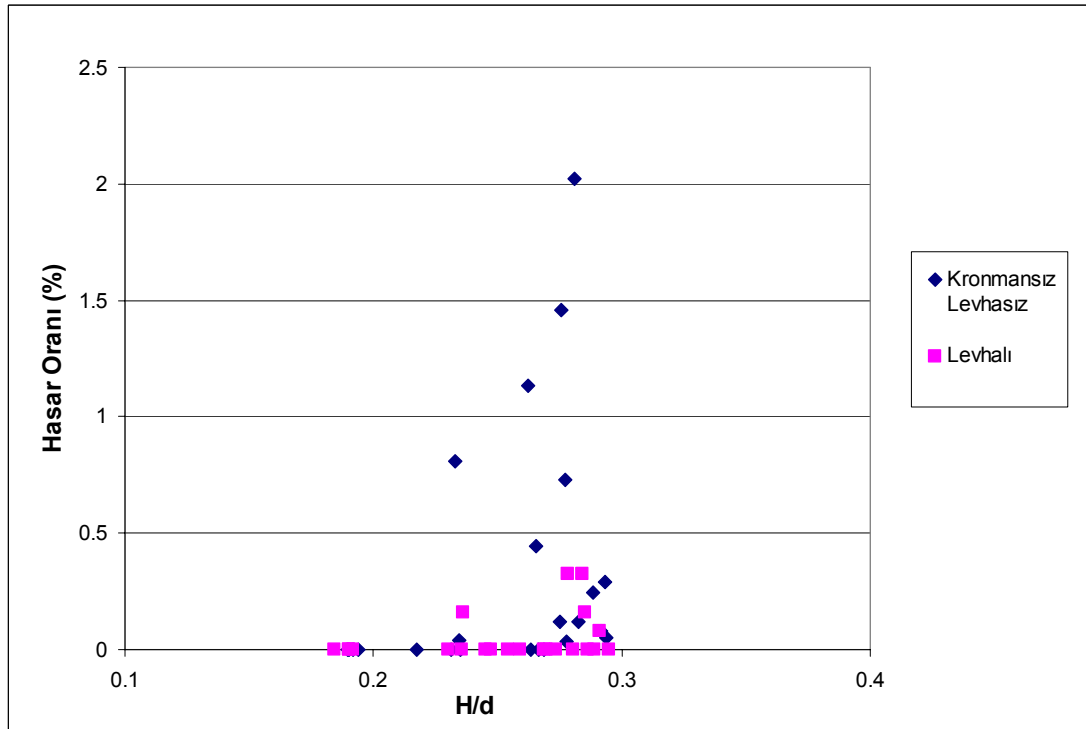
Bu kısımda Bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3'te farklı konfigürasyonlar için ayrı ayrı verilmiş olan deney sonuçları birlikte değerlendirilerek dalgakıran konfigürasyonlarının tsunami dalgası etkisi altındaki stabiliteleri karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, Şekil 4.8'de, tüm deneyler için kronmansız-levhasız ve levhalı konfigürasyonlarda arka şev hasar oranı-dalga yüksekliği, Şekil 4.9'da tüm deneyler için kronmansız-levhasız ve levhalı konfigürasyonlarda arka şev hasar oranı-H/d grafiği ve Şekil 4.10'da arka şev hasar oranı-H/D_{n50} grafiği verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, koruyucu kaplama tabakası arasından geçen akımın kesildiği levhalı konfigürasyonda gözlenen hasar oranları kronmansız-levhasız konfigürasyonda gözlenen hasar oranlarına göre belirgin bir şekilde daha yüksektir. Bu durum,

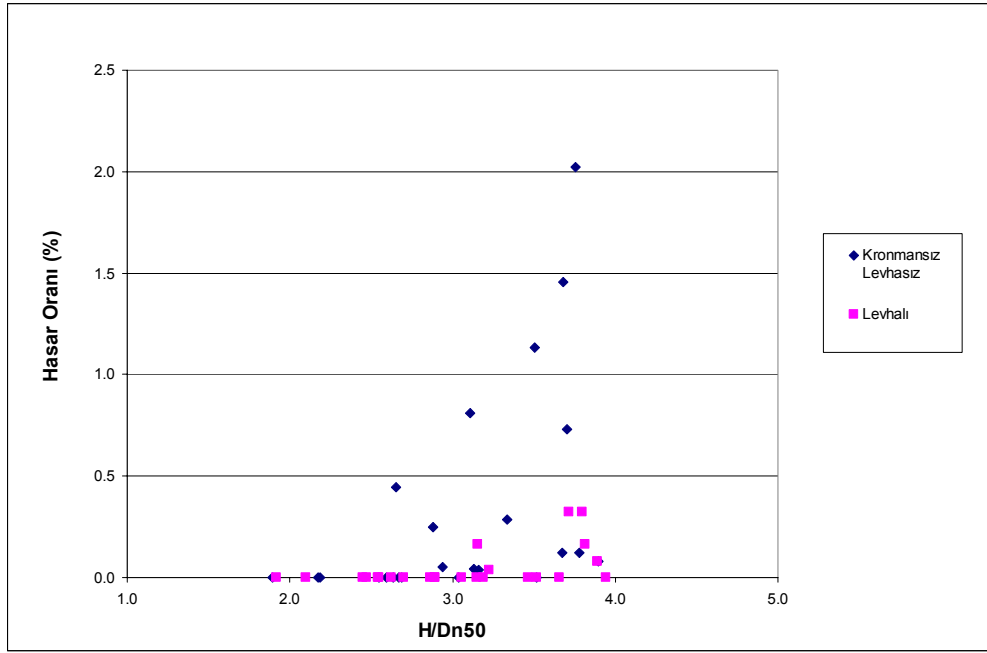
geçirimli yüzeyden geçen söz konusu akımın dalga aşma etkisine göre arka şev stabilitesinde daha etkin olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.8. Arka şev için kronmansız-levhasız ve levhalı konfigürasyonların karşılaştırılması

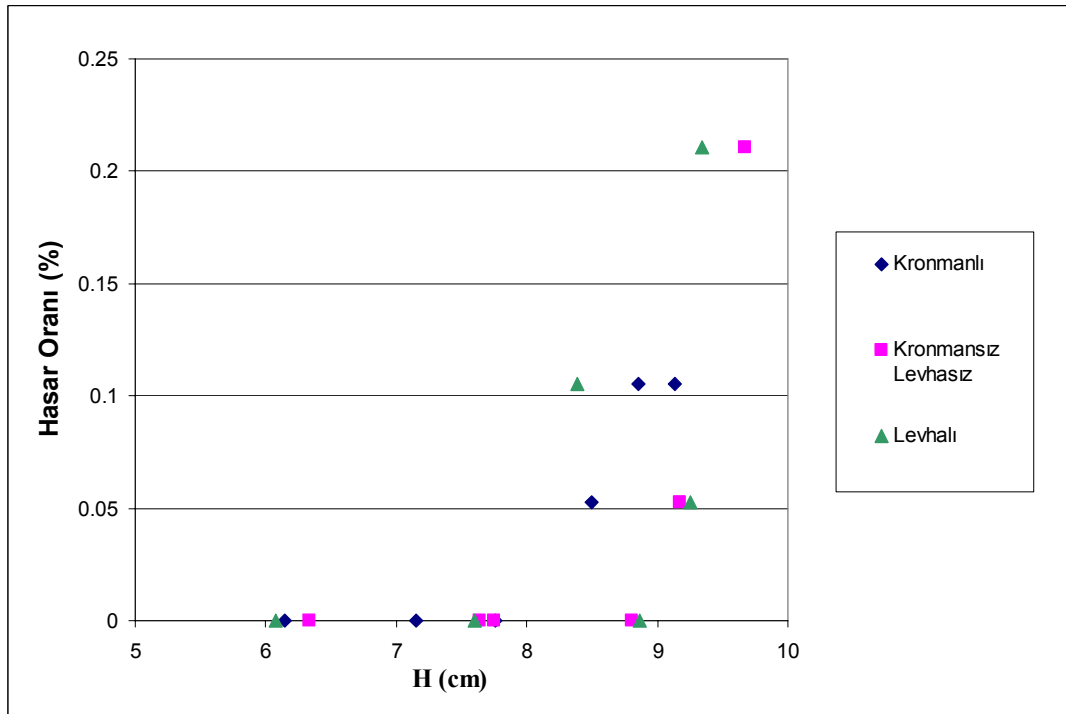


Şekil 4.9. Kronmansız-levhasız ve levhalı konfigürasyonlarda arka şev için hasar oranı- H/d ilişkisi

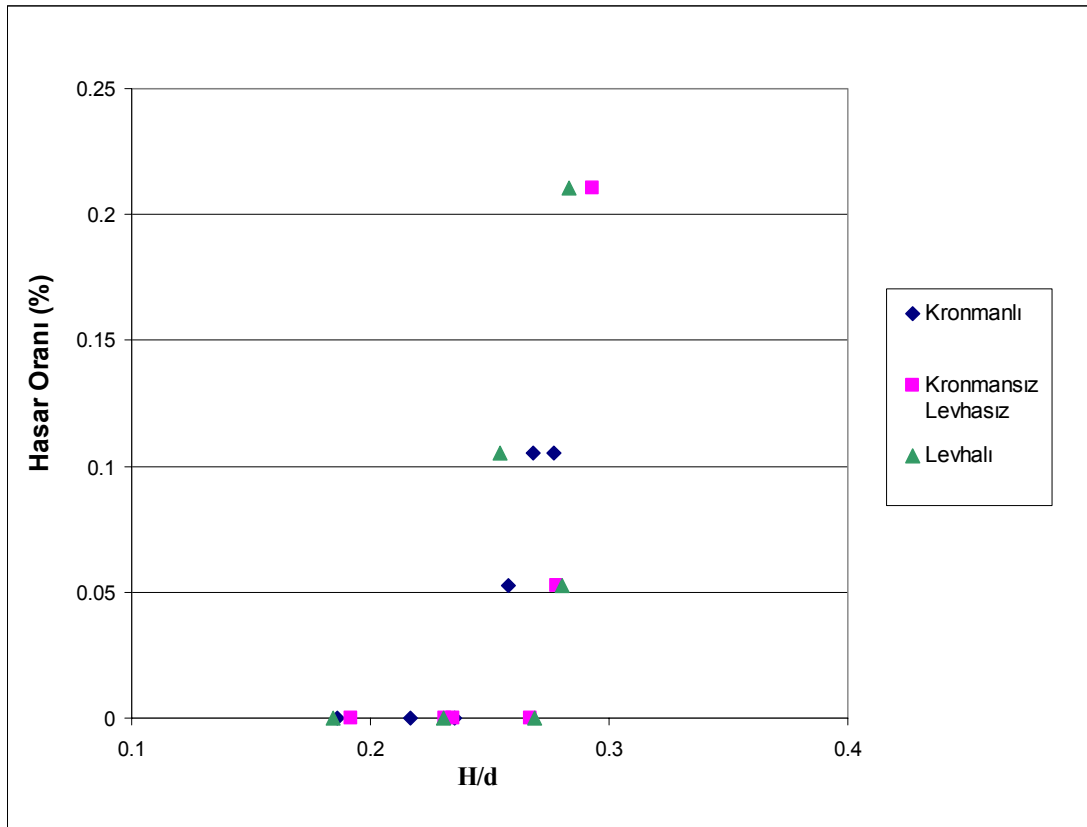


Şekil 4.10. Kronmansız-levhasız ve levhalı konfigürasyonlarda arka şev için hasar oranı-H/D_{n50} ilişkisi

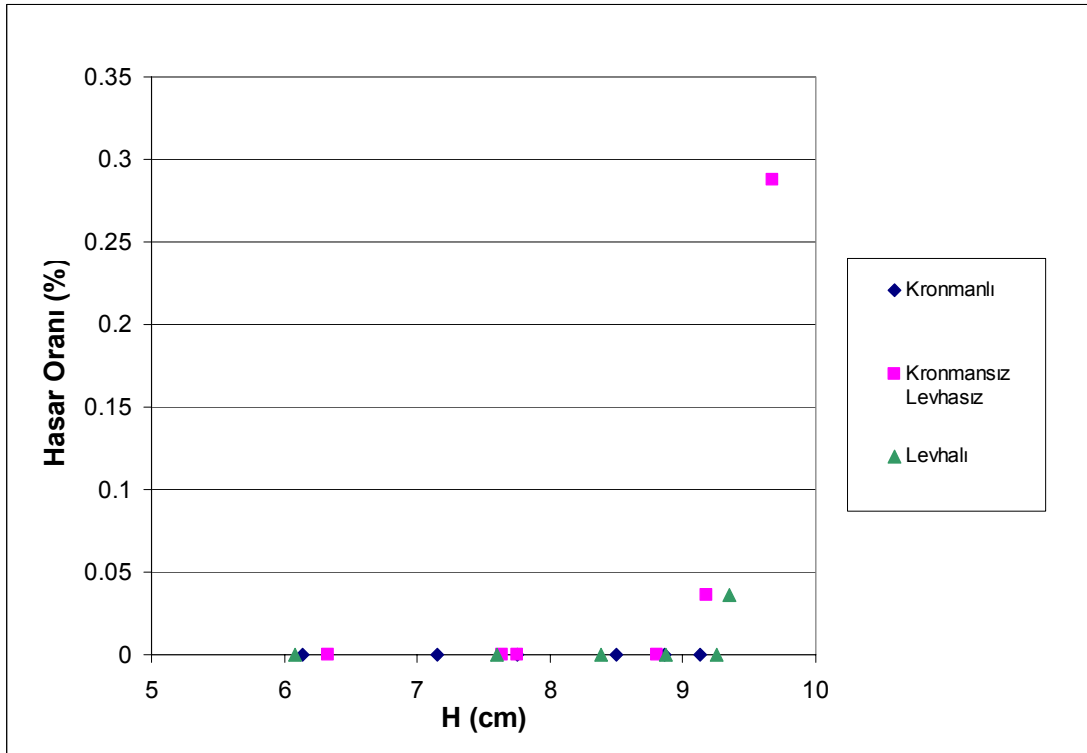
Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14’te Kesit I ön ve arka şevler için, 50–80 g ağırlığında taş kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen açık deniz dalga yüksekliği (H) - hasar oranı ve H/d –hasar oranı grafikleri her üç konfigürasyon için verilmiştir.



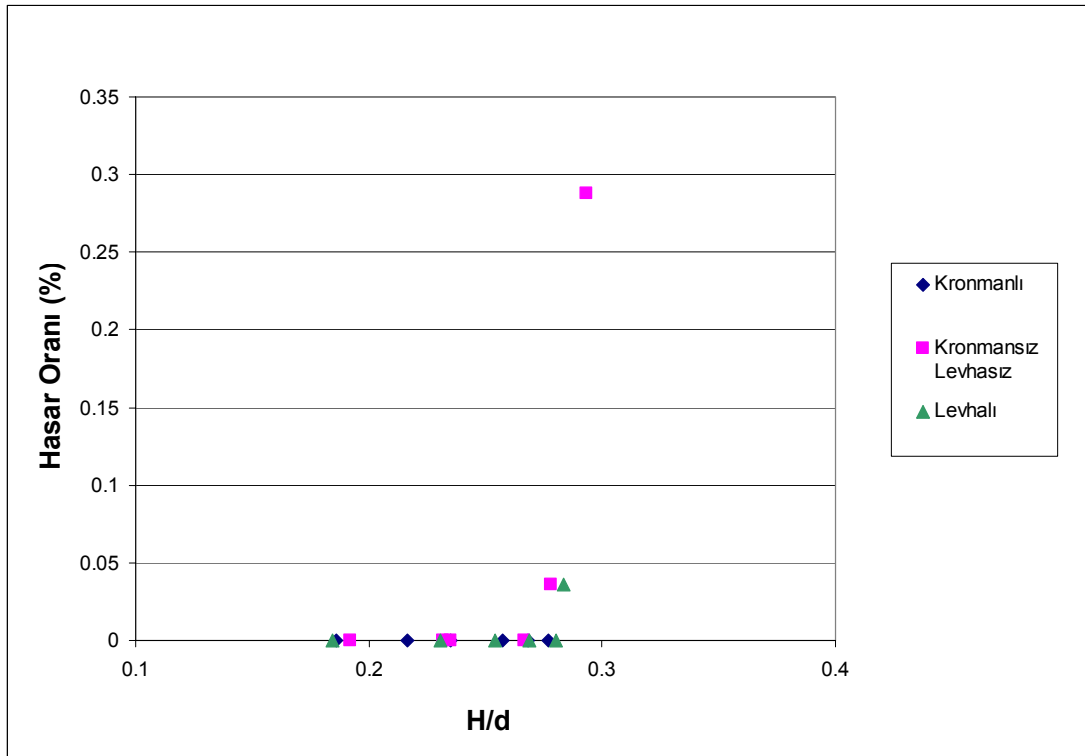
Şekil 4.11: Kesit I – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 50-80 g)



Şekil 4.12: Kesit I – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 50-80 g)



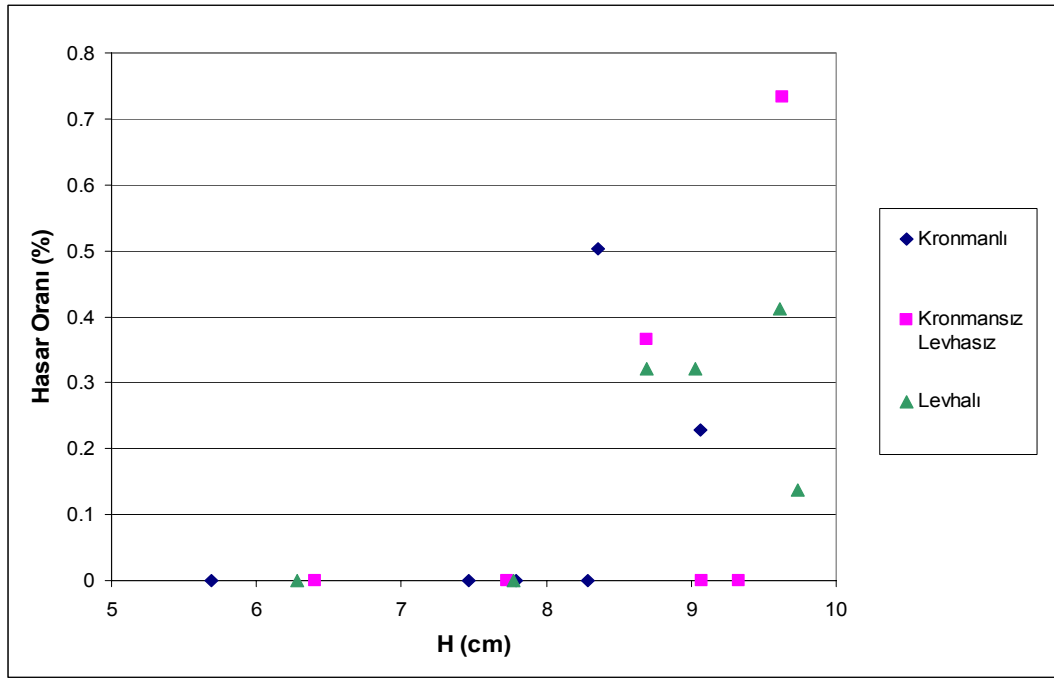
Şekil 4.13: Kesit I – Arka şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 50-80 g)



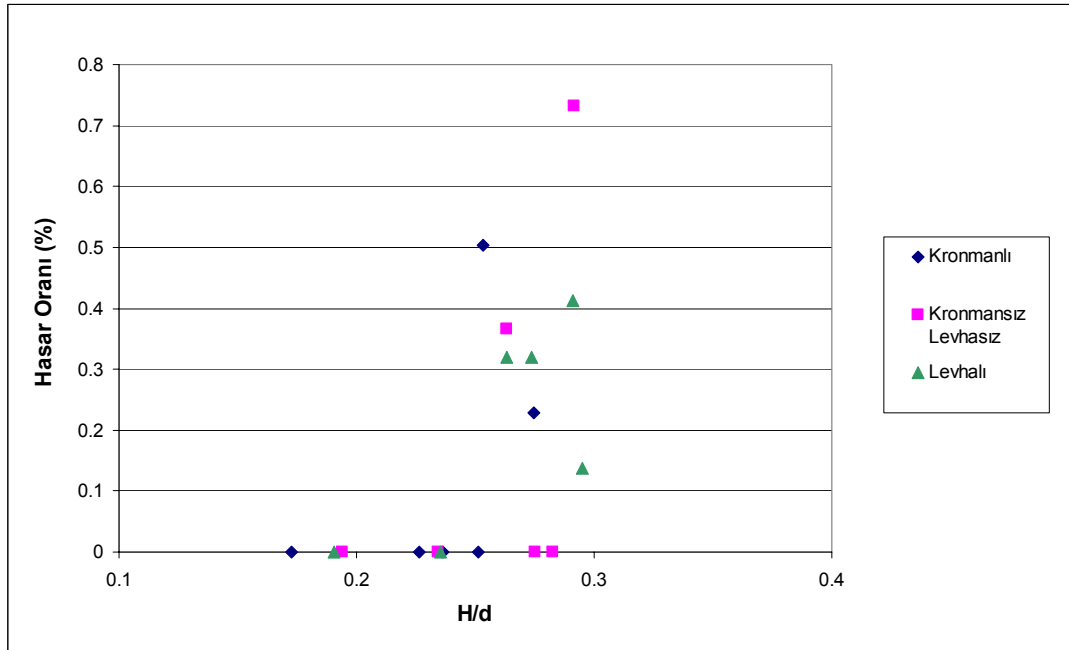
Şekil 4.14: Kesit I – Arka şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 50-80 g)

Şekil 4.11 ve 4.12’den görüldüğü gibi, ön şevde, aynı dalga yükseklikleri için kronmanlı konfigürasyonda gözlenen hasar oranları diğer iki konfigürasyona göre daha yüksektir. Arka şevde ise kronman nedeniyle hasar gözlenmemekte, en yüksek hasar oranları ise kronmansız-levhasız konfigürasyonda meydana gelmektedir (Şekil 4.13-14).

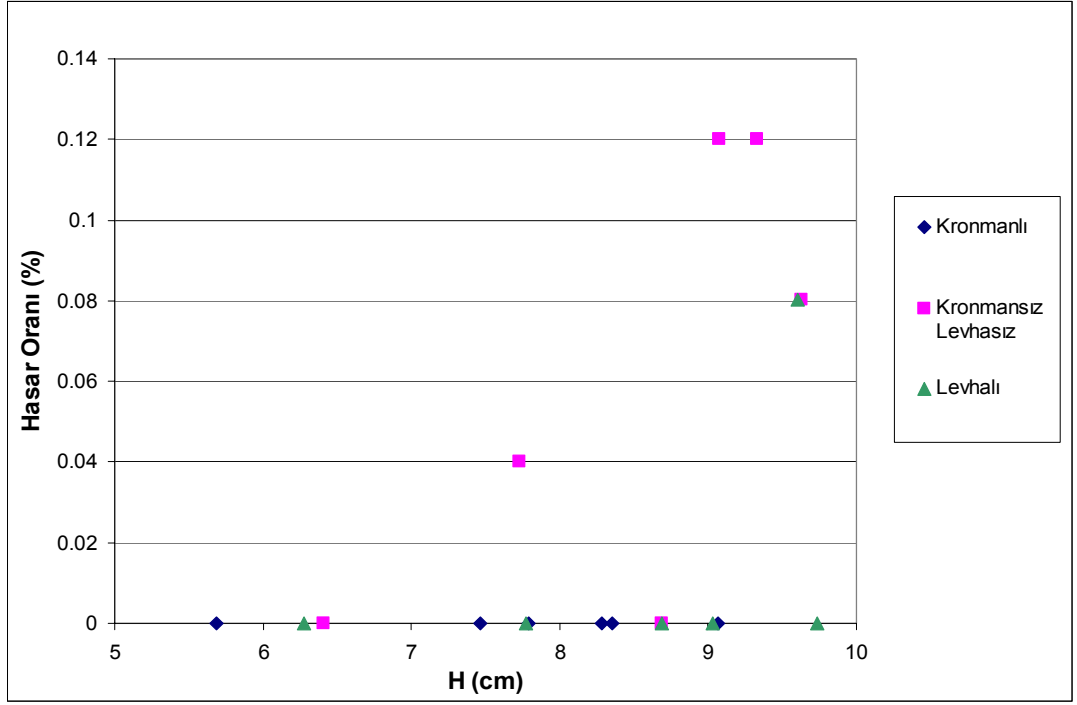
Şekil 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18’de Kesit I için, 30–50 g ağırlığında taş kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen açık deniz dalga yüksekliği (H)- hasar oranı ve H/d-hasar oranı grafikleri her üç konfigürasyon ve ön ve arka şev için verilmiştir.



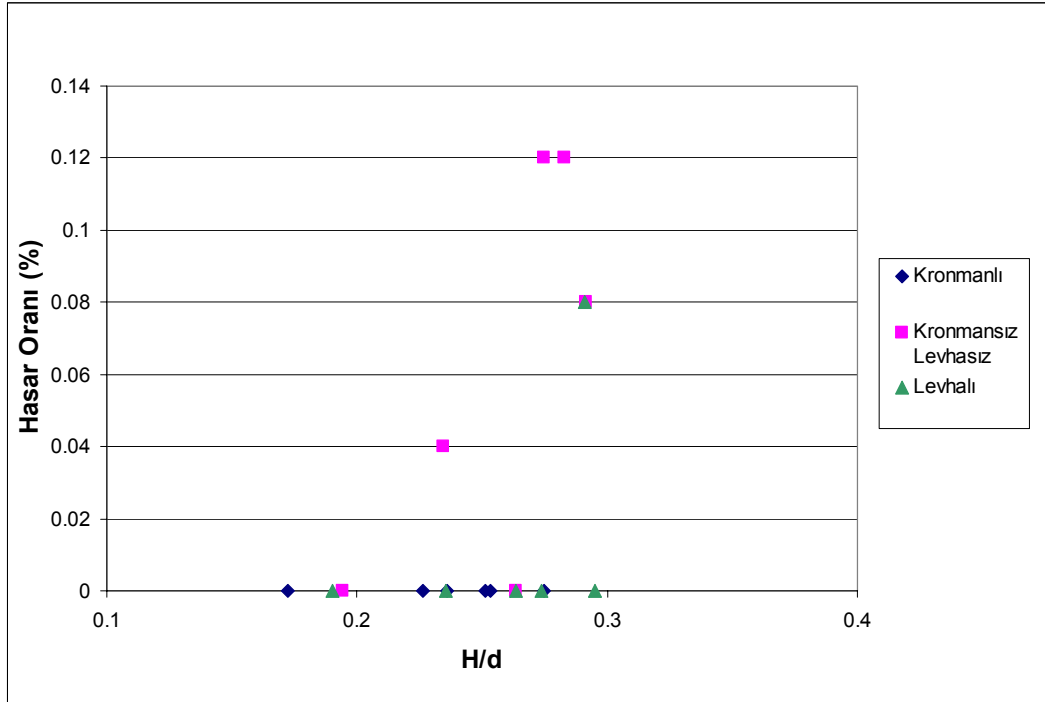
Şekil 4.15: Kesit I – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)



Şekil 4.16: Kesit I – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)



Şekil 4.17: Kesit I – Arka şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)

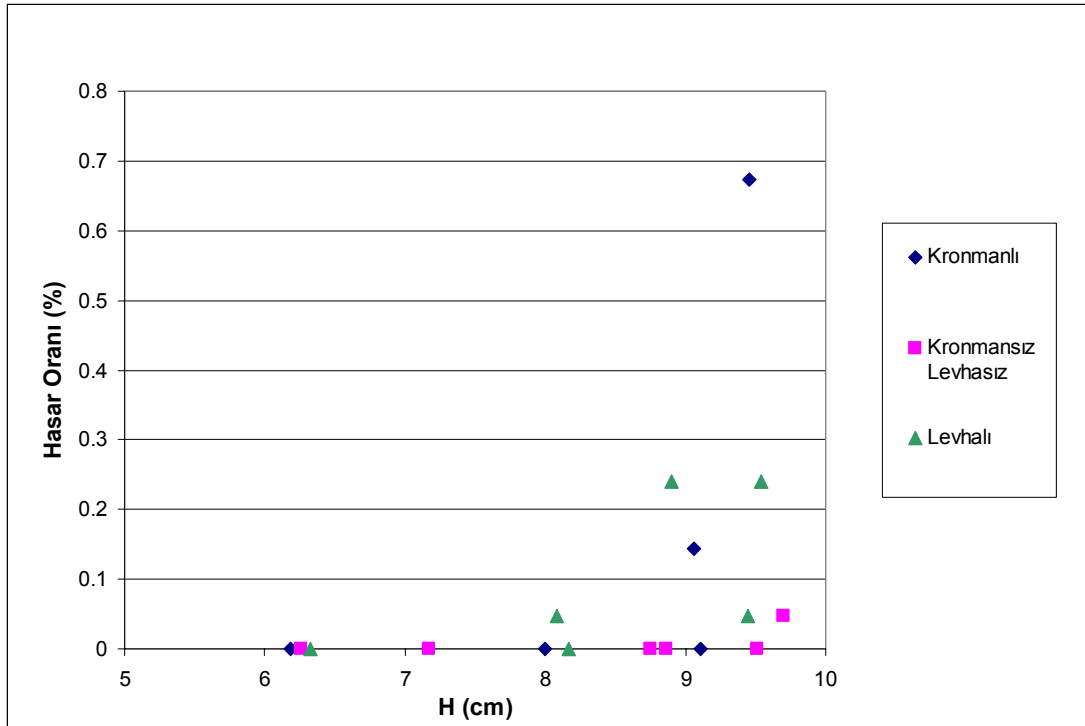


Şekil 4.18: Kesit I – Arka şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)

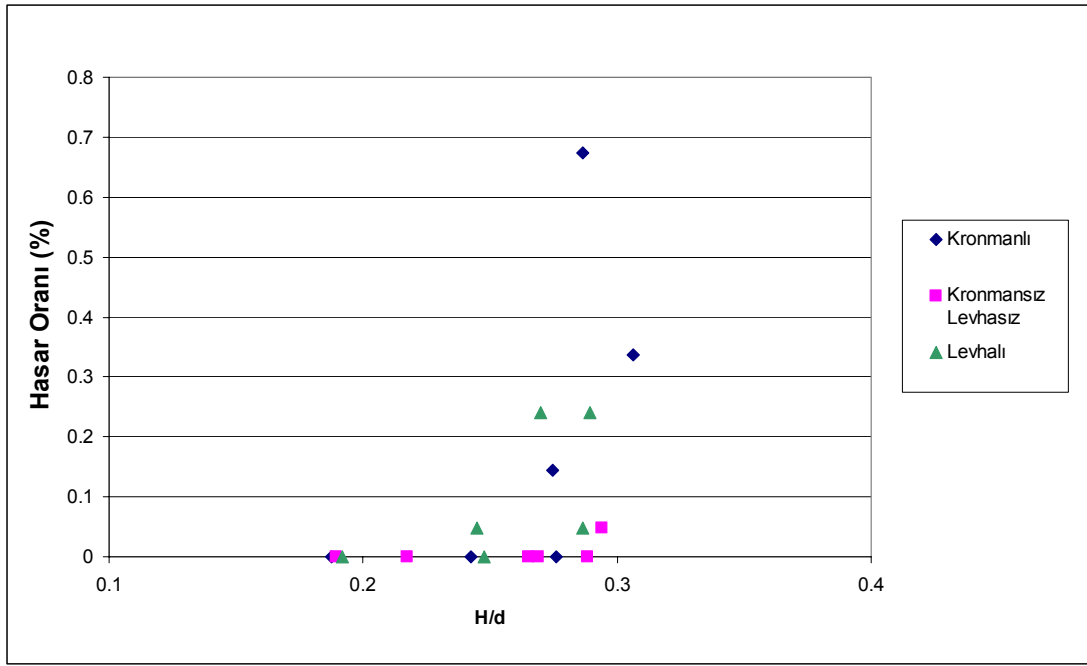
Kesit I için daha düşük ağırlıkta koruyucu kaplama tabakası taşlarının kullanıldığı deneylerde, ön şev için, yakın dalga yükseklikleri için gözlenen hasar oranları kronmanlı konfigürasyonda kronmansız-levhasız konfigürasyona göre daha yüksektir.

Levhalı konfigürasyonla yapılan deney sonuçlarında ise saçılmalar gözlenmiştir (Şekil 4.15–16). Aynı deneylerde, kronman nedeniyle arka şevde hasar gözlenmemiş, kronmansız-levhasız konfigürasyonda ise levhalı konfigürasyona göre daha fazla deneyde daha yüksek oranlarda hasar oranları gözlenmiştir. Bu durum koruyucu kaplama tabakası taşları arasından geçen akım etkisinin kesilmesidir. Genel olarak bakıldığında ise deneylerde elde edilen hasar oranları oldukça düşüktür.

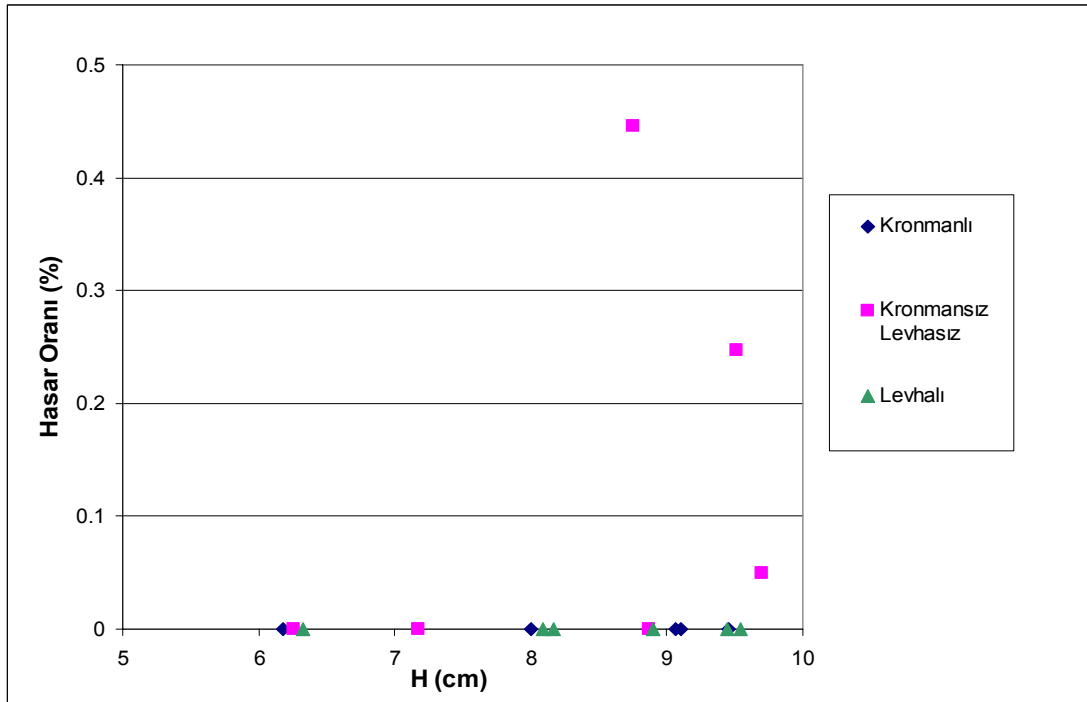
Şekil 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22’de Kesit II için, 70–120 g ağırlığında taş kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen açık deniz dalga yüksekliği (H)- hasar oranı ve H/d-hasar oranı eğrileri her üç konfigürasyon için verilmiştir.



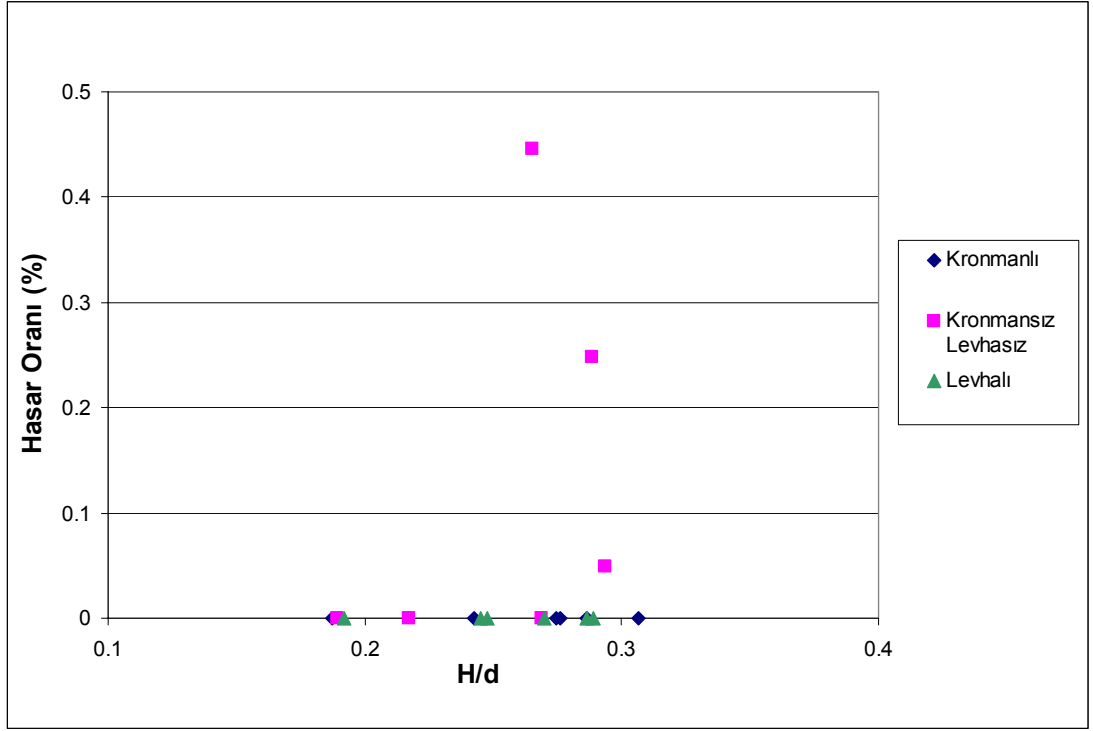
Şekil 4.19: Kesit II – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 70-120 g)



Şekil 4.20: Kesit II – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 70-120 g)



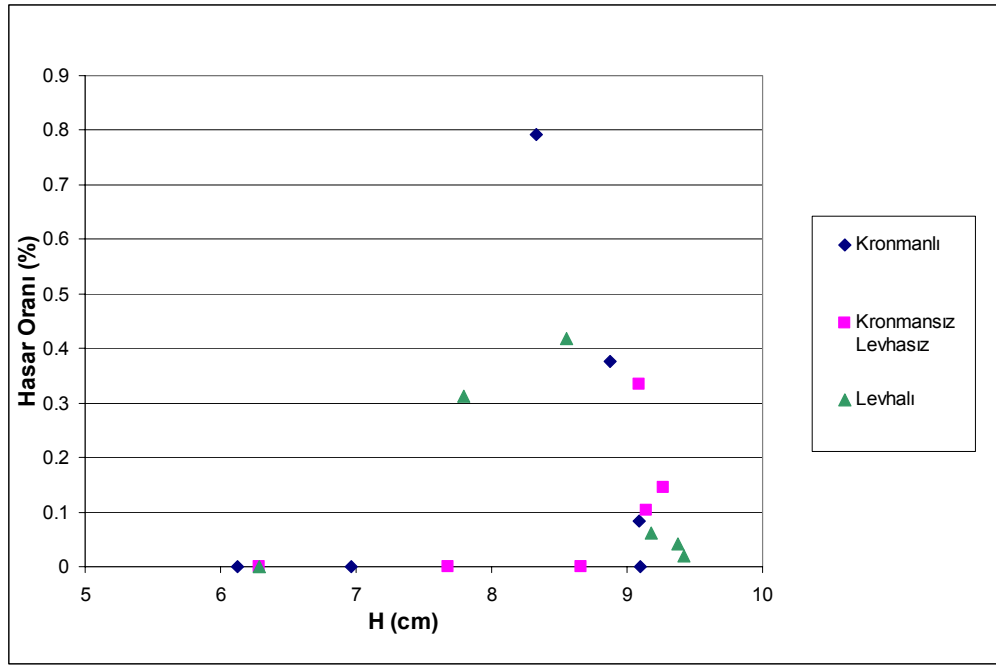
Şekil 4.21: Kesit II – Arka şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 70-120 g)



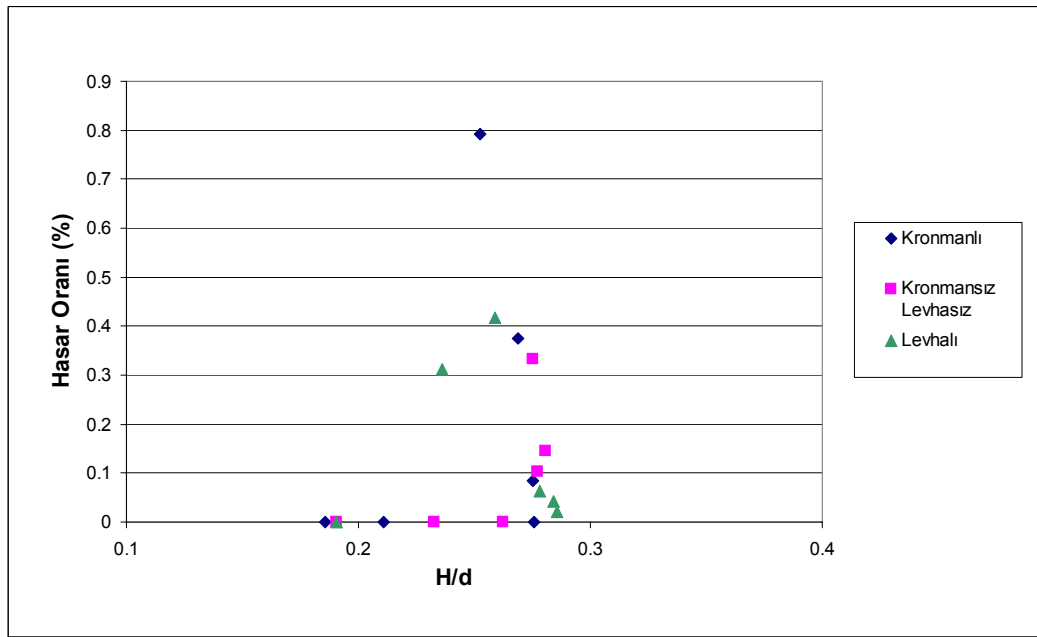
Şekil 4.22: Kesit II – Arka şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 70-120 g)

Şekil 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22 incelendiğinde, kronmansız-levhasız konfigürasyonda elde edilen hasar oranlarının ilk kesittekilere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum dalgakıran şev eğiminin artması ile ilişkilidir. Bu deneylerde, arka şevde, kronmanlı ve levhalı konfigürasyonlarda hasar gözlenmemiştir.

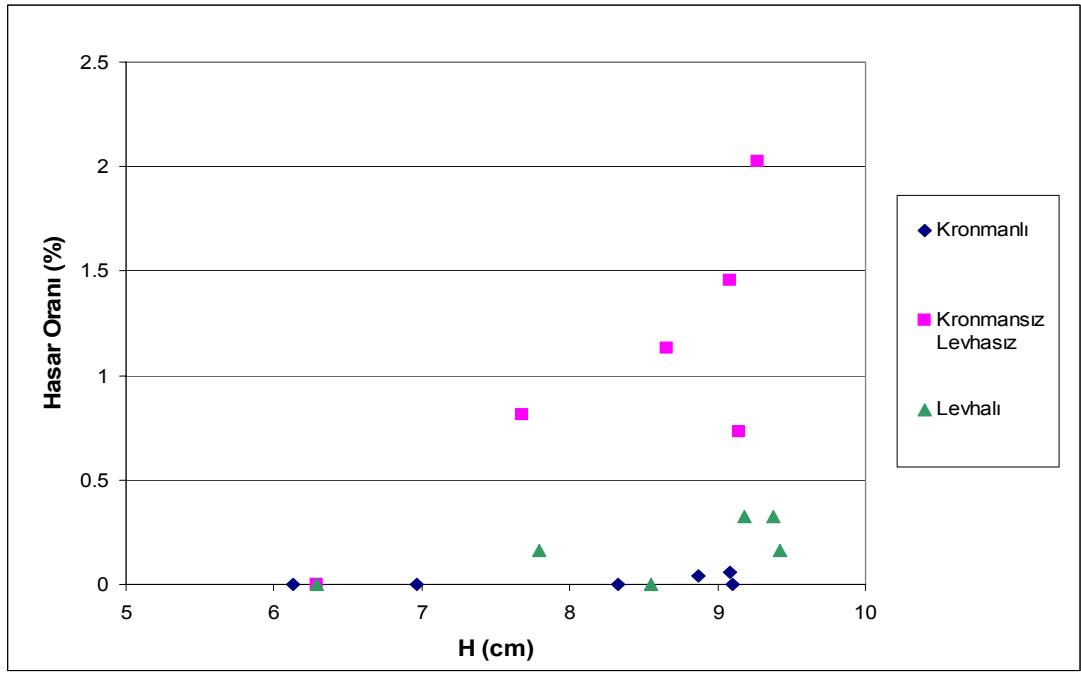
Şekil 4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26’da Kesit II için, 30–50 g ağırlığında taş kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen açık deniz dalga yüksekliği (H)- hasar oranı ve H/d-hasar oranı grafikleri her üç konfigürasyon için verilmiştir.



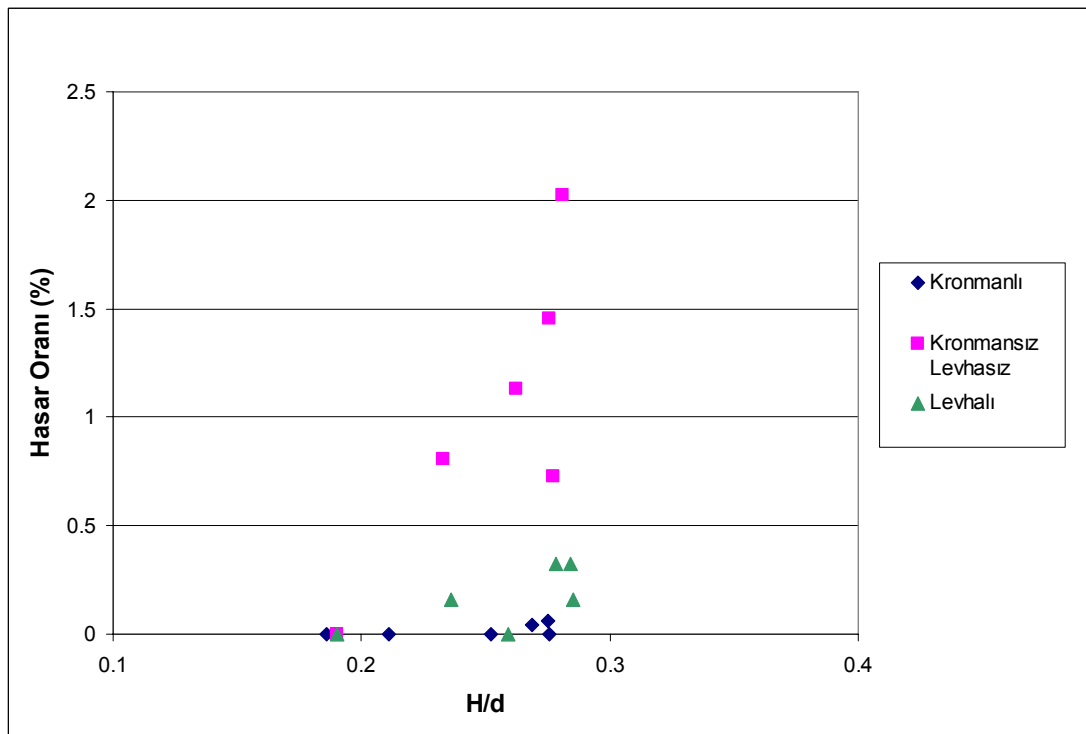
Şekil 4.23: Kesit II – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)



Şekil 4.24: Kesit II – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)



Şekil 4.25: Kesit II – Arka şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)



Şekil 4.26: Kesit II – Arka şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)

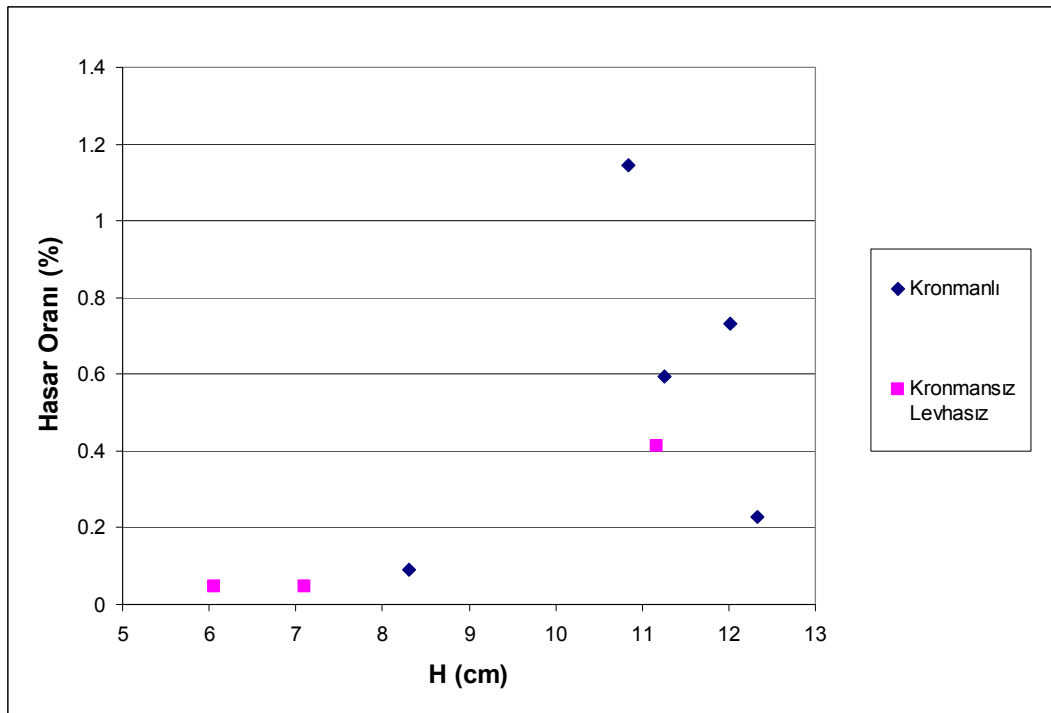
Şekil 4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26 incelendiğinde, aynı kesit için gerçekleştirilen deneylerde gözlenen hasar oranlarından daha yüksek hasar oranları elde edildiği görülmektedir. Söz konusu deneylerde, ön şevde, kronmansız-levhasız

konfigürasyonda belirli bir dalga yüksekliğinden sonra hasar oranları artmıştır. Kronmanlı ve levhali konfigürasyonda ise böyle bir etki gözlenmemiştir (Şekil 4.23-4.24). Aynı deneylerde, arka şevde, en yüksek hasar oranları kronmansız-levhasız konfigürasyonda gözlenmiştir. Kronmanlı konfigürasyonda ise çok düşük hasar oranları gözlenmiştir (Şekil 4.25-4.26).

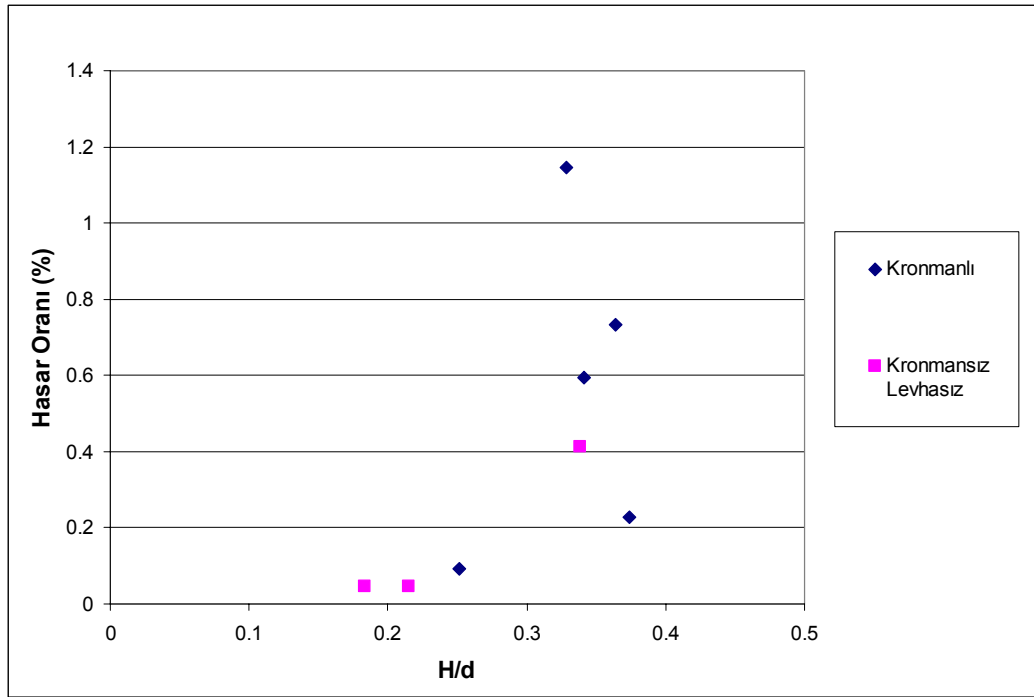
4.3. Düzenli Dalga Etkisi Altında Hasar Oranı Değişimlerinin İncelenmesi

Bu bölümde oluşturulan deney kesitlerinde düzenli dalga etkisi oluşturularak yürütülen deney sonuçları değerlendirilmiştir. Söz konusu deney sonuçları genel olarak EK C’de verilmiştir.

Şekil 4.27 ve 4.28’de Kesit I için, 30–50 g ağırlığında taş kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen açık deniz dalga yüksekliği (H)-hasar oranı ve H/d-hasar oranı grafikleri ön şev için verilmiştir.

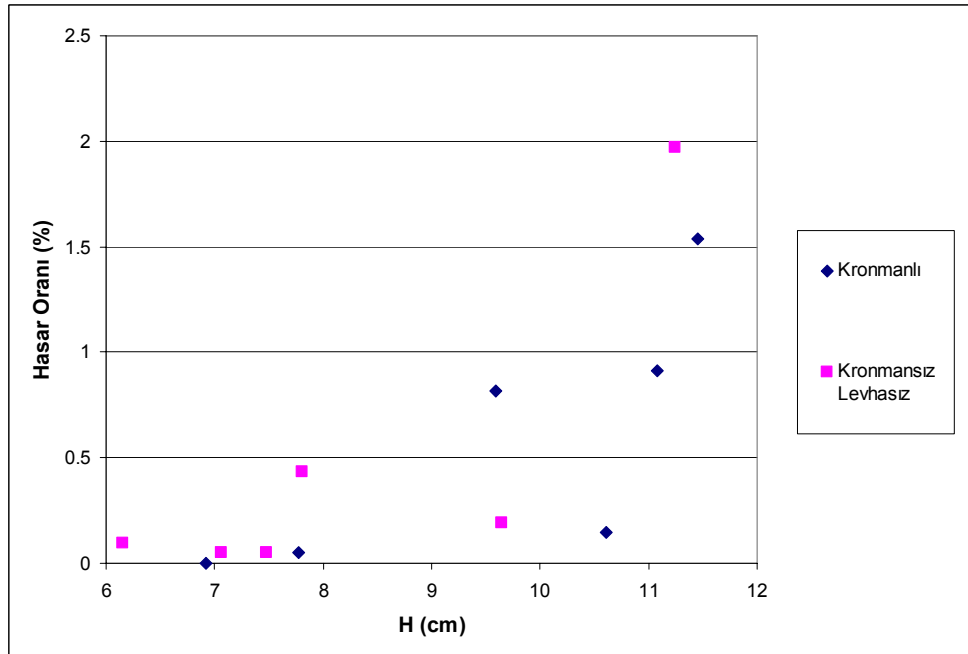


Şekil 4.27: Kesit I – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)

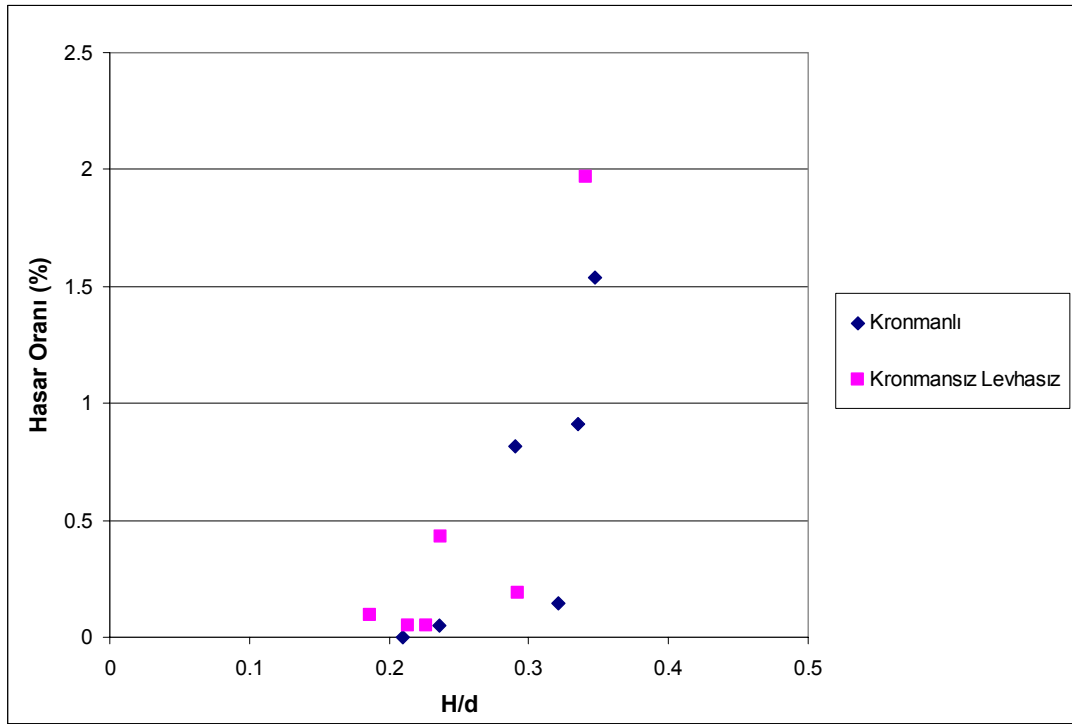


Şekil 4.28: Kesit I – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)

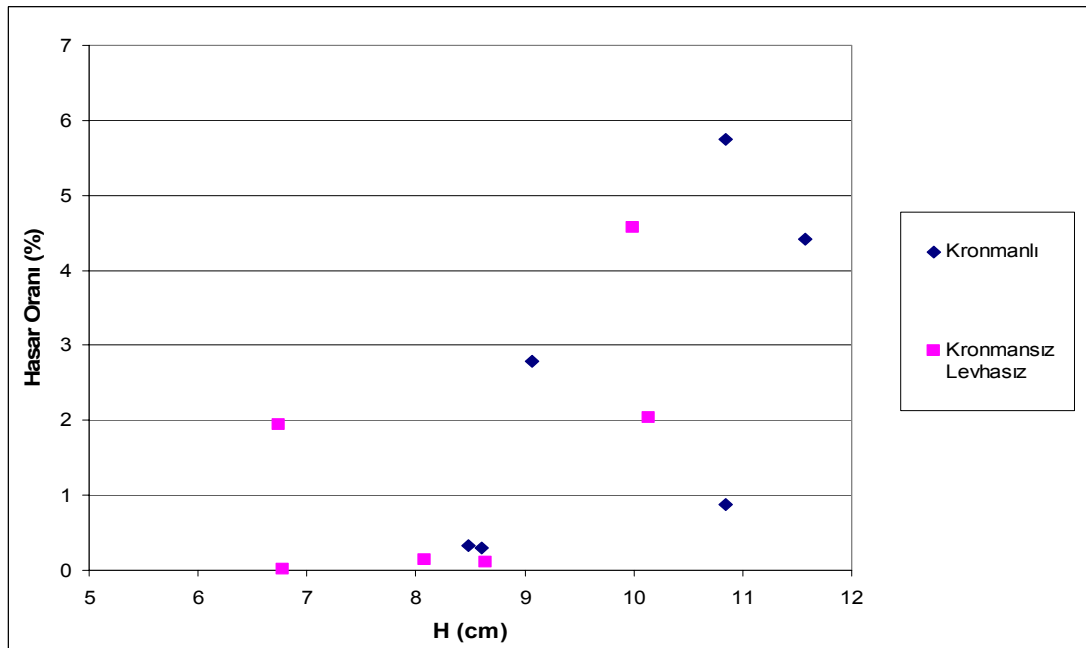
Şekil 4.29, 4.30, 4.31 ve 4.32’de Kesit II için, 70-120 g ve 30–50 g ağırlığında taş kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen açık deniz dalga yüksekliği (H)-hasar oranı ve H/d-hasar oranı grafikleri ön şev için verilmiştir.



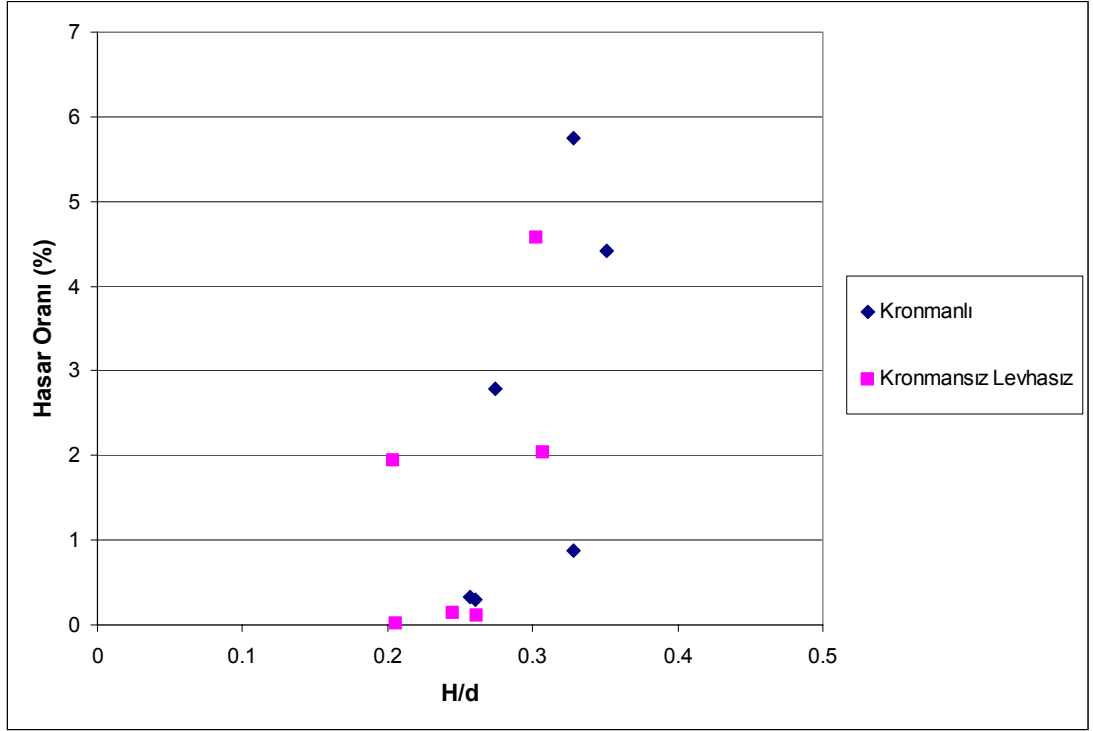
Şekil 4.29: Kesit II – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 70-120 g)



Şekil 4.30: Kesit II – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 70-120 g)



Şekil 4.31: Kesit II – Ön şev için konfigürasyonların karşılaştırılması (Taş ağırlığı: 30-50 g)



Şekil 4.32: Kesit II – Ön şev için tüm konfigürasyonlarda hasar oranı-H/d ilişkisi (Taş ağırlığı: 30-50 g)

Grafiklerden görüldüğü gibi, düzenli dalgalar oluşturularak gerçekleştirilen deneylerde tsunami dalgalarıyla gerçekleştirilenlere oranla daha yüksek hasar oranları gözlenmiştir. Söz konusu deneylerde, kronmanlı konfigürasyonda kronmansız-levhasız konfigürasyona nazaran daha yüksek hasar oranları gözlenmiştir. Bu deneylerle, kurulan dalgakıran kesitlerinin oluşturulan dalgalar etkisinde stabil olduğu görülmüştür. Gözlenen maksimum hasar oranı % 5.75'tir.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Uzun dalgalara verilebilecek en bilinen örnek liman dalgası anlamına gelen tsunamilerdir. Bu dalgalar sahip oldukları büyük dalga enerjisi sayesinde kıyıya ulaştıktan sonra büyük mesafeler kaydederek kara yapılarına zarar verip can ve mal kaybına neden olmalarının yanı sıra kıyı yapılarına da zarar vermektedirler. Bu çalışmada, şevli dalgakıranların tsunami etkisi altındaki stabilitesi deneysel olarak incelenmiştir. Söz konusu dalgakıranların fırtına dalgaları altında stabil olduğu belirlenen enkesitlerine tsunami etkisi ortaya konulmuştur. Bu amaçla İTÜ Hidrolik Laboratuvarı'nda çeşitli şevli dalgakıran konfigürasyonları oluşturularak tsunami etkisinde oluşan hasar oranları belirlenmiş ve oluşturulan konfigürasyonlar için değerlendirilmesi yapılmıştır.

Literatürde yer alan daha önce yapılmış çalışmalara göre, tsunami etkisi göz önünde bulundurularak tasarlanan şevli dalgakıranların ön şevleri kısa periyotlu dalgalara, arka şevleri ise tsunami yüküne dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Bunun nedeni, oluşan tsunami dalgalarının taş dolgu dalgakıranların özellikle arka şevlerinde hasara yol açmasıdır. Söz konusu tsunami yükü, kreti aşan dalga yükü ve koruyucu kaplama tabakası blokları arasından geçen akım yükü olmak üzere arka şevde iki temel yükün söz konusu olmasıdır. Yapılan tüm deneyler değerlendirildiğinde, dalgakıran üzerinde bir yapı olmaması durumunda dalgakıran kesitlerinin arka kısımlarında daha yüksek hasar oranları gözlenmiştir.

Oluşturulan tsunami yükünü iki bileşen halinde gözlemlemek için kurulan levhalı konfigürasyonlarda dalgakıran koruyucu kaplama tabakası taşları arasındaki akım bir levha ile kesilerek aşan dalga yükünün etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneylerde, söz konusu konfigürasyonda gözlenen hasar oranları kronmansız levhasız konfigürasyona göre daha düşüktür. Bu durum koruyucu kaplama tabakası taşları arasından geçen akım etkisinin kesilmesidir. Aynı zamanda, bu deney sonuçları ile çizilen hasar oranı-dalga yüksekliği grafiklerinde noktalarda saçılma gözlenmiştir.

Oluşturulan kronmanlı dalgakıran konfigürasyonlarında, dalgakıranın arka şevine dalga aşması kronman nedeniyle engellendiğinden, deneylerin çoğunda arka şevde hasar gözlenmemiştir. Yalnızca ikinci kesitte düşük taş ağırlığı ile yapılan deneylerde kronmanın dalga kuvveti etkisiyle deplasman yapması sebebiyle hasar gözlenmiştir.

Ön şevde ise, genellikle yakın dalga yükseklikleri için gözlenen hasar oranları diğerkonfigürasyonlara daha yüksek olarak gözlenmiştir. Bu durumun nedeni kronman yapısına çarpan dalganın yansıyarak ön şevdeki stabiliteye daha fazla etkide bulunmasıdır.

Düzenli dalgalar oluşturularak gerçekleştirilen deneylerde tsunami dalgalarıyla gerçekleştirilenlere oranla daha yüksek hasar oranları gözlenmiştir. Söz konusu deneylerde, kronmanlı konfigürasyonda kronmansız-levhasız konfigürasyona nazaran daha yüksek hasar oranları gözlenmiştir. Bu deneylerle, kurulan dalgakıran kesitlerinin oluşturulan dalgalar etkisinde stabil olduğu görölmüştür. Gözlenen maksimum hasar oranı % 5.75'tir.

KAYNAKLAR

Broderick, L. L., 1983. Riprap Stability A Progress Report, *Proceedings of Coastal Structures '83*, American Society of Civil Engineers, 320–330.

Bruun, P. And Gunbak, A.R., 1976. “New Design Principles For Rubble Mound Structures”, Proc. 15th Conf. On Coastal Eng., Vol. III., Honolulu, Hawaii, 2413-2473.

Cuyppers, K., 2004. Breakwater Stability Under Tsunami Attack *for a site in Nicaragua, Master Thesis*, TU Delft.

Gedik, N., 2004. Uzun dalgaların tırmanma yüksekliğinin deneysel incelemesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Gedik, N., İrtem, E., Kabdaşlı, M.S., 2005a. Tsunaminin geçirimli kıyılardaki tırmanma yüksekliğinin deneysel incelenmesi. İTÜ Dergisi, Mühendislik, Cilt 4, Sayı 1, 3-12.

Gedik N, İrtem E, Kabdaşlı S, 2005b. Laboratory investigation on tsunami run-up, *Ocean Engineering*, 32(5-6): 513-528.

Hedge, A.V., Srinivas, N.P., 1995. Effect of core porosity on stability and run up of breakwaters, *Ocean Engineering*, **22**, 519-526.

Hudson, R. Y., 1958. “Design of Quarry-Stone Cover Layers for Rubble-Mound Breakwaters; Hydraulic Laboratory Investigation,” Research Report No. 2-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS

Iribarren, R. 1938. “Una Formula Para el Cálculo de los Diques de Escollera,” Technical Report HE 116-295, Fluid Mechanics Laboratory, University of California, Berkeley, CA (Translated by D. Heinrich in 1948).

Kabdaşlı, S., 1992. Kıyı Mühendisliği, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Losada, M. A. and Gimenez-Curto, L. A., 1979. “The joint effect of wave-height and period in the stability of rubble mound breakwaters using Iribarren’s number” *Coastal Engineering*, Vol. 3, 77-96.

Losada, M. A., and Gimenez-Curto, L. A., 1980. “Flow characteristics on rough, permeable slopes” *Coastal Engineering*, Vol 4.

Papadopoulos, G. A. and Imamura, F., 2001. “A proposal for a new tsunami intensity scale” ITS 2001 Proceedings, Session 5, Number 5-1.

Sawaragi, T., Iwata, K., Kobayashi, N., 1982. "Condition and probability of occurrence of resonance on step slopes of coastal structures." Coastal Engineering in Japan, Vol 25.

U.S. Army Corps of Engineers, 1984. Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center, Ft. Belvoir, VA.

U.S. Army Corps of Engineers, 2006. Coastal Engineering Manual, Engineering Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, MS.

Van der Meer, J. W., 1988. "Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack," Ph.D. diss., Delft University of Technology, The Netherlands. (Also Delft Hydraulics Publication No. 396)

Van der Meer, J. W., Heydra, G., 1991. "Rocking armour units: Number, Location and Impact Velocity". Coastal Engineering. Vol. 15, 21-33.

Van Dijk, B., 2000. The rear slope stability of rubble mound breakwaters. Research Report, TU Delft.

Vidal, C., Losada, M. A., Medina, R., 1991. "Stability of Mound Breakwater's Head and Trunk". Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 117, No.6, 570-585.

Yağcı, O., Kabdaşlı, S., 2003. Alternative placement technique for antifer blocks used on breakwaters, *Ocean Engineering*, **30 (11)**, 1433-1451.

Yalçınar, A.C., Alpar, B., Altınak, Y., Özbay, İ. and Imamura, F., 2002. Tsunamis in the Sea of Marmara -historical documents for the past, models for the future, *Marine Geology*, 3173, 1-19.

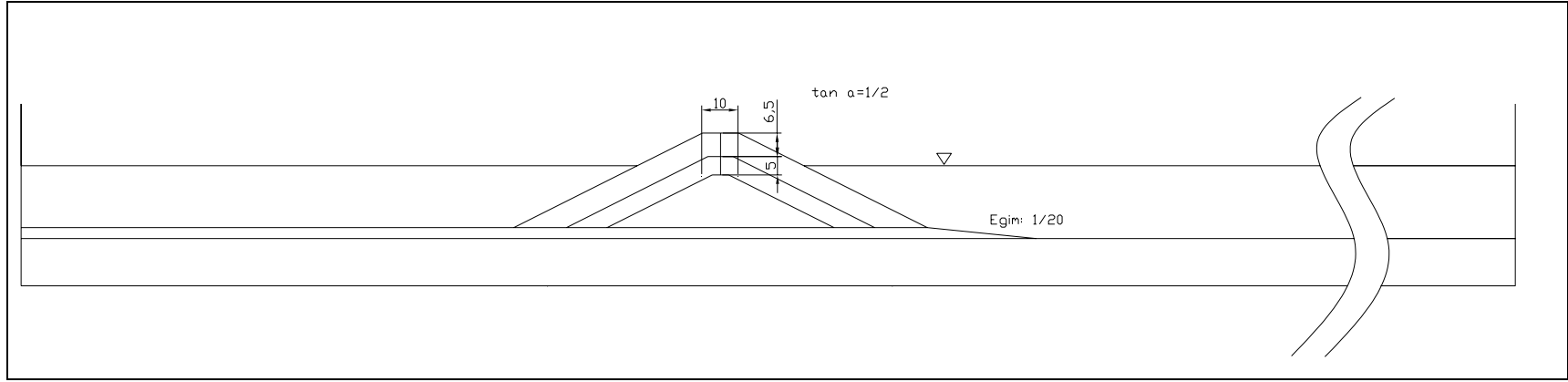
Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., 1998. Kıyı ve Liman Mühendisliği, İMO, İstanbul.

<http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/IntroOc>

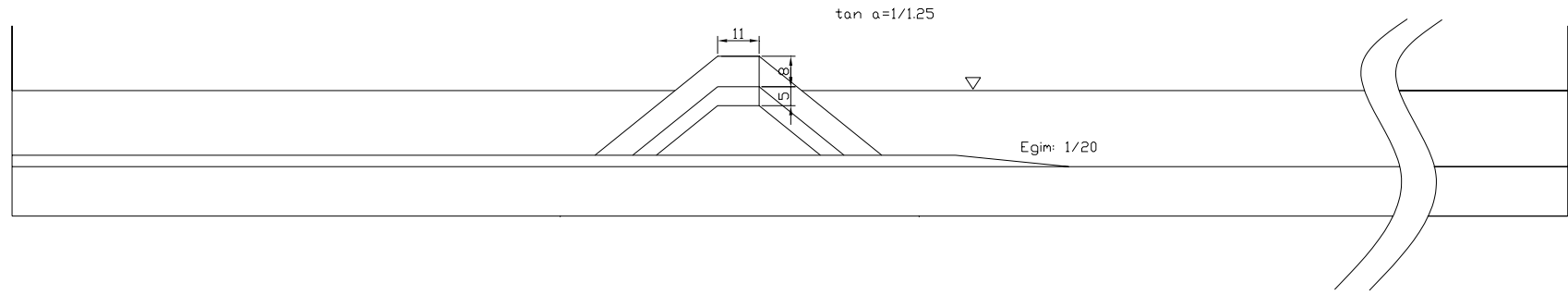
www.mert.com

EKLER

EK - A Dalgakıran Kesitleri



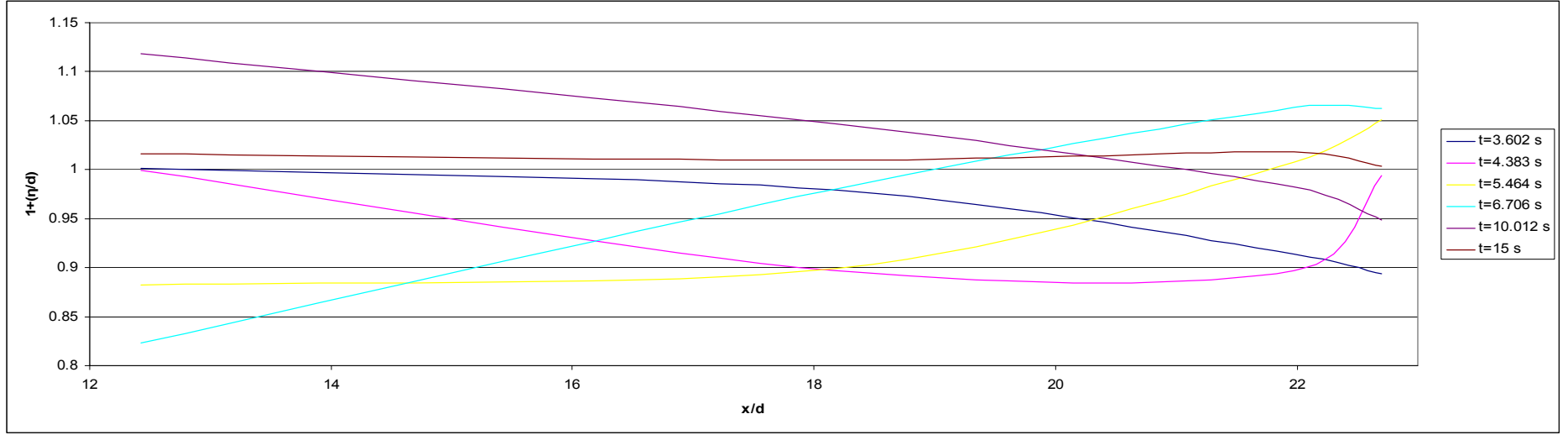
Şekil A.1: Kesit



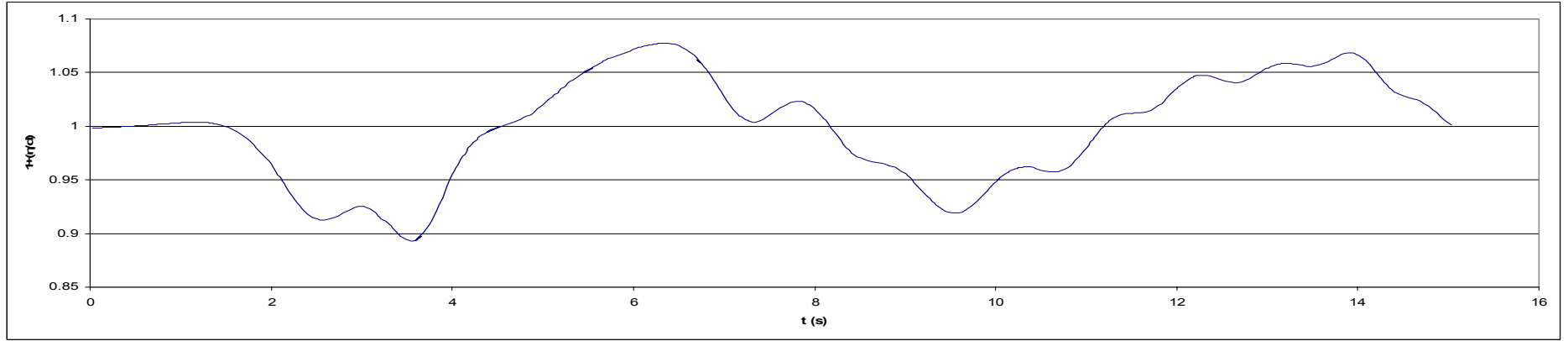
Şekil A.2: Kesit II

I

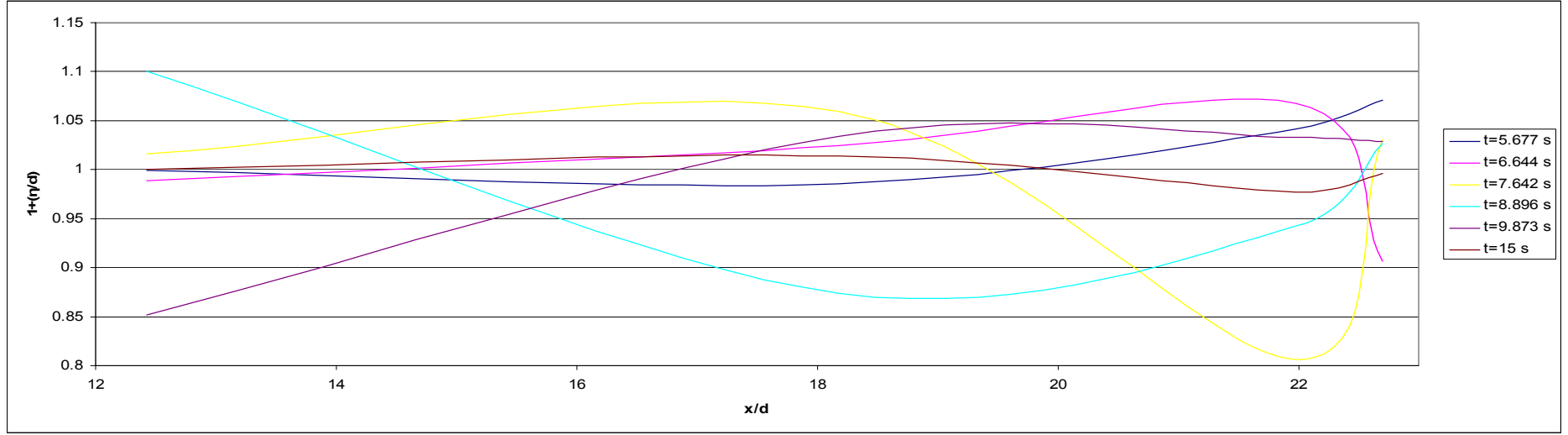
EK - B Deney Grafikleri



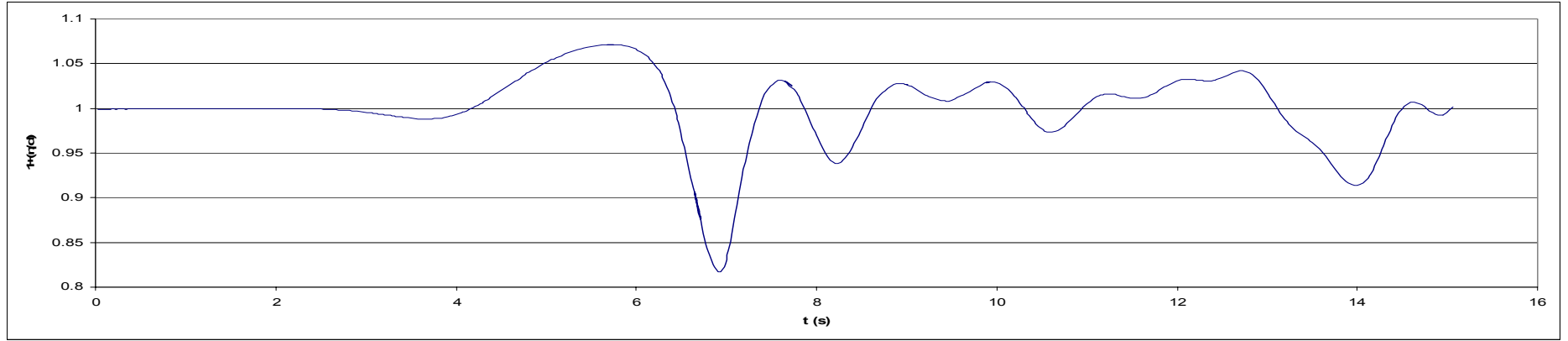
Şekil B.1: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T17)



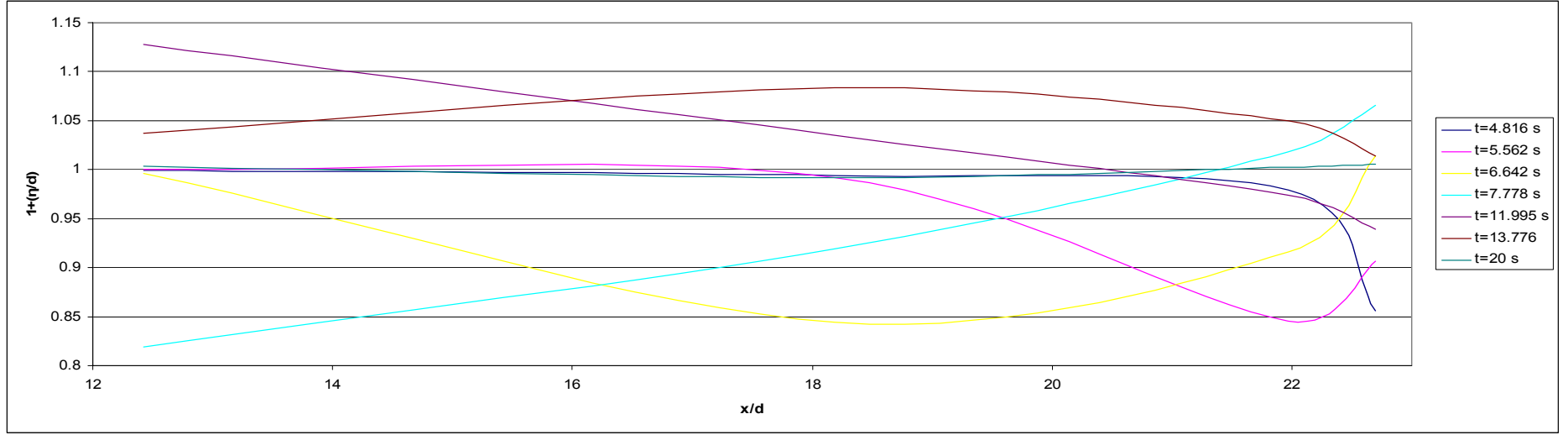
Şekil B.2: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T17)



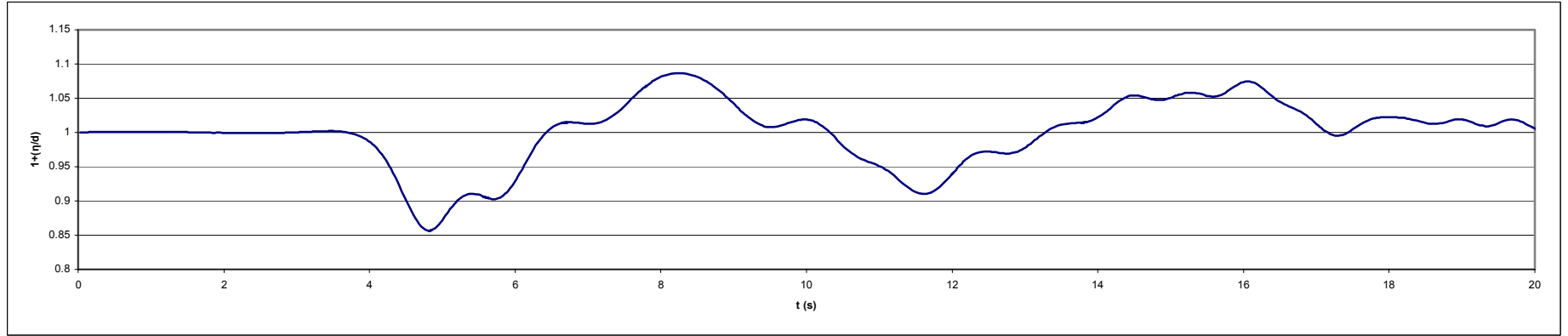
Şekil B.3: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T18)



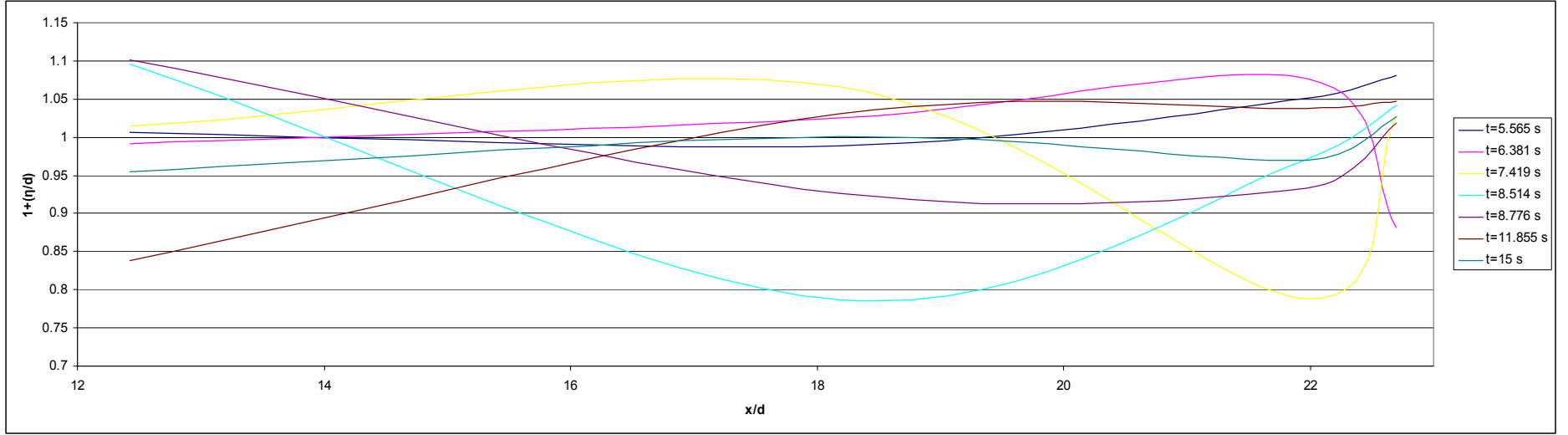
Şekil B.4: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T18)



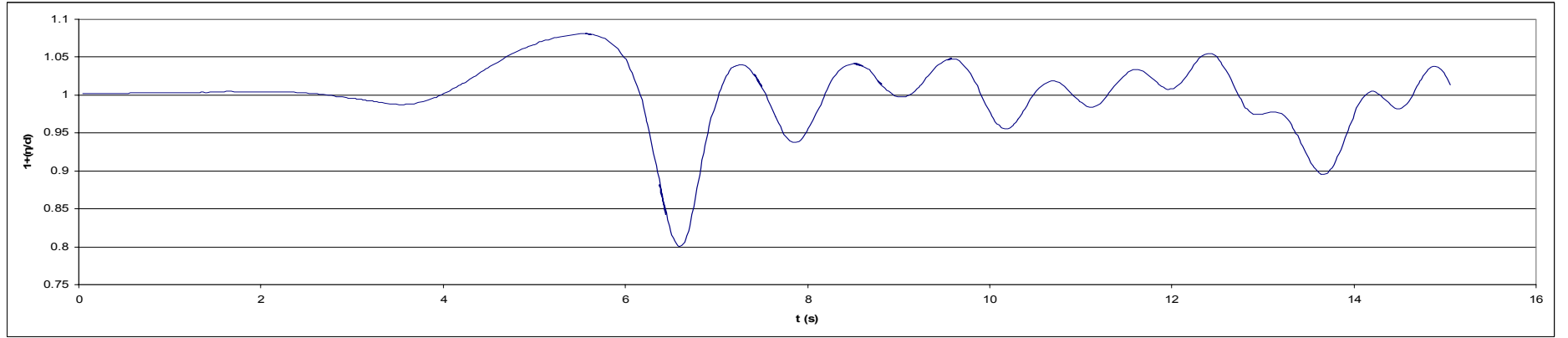
Şekil B.5: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T19)



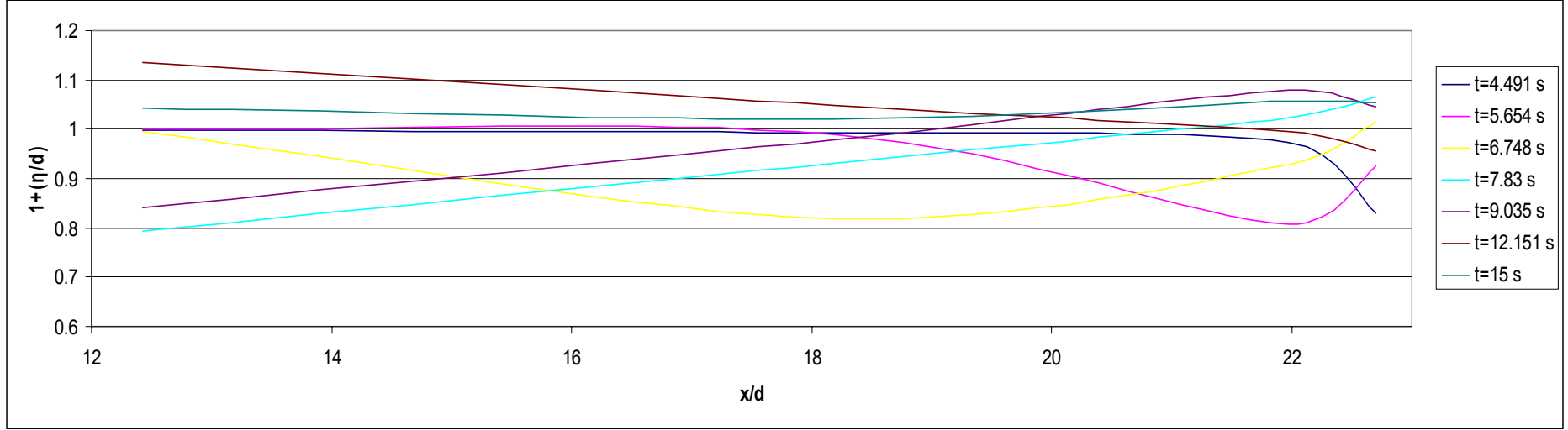
Şekil B.6: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T19)



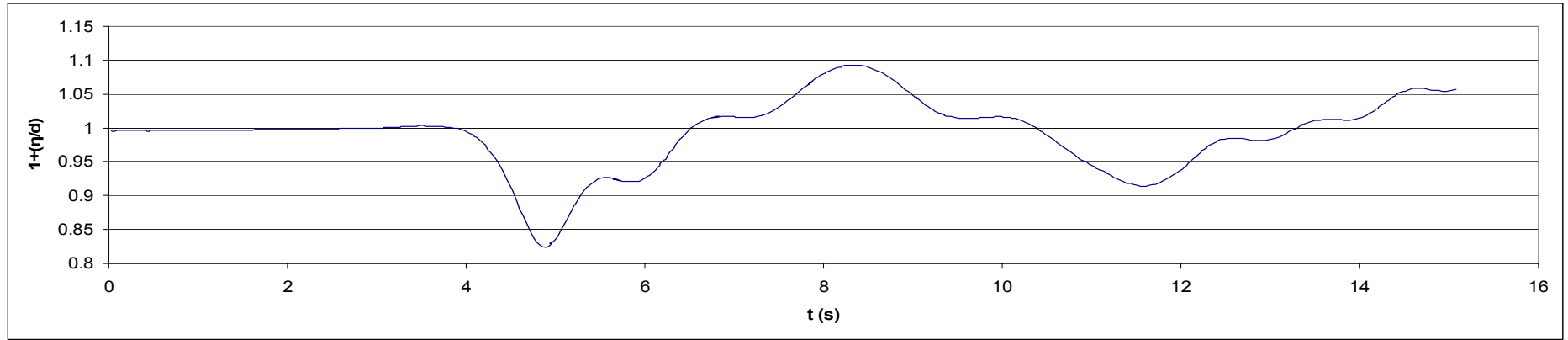
Şekil B.7: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T20)



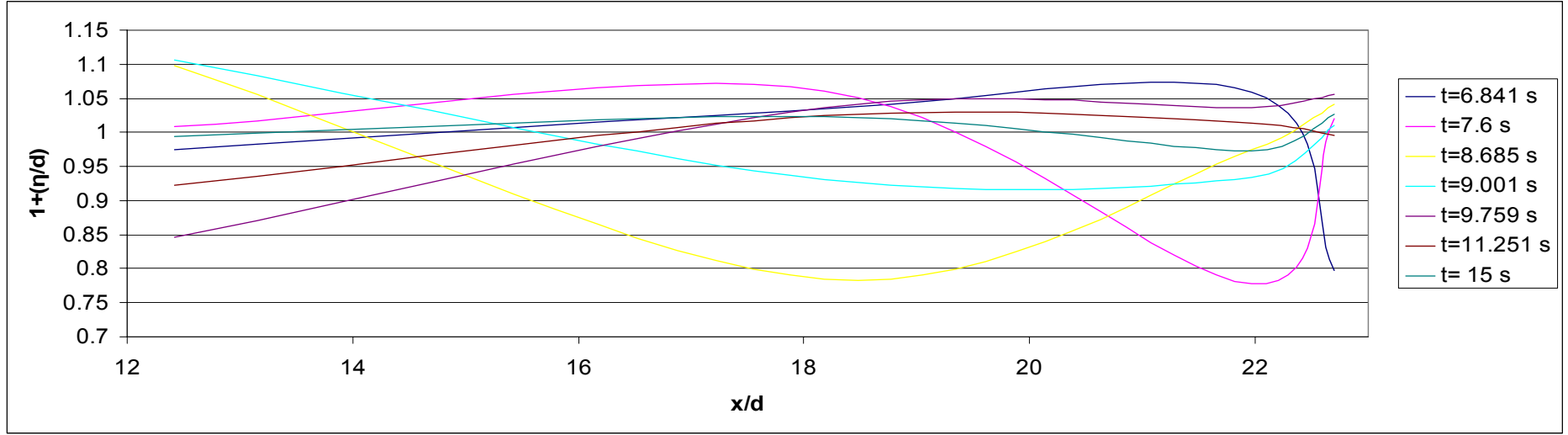
Şekil B.8: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T20)



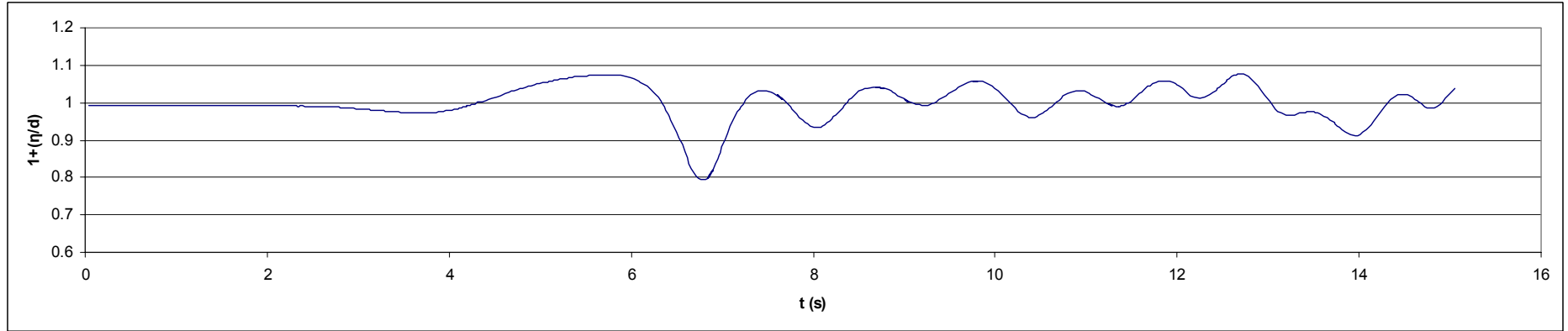
Şekil B.9: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T21)



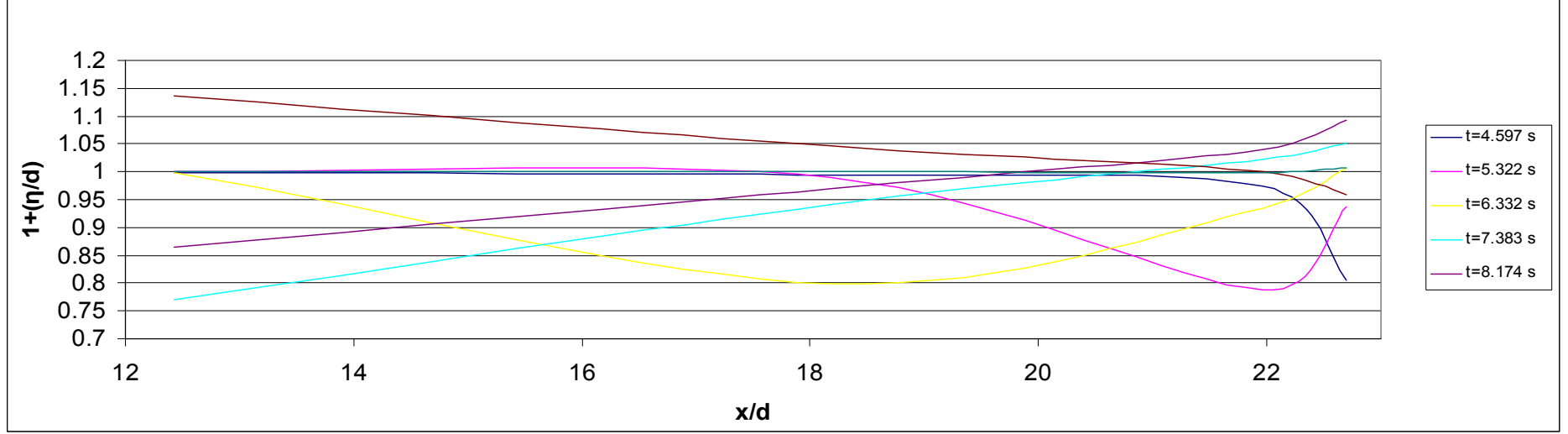
Şekil B.10: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T21)



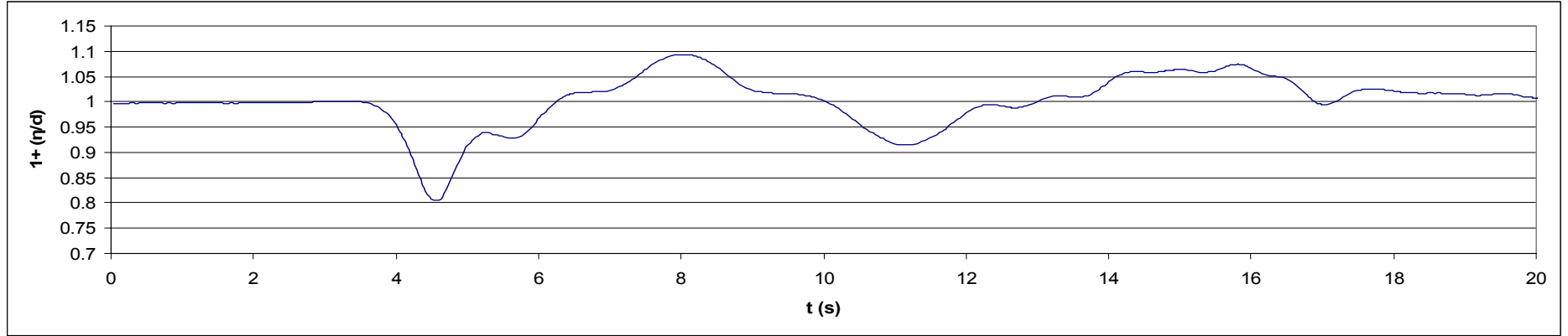
Şekil B.11: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T22)



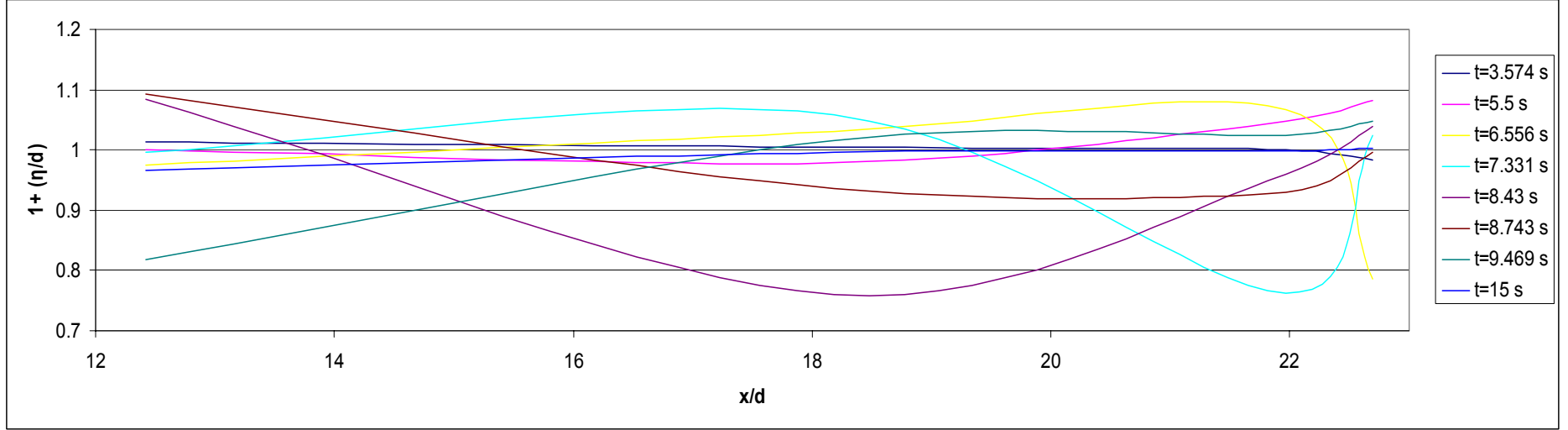
Şekil B.12: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T22)



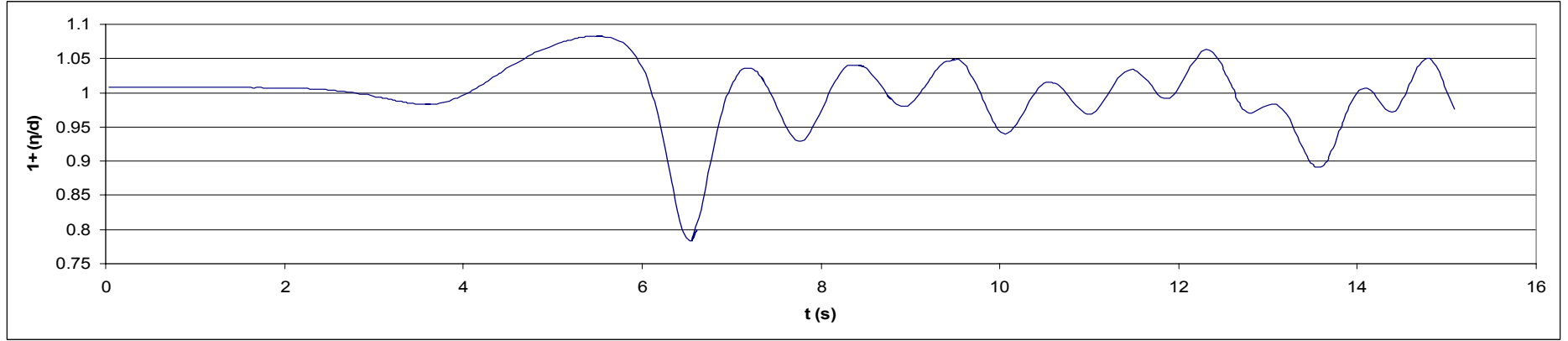
Şekil B.13: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T23)



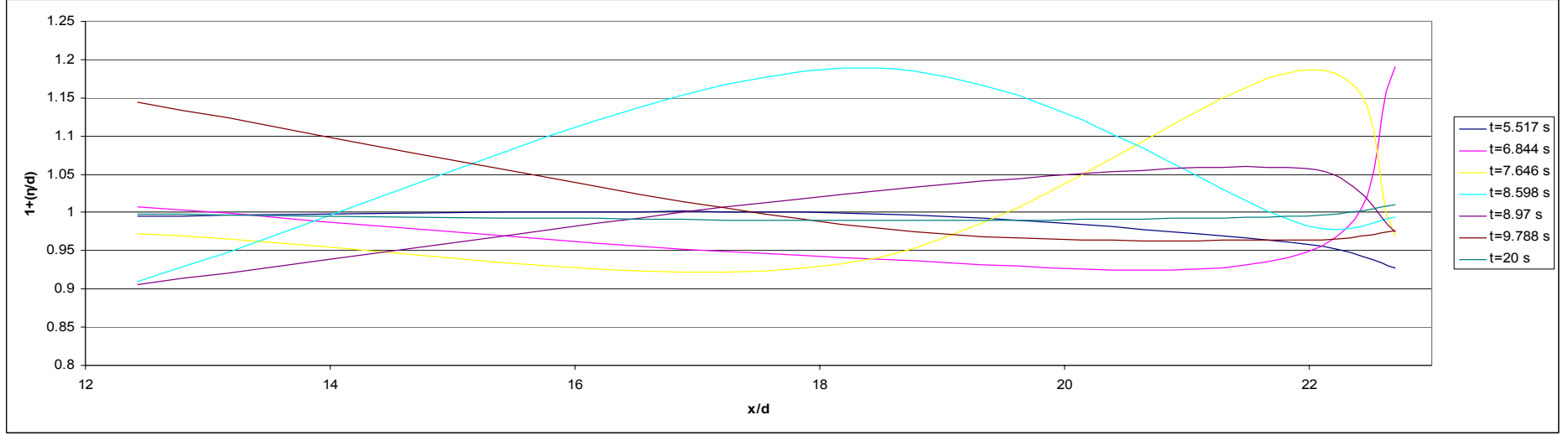
Şekil B.14: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T23)



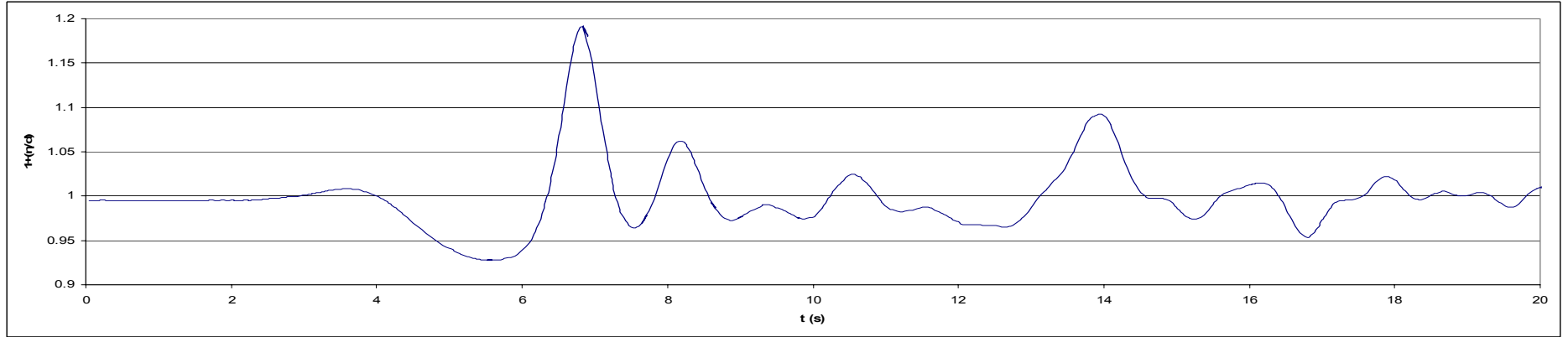
Şekil B.15: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T24)



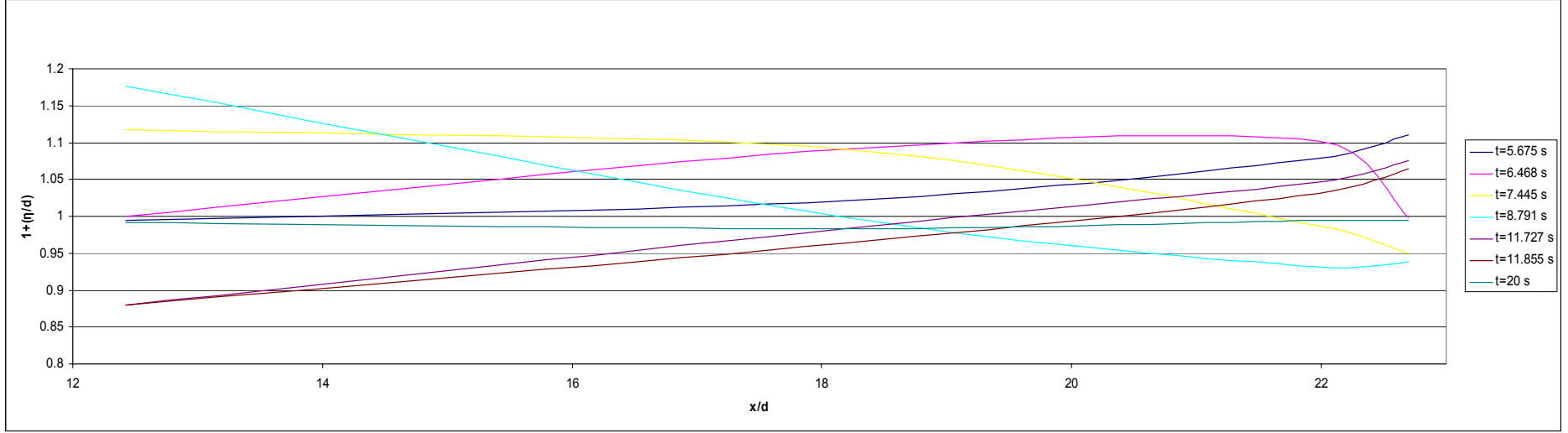
Şekil B.16: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T24)



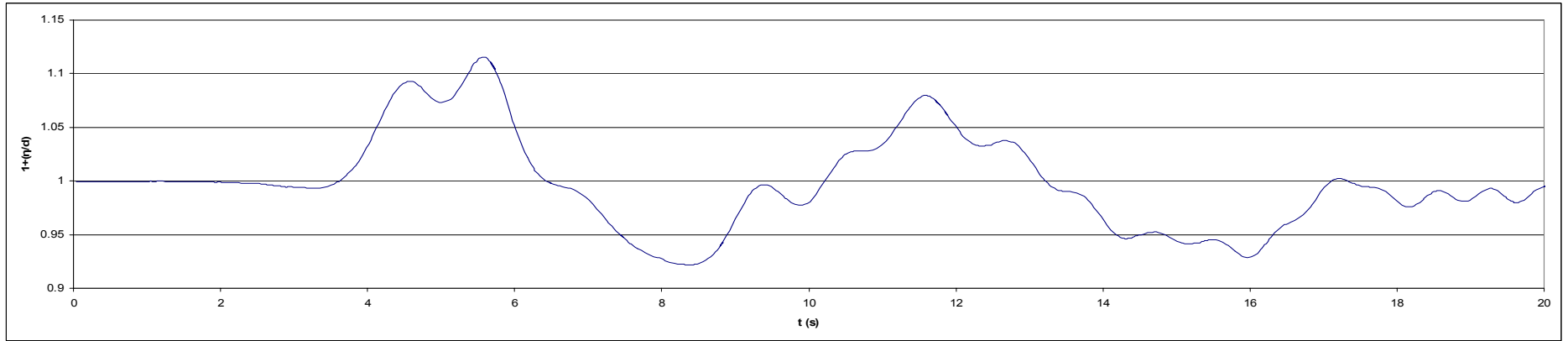
Şekil B.17: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T25)



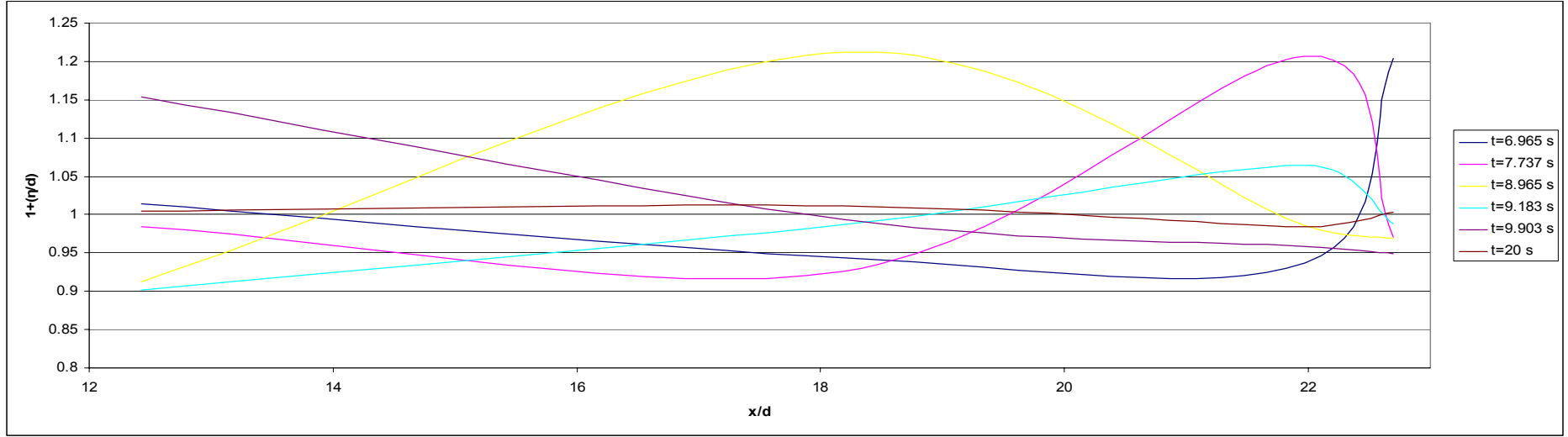
Şekil B.18: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T25)



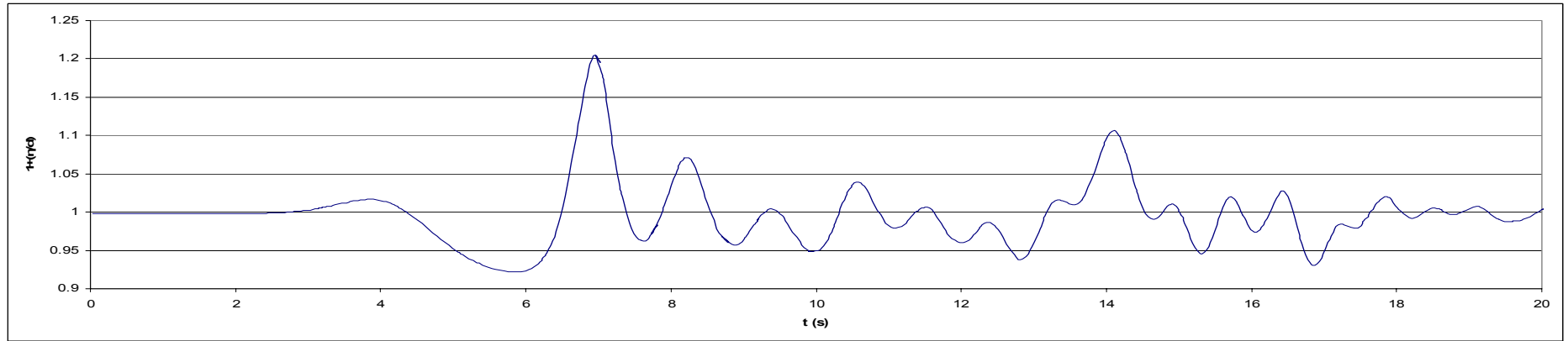
Şekil B.19: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T26)



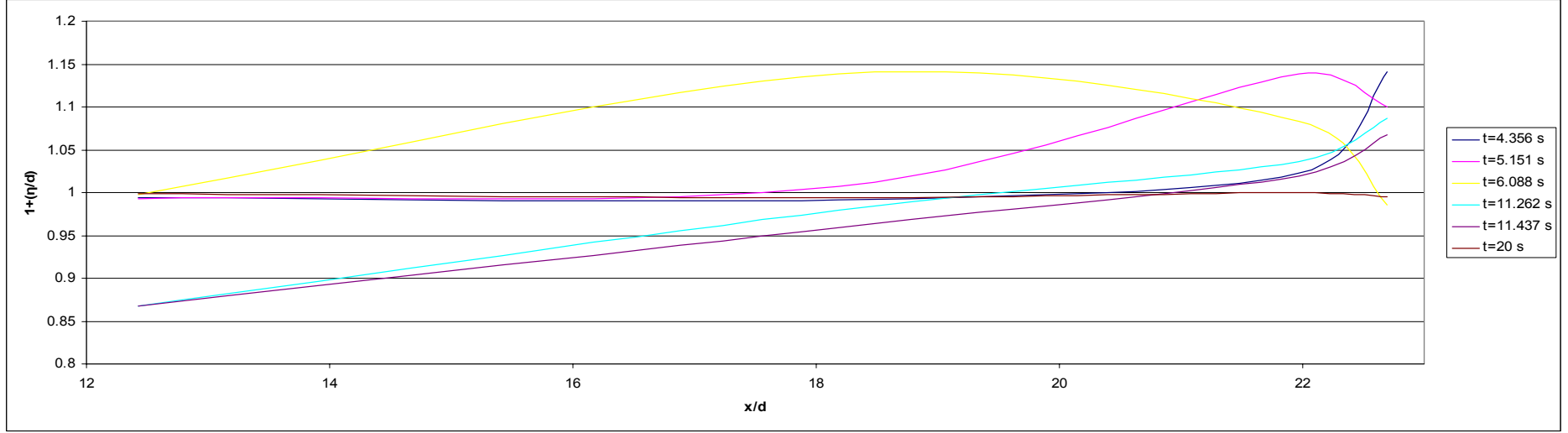
Şekil B.20: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T26)



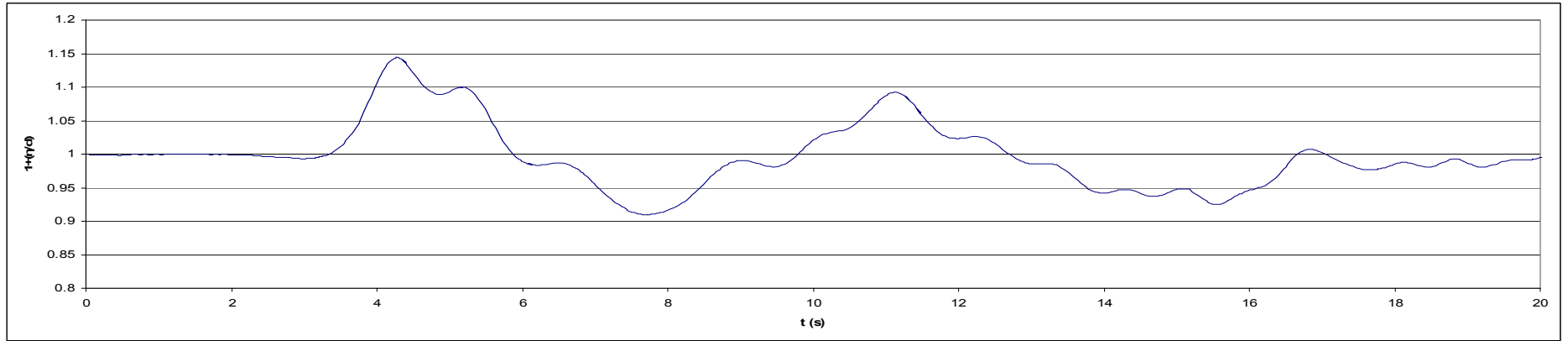
Şekil B.21: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T27)



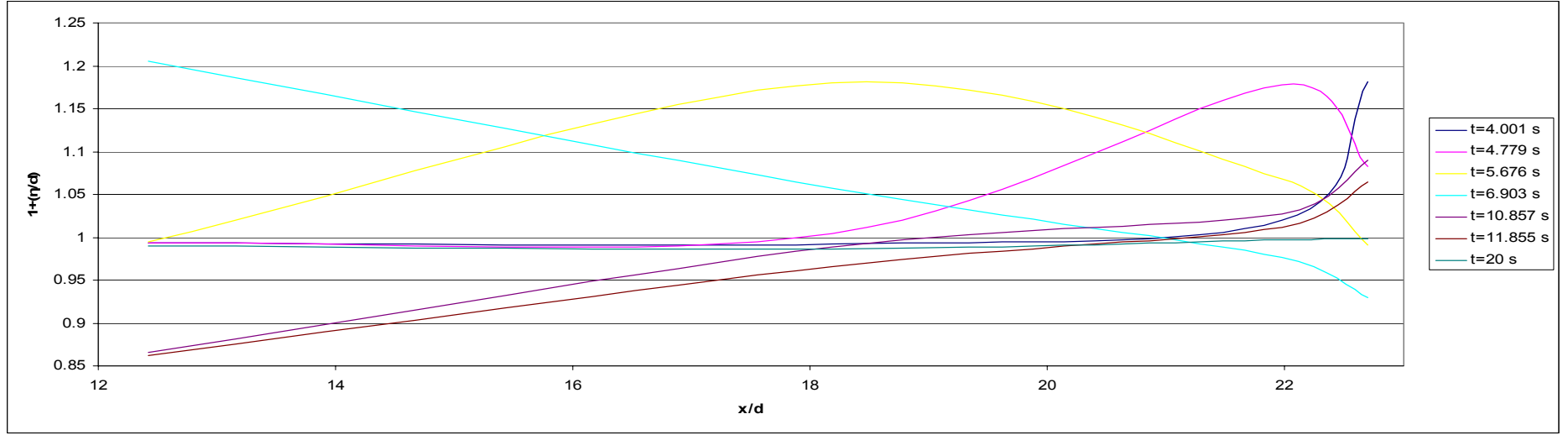
Şekil B.22: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T27)



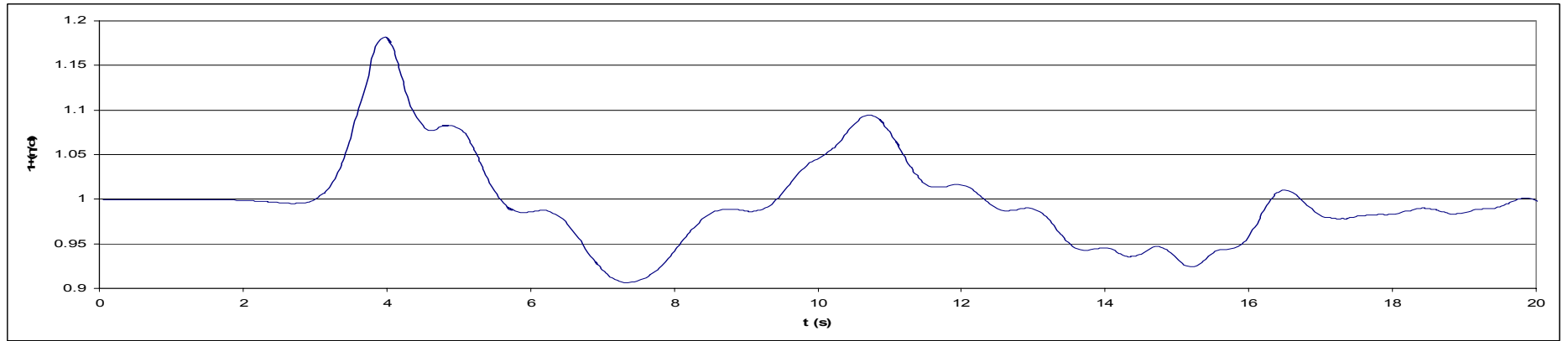
Şekil B.23: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T28)



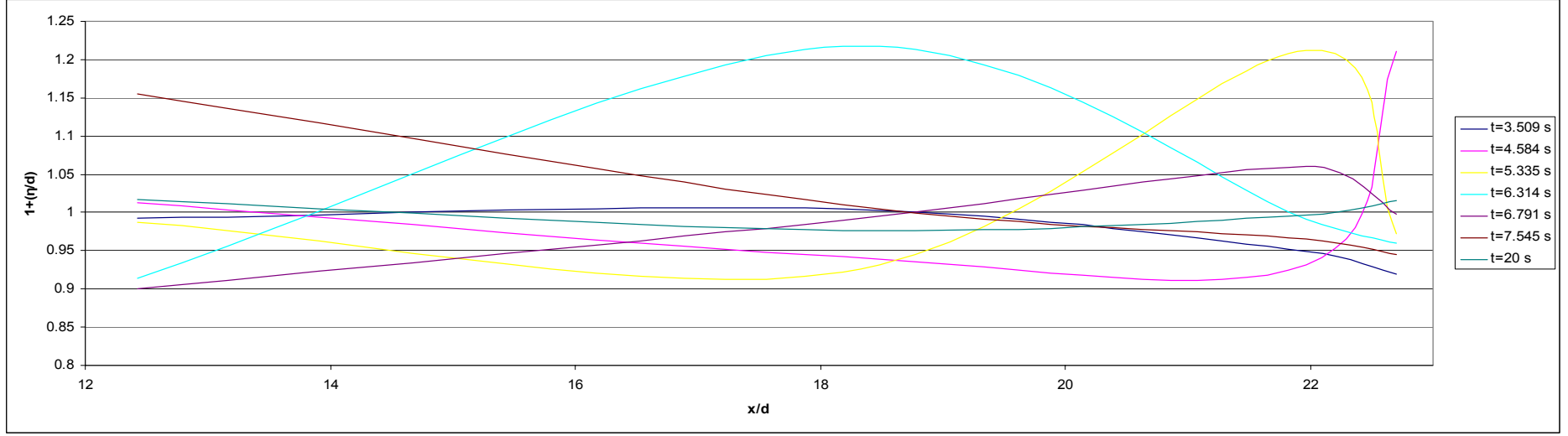
Şekil B.24: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T28)



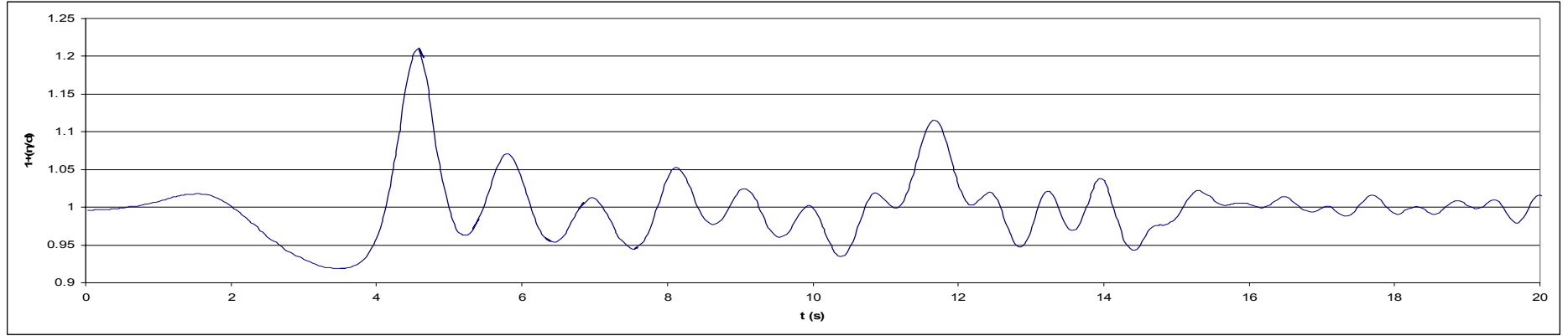
Şekil B.25: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T29)



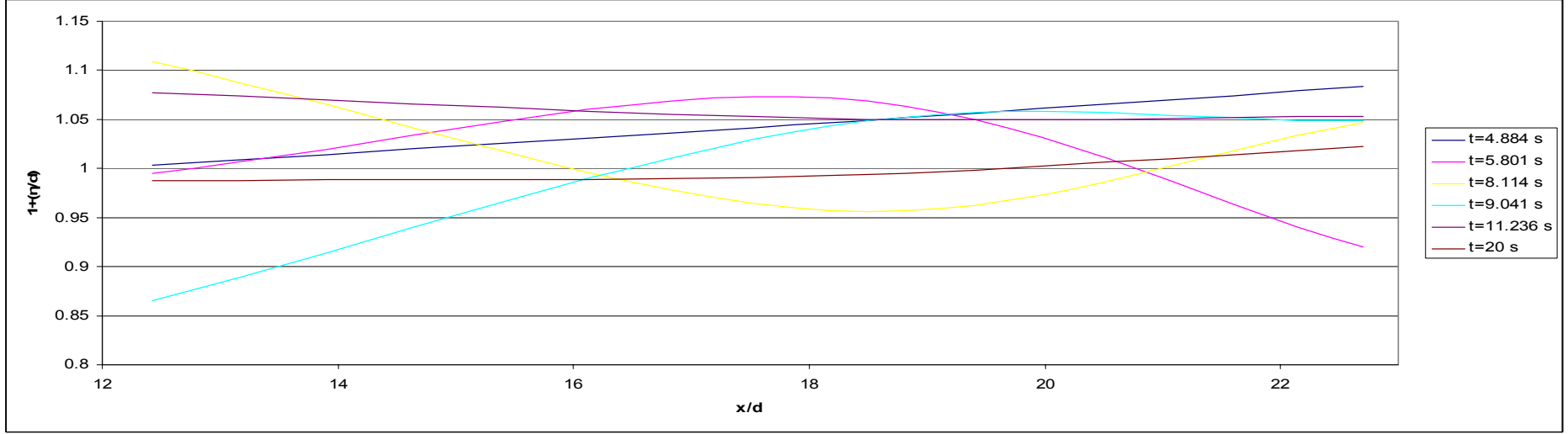
Şekil B.26: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T29)



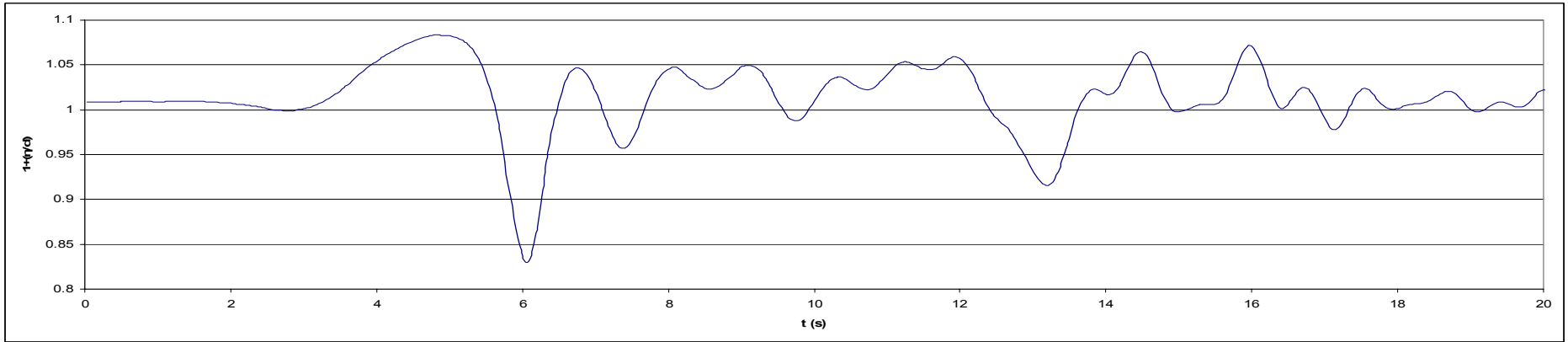
Şekil B.27: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T30)



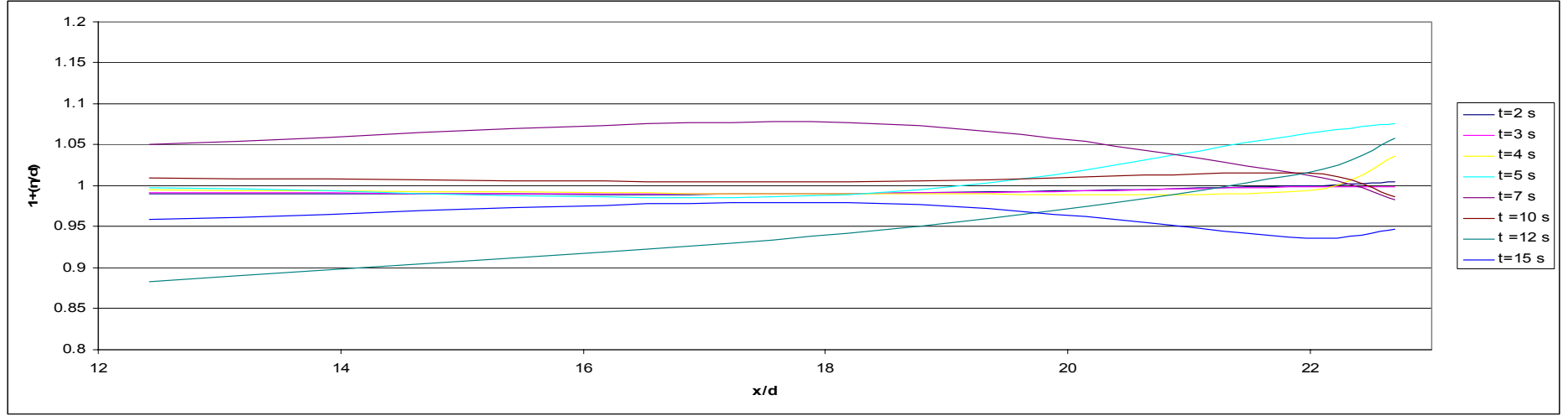
Şekil B.28: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T30)



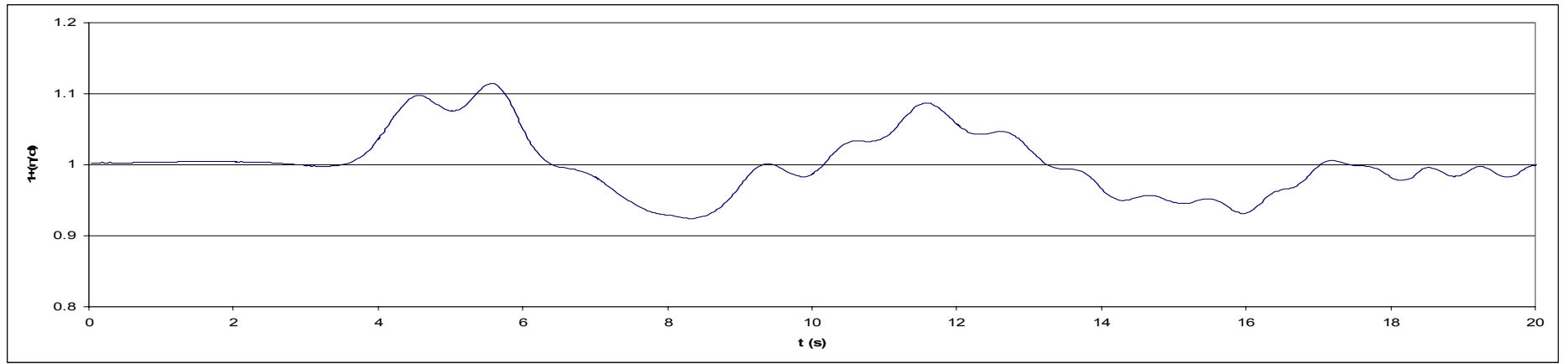
Şekil B.29: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T31)



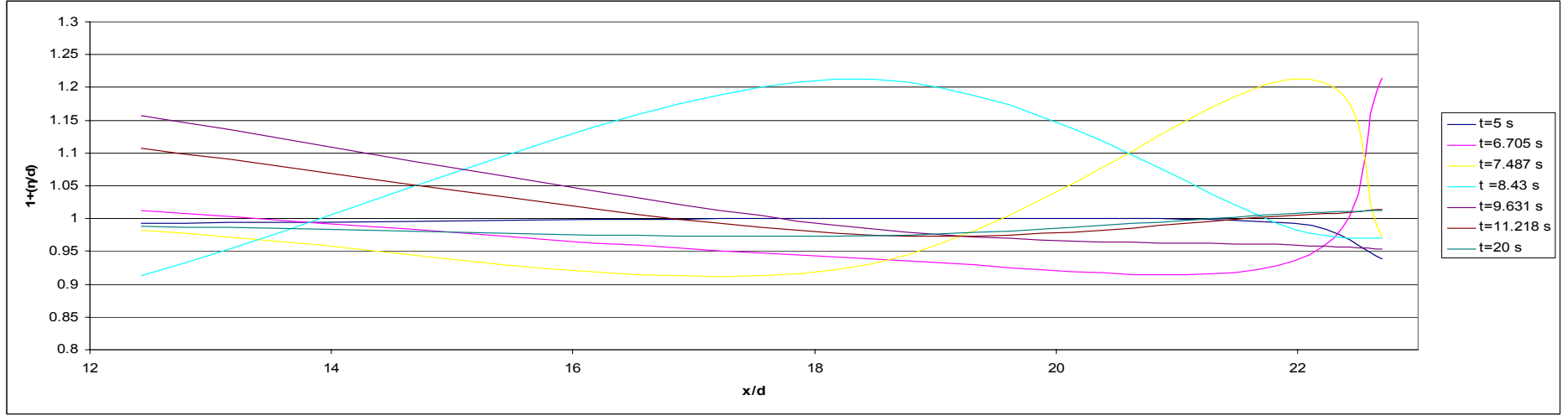
Şekil B.30: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T31)



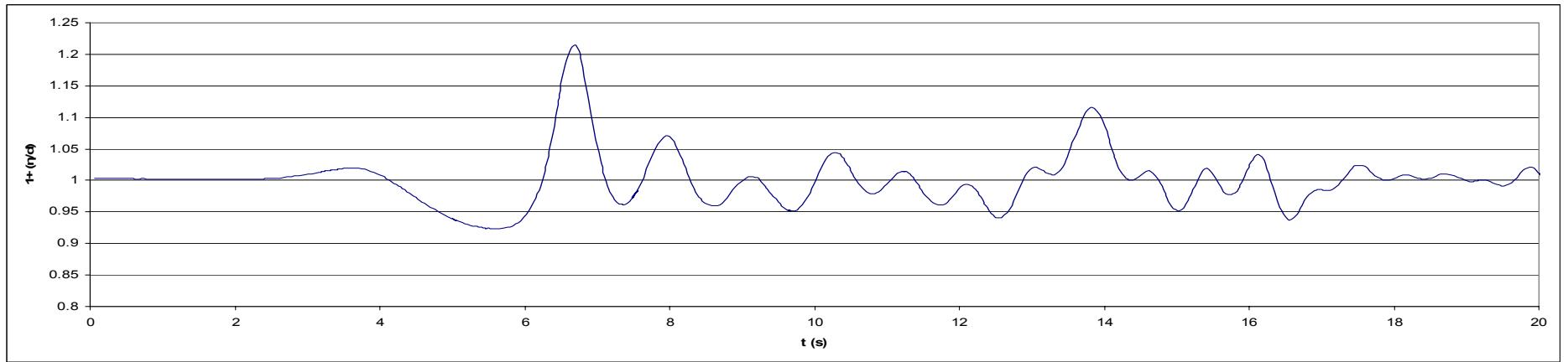
Şekil B.31: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T40)



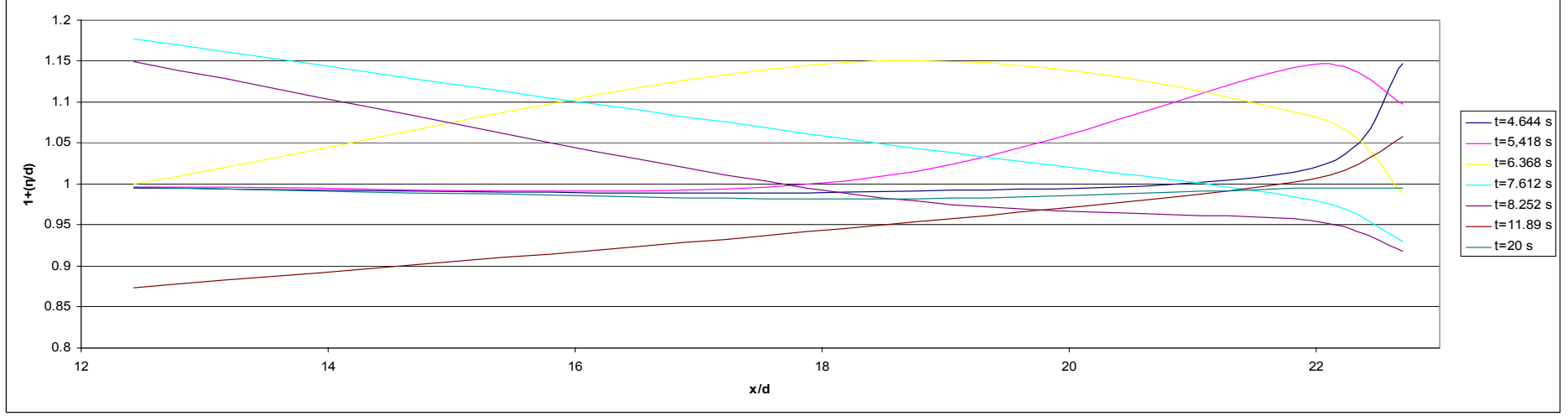
Şekil B.32: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T40)



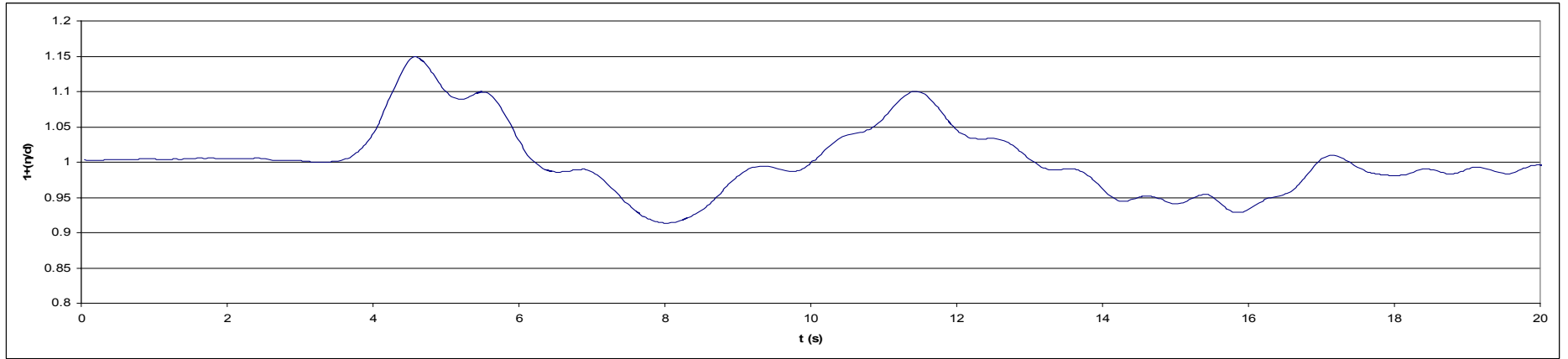
Şekil B.33: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T41)



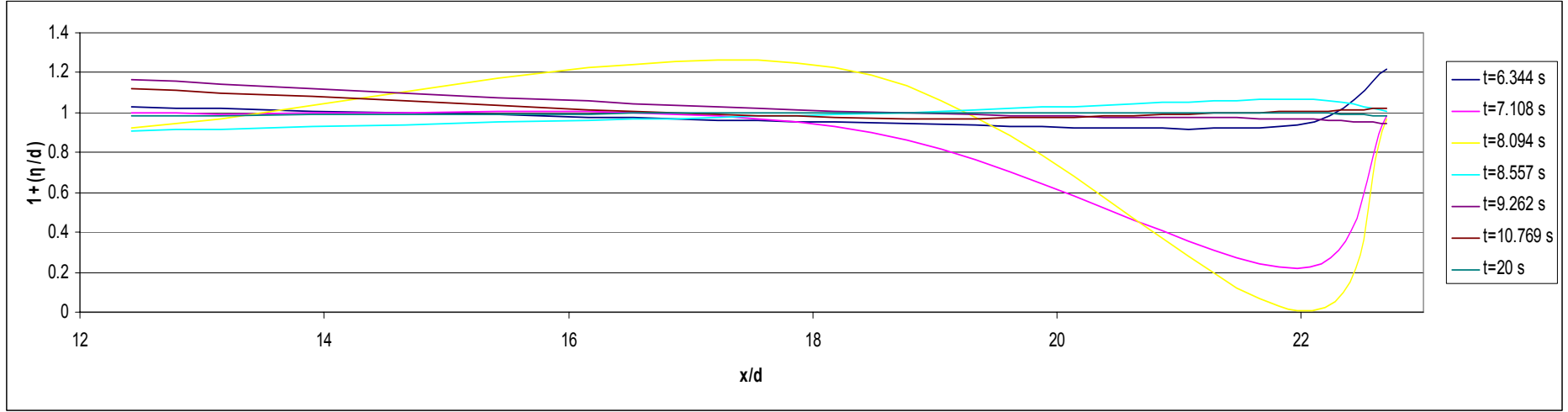
Şekil B.34: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T41)



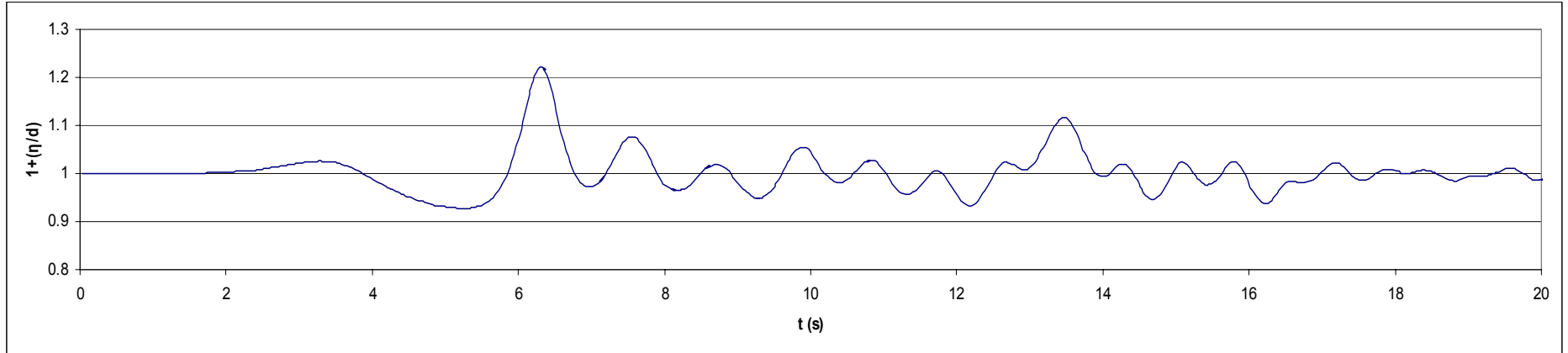
Şekil B.35: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T42)



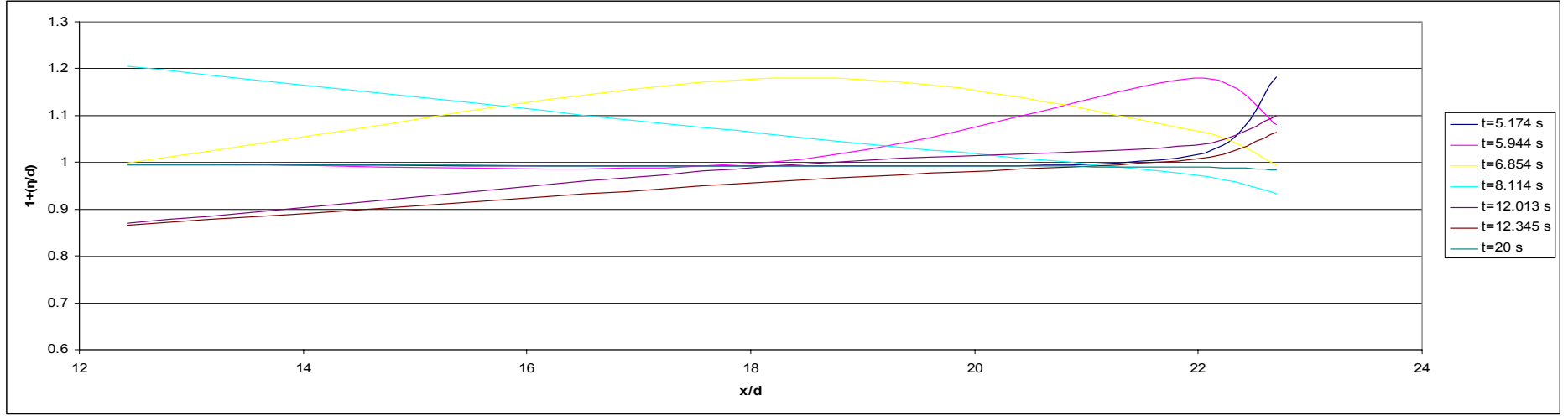
Şekil B.36: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T42)



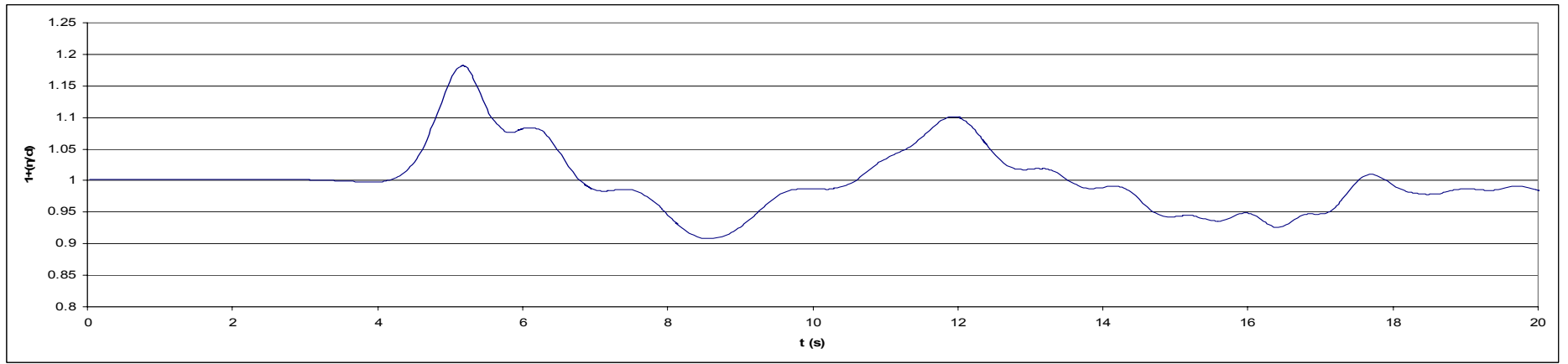
Şekil B.37: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T43)



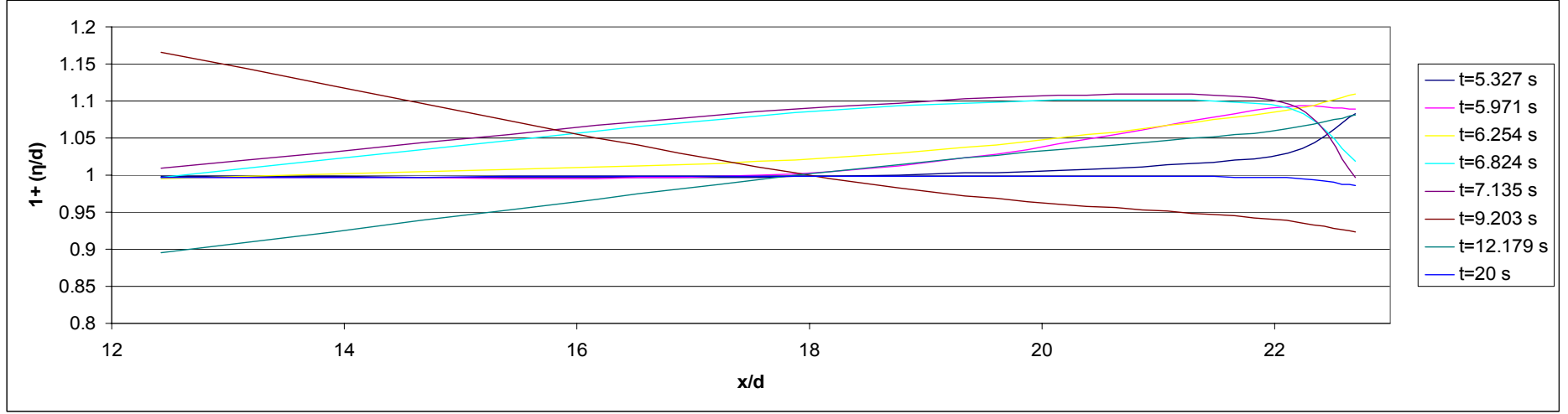
Şekil B.38: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T43)



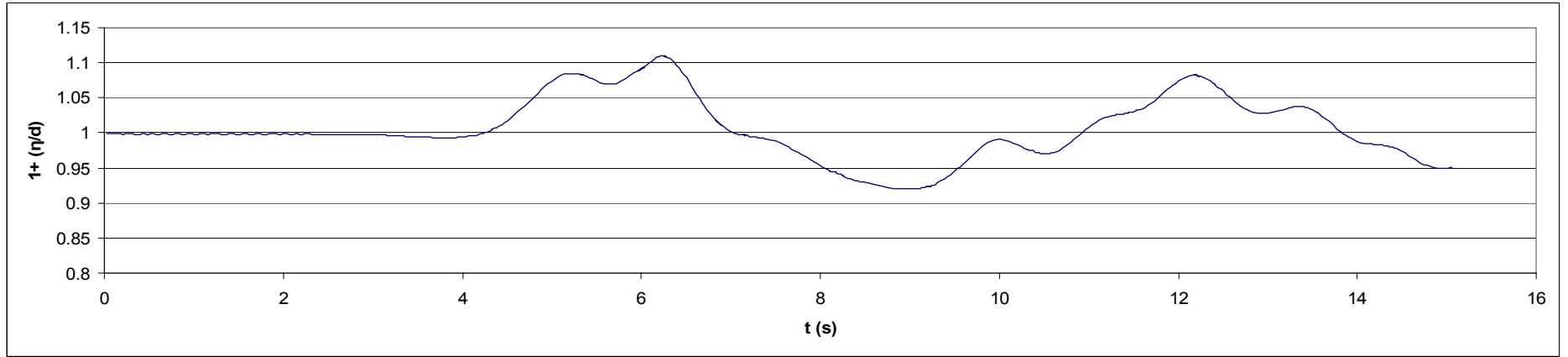
Şekil B.39: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T44)



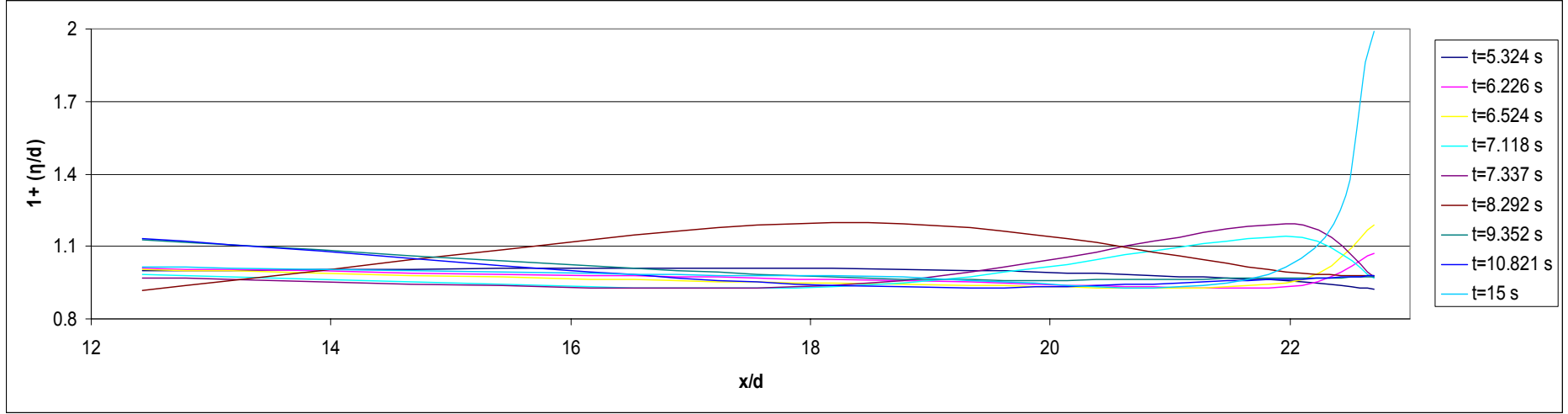
Şekil B.40: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T44)



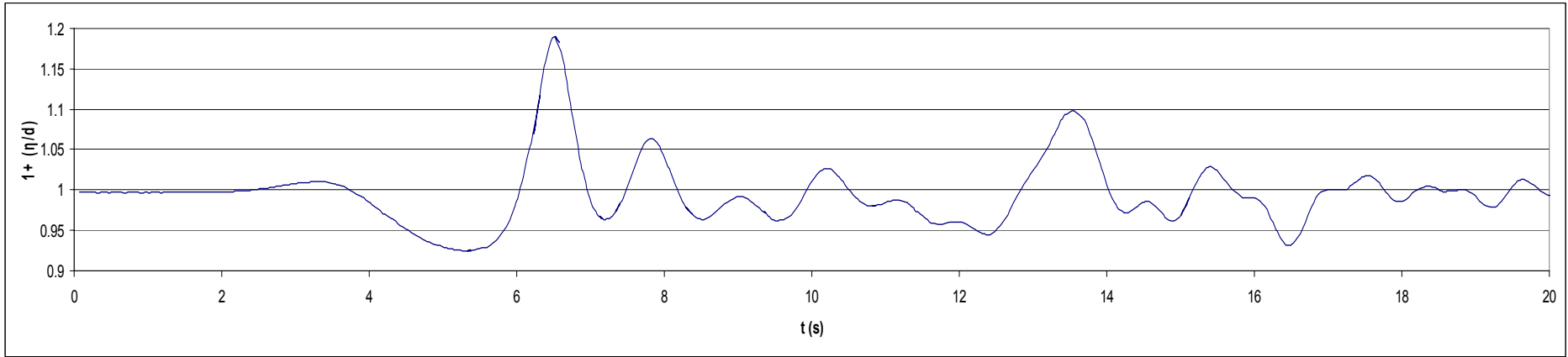
Şekil B.41: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T45)



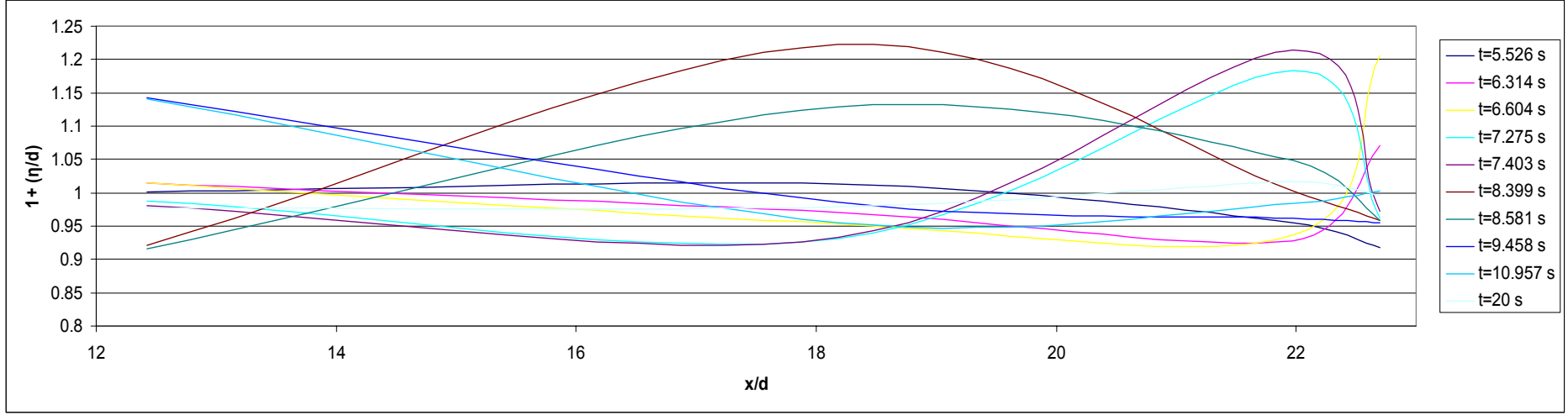
Şekil B.42: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T45)



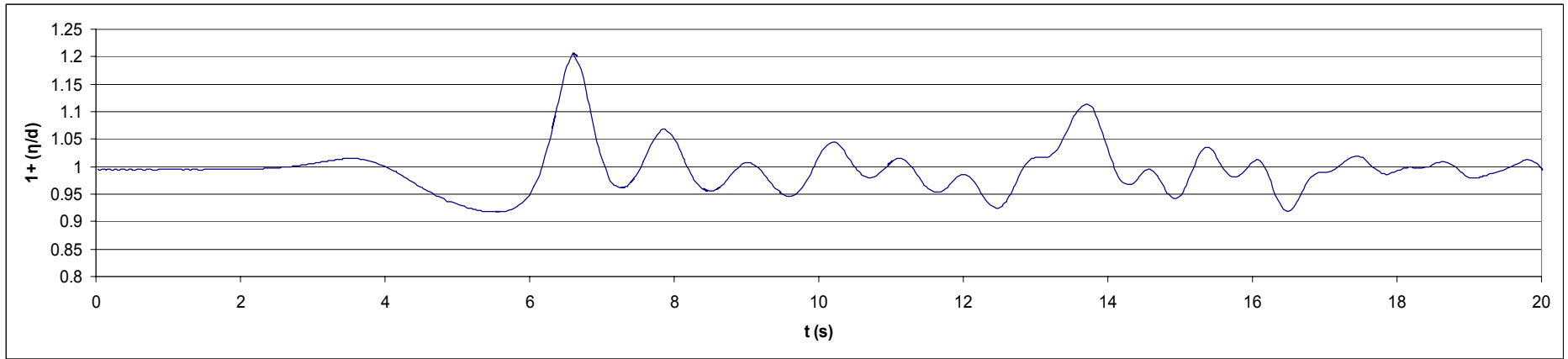
Şekil B.43: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T46)



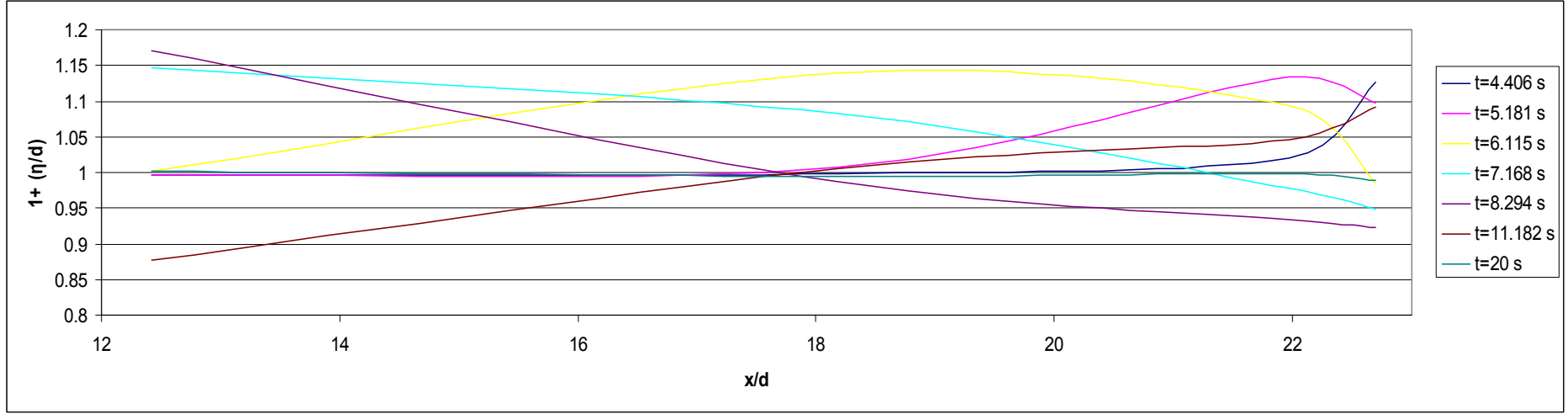
Şekil B.44: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T46)



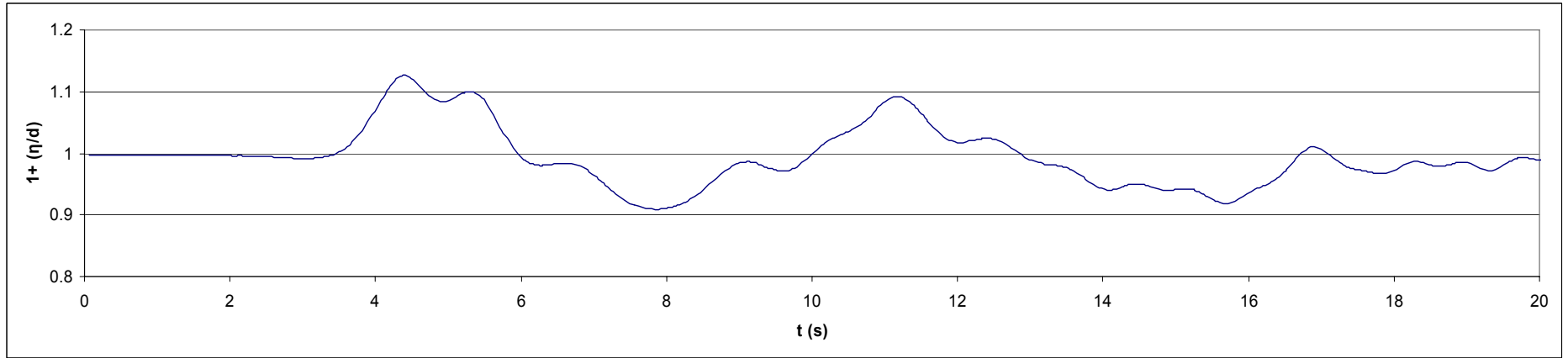
Şekil B.45: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T47)



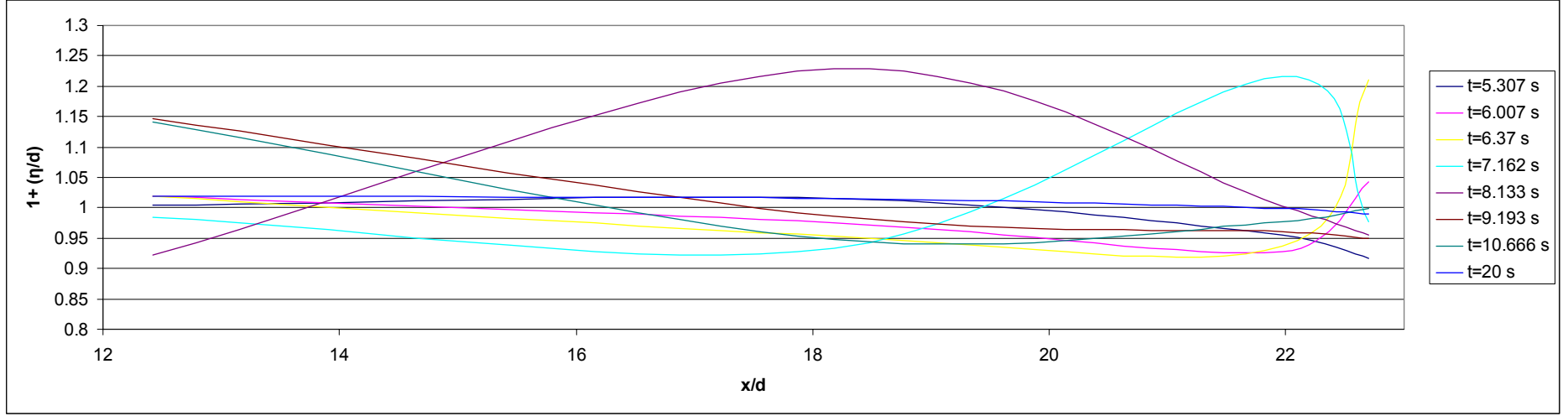
Şekil B.46: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T47)



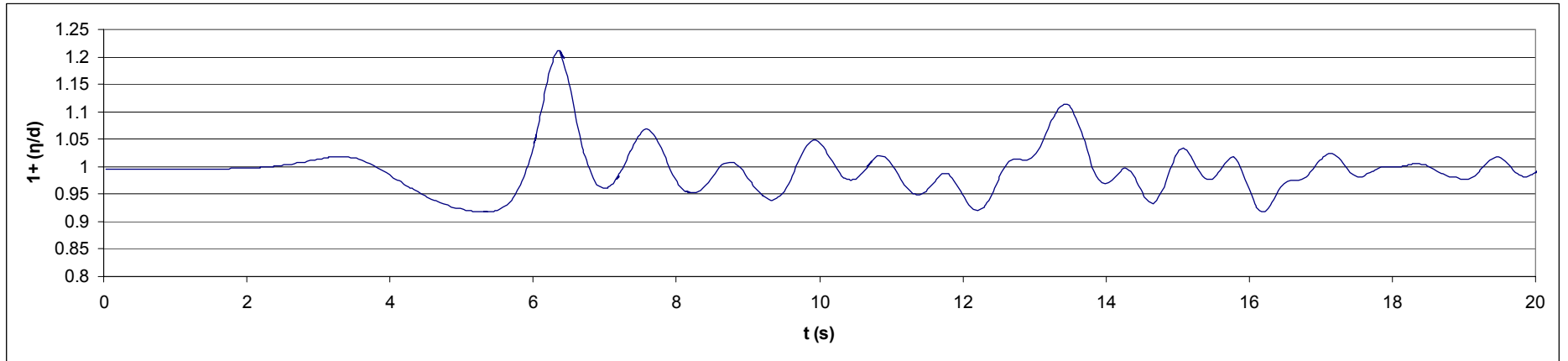
Şekil B.47: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T48)



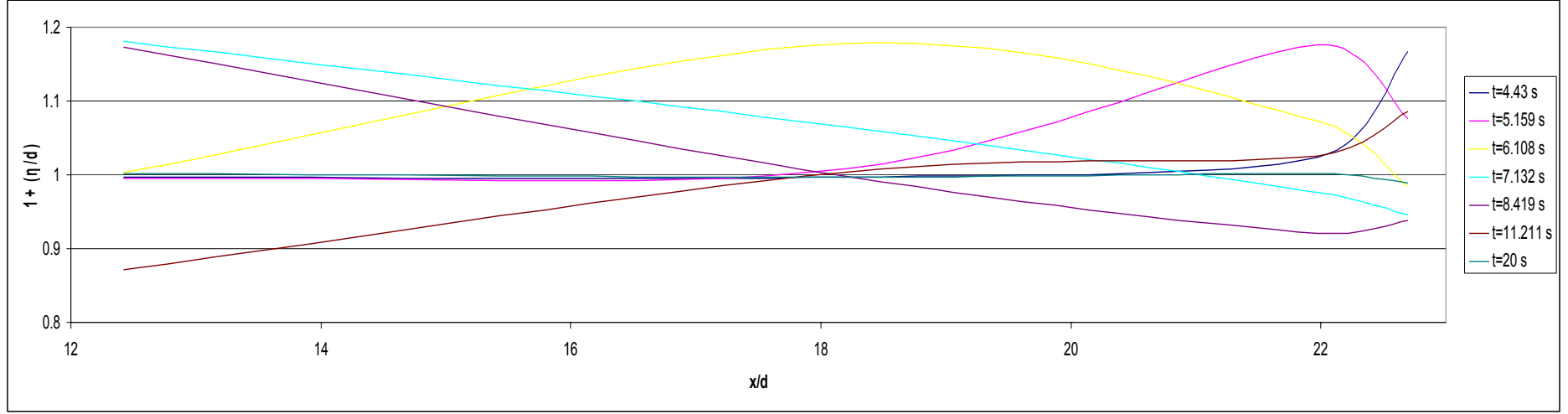
Şekil B.48: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T48)



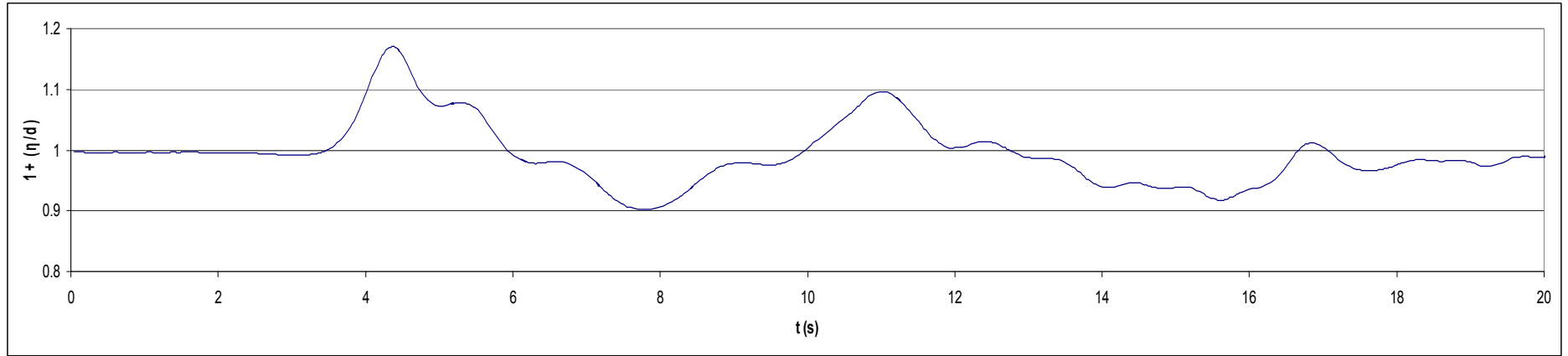
Şekil B.49: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T49)



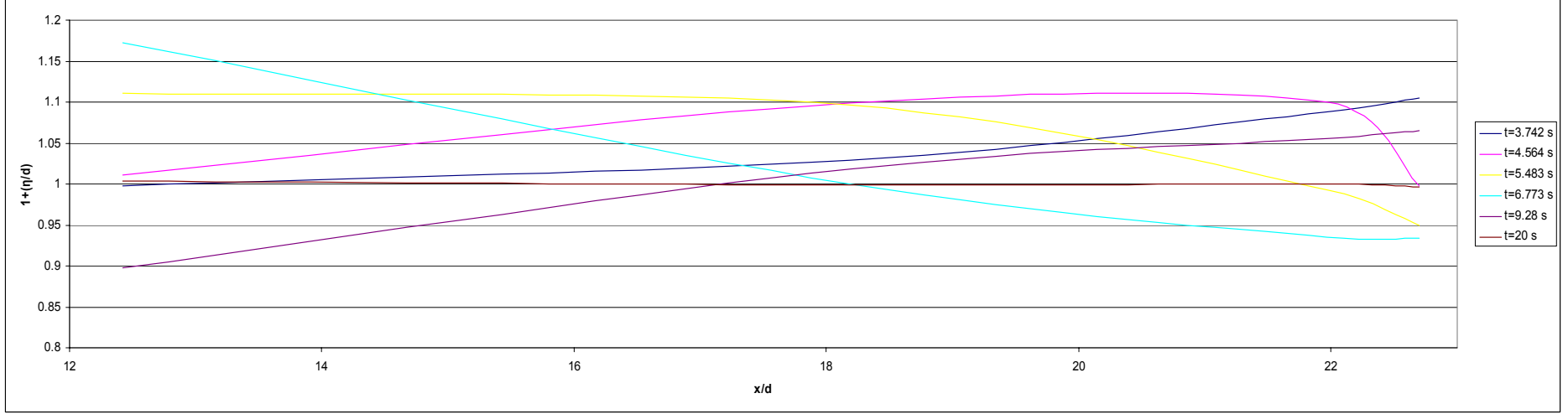
Şekil B.50: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T49)



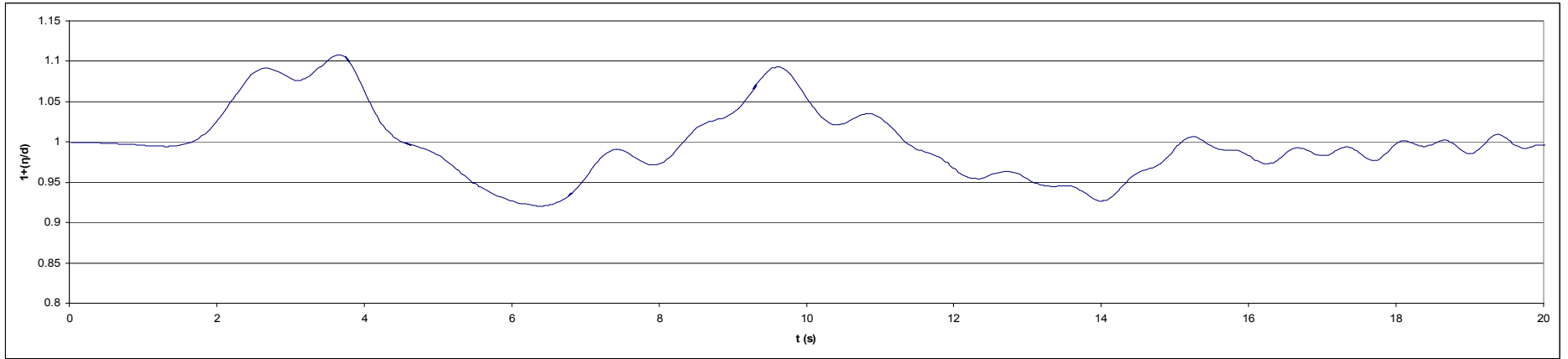
Şekil B.51: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T50)



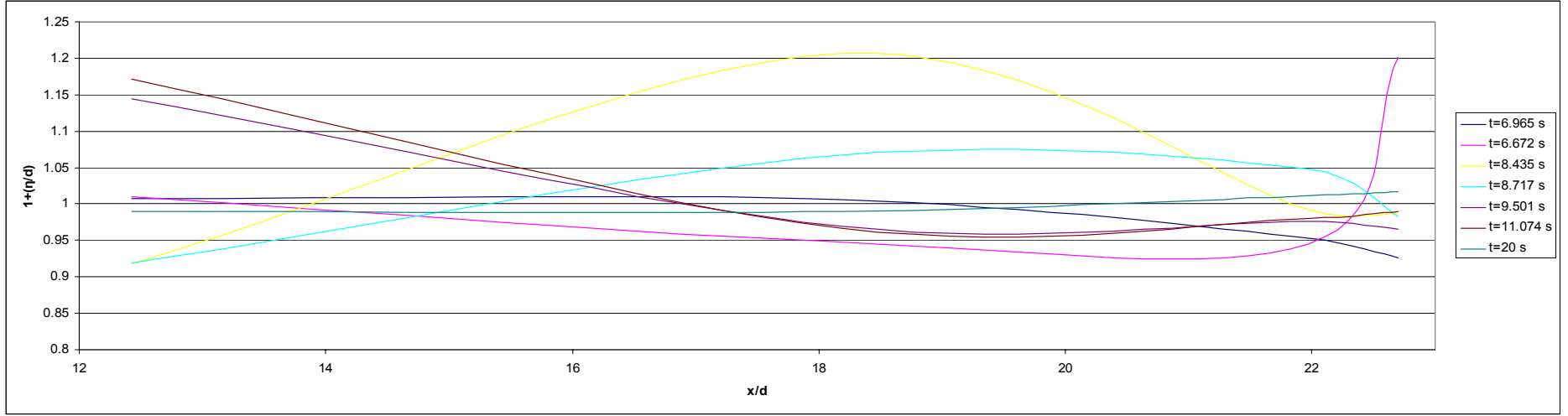
Şekil B.52: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T50)



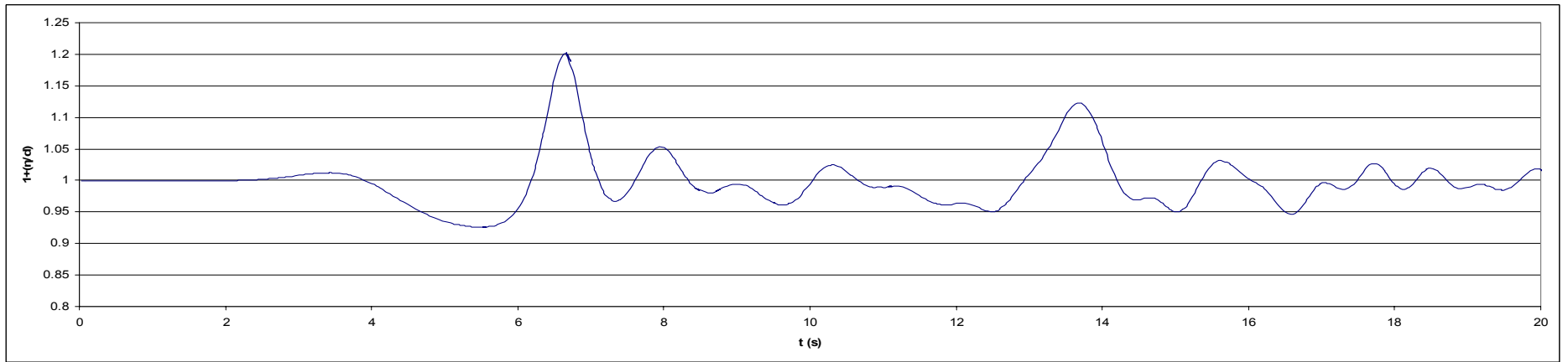
Şekil B.53: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T51)



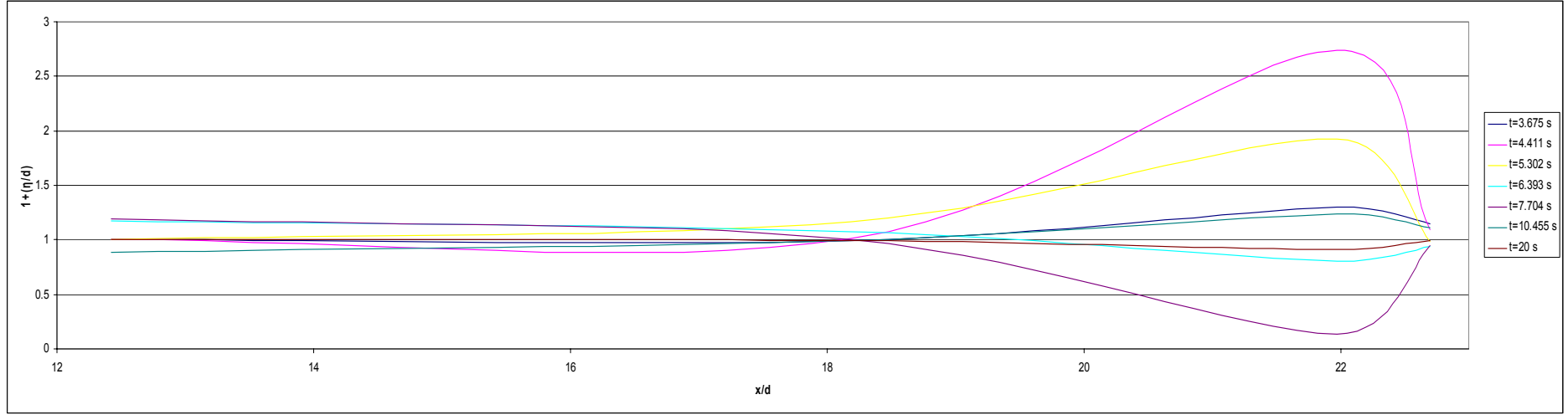
Şekil B.54: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T51)



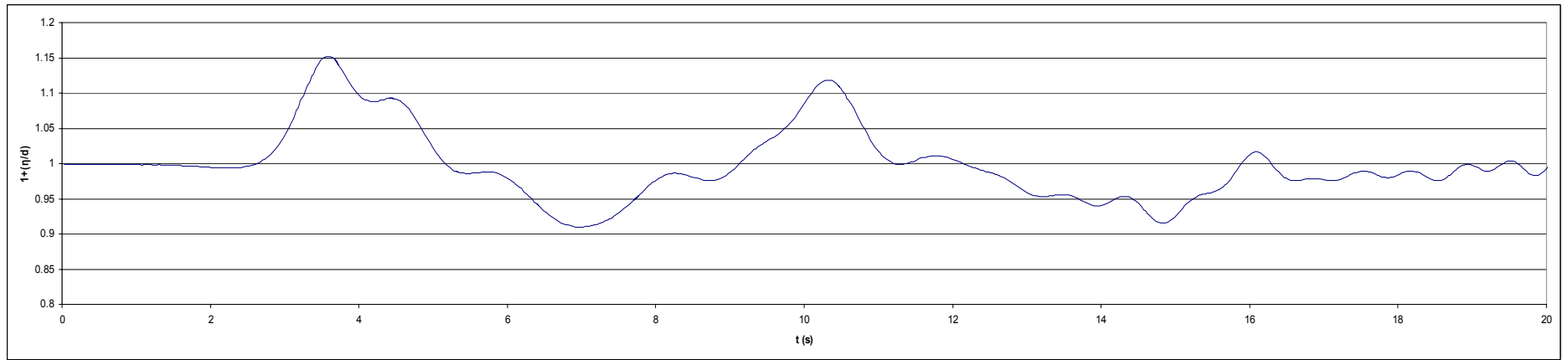
Şekil B.55: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T52)



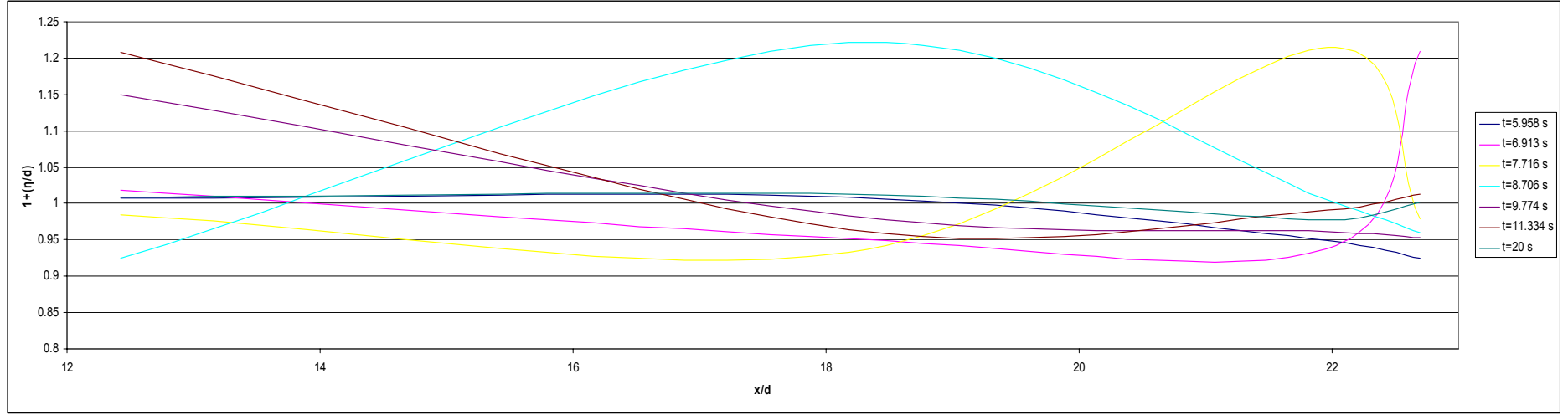
Şekil B.56: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T52)



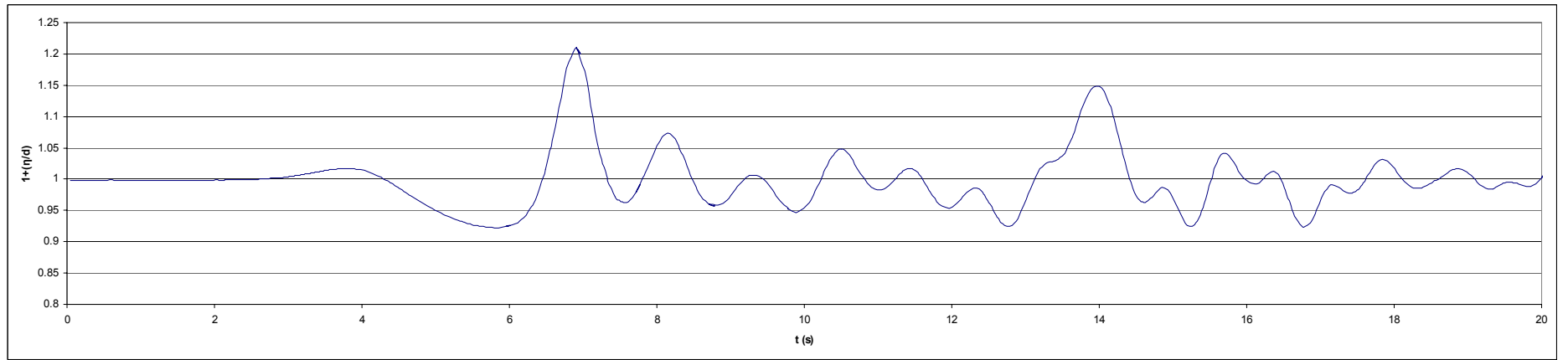
Şekil B.57: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T53)



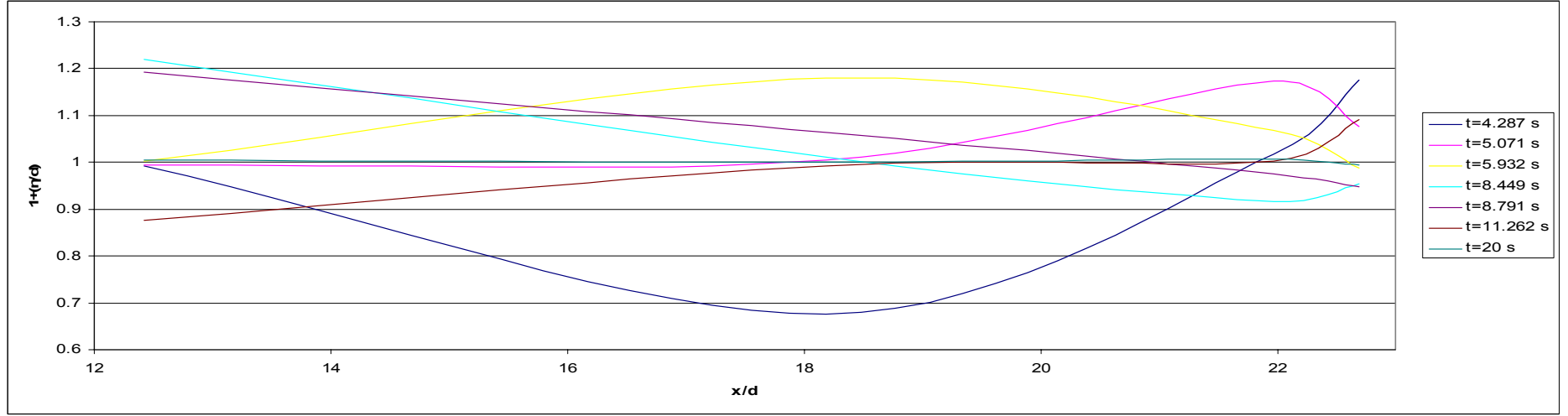
Şekil B.58: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T53)



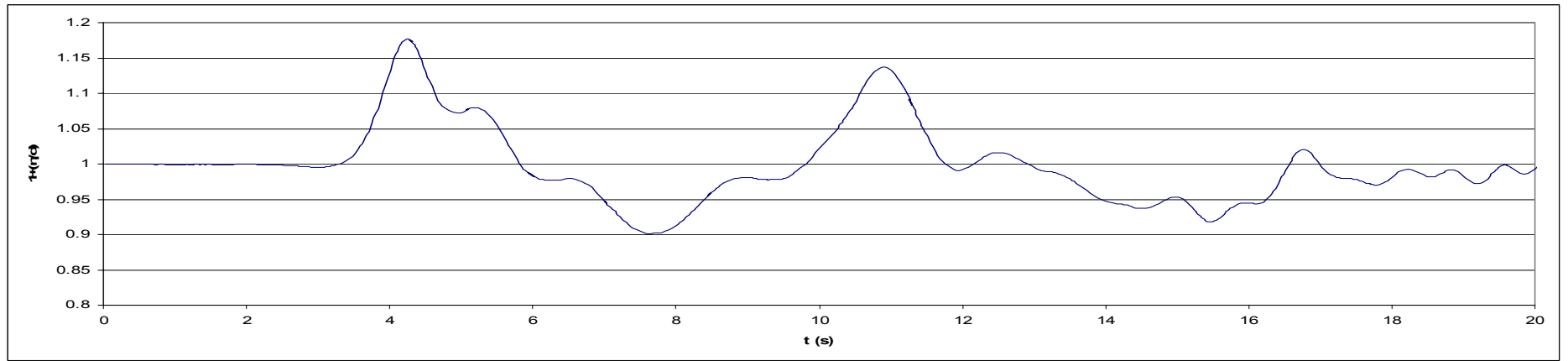
Şekil B.59: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T54)



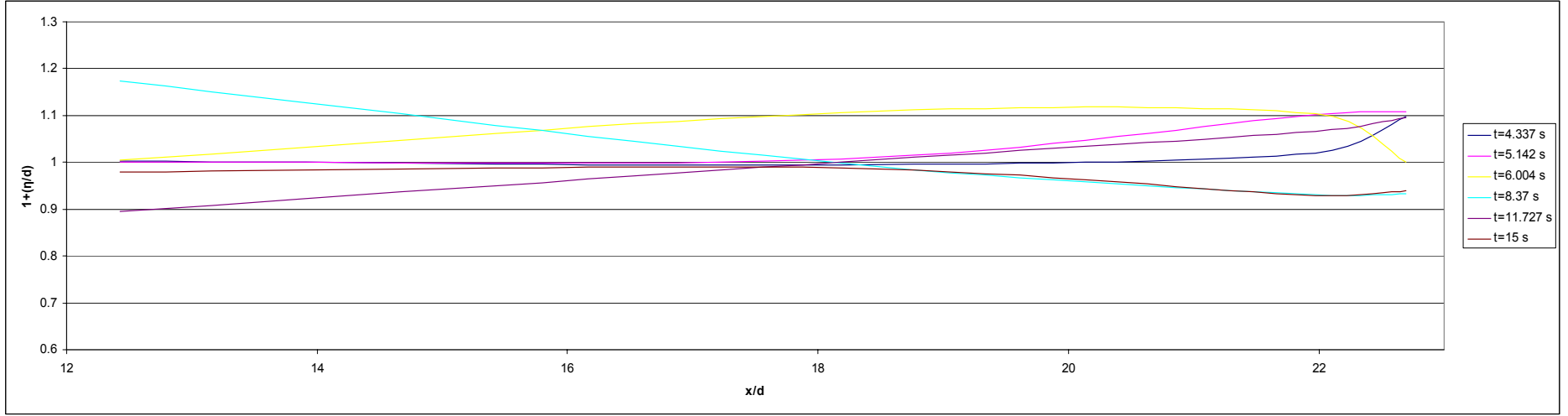
Şekil B.60: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T54)



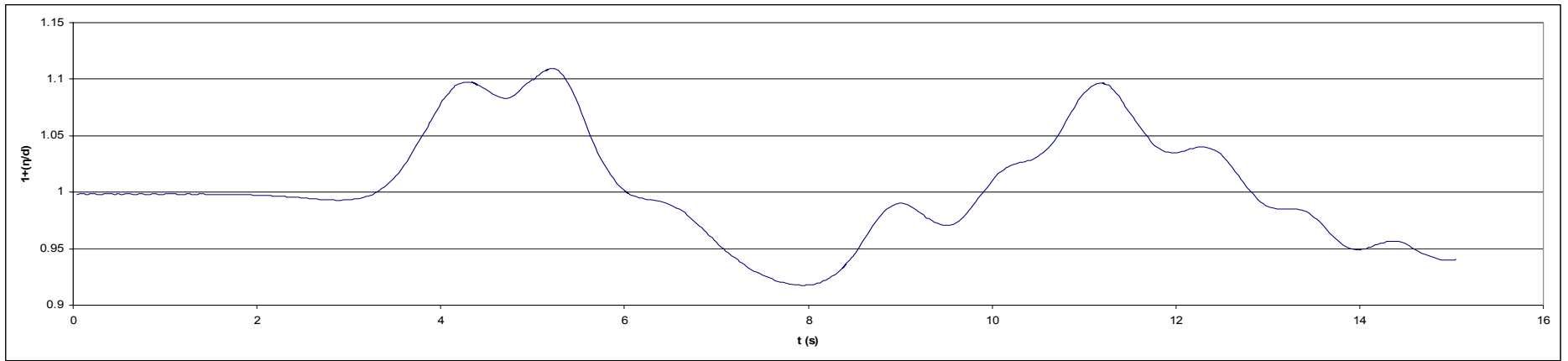
Şekil B.61: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T55)



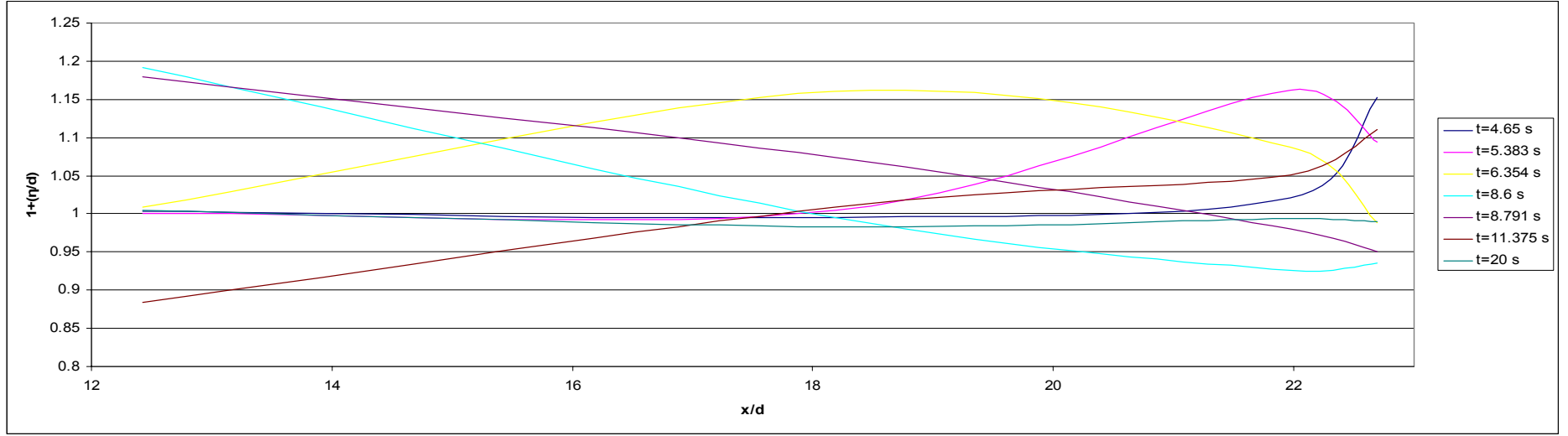
Şekil B.62: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T55)



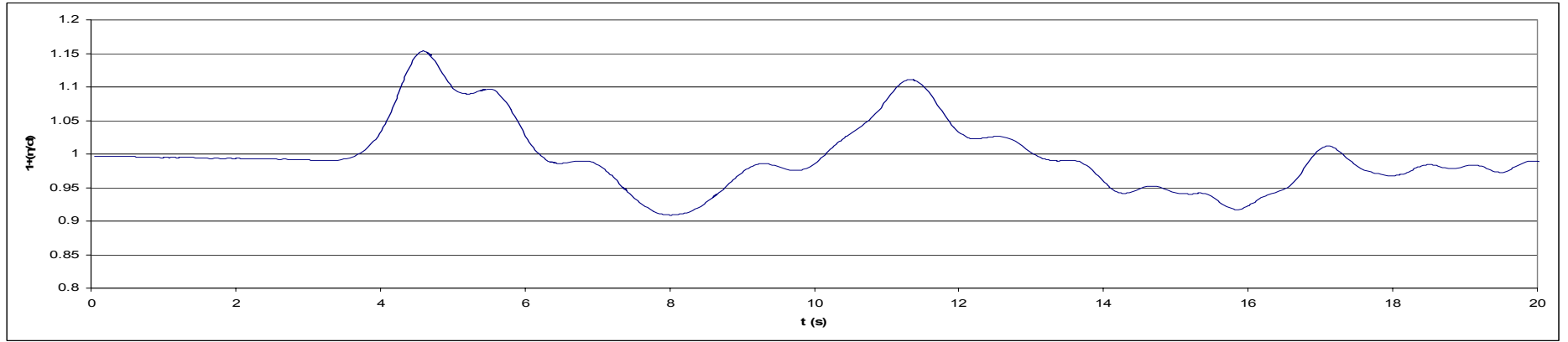
Şekil B.63: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T57)



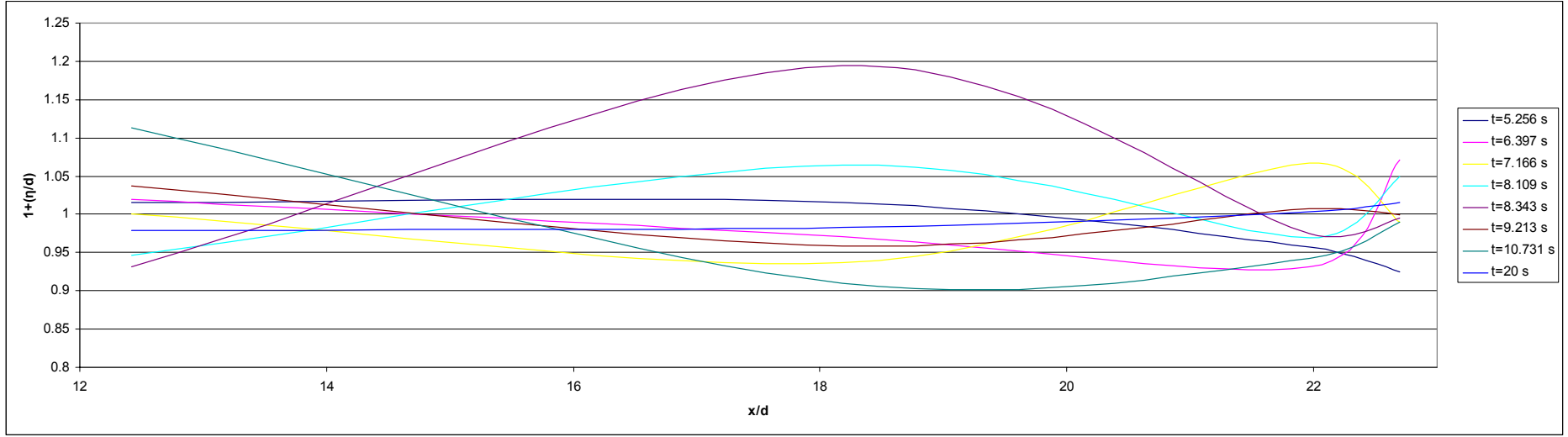
Şekil B.64: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T57)



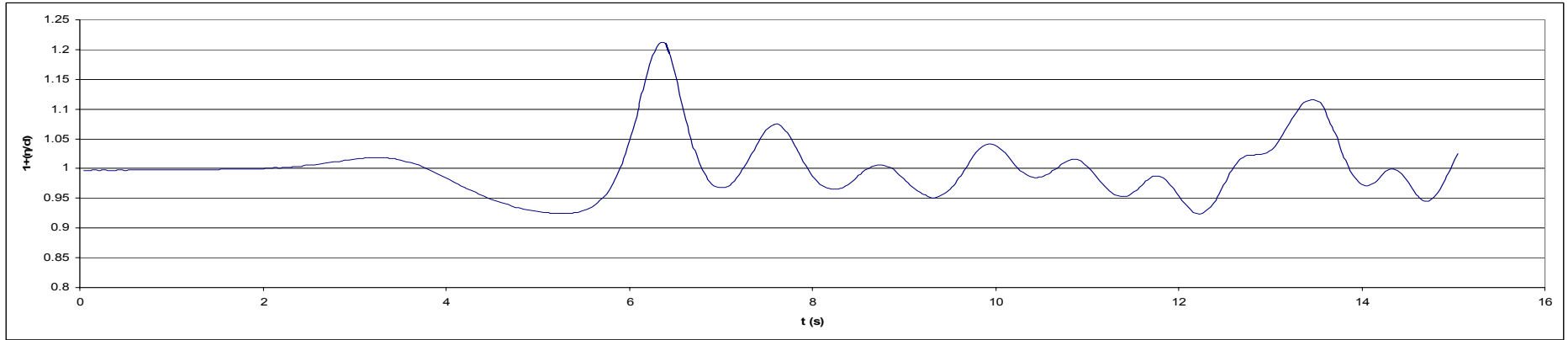
Şekil B.65: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T59)



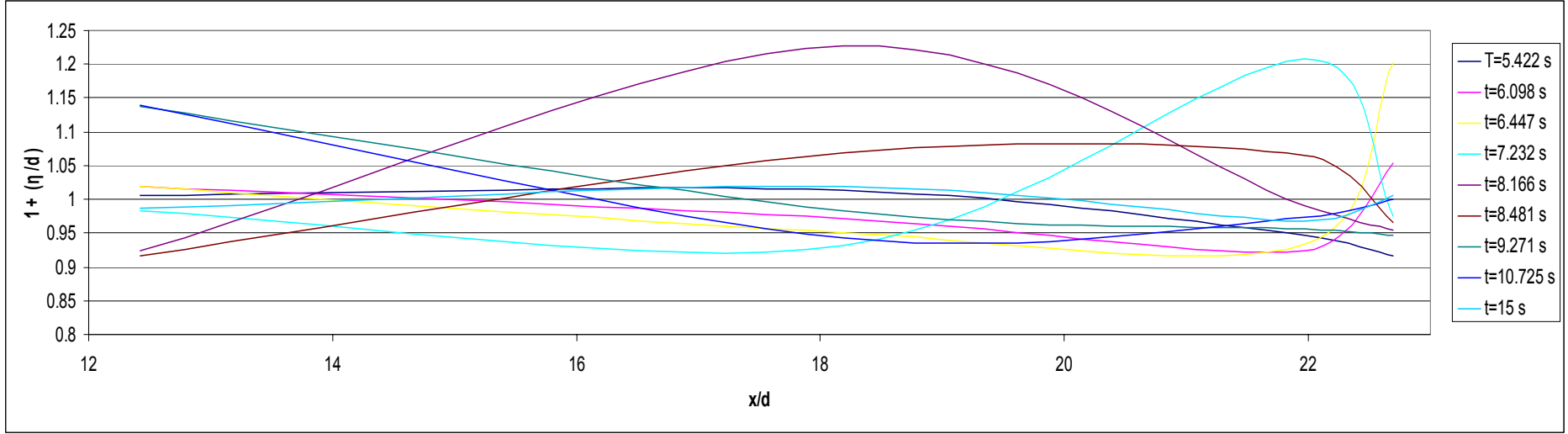
Şekil B.66: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T59)



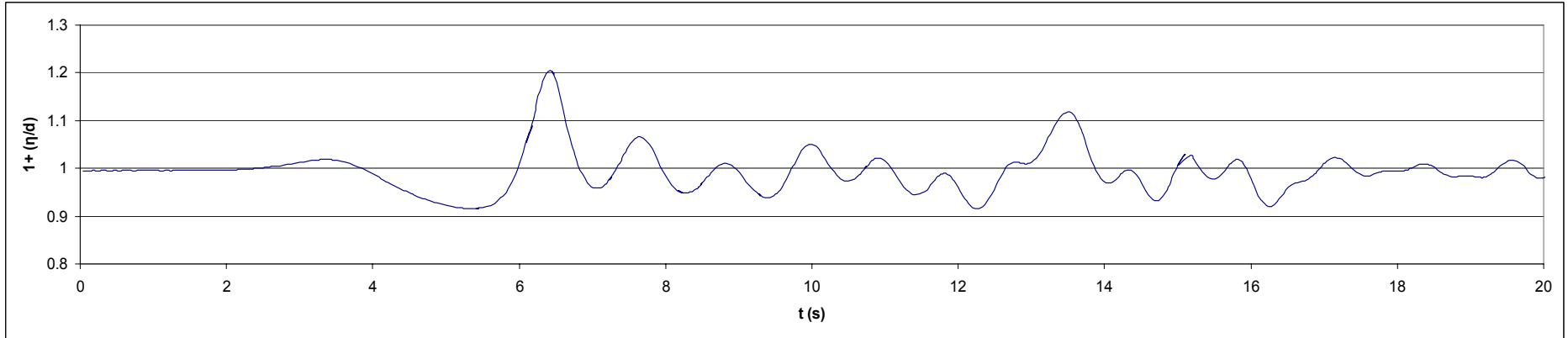
Şekil B.67: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T60)



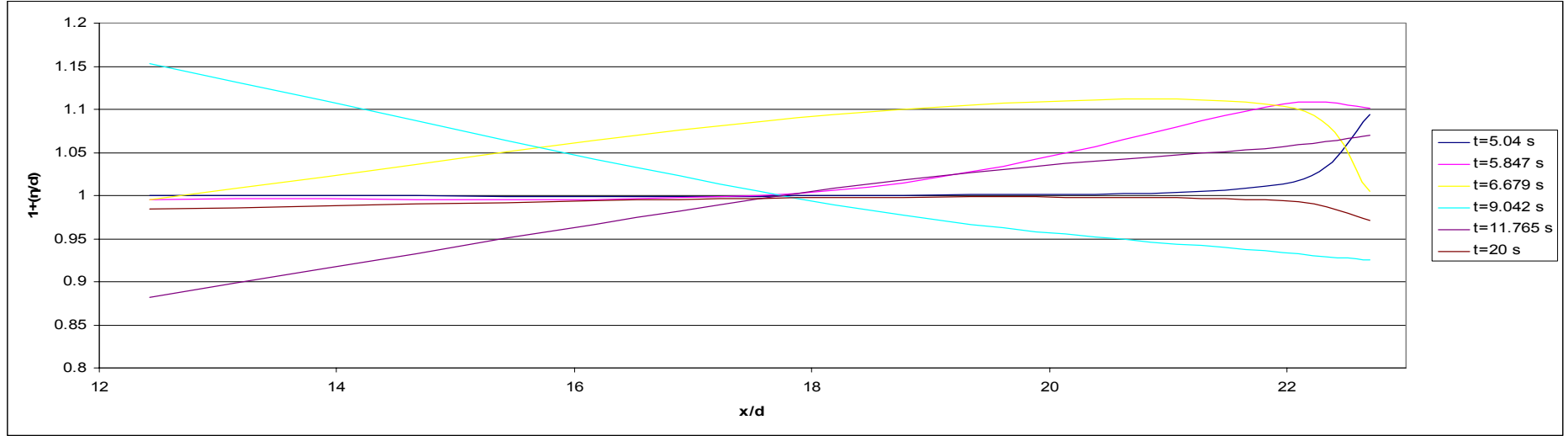
Şekil B.68: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T60)



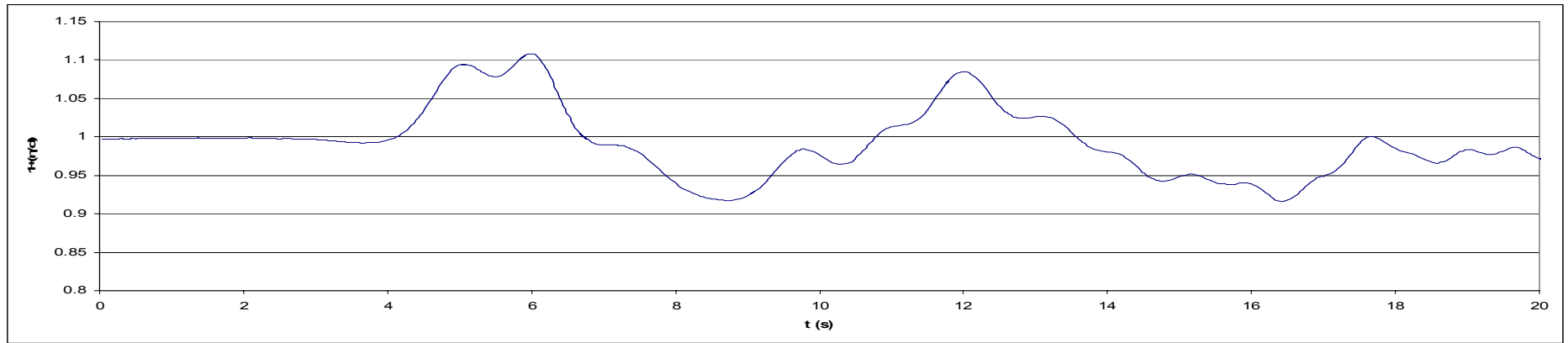
Şekil B.69: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T62)



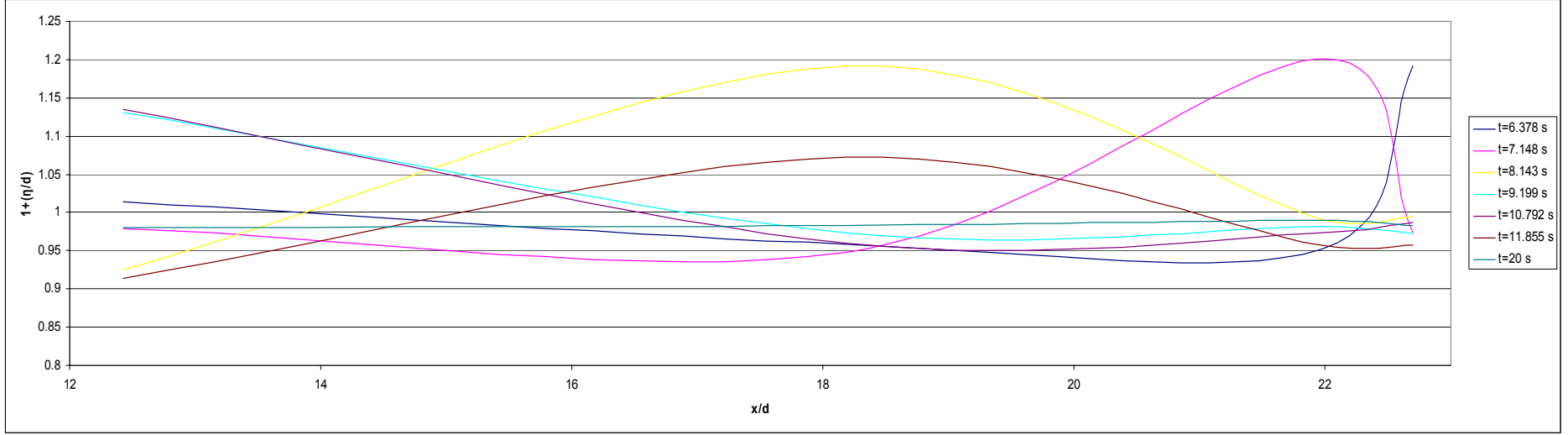
Şekil B.70: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T62)



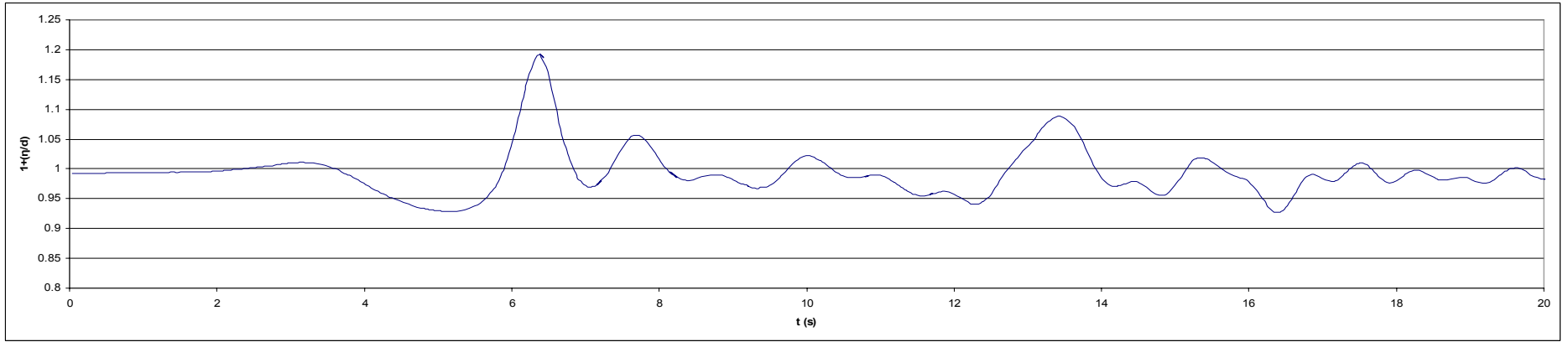
Şekil B.71: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T63)



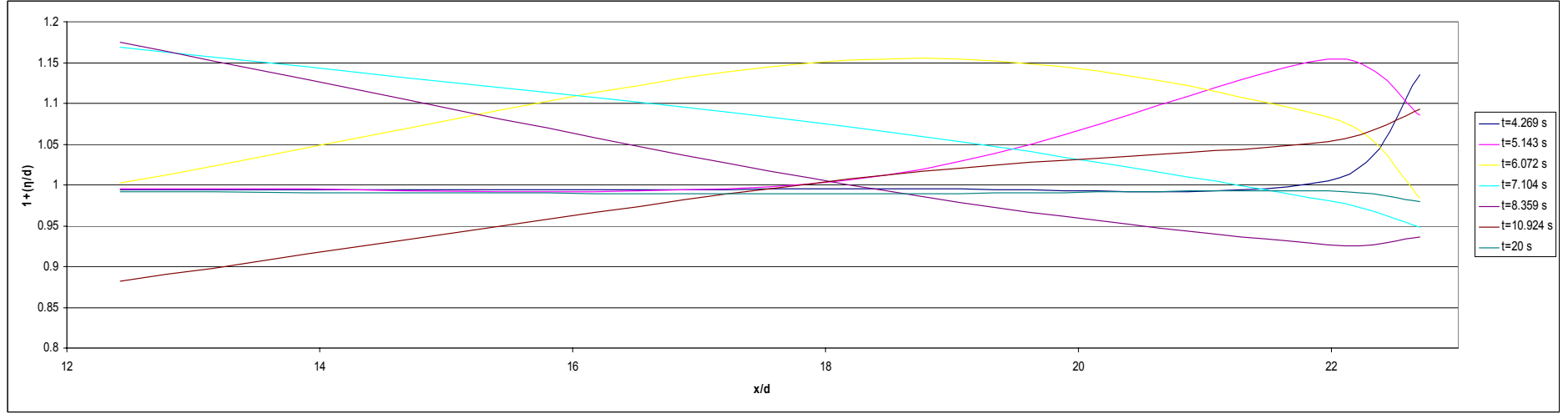
Şekil B.72: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T63)



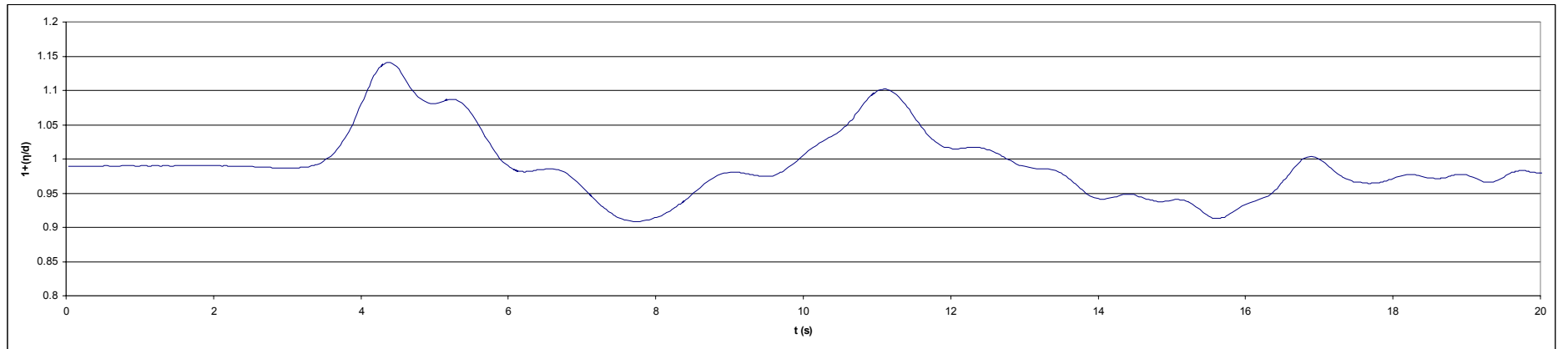
Şekil B.73: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T64)



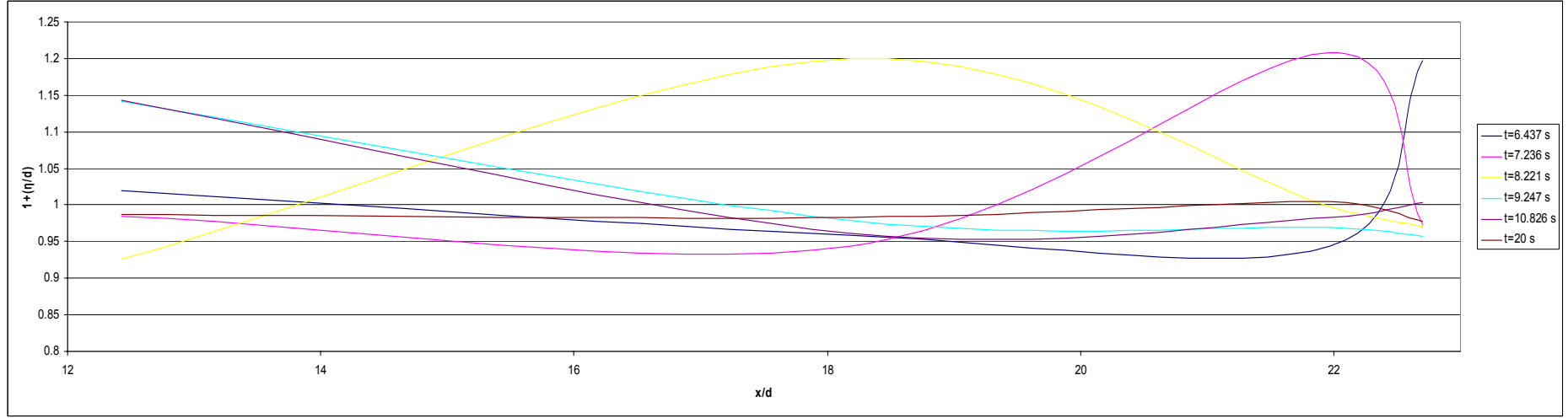
Şekil B.74: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T64)



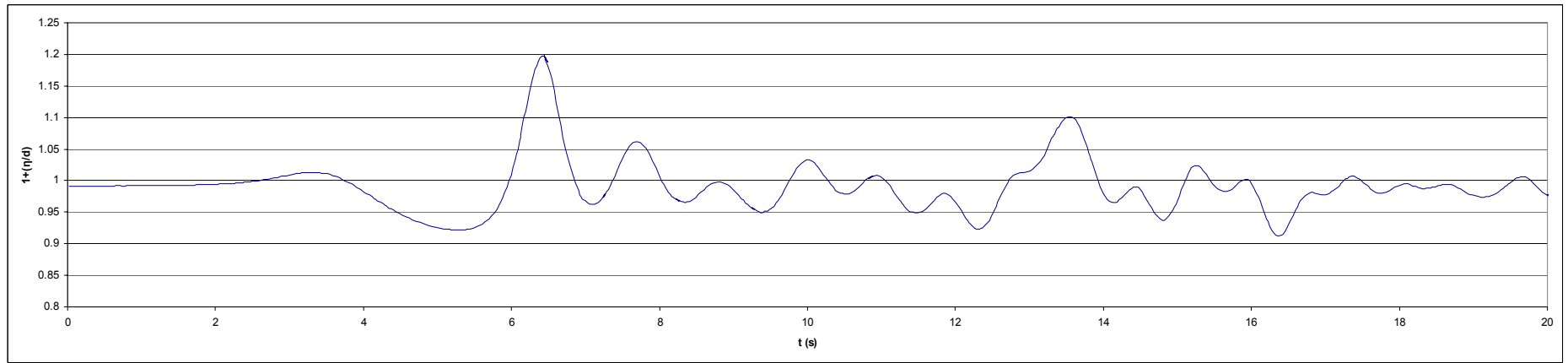
Şekil B.75: x'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T65)



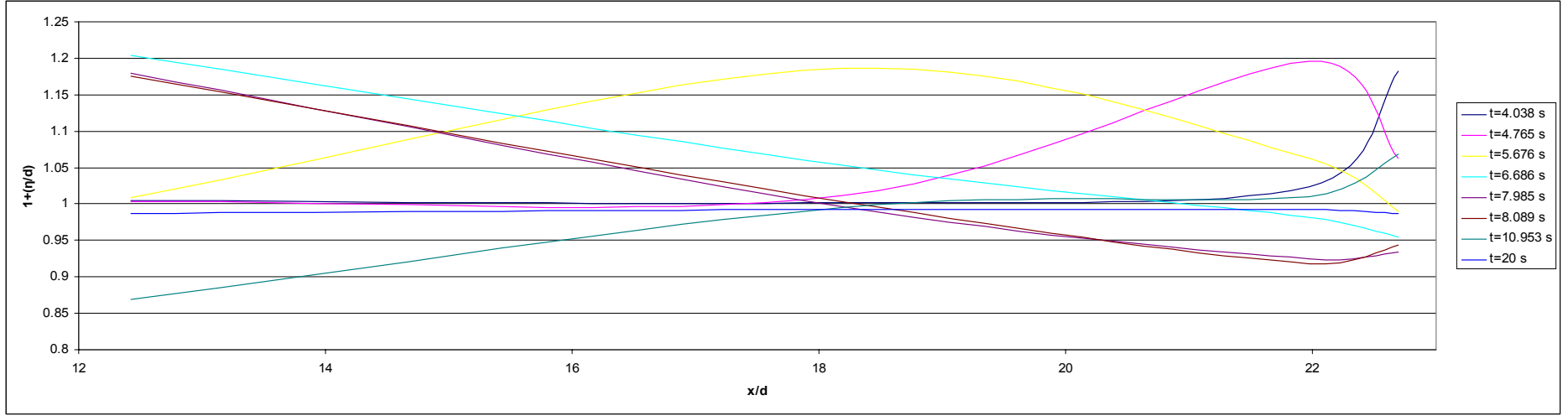
Şekil B.76: Açık deniz dalga probu için t'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T65)



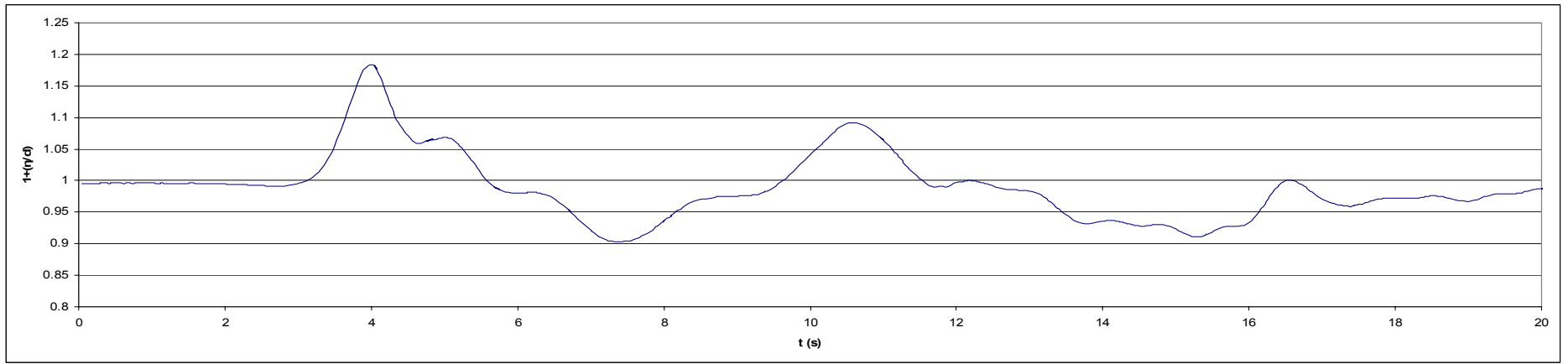
Şekil B.77: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T66)



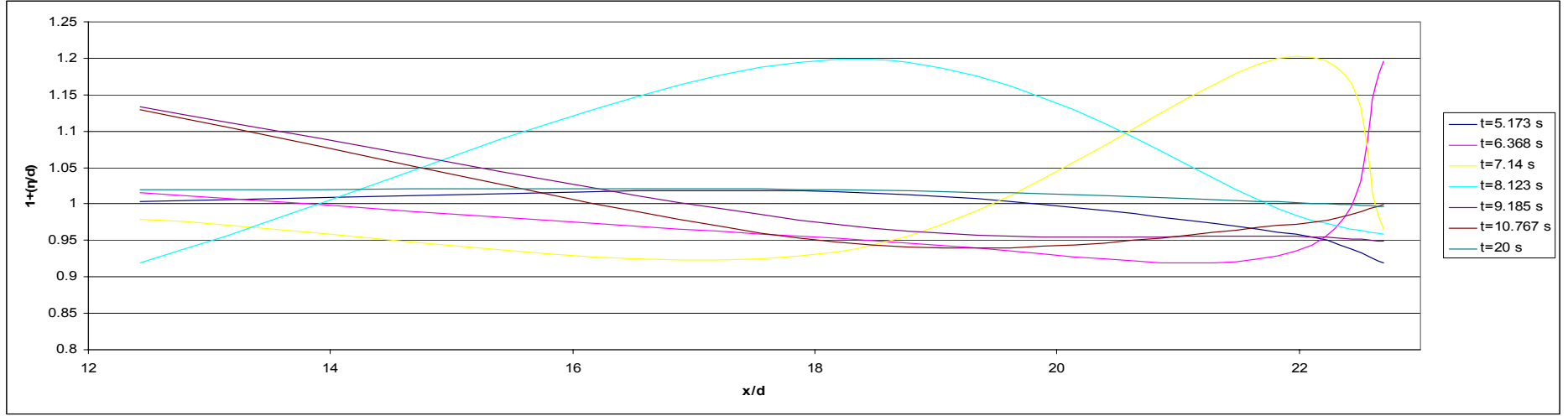
Şekil B.78: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T66)



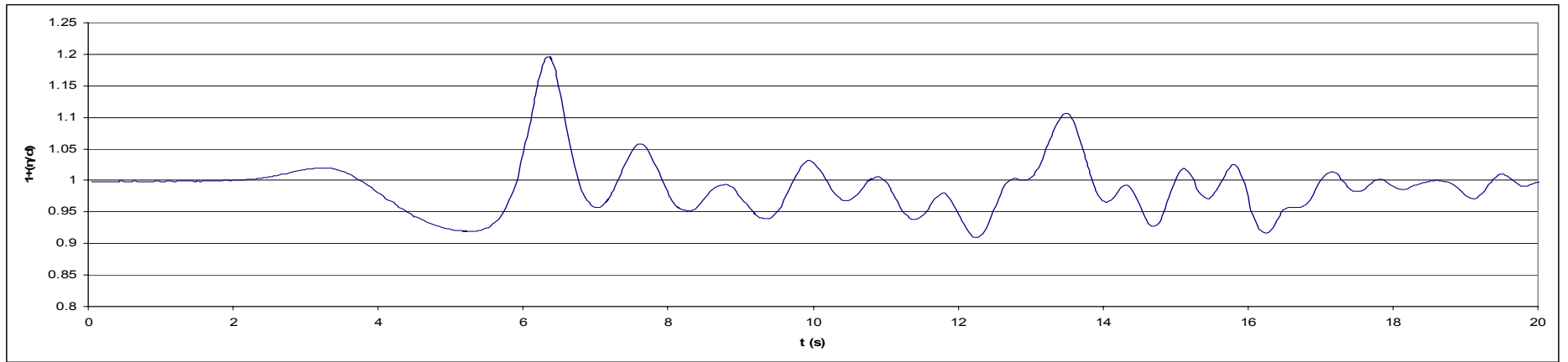
Şekil B.79: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T67)



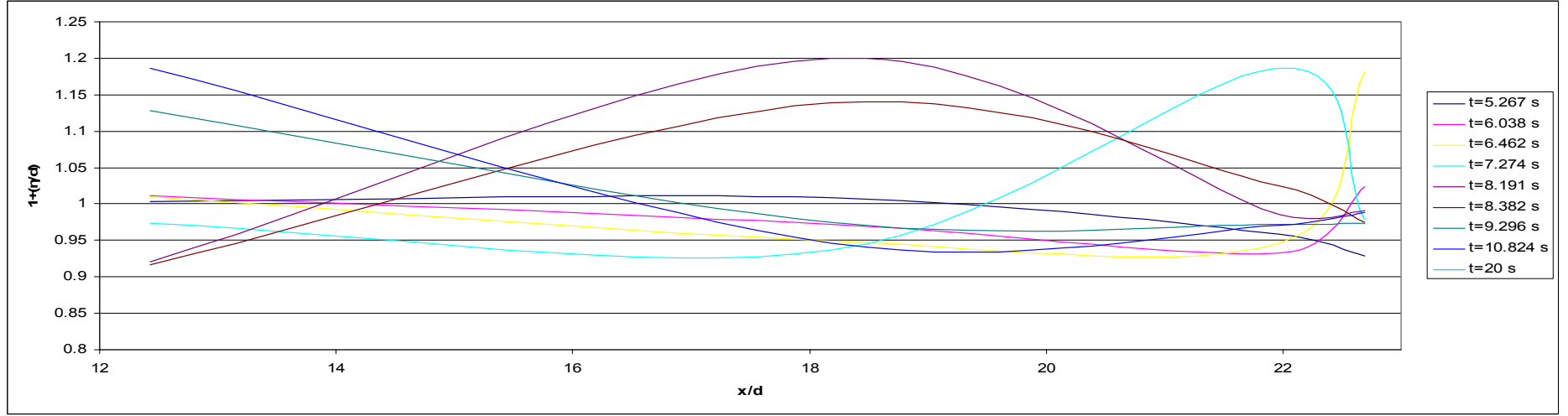
Şekil B.80: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T67)



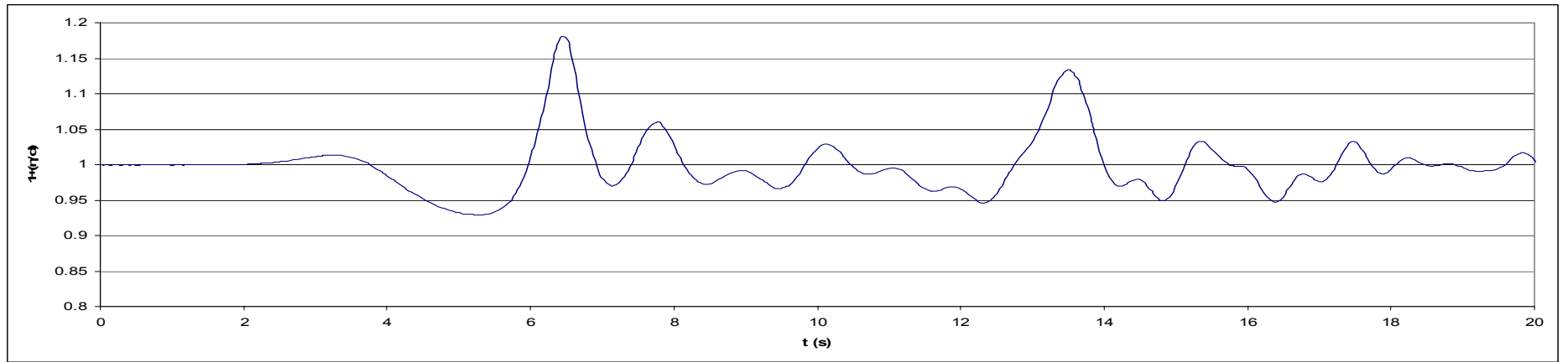
Şekil B.81: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T68)



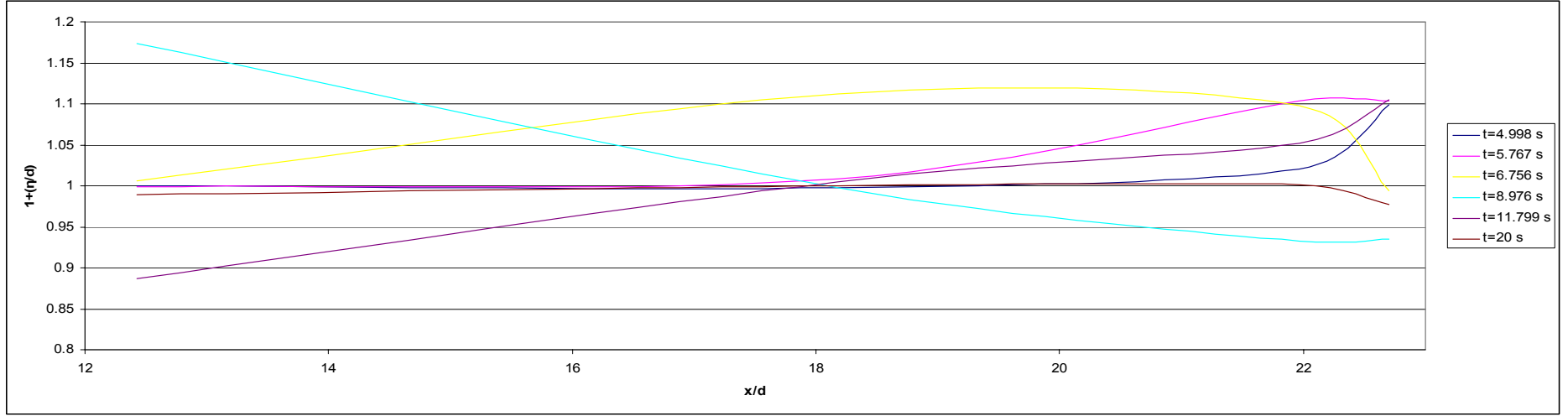
Şekil B.82: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T68)



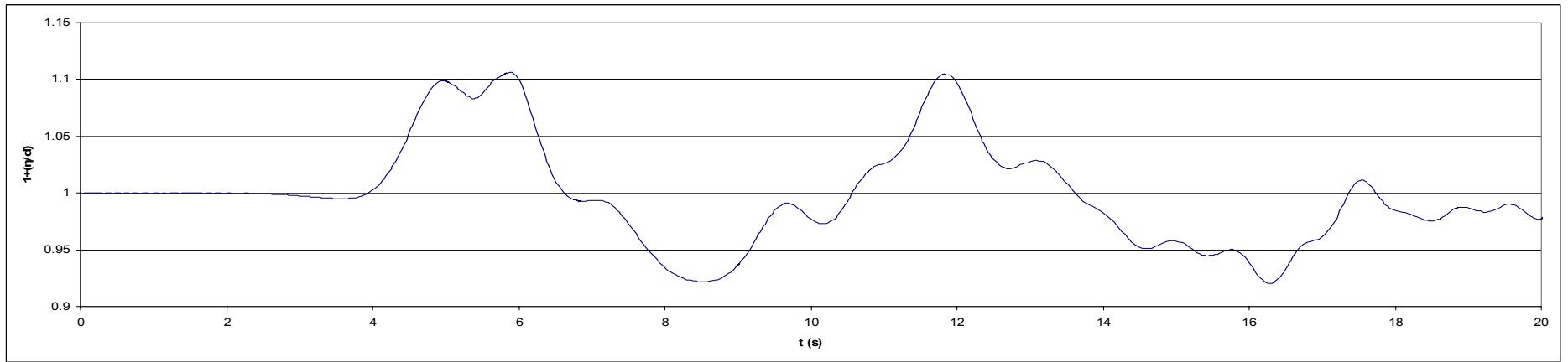
Şekil B.83: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T69)



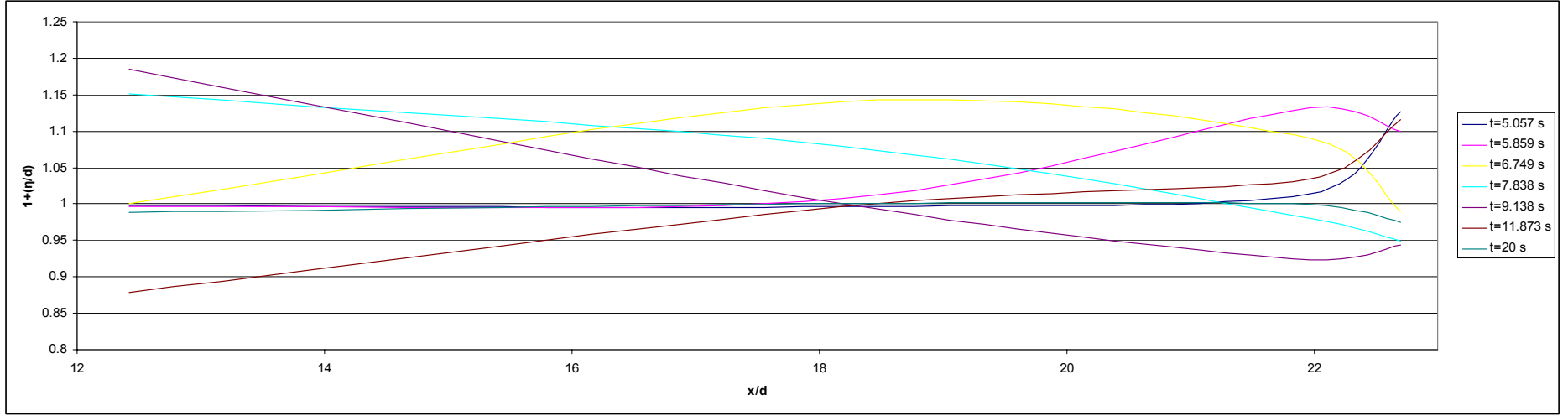
Şekil B.84: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T69)



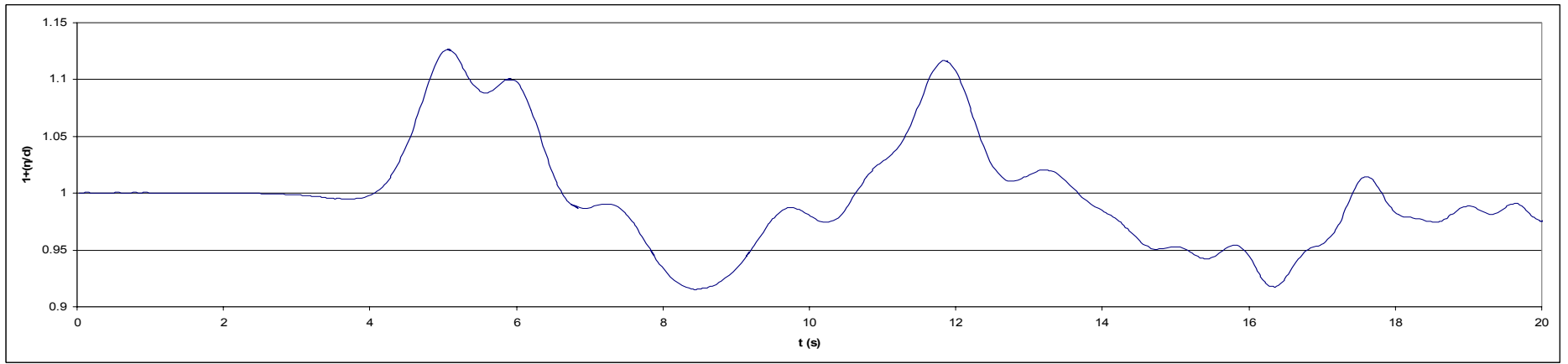
Şekil B.85: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T70)



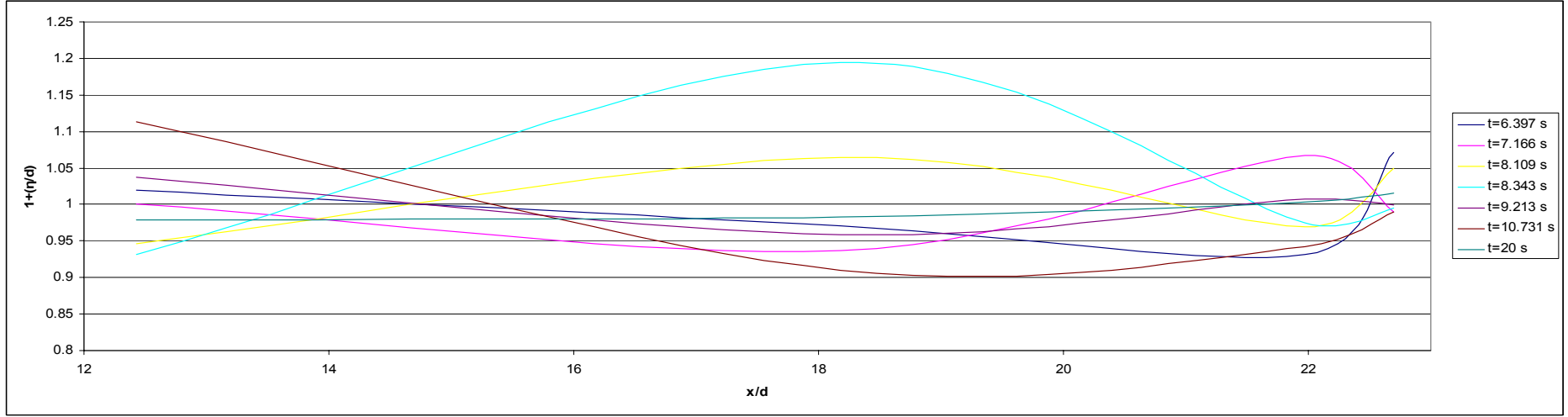
Şekil B.86: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T70)



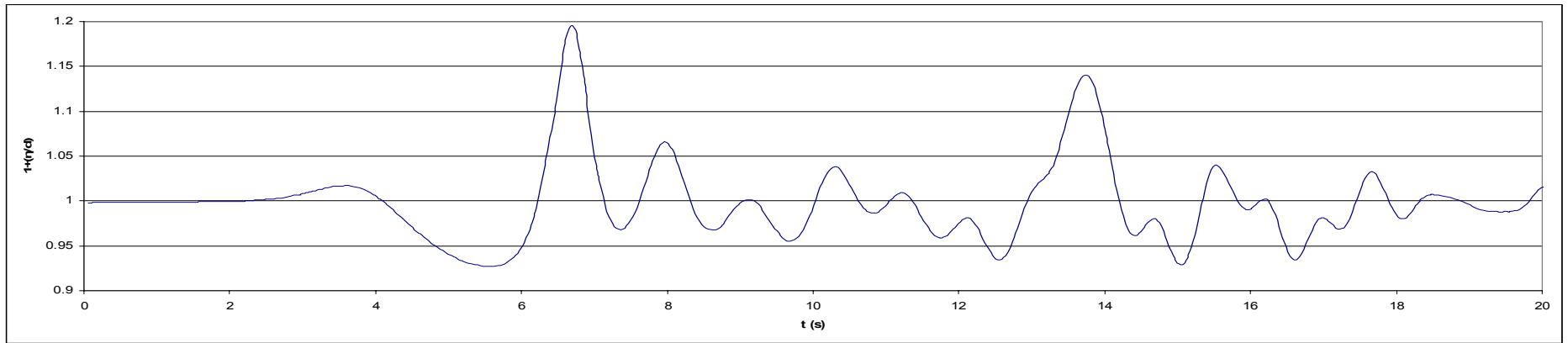
Şekil B.87: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T71)



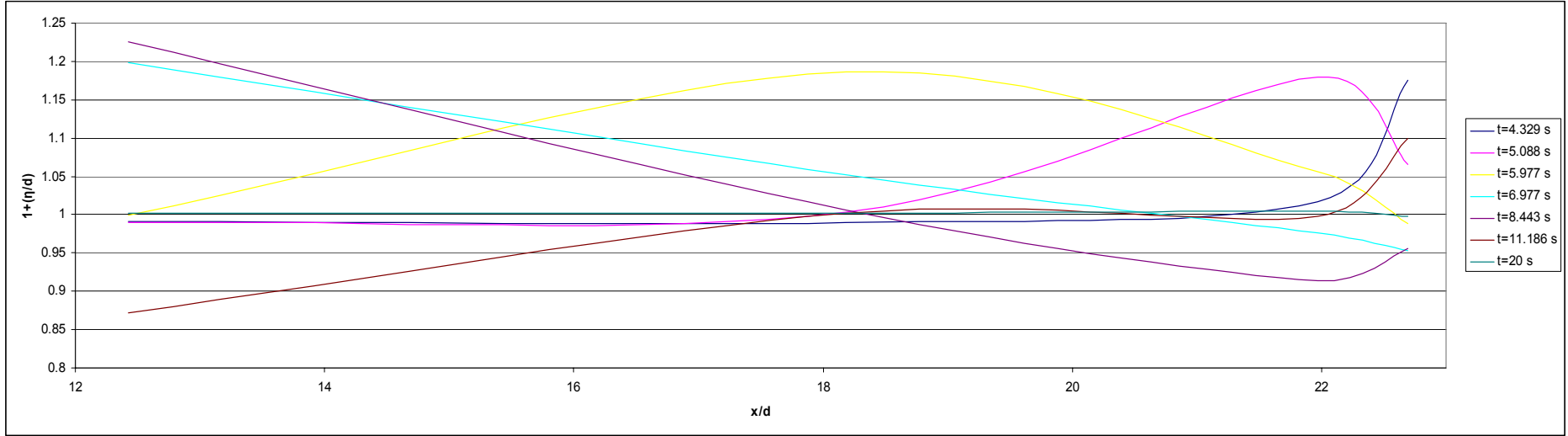
Şekil B.88: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T71)



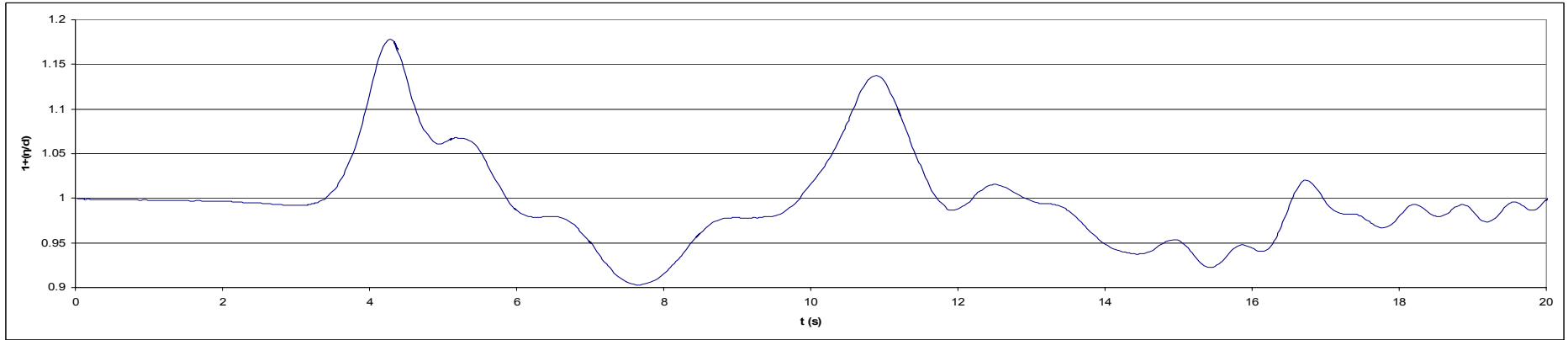
Şekil B.89: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T72)



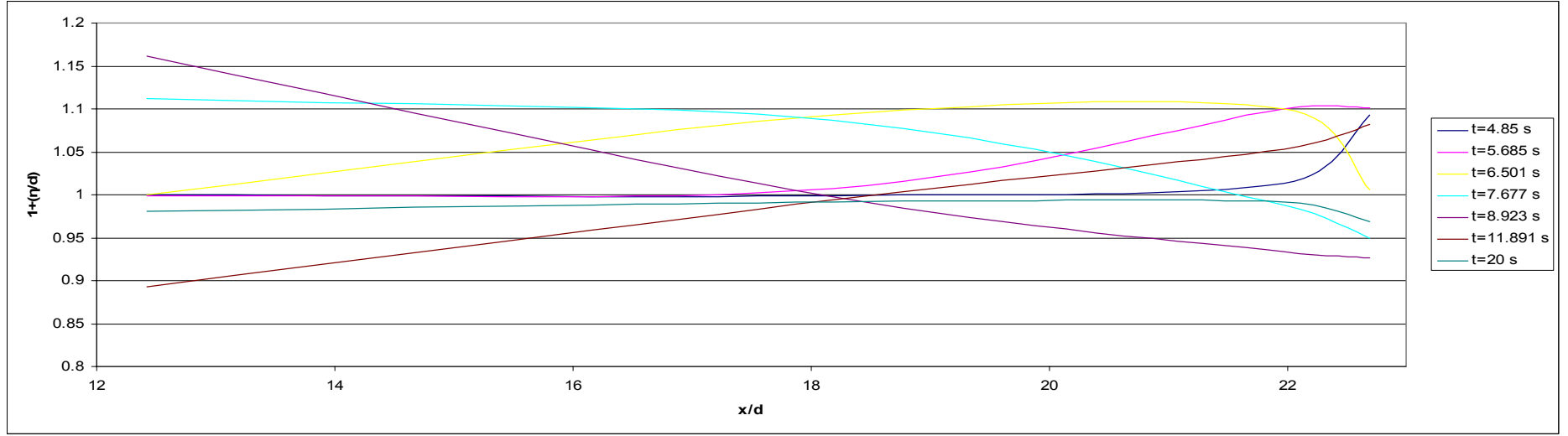
Şekil B.90: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T72)



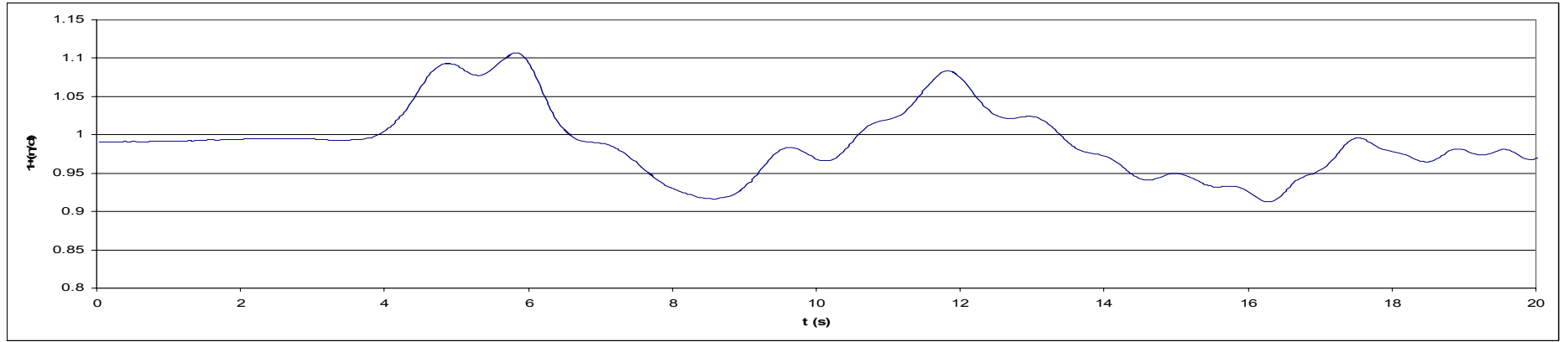
Şekil B.91: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T73)



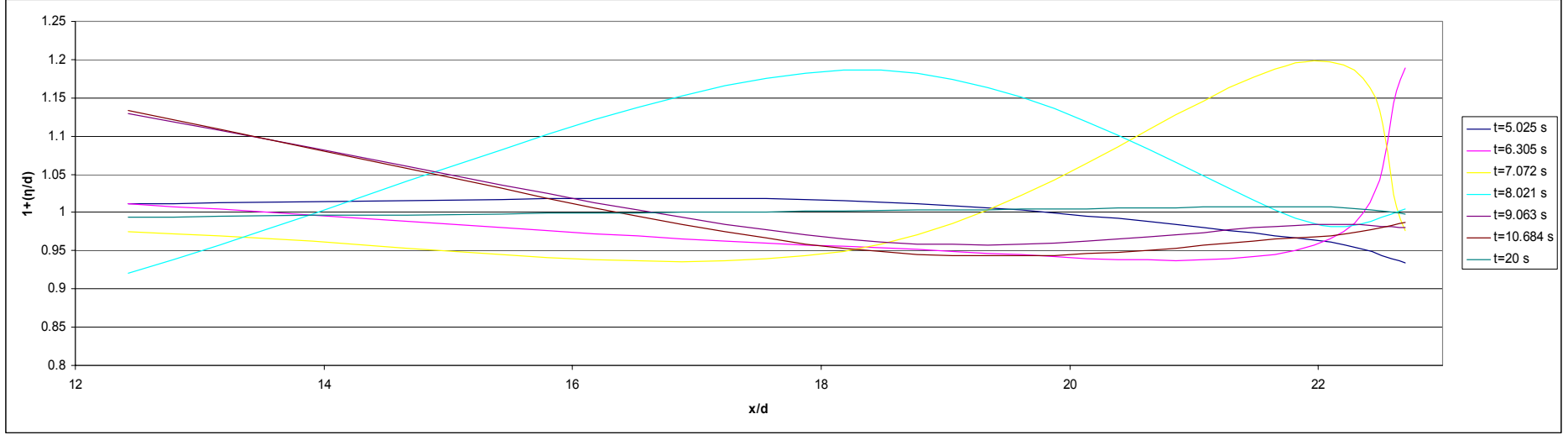
Şekil B.92: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T73)



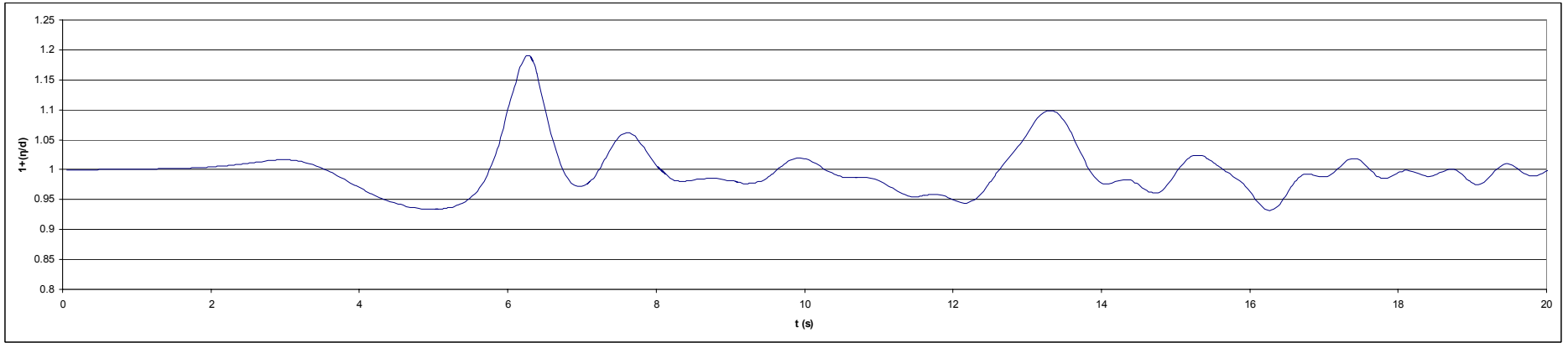
Şekil B.93: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T75)



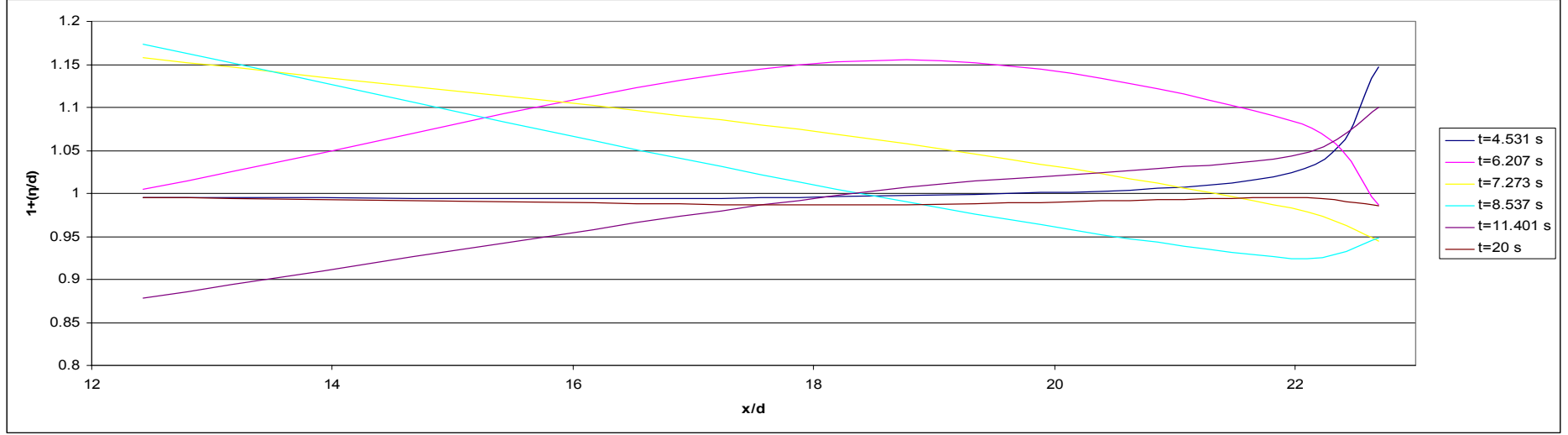
Şekil B.94: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T75)



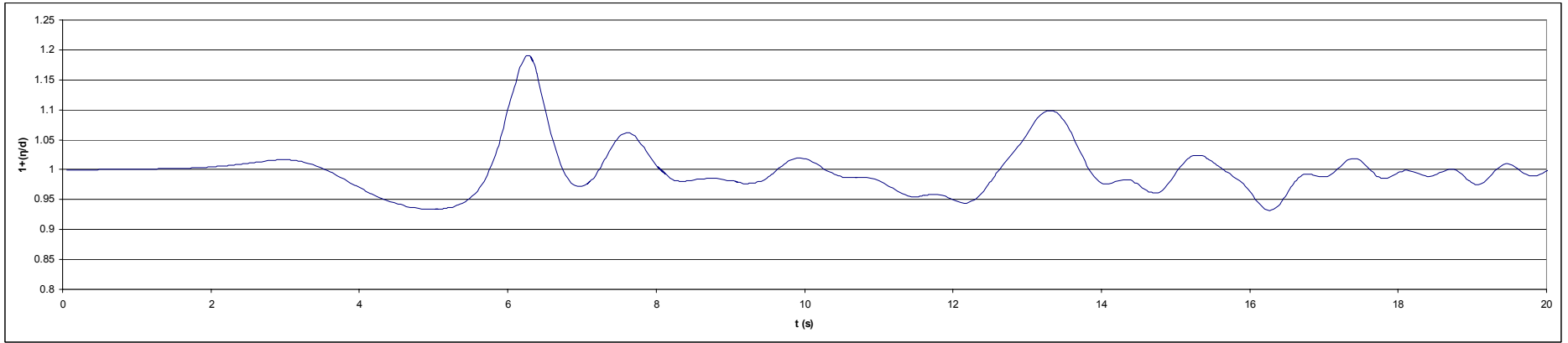
Şekil B.95: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T76)



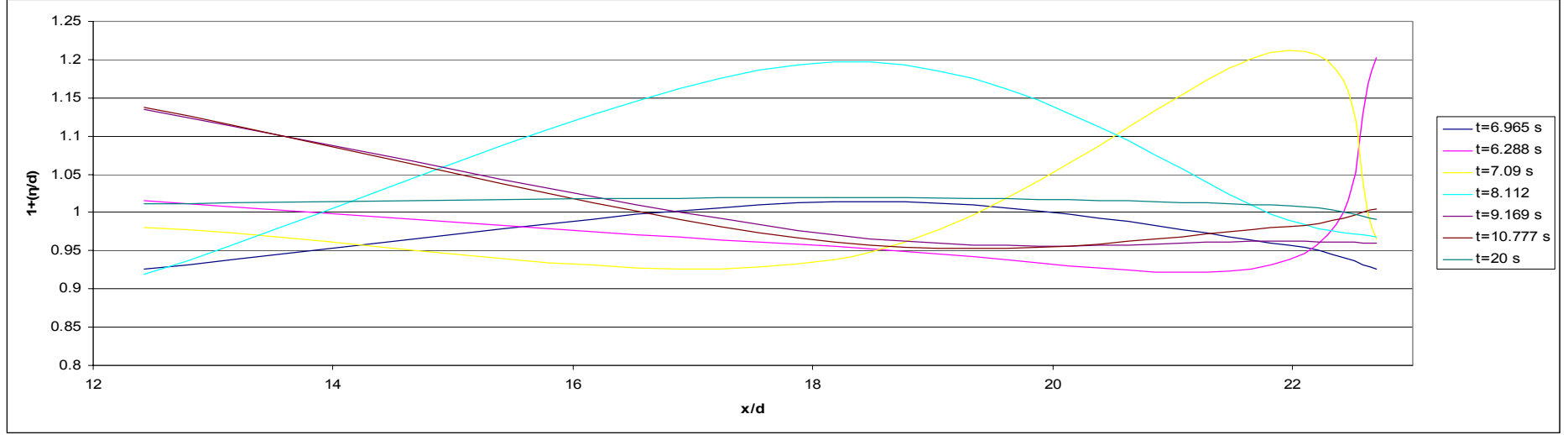
Şekil B.96: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T76)



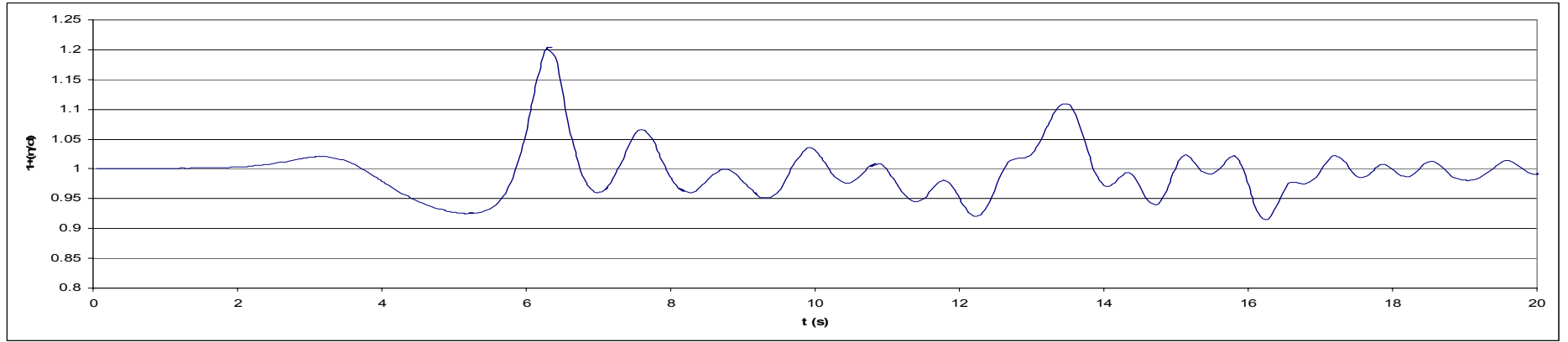
Şekil B.97: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T77)



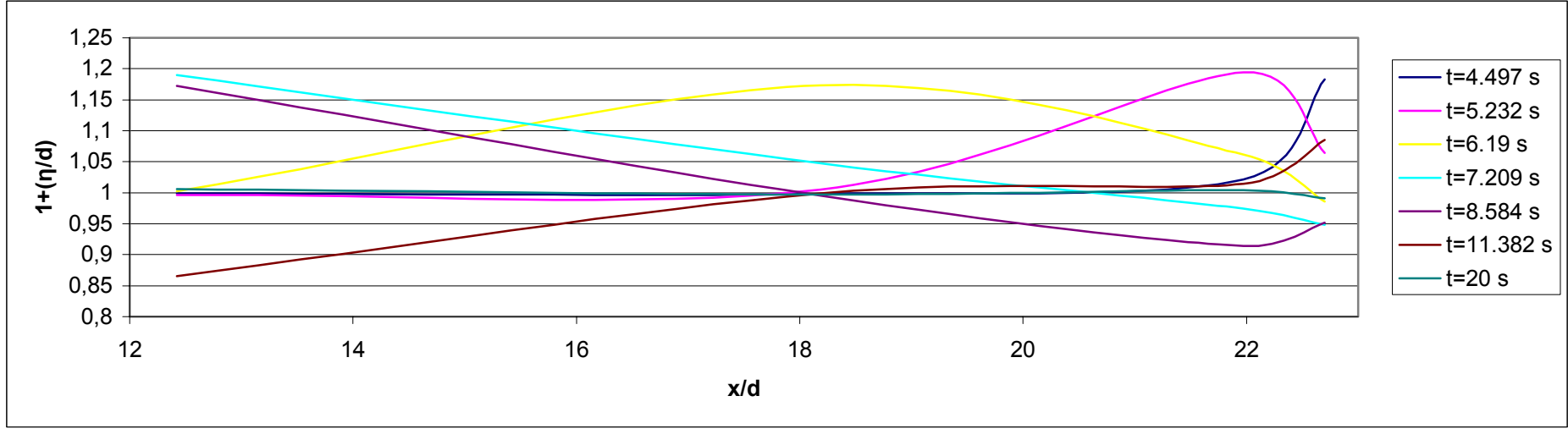
Şekil B.98: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T77)



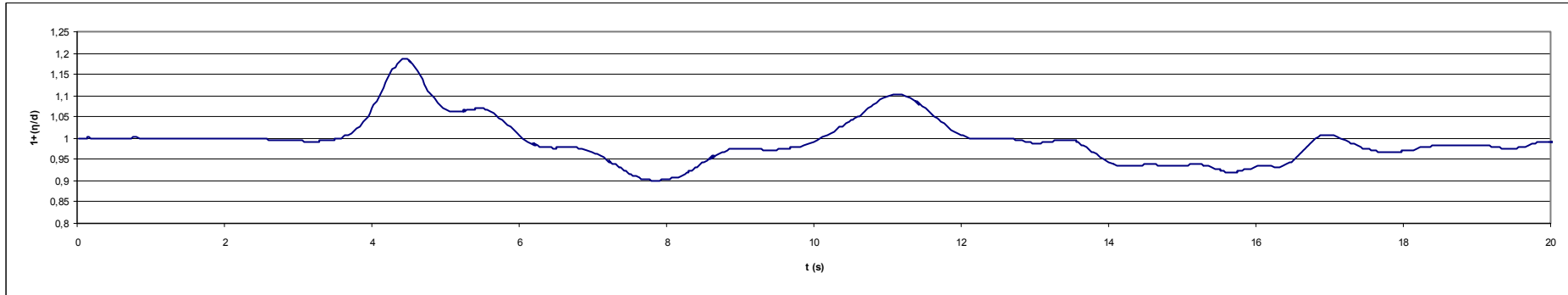
Şekil B.99: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T78)



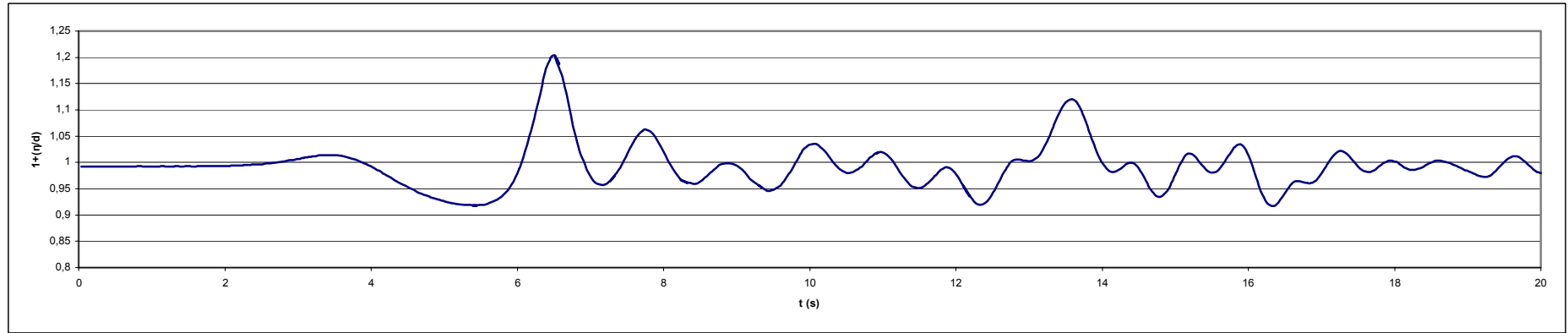
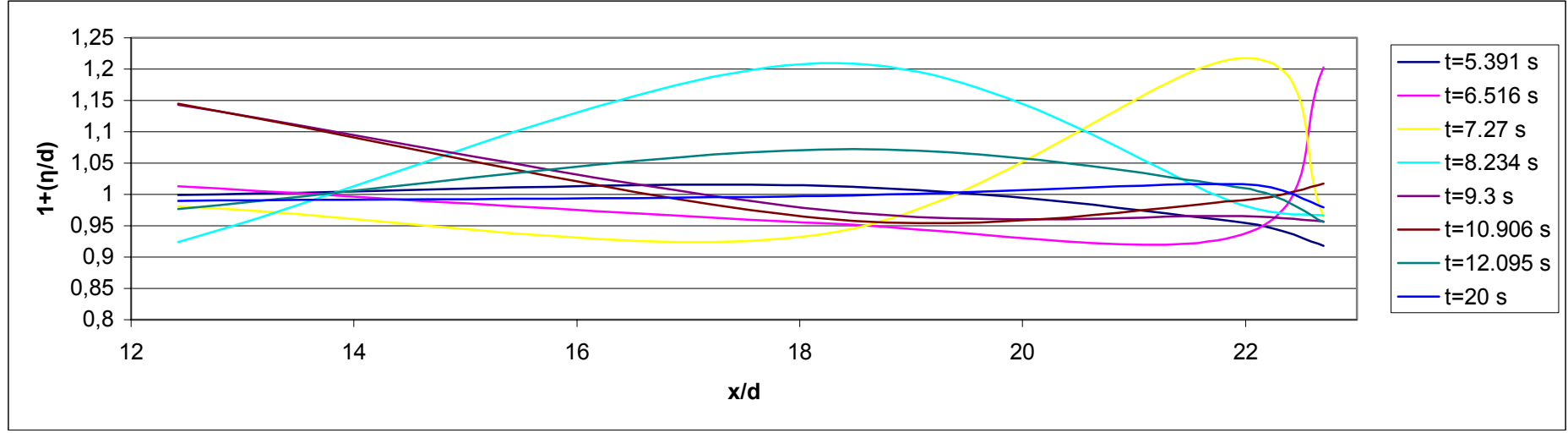
Şekil B.100: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T78)



Şekil B.101: x 'in fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T79)



Şekil B.102: Açık deniz dalga probu için t 'nin fonksiyonu olarak dalga profili (Deney No: T79)



EK - C Deney Sonuçları

Tablo C.1: Kesit I deney sonuçları (Tsunami Tipi Uzun Dalgalar)

Taş Ağırlığı: 50-80 g						
Konfigürasyon	Deney No	Basınç (Bar)	Piston	Hasar Oranı		Açık Deniz Dalga Yüksekliği
				Ön Şev	Arka Şev	
Kronmansız Levhasız	T1	6	Aşağı	0	0	8.803368
Kronmansız Levhasız	T2	6	Yukarı	0	0	6.332625
Kronmansız Levhasız	T3	8	Aşağı	0.052632	0.03597	9.173636
Kronmansız Levhasız	T4	8	Yukarı	0	0	7.639324
Kronmansız Levhasız	T5	10	Aşağı	0.210526	0.28777	9.673799
Kronmansız Levhasız	T6	10	Yukarı	0	0	7.750200
Kronmanlı	T9	6	Aşağı	0.052632	0	8.500688
Kronmanlı	T10	6	Yukarı	0	0	6.141523
Kronmanlı	T11	8	Aşağı	0.105263	0	8.858225
Kronmanlı	T12	8	Yukarı	0	0	7.152837
Kronmanlı	T13	10	Aşağı	0.105263	0	9.133095
Kronmanlı	T14	10	Yukarı	0	0	7.755451
Levhali	T17	6	Yukarı	0	0	6.077781
Levhali	T18	6	Aşağı	0.105263	0	8.389079
Levhali	T19	8	Yukarı	0	0	7.604400
Levhali	T20	8	Aşağı	0.052632	0	9.253007
Levhali	T21	10	Yukarı	0	0	8.869093
Levhali	T22	10	Aşağı	0.210526	0.03597	9.347276
Taş Ağırlığı: 30-50 g						
Konfigürasyon	Deney No	Basınç (Bar)	Piston	Hasar Oranı		Açık Deniz Dalga Yüksekliği
				Ön Şev	Arka Şev	
Kronmansız Levhasız	T25	6	Aşağı	0.3663	0	8.688434
Kronmansız Levhasız	T26	6	Yukarı	0	0	6.404841
Kronmansız Levhasız	T27	8	Aşağı	0	0.12019	9.329313
Kronmansız Levhasız	T28	8	Yukarı	0	0.04006	7.731964
Kronmansız Levhasız	T29	10	Yukarı	0	0.12019	9.071416
Kronmansız Levhasız	T30	10	Aşağı	0.732601	0.08013	9.628138
Kronmanlı	T31	6	Aşağı	0.503663	0	8.35672
Kronmanlı	T32	6	Yukarı	0	0	5.69057
Kronmanlı	T33	8	Aşağı	0	0	8.28382
Kronmanlı	T34	8	Yukarı	0	0	7.465683
Kronmanlı	T35	10	Yukarı	0.228938	0	9.067889
Kronmanlı	T36	10	Aşağı	0	0	7.792276
Levhali	T39	6	Aşağı	0.320513	0	8.692249
Levhali	T40	6	Yukarı	0	0	6.279921
Levhali	T41	8	Aşağı	0.412088	0.08013	9.607263
Levhali	T42	8	Yukarı	0	0	7.771071
Levhali	T43	10	Aşağı	0.137363	0	9.734156
Levhali	T44	10	Yukarı	0.320513	0	9.030488

Tablo C.2: Kesit II deney sonuçları (Tsunami Tipi Uzun Dalgalar)

Taş Ağırlığı: 70-120 g						
Konfigürasyon	Deney No	Basınç (Bar)	Piston	Hasar Oranı		Açık Deniz Dalga Yüksekliği
				Ön Şev	Arka Şev	
Kronmansız Levhasız	T45	6	Yukarı	0	0	6.254853
Kronmansız Levhasız	T46	6	Aşağı	0	0.44554	8.753819
Kronmansız Levhasız	T47	8	Aşağı	0	0.24752	9.511502
Kronmansız Levhasız	T48	8	Yukarı	0	0	7.174862
Kronmansız Levhasız	T49	10	Aşağı	0.048077	0.0495	9.69557
Kronmansız Levhasız	T50	10	Yukarı	0	0	8.867103
Kronmanlı	T51	6	Yukarı	0	0	6.182435
Kronmanlı	T52	6	Aşağı	0.144231	0	9.061469
Kronmanlı	T53	8	Yukarı	0	0	7.998096
Kronmanlı	T54	8	Aşağı	0.673077	0	9.45723
Kronmanlı	T55	10	Yukarı	0	0	9.108058
Kronmanlı	T56	10	Aşağı	0.336538	0	10.11356
Levhalı	T57	6	Yukarı	0	0	6.324981
Levhalı	T58	6	Aşağı	0.240385	0	8.9
Levhalı	T59	8	Yukarı	0.048077	0	8.08539
Levhalı	T60	8	Aşağı	0.048077	0	9.445769
Levhalı	T61	10	Yukarı	0	0	8.165443
Levhalı	T62	10	Aşağı	0.240385	0	9.539291
Taş Ağırlığı: 30-50 g						
Konfigürasyon	Deney No	Basınç (Bar)	Piston	Hasar Oranı		Açık Deniz Dalga Yüksekliği
				Ön Şev	Arka Şev	
Kronmansız Levhasız	T63	6	Yukarı	0	0	6.285678
Kronmansız Levhasız	T64	6	Aşağı	0	1.1336	8.657497
Kronmansız Levhasız	T65	8	Yukarı	0	0.80972	7.677518
Kronmansız Levhasız	T66	8	Aşağı	0.333611	1.45749	9.087216
Kronmansız Levhasız	T67	10	Yukarı	0.145955	2.02429	9.270902
Kronmansız Levhasız	T68	10	Aşağı	0.104254	0.72874	9.147009
Kronmanlı	T69	6	Aşağı	0.792327	0	8.328522
Kronmanlı	T70	6	Yukarı	0	0	6.12787
Kronmanlı	T71	8	Yukarı	0	0	6.967123
Kronmanlı	T72	8	Aşağı	0.375313	0.04049	8.872968
Kronmanlı	T73	10	Yukarı	0.083403	0.06073	9.085005
Kronmanlı	T74	10	Aşağı	0	0	9.102337
Levhalı	T75	6	Yukarı	0	0	6.285678
Levhalı	T76	6	Aşağı	0.417014	0	8.550506
Levhalı	T77	8	Yukarı	0.312761	0.16194	7.790408
Levhalı	T78	8	Aşağı	0.062552	0.32389	9.177463
Levhalı	T79	10	Yukarı	0.041701	0.32389	9.376138
Levhalı	T80	10	Aşağı	0.020851	0.16194	9.41919

Tablo C.3: Kesit I deney sonuçları (Düzenli Dalgalar)

Taş Ağırlığı: 50-80 g				
Konfigürasyon	Deney No	Hasar Oranı		Açık Deniz Dalga Yüksekliği
		Ön Şev	Arka Şev	
Kronmansız Levhasız	D1	0.2105263	0	8.512800191
Kronmansız Levhasız	D2	0.4210526	0	12.593935
Kronmansız Levhasız	D3	0	0	3.858873
Kronmansız Levhasız	D4	0.1052632	0	11.226719
Kronmansız Levhasız	D5	0	0	5.764737
Kronmansız Levhasız	D6	0	0	4.145431
Kronmansız Levhasız	D7	0	0	5.332884
Kronmansız Levhasız	D8	0	0	4.346482
Taş Ağırlığı: 30-50 g				
Konfigürasyon	Deney No	Hasar Oranı		Açık Deniz Dalga Yüksekliği
		Ön Şev	Arka Şev	
Kronmansız Levhasız	D20	0.4120879	0	11.17024452
Kronmansız Levhasız	D21	0.0457875	0	7.097757379
Kronmansız Levhasız	D22	0.0457875	0	6.060211206
Kronmanlı	D23	0.7326007	0	12.0202511
Kronmanlı	D24	0.2289377	0	12.32295163
Kronmanlı	D25	1.1446886	0	10.8404643
Kronmanlı	D26	0.5952381	0	11.25203167
Kronmanlı	D27	0.0915751	0	8.308822091

Tablo C.4: Kesit II deney sonuçları (Düzenli Dalgalar)

Taş Ağırlığı: 70-120 g				
Konfigürasyon	Deney No	Hasar Oranı		Açık Deniz Dalga Yüksekliği
		Ön Şev	Arka Şev	
Kronmansız Levhasız	D29	0.048077	0	7.058451885
Kronmansız Levhasız	D30	0.048077	0	7.473067007
Kronmansız Levhasız	D31	1.971154	0	11.2471107
Kronmansız Levhasız	D32	0.096154	0	6.157617641
Kronmansız Levhasız	D33	0.432692	0	7.811052831
Kronmansız Levhasız	D34	0.192308	0	9.649532825
Kronmanlı	D35	0	0	6.915217643
Kronmanlı	D36	0.048077	0	7.776832827
Kronmanlı	D37	0.913462	0	11.0760749
Kronmanlı	D38	0.144231	0	10.6053647
Kronmanlı	D39	1.538462	0	11.45564517
Kronmanlı	D40	0.817308	0	9.587532083
Taş Ağırlığı: 30-50 g				
Konfigürasyon	Deney No	Hasar Oranı		Açık Deniz Dalga Yüksekliği
		Ön Şev	Arka Şev	
Kronmansız Levhasız	D41	4.566305	0	9.992649487
Kronmansız Levhasız	D42	2.043369	0	10.14081716
Kronmansız Levhasız	D43	0.020851	0	6.781755003
Kronmansız Levhasız	D44	1.939116	0.0404858	6.740674656
Kronmansız Levhasız	D45	0.104254	0	8.638815457
Kronmansız Levhasız	D46	0.145955	0	8.074602003
Kronmanlı	D47	0.333611	0	8.485616431
Kronmanlı	D48	0.29191	0	8.60021824
Kronmanlı	D49	2.793995	0	9.062161324
Kronmanlı	D50	0.87573	0	10.83895149
Kronmanlı	D51	5.754796	0	10.84410423
Kronmanlı	D52	4.42035	0	11.57635033

ÖZGEÇMİŞ

Bilge Baş 1981 yılında İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamlayıp, 1999 yılında Kabataş Erkek Lisesi’nden mezun oldu. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimini tamamladıktan sonra, 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.