

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

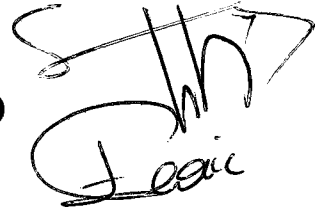
**KAZIKLAR ÜZERİNE OTURAN DENİZ DEŞARJI
SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Kürşad UĞRAR
(501011372)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Temmuz 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Temmuz 2004

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sedat KABDAŞLI
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. İstemi ÜNSAL (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Esin ÇEVİK (Y.T.Ü.)



AĞUSTOS 2004

ÖNSÖZ

Başta, her konuda bilgisini ve yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI olmak üzere deneyler sırasındaki yardımlarından dolayı Araş. Gör. A. Ozan ÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarımı yapabilmem için her türlü desteğini sunan Şantiye Şefim Sn. Adil K. KAR'a ve UN Pendik Ro-Ro Terminali şantiyesindeki mesai arkadaşlarıma verdikleri manevi destek için teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca varlıklarını ve desteklerini her an yanımda hissettiğim, bana maddi ve manevi her türlü imkanlarını sunan sevgili aileme bu çalışmayı sunabilmekten kıvanç duyuyorum.

Bu çalışmamı kaybettiğimiz değerli amcam Murat UĞRAR'ın anısına ithaf ediyorum.

Temmuz-2004

İnş. Müh. Kürşad UĞRAR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. DENİZ DEŞARJLARINDA KULLANILAN YAPI MALZEMELERİ	3
2.1. Dökme Demir (Font) Borular	4
2.2. Düktil Borular	4
2.3. Betonarme Borular	4
2.4. Plastik Borular	5
2.5. Kaplamalı Çelik Borular	8
3. DENİZ DEŞARJI SİSTEMLERİ İÇİN KULLANILAN YAPIM YÖNTEMLERİ	11
3.1. Deniz Tabanında Montaj Yöntemi (Teker Teker veya Modüler Halde Batırma Yöntemi)	12
3.2. Yüzeyde Montaj Yöntemi	13
3.3. Tabandan Çekme Yöntemi	14
3.4. Yüzeyden Çekme (Yüzdürme) Yöntemi	16
4. DENİZ TABANINDAKİ BORU HATTI DURAYLIĞI	18
4.1. Boru Hattına Etki Eden Kuvvetler	18
4.1.1. Zemin Yükleri	18
4.1.2. Hidrodinamik Kuvvetler	19
4.2. Boru Hattı Duraylılığının Sağlanması	24
4.2.1. Gömülü Boru Hatlarının Duraylılığı	25
4.2.2. Tabana Oturan Boru Hatlarının Duraylılığı	28

5. KAZIKLAR ÜZERİNE OTURAN DENİZ DEŞARJI SİSTEMLERİ	31
5.1. Kazık Tasarımı	32
5.1.1. Kazıklarda Yük Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi	33
5.2. Kazıklı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	37
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	41
7. SONUÇLAR	50
KAYNAKLAR	52
EK-I KAZIKLAR ÜZERİNE OTURAN DENİZ DEŞARJI SİSTEMLERİNİN İNŞA AŞAMALARI	54
EK-II DENEYLER SONUCUNDA ELDE EDİLEN BORU PROFİLİ DEĞİŞİMİ GRAFİKLERİ	59
ÖZGEÇMİŞ	78

KISALTMALAR

İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
CTP	: Cam Lifi Takviyeli Polyester
PVC	: Polyvinyl Chloride
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PE	: Polietilen
GPS	: Global Positioning System



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. KC Sayısına Göre Akım Rejimleri	22
Tablo 6.1. Deney Sonucunda Elde Edilen Dalga Özellikleri.....	45
Tablo 6.2. Deney Öncesi ve Sonrasında Elde Edilen Boru Üst Kotları.....	47



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : YYPE Boruların Alın Kaynağı Aparatı.....	7
Şekil 2.2 : YYPE Boruların Flanşlı Birleşim Elemanı.....	8
Şekil 2.3 : Betonarme Kaplı Çelik Borular.....	9
Şekil 2.4 : Çelik Borular İçin Kullanılan Betonarme Kaplama Kalıp Sistemi	10
Şekil 3.1 : Boru Batırma İşlemi.....	12
Şekil 3.2 : Yüzeyden Boru Döşeme İşlemi.....	13
Şekil 3.3 : Boru Çekme Irgatı	14
Şekil 3.4 : Boru İndirme Rampası.....	15
Şekil 3.5 : Boru İndirme Rampasında Öngörülen Tekerlekler.....	15
Şekil 3.6 : YYPE Boru Batırma İşlemi.....	17
Şekil 4.1 : Borular İçin Atalet Katsayısı (C_M).....	22
Şekil 4.2 : Sürüklenme (C_D) ve Kaldırma (C_L) Kuvveti Katsayıları.....	23
Şekil 4.3 : Shields Eğrisi.....	27
Şekil 5.1 : Kazıklar Üzerine Oturan Deniz Deşarjı Sistemi.....	32
Şekil 6.1 : Deney Düzeneginden Bir Görünüş.....	41
Şekil 6.2 : Deney Düzenegi.....	42
Şekil 6.3 : Kullanılan Boru ve Kazık Sistemi.....	43
Şekil 6.4 : Dalga Üreticisi.....	43
Şekil 6.5 : Kullanılan Dalga Problemleri.....	44
Şekil 6.6 : Kullanılan Taban Profili Çizer.....	46
Şekil 6.7 : Deney Esnasında Boru Üst Kotlarının Alındığı Noktaların Yerleri ve Referans Çizgisi.....	46
Şekil 6.8 : Deney Esnasından Bir Görünüş.....	48
Şekil 6.9 : Deney Esnasından Bir Görünüş.....	48
Şekil 6.10 : Deney Öncesi ve Sonrası Boru Hattı Profilleri.....	49

SEMBOL LİSTESİ

A	: Boru kesit alanı
$a=\dot{U}$	: Tabandaki akışkan taneciğinin ivmesi
A_b	: Yörüngesel sapma
A_t	: Kazık ucu alanı
α	: Adhezyon katsayısı
C	: Kohezyon
C_A	: Adhezyon
C_D	: Yatay sürüklenme katsayısı
C_L	: Kaldırma kuvveti katsayısı
C_M	: Atalet kuvveti katsayısı
D	: Boru çapı
d_{50}	: Tanecik medyan çapı
δ_i	: İçsel sürtünme açısı
e/D	: Açıklık oranı
f_w	: Dalga sürtünme etmeni
F_D	: Birim boru boyuna etkiyen yatay sürüklenme kuvveti
F_H	: Birim boru boyuna etkiyen toplam yatay kuvvet
F_I	: Birim boru boyuna etkiyen atalet kuvveti
F_L	: Birim boru boyuna etkiyen kaldırma kuvveti
F_S	: Sürtünme kuvveti
Φ_{cr}	: Kritik Shields parametresi
g	: Yerçekimi ivmesi
γ', γ'_i	: Etkin zemin birim hacim ağırlığı
K_C	: Keulagan Carpenter sayısı
K_i	: Yatay zemin basıncı katsayısı
K_S	: Etkin taban pürüzlülüğü
L_p	: Zemin tabakası içerisinde kalan kazık boyu
μ_s	: Sürtünme katsayısı
ν	: Kinematik viskozite
N_c, N_q	: Boyutsuz taşıma gücü katsayısı
P	: Kazık çevresi
P_0	: Etkin düşey basınç
Q_{em}	: Emniyetli taşıma kapasitesi
Q_s	: Sürtünme kapasitesi
Q_T	: Yük taşıma kapasitesi
Q_U	: Toplam taşıma kapasitesi
R	: Eğrilik yarıçapı
Re	: Reynolds sayısı
ρ	: Akışkan yoğunluğu
ρ_s	: Tanecik yoğunluğu
T	: Dalga periyodu
τ	: Taban kayma gerilmesi

$\tan\delta_i$	: İçsel sürtünme katsayısı
U	: Akışkan taneciği hızı
$U^2=U U $	: Hız karesi ifadesi
U_b^2	: Tabandaki maksimum kritik yörüngesel hız
U_M	: Maksimum akışkan taneciği hızı
W	: Kazık ağırlığı
W_N	: Net düşey yük
W_T	: Borunun birim boy ağırlığı ile birim boya düşen ilave tespit kütlesi ağırlığı
z	: Kazık ucu derinliği
Z_1	: Zemin tabakası ortasına kadar olan derinlik
ΔZ_1	: Tabaka kalınlığı



ÖZET

Atıksuların deniz ve nehirler gibi alıcı ortamlara uygun koşullarda deşarj edilmemesi nedeniyle ülkemizde özellikle körfez ve haliç gibi doğal oluşumlarda büyük çevresel felaketler yaşanmaktadır. Son yıllarda çevre koruma olgusunun gelişmesiyle beraber alıcı ortamda yeterli seyrelme oranı sağlayarak, atıksuların uygun bir şekilde bertaraf edilmesi amacıyla derin deniz deşarjı sistemlerinin yapımı önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, deniz deşarjı sistemlerinin yapım yöntemleri açısından bir değerlendirilmesi yapılarak, Kazıklar Üzerine Oturan Deniz Deşarjı Sistemleri'nin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Bu yöntemde elde edilen en büyük avantaj geleneksel yöntemlerde kullanılan tarama ve dolgu gibi faaliyetleri en aza indirerek ekolojik dengenin korunmasına yardımcı olmasıdır. Ayrıca bu yöntem zemin özelliklerine bağlı oyulma ve gömülme gibi problemleri ortadan kaldırmaktadır.

Kazıklı sistemlerin dalga koşulları altındaki duraylılığının incelenmesi için İTÜ Hidrolik Laboratuvarı'nda bir deney düzeneği kurulmuştur. Bu deneyler sonucunda kazıklı sistemlerin dalga etkisi altında yeterli bir duraylılık sağladığı görülmüştür. Deniz deşarjı sistemleri için yapım yöntemleri açısından kazıklar üzerine oturan boru hatlarının bir alternatif yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır.

SUMMARY

Because of not suitable discharges of wastewater into rivers and seas, environmental disasters are seen in natural formations like gulfs and estuaries. In last few years, by means of progress in public senses for environmental protection, to out of the way of the wastewater, the construction of sea outfall systems is being so important matter to provide enough dilution rates.

In this study, the sea outfall systems are investigated as a point of construction method then, the advantages and disadvantages of the Sea Outfall Systems on Piles are obtained. The most important advantage of this method is to help the protection of the ecological balance by minimizing the trenching and backfilling activities which are used in conventional construction methods. Moreover, it solves scour problems in bed material and burial of the pipe problems which depends of the characteristics of the bed materials.

To investigate the stability of the piled systems under wave effects, an experimental set-up had been assembled at ITU Hydraulics Laboratory. The results show that; the piled systems are stable enough under wave effects. As a point of construction method view, they can be an alternative for sea outfall systems.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Sürekli artmakta olan nüfus ve sanayileşme, insanoğlunun yaşayabileceği sınırları her geçen gün daraltmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak çevresel kirlenmeler doğal hayatın yanı sıra insan hayatını da tehdit altında bırakmaktadır.

18inci ve 19uncu yüzyıllarda Endüstri Devrimi ile başlayan ve son yıllarda sürdürülebilir kalkınma adını alan umursamaz sanayileşme ve yerleşme faaliyetleri çevresel kaynakları onarılamayacak derecede tahrip etmekte ve hatta yok olma noktasına getirmektedir. Özellikle, gerek katı gerekse sıvı atıkların uygun bir şekilde depo veya bertaraf edilmemeleri bu süreci hızlandırmaktadır.

Deniz kazaları ve felaketleri dışında kıyıların kirlenmesine genellikle kara kaynaklı atıklar neden olmaktadır. Bu atıklar, nehir yolları üzerinden haliç ve körfezler gibi oluşumlardan veya doğrudan kıyıdan denize yapılan deşarjlarla birlikte denizlere ulaşmaktadır.

Sıvı atıkların bertaraf edilmesi için deniz deşarjı günümüzün en uygun yöntemidir. İyi bir deniz deşarjı, atık suları yeterli seyrelme sağlayabilen, gerekli su kalitesine sahip bölgelere deşarj ederek, atık suyun düşeydeki ve yataydaki yayılma hızını arttıran yani denizin arıtma kapasitesini en iyi şekilde kullanan mühendislik yapılarıdır [1].

Başarılı bir deniz deşarjı sistemi için en uygun inşa yönteminin belirlenmesi çok önemlidir. Deşarj borularının deniz tabanına indirilmesi için çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Kullanılacak yapım yönteminin belirlenmesinde bir çok etken göz önünde bulundurulmalıdır. Bu etkenler arasında boru çapı, boru malzemesi, boru hattının uzunluğu, taban eğimi ve batimetrik durum, bağlantıların esnek olup olmadığı, katı madde taşınım özellikleri, kıyıdaki depolama alanının büyüklüğü ile kullanılacak ekipmanların durumu sayılabilir.

Geleneksel deşarj boru hatlarının yapım yöntemlerinde, deşarj boruları tabanda açılan bir hendek içerisine yerleştirilir ve üzeri trapez kesitli olarak doldurulur. Daha

sonra hidrodinamik kuvvetlere karşı duraylılığının sağlanması için koruma taşları ile kaplanırlar.

Mühendislikte sistem duraylığın sağlanmasının yanında inşa aşamalarının her birinde denizin çevresel özelliklerinin korunmasında özel bir dikkat sarf edilmelidir. Sürdürülebilir bir ekolojik sistem için deniz deşarjı sistemi doğal dengeye uyum sağlamalıdır.

Deşarj hatlarında borunun tabana gömülmesi amacıyla hendek açılması için yapılan tarama faaliyetleri proje bölgesindeki deniz ekosistemini oldukça tahrip edici etkilere sahiptir. Tarama faaliyetleri sonucu askı durumuna geçen taban malzemesi fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan bir çok olumsuz etkiler doğurur ve deniz canlılarının yaşam bölgelerinde önemli problemler oluşturur.

Kazıklar üzerine oturan sistemler, deniz deşarjları için alternatif bir yapım yöntemi getirmektedir. Deniz tabanına çakılan kazıklar ve bu kazıklar üzerine oturtulan taşıyıcı mesnetler, deşarj borusunun zemin ve hidrodinamik kuvvetlere karşı duraylığını sağladığı gibi, tarama ve dolgu gibi faaliyetleri minimuma indirdiğinden çevresel açıdan da oldukça uyumlu bir sistem oluşturmaktadır.

Hareketli taban malzemesine sahip bölgelerde meydana gelen katı madde hareketlerinden kaynaklanan oyulma problemlerinden etkilenmemesi oldukça önemli bir avantaj oluşturmaktadır.

Bu çalışmada; deniz deşarjı sistemleri tanıtılmış, kullanılan boru cinsleri ile bu boruların avantaj ve dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca geleneksel yapım yöntemleri karşılaştırılarak önemli avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Kazıklar üzerine oturan deşarj hatlarının bu yapım yöntemleri arasındaki yeri, sağladığı artılar belirlenmiştir.

İTÜ, Hidrolik Laboratuvarı'nda kurulan bir deney düzeneği ile kazıklı sistemlerin dalga koşulları altındaki duraylılığının belirlenmesi için çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma ile deniz deşarjı boru hatları için çevreye uyumlu, yeterli bir duraylılık sağlayan bir yapım yöntemi seçeneği sunulmaya çalışılmıştır.

2. DENİZ DEŞARJLARINDA KULLANILAN YAPI MALZEMELERİ

Deşarj sistemlerindeki yapı malzemelerinin başında kullanılan borular gelmektedir. Borular çok çeşitli olmakla beraber yapım yönteminin belirlenmesinde de önemli bir rol üstlenmektedirler. Malzeme denildiğinde kullanılan borunun yanı sıra kaplama ve bağlantı elemanları da anlaşılmalıdır. Seçilen malzeme, yapım yöntemi seçeneğinin sevkiyat gereksinimlerini ve inşa ile işletme sırasında meydana gelebilecek hasarlara karşı dayanıklılığını da belirler. Boru malzemesinin seçiminde borunun fiyatından önce bu tür özellikleri dikkate alınmalıdır [2].

Deşarj sistemlerinde kullanılacak borular çevresel etkilere karşı dayanıklı, yeterli bir esnekliğe sahip ve deniz tabanında duraylılığını kaybetmeyecek kadar ağır olmalıdır. Ayrıca boru eklerinin esnek olması boru hattı üzerinde meydana gelebilecek zemin oturmalarına uyum göstermesi ve hattın topografyadaki değişimleri takip edebilmesi açısından önemli bir özelliktir.

Bir deniz deşarjı hattında kullanılacak boru cinsinin belirlenmesi için aşağıdaki özellikler göz önünde tutulmalıdır [3]:

- Boru malzemesinin cidar pürüzlülüğü ve sürtünme katsayıları
- Malzemenin ekonomik ömrü ve fiyatı
- Aşınma ve korozyona karşı dayanıklılık
- Malzemenin dış etkilere karşı mukavemet özellikleri
- Yapım yöntemi kolaylığı
- Özel birleştirme elemanları ihtiyacı
- Zeminin geoteknik özellikleri

İlk deniz deşarjı hatları font ve beton borular kullanılarak inşa edilmişlerdir. Son yıllarda ise maliyetleri düşürmek amacıyla çelik ve plastik borular tercih edilmektedir. Çelik borular son 30-40 yıldan beri petrol ve doğalgazın açık denizden sahile nakli için yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastik boruların kullanımı ise daha yeni tarihlerden başlamaktadır. Plastik borular ve kaplamalı çelik borular hidrolik

özelliklerinin dışında korozyona dayanıklı olmaları nedeniyle deniz deşarjı sistemlerinde son yıllarda tercih edilmektedirler.

2.1 Dökme Demir (Font) Borular

Tarihsel olarak dökme demir, boru malzemeleri arasında en yaygın olarak kullanılan malzemedir. Çelik borulardaki mukavemet yaklaşımlarına uygunluğu ve korozyona karşı dayanıklı olması, buna bağlı olarak servis ömrünün uzun olması en önemli avantajlarıdır. Darbelere karşı dayanıklılığının düşük oluşu, daha az esnek olması ve maliyetlerinin yüksek olması günümüzdeki kullanım oranını oldukça düşürmüştür. 135 cm çapa kadar üretilen dökme demir boruların ekleri muflu veya küresel muflu bağlantı elemanları yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Muflu birleşimler, ek yerlerinin esnekliğini sınırladığından boru hattının düzgün ve düşük eğimli olmasını gerektirirler. Deniz tabanının genellikle düzgün bir topografyaya sahip olmaması nedeniyle muflu birleşimler deniz deşarjı sistemlerinde tercih edilmemektedirler.

Bunun yanı sıra göreceli olarak, zayıf bağlantı tasarımları ve birleşimlerinin muflu olarak gerçekleştirilmesi, dökme demir boruların birbirine eklenerek yani parçalar halinde denize indirilmelerini kısıtlamaktadır. Bu nedenle boruların tek tek denize indirilmeleri gerekmektedir. Boru indirme işlemi sayısının artması önemli bir maliyet yükü getirmektedir [2].

2.2 Düktil Borular

Korozyona karşı dayanıklılıkları nedeniyle düktil borular deniz deşarjı sistemleri için oldukça uygundur. Düktil borular çeşitli boylarda üretilmektedir. Boru ekleri kaynaklı veya mekanik olarak yapılabilmektedir. Bu özelliklerine rağmen maksimum 100 cm çapa kadar üretilmeleri ve maliyetlerinin oldukça yüksek olması nedeniyle pek tercih edilmemektedirler [2].

2.3 Betonarme Borular

Son yıllara kadar, çapı 2000 mm'den daha büyük deniz deşarjı sistemlerinin çoğunda betonarme borular tercih edilmiştir. Günümüzde betonarme boruların üretimi 60-400 cm çap ve 10-500 kg/m arasında gerçekleştirilmektedir. Ayrıca 250 cm çapa kadar öngermeli olarak üretim yapılabilmesi daha hafif ama yüksek yoğunluklu

borular elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Küçük çaplı borular 5 m, büyük çaplılar ise 10 m boyda üretilmektedir.

Beton korozyona ve aşınmalara karşı oldukça dayanıklı bir malzemedir. Betonarme boruların ek bölgeleri oldukça hassastır. Su altındaki birleşimlerinin font veya beton kaplı özel çelik parçalar kullanılarak sızdırmazlığının çok özenle sağlanması gereklidir. Deniz canlılarının etkilerine karşı hassastırlar. Özellikle betonarme boruların iç çeperlerinde görülen midyelenme sorunu çap daralması gibi problemlere neden olmaktadır [4]. Malzeme olarak oldukça ucuz olmasına rağmen döşeme maliyetlerinin yüksek olması ve midyelenme sorunları betonarme boruların kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır [2,4].

2.4 Plastik Borular

Plastik borular günümüzde 3650 mm çapa kadar üretilmektedir. Kullanılan malzeme ve üretim teknolojisi göz önüne alındığında deniz deşarjı sistemleri için pratik limitler daha küçük çaplarda olmaktadır.

Plastik borular temel olarak iki ana gruba ayrılırlar:

Sıcakta sertleşen (*thermosetting*) plastik borular; değişik sıcaklık koşullarında şekillerini ve mukavemetlerini koruyabilen boru tipidir. Cam lifi takviyeli polyester borular (CTP) ve polyvinyil chloride (PVC) borular bu grup içerisindedir. Her iki tip boru da yüksek değerlerdeki eksenel yüklemelere maruz kalabilirler.

CTP borular reçine lif sargısı, el ile kuşaklama veya santrifüj döküm ile takviye edilirler. Ülkemizde 300 mm – 2400 mm çap aralığında ve standart olarak 12 m olmakla birlikte çeşitli boylarda üretilen CTP borular 1000 kPa basınca ve 90 °C sıcaklığa kadar dayanabilirler [3,5].

CTP borular için hendek içerisinde maruz kaldığı toprak yükleri altında uzun süreli düşey şekil değiştirme (*ovalleşme*) en kritik problemdir. Korozyona ve aşınmalara karşı dayanıklılık, iç basınçlara karşı yüksek mukavemet özellikleri ve hafif oluşları gibi önemli avantajlarının yanında noktasal yükler altında kırılabilirlik gibi mahzurları taşımaktadırlar.

PVC borular ise 20-400 mm aralığındaki standart çaplarda, 9-12 ve 15 Atü'lük işletme basınçlarında üretilmektedir. Bu borular 65 °C'e kadar şekillerini koruyabilirler [3,6].

Özellikle küçük çaplı PVC borular deniz canlılarının saldırılarına karşı oldukça hassastırlar. Korozyona karşı dayanıklı ve ucuz bir malzeme olmasına rağmen kırılğan oluşları, güneş ışınları ve deniz ortamından etkilenmeleri nedeniyle deniz deşarjı sistemlerinde pek tercih edilmemektedirler [3].

İkinci tip plastik borular ise kritik bir sıcaklığa kadar ısıtılıp daha sonra şekil verilerek üretilen *termoplastik* borulardır. Küçük çaplarda bile elde edilen yüksek esneklik taban konturlarına uyum açısından oldukça büyük bir avantaj sağlar. Bu da hem inşa hem de işletme esnasında boru altında meydana gelebilecek yersel oyulmalardan boru hattının zarar görme olasılığını düşürür [2].

Termoplastik boruların en yaygın olarak kullanılanları Polietilen (PE) ve Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) borular 20-1600 mm standart dış çaplarda üretilmektedir. İşletme basınçları ise 4, 6, 10, 16, 20 ve 25 Atm'dür [6].

PE ve YYPE borular sıcaklığın artmasıyla beraber şekillerini kaybedebilirler. Bu nedenle 35-40 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmaları uygun değildir.

Plastik boru hattı tasarımında kısa ve uzun dönemlik gerilme-şekil değiştirme şartları özellikle göz önünde bulundurulmalıdır [3].

Kısa süreli etkiler;

- Boru batırma ve döşeme esnasındaki eksenel eğilmeler
- Su darbesi basıncı
- Şantiye ve fabrikadaki basınç testleri sırasında görülebillerler.

Uzun süreli etkiler ise

- Boru hattının döşendiği güzergahta belirli bir eğrilik bulunması
- İç hidrolik basınç
- Dıştan gelen su ve toprak basıncı
- Borunun radyal şekil değiştirmesi sebebiyle meydana gelebilir.

Plastik borular su ile dolu olsalar bile yüzerler ve genellikle birleşimleri karada yapılıp yüzeyden çekme yöntemiyle tabana yerleştirilirler. Taban durayılığının sağlanması için ankrajlar ve batırma blokları kullanılabilirler. Oldukça hafif oluşları nedeniyle güçlü akıntının bulunduğu bölgelerde kullanıma uygun değildir.

Birleşim bölgeleri oldukça kritik bölgelerdir. YYPE Borular genellikle alın kaynağı (*but-welding*) yöntemi kullanılarak eklenirler [2]. Boru uçları özel bir aparat yardımıyla karşı karşıya getirilir ve ısı yardımıyla yumuşatılan uçlar temas ettirilerek birleştirme yapılır. Birkaç dakikalık soğutma işlemi ile ekleme tamamlanır. Bunun yanı sıra çelik ve alaşımlı özel olarak dökülmüş YYPE parçalara tespit edilebilirler. Böylece boruların eklenmesi mekanik olarak gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.1 YYPE Boruların Alın Kaynağı Aparatı



Şekil 2.2 YYPE Boruların Flanşlı Birleşim Elemanı

CTP borular, muflu, lif sarmalı manşon ve bileşik tip bağlantı elemanları kullanılarak birleştirilebilirler. Birleştirme kıyıda yapılır ve bunun için boru uçları karşı karşıya getirilir, yüzeyler temizlendikten sonra ek bölgesine epoksi sürülür ve üzerine cam lifi tabakaları sarılır. Bu yöntem oldukça uzun süren bir ekleme yöntemidir.

PVC borular ise genellikle lastik contalı muflu veya yapıştırma muflu elemanlar vasıtasıyla eklenebilirler.

Plastik borular genel olarak aşınmalara ve kaya düşmesi gibi noktasal darbelere karşı oldukça hassastırlar.

Plastik boruların başlangıç maliyetleri kaplamalı çelik borulara yakın olmakla beraber betonarme boruların ise yaklaşık 1.50-1.65 katı kadardır.

Çelikle kıyaslandığında CTP boruların genleşme katsayıları 2, PVC boruların 7, YYPE boruların 15 ve PE boruların ise 17 misli fazladır. Bu nedenle plastik borularda sıcaklık etkileri nedeniyle oluşan boy değişimlerine bağlı olarak önemli iç kuvvetlerin çıkması olasıdır [3].

2.5 Kaplamalı Çelik Borular

Yüksek esnekliğe sahip olması nedeniyle petrol-gaz hatlarında ve deniz deşarjı sistemlerinde çelik borular önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Çelik borular

oldukça hafif, ucuz, nakliyesi kolay ve dökme demir borulara nazaran çok daha kolay dönebilen bir malzemedir. Standart çapları 2500 mm'ye ulaşmakla beraber spiral kaynaklı borularda daha büyük çaplı borular mevcuttur. Standart boru boyu 6-12 m arasındadır.

Deniz içerisinde kullanılan çelik borularda eklemeler genellikle kaynak işlemiyle gerçekleştirilir. Kaynaklı birleşimlerin yanında flanşlı birleşimler yapmak da mümkündür.

Büyük çaplı deşarj borularında birim boy ağırlıklarının artırılması, boru hattı duraylılığının kolay sağlanması ve korozyona karşı dayanıklılığının artırılması gibi nedenlerle çelik borular dıştan ve/veya içten betonarme ile kaplanırlar.



Şekil 2.3 Betonarme Kaplı Çelik Borular

Deniz suyu içinde çelik için en önemli problem korozyondur. Çelik boruların başlangıç maliyetleri düşük olmalarına rağmen katodik koruma maliyetleri de göz önüne alındığında plastik borulara nazaran daha pahalı olmaktadır. Buna karşılık en önemli avantajları; hızlı üretim olanakları, kolay dönebilir olmaları, ek yerlerinin geçirimsiz oluşu ve birleşimlerinin kaynakla yapılması sayesinde boru parçaları arasında bütünlük sağlıyor olmaları sayılabilir [2].

Çelik borular genel olarak aşağıdaki mahzurları taşımaktadır:

- $\text{pH} < 7$ olması durumunda boru hattı korozyona maruzdur.
- $\text{pH} > 7$ ise boru cidarında taşlaşma meydana gelebilir.
- Zamanla boru iç çeperindeki yumuşama cidar pürüzlülüğünü arttırabilir.
- Kaynak yerlerinde iç taraftan korozyon önleyici bir koruma tabakası oluşturmak oldukça güçtür.
- Boru ek yerlerinde korozyonu önleyebilmek için dıştan betonla kaplama ayrıca özel bir işlem gerektirir [3].



Şekil 2.4 Çelik Borular İçin Kullanılan Betonarme Kaplama Kalıp Sistemi

3. DENİZ DEŞARJI SİSTEMLERİ İÇİN KULLANILAN YAPIM YÖNTEMLERİ

Bir deniz deşarjı sisteminin yapım yönteminin belirlenmesi için bir çok etmen dikkate alınarak detaylı bir ön çalışma yapılmalıdır. Proje bölgesindeki dalga ve akıntı durumlarının, taban eğiminin, batimetrik durumun ve katı madde taşınım özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bunun yanı sıra boru cinsine ve özelliklerine, depolama alanlarının büyüklüğüne ile kullanılacak ekipmanların durumuna göre en uygun yapım yöntemi belirlenmelidir.

Uzunluğu 100-400 m olan kısa deşarj hatlarının yapım yöntemlerinin belirlenmesinde müteahhidin tecrübesi ve uygun ekipmanın bulunması yeterlidir. Daha uzun hatlar ise karada imal edildikten sonra yerine çekilebilir veya bir duba vasıtasıyla dönebilir. Son yıllarda yapı teknolojisindeki gelişmeler sayesinde günümüz tünelciliğinde kullanılan tünel açma makineleri yardımıyla deniz tabanında tüneller açmak ve atıksuların bu tünellerden denize deşarj edilmesi seçeneği de mümkün olmaktadır. Küçük çaplı deşarj sistemlerinin inşasında ise mikro tünel açma makinelerinin kullanılması da mümkündür [2].

Tasarım kriterleri üzerinde bir çok parametre etkili olduğundan yapım yöntemlerini bir standarda bağlamak mümkün değildir. Yukarıda bahsedilen etmenler detaylı olarak incelendikten sonra her farklı proje için en uygun yöntem belirlenmelidir.

Deniz deşarjı hatlarının yapım yöntemleri ana hatları bakımından dört grup altında toplanabilir;

- Deniz tabanında montaj yöntemi (teker teker veya modüler halde batırma yöntemi)
- Yüzeyde montaj yöntemi
- Tabandan çekme yöntemi
- Yüzeyden çekme yöntemi

3.1 Deniz Tabanında Montaj Yöntemi (Teker Teker veya Modüler Halde Batırma Yöntemi)

Bu yapım yönteminde borular, teker teker veya birbirine monte edilerek yani modüler olarak bir jack-up platform, döşeme iskelesi veya yüzer vinç gibi bir ekipman marifetiyle daha önceden kazı, dolgu ve zemin ıslahı gibi çalışmalar tamamlanmış olan hendekler içerisine batırılarak deşarj hattı inşa edilir. Bu yöntemde son birleşimler dalgıçlar tarafından tabanda gerçekleştirilir.



Şekil 3.1 Boru Batırma İşlemi [7]

Bu yöntemde boru parçalarının yerine indirilmesi için yeterli bir konum alma ve kaldırma kapasitesine sahip ekipmanlara ihtiyaç vardır. Bunun yanı sıra boruların istikametlerinin ayarlanması ve birleşimlerinin düzgün yapılabilmesi için tecrübeli dalgıçlar gerekmektedir.

Hava ve deniz şartları sert olmadığı müddetçe bu yöntem oldukça hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Fakat ekipmanları tam doğrultuya getirmek ve bu konumda tutmak oldukça zor bir işlem olduğu için uygun deniz ekipmanlarına ihtiyaç vardır. Ayrıca 60 m'den daha derin hatlar için bu yöntem tercih edilmemektedir.

Boru indirme işlemleri sırasında meteorolojik tahminler dikkatle takip edilmeli ve fırtına olasılığı söz konusu olduğunda çalışmalar durdurulmalıdır [8].

Bu yöntem istenildiği takdirde her cins boru için uygulanabilmektedir. Uzun hatlar ve büyük çaplar için uygun bir yöntemdir. Tabandaki birleşimler daha önceden borulara eklenmiş olan sabit veya döner flanşlar yardımıyla yapılır.

Yoğun dalgıç işçiliğine ihtiyaç duyulmasına ve hava şartlarına önemli ölçüde bağlı olmasına rağmen kolay uygulanabilmesi ve deniz trafiğini engellemeyişi nedeniyle özellikle betonarme, CTP ve YYPE borular için tercih edilmektedir [3].

3.2 Yüzeyde Montaj Yöntemi

Bu yöntem özellikle petrol ve gaz endüstrisinde derinliği boru hatları ve uzun deniz deşarjı sistemlerinin inşasında kullanılmaktadır. Borular bir veya birbirine eklenmiş dubalar üzerinde monte edilir ve stinger adı verilen bir aparat yardımıyla denize sürülür böylece borudaki yüksek eğilme gerilmelerinin önüne geçilerek bir kablo gibi güzergahına indirilir. Bu birleştirme ve denize sürme işlemi tekrarlanarak boru hattı deniz tabanına döşenmiş olur [2].

YYPE ve çelik borular gibi yüksek esnekliğe sahip borular için oldukça uygun ve hızlı bir yöntem olmakla beraber maliyeti oldukça yüksektir. Uzunluğu birkaç km'yi geçmeyen boru hatları için ekonomik bir çözüm değildir [3].



Şekil 3.2 Yüzeyden Boru Döşeme İşlemi [9]

3.3 Tabandan Çekme Yöntemi

Bu yöntem özellikle kaplamalı çelik borular için oldukça uygun bir yöntemdir. Çelik deşarj boru hatları yüzeyden batırma yöntemiyle inşa edilse de batırma ve birleştirme işlemleri için özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Tabandan çekme yönteminde ise borular karada eklenir ve açılan hendek içerisine bir duba veya aynı/karşı kıyıda öngörölmüş boru çekme ırgatı vasıtasıyla çekilir. Zemin yüklerini azaltmak ve sert zemin nedeniyle borunun hasar görmemesi için bir çekme başlığı kullanılır.

Boru hattının güzergahtaki batimetreye uyum sağlaması ve böylece çekme işleminin daha kolay gerçekleştirilebilmesi için kıyıda bir boru indirme rampası inşa edilebilir. Bu boru indirme rampası üzerinde kurulacak istasyonlarda ayrıca boru kaynaklarının, kaynak testlerinin ve korozyon önlemlerinin alınması gibi çalışmalar da yapılabilir.



Şekil 3.3 Boru Çekme Irgatı [10]

Rampa ile boru arasındaki gerilmeleri azaltmak için rampa üzerinde tekerlekler teşkil edilebilir [8].

Rampa üzerine yerleştirilen borular birbirine eklenir ve denize doğru çekilir, bu işlem her boru için tekrarlanır. Böylece hem borular denize çekilirken hem de boru ekleme işlemi birbirini takip etmiş olur. Ekleme işlemlerini kolaylaştırmak için borular daha önceden ikişerli olarak birbirine birleştirilebilir.

Boru çekme işlemi hem karşı kıyıdan hem de deşarj hattının başladığı aynı kıyıdan yapılabilir.



Şekil 3.4 Boru İndirme Rampası



Şekil 3.5 Boru İndirme Rampasında Öngörülen Tekerlekler

Boru duraylılığını sağlamak için ağırlık ankrajları yerleştirmek yerine çelik borulara karada betonarme bir kaplama yapılır. Bu işlem boru hattını çekmek için gerekli kuvveti arttırsa da betonarme korozyona karşı koruma açısından oldukça faydalı bir

kaplama oluşturmaktadır [11]. Yüksek çekme kuvveti gerektiren durumlarda boru hattı difüzör kısmı olmadan veya içerisi hava ile doldurularak çekilebilir.

Tabandan çekme yöntemiyle küçük çaplı boruların yanında büyük çaplı boru hatları da inşa edilebilir fakat bu durumda ağır ekipmanlara gereksinim duyulur.

Boru çekme işlemleri kısa aralıklarla yapılmalı ve boru hattının kırılmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde boru hattı zemin içerisine gömüleceğinden daha büyük çekme kuvvetlerine gereksinim duyulacaktır [3].

Boru ekleme ve çekme işlemlerinde yüzer ekipmanlara ihtiyaç duyulmaması nedeniyle sert hava ve deniz koşullarının hakim olduğu durumlarda, tabandan çekme yöntemi oldukça uygundur. Ayrıca yoğun deniz trafiğinin olduğu bölgelerde de bu yöntem, trafiği engellemediğinden tercih edilmektedir.

Bu yöntemde kıyıda yeterli depolama ve ekleme işlemlerinin yapılabileceği uygun bir alanın bulunması en önemli sorundur. Ayrıca boruları indirme rampasına yerleştirecek ağır vinçlere ihtiyaç duyulması maliyetleri arttırıcı bir etmendir.

3.4 Yüzeyden Çekme (Yüzdürme) Yöntemi

Bu yöntem çelik ve plastik borular için oldukça uygun bir yöntemdir. Çelik borular uzun segmentler halinde birleştirilir ve güzergaha getirildikten sonra segmentler birbirine eklenerek boru parçası batırılır. Çelik boruların yüzebilmesi için belli aralıklarla şamandıralar bağlanır. Boru segmenti tabana indirildikten sonra bu şamandıralar serbest bırakılır ve diğer segment aynı şekilde yüzeyden çekilerek bir önceki segmentin ucuna eklenir [8].

YYPE ve PE boruların birleştirilme işlemi karada yapılarak tüm deşarj hattı inşa edilir. Gerekli batırma blokları boru hattına monte edildikten sonra içerisine su girmesini önleyici tedbirler alınarak yani ucu kapatılarak bir yüzer vinç vasıtasıyla çekilip hat güzergahına getirilir. Boru ucundaki vana açılıp hat içerisine düşük bir hızla kontrollü şekilde su doldurularak boru hattı hendek içerisine batırılır. Batırma işlemi difüzör parçası ile beraber veya difüzör kısmı olmadan da gerçekleştirilebilir. Eğer difüzör kısmı olmaksızın batırma işlemi gerçekleştirilmişse bu parça daha sonra batırılarak dalgıçlar tarafından boru hattına eklenebilir.



Şekil 3.6 YYPE Boru Batırma İşlemi [12]

Boru üzerindeki gerilmeleri azaltmak için boru batırma işlemi oldukça yavaş olarak dikkatlice yapılmalıdır. Su derinliğine bağlı olarak izin verilebilecek eğrilik yarıçapları;

YYPE ve PE borular için $30 D < R < 40 D$ aralığındadır.

Bu yöntemde dalgıç işçiliğine olan gereksinim oldukça düşüktür ve boru dökme hızı oldukça yüksektir. Günde 1000-2000 m boru dökmesi mümkündür. Bu avantajlarının yanında deniz koşullarına karşı oldukça hassas olması ve güçlü akıntı şartlarında borunun istenilen güzergaha indirilememesi gibi dezavantajları söz konusudur. Bu nedenle yüzdürme yöntemi özellikle kapalı su alanları içerisindeki deşarj sistemleri için oldukça uygun bir yöntemdir [2].

4. DENİZ TABANINDAKİ BORU HATTI DURAYLIĞI

Deniz tabanına yerleştirilen boru hatları için duraylılık oldukça önemli bir problemdir. Boru hattına inşa ve işletim esnasında çeşitli kuvvetler etki etmektedir. Yapılacak tasarım bu etkilere karşı boru hattının zarar görmesini önlemeli ve yeterli bir duraylılık sağlamalıdır.

4.1 Boru Hattına Etki Eden Kuvvetler

Deniz tabanına döşenmiş bir boru hattı sürekli olarak hem zemin yükleri hem de dalga ve akıntı yükleri gibi hidrodinamik yükler etkisi altında kalacaktır.

4.1.1 Zemin Yükleri

Taban zemininin cinsi boru hattına etki eden zemin kuvvetlerini belirleyen etmendir. Düşeydeki kuvvetler zeminin taşıma kapasitesi olarak bilinir ve duraylığın sağlanabilmesi için taban zeminin yeterli bir taşıma gücüne sahip olması gereklidir. Yataydaki kuvvetler ise sürtünme kuvveti ve pasif zemin kuvvetlerinin toplamıdır.

Yatay duraylılık için sürtünme kuvveti zemin mekaniğinden bilindiği gibi düşey yükün bir işlevi olarak düşünülebilir. Pasif zemin yükleri ise borunun tabana gömülme miktarına bağlıdır. Kayalık, sert killi ve sıkı kumlu zeminler için sürtünme kuvvetleri baskın iken yumuşak killi ve gevşek kumlu zeminleri için pasif zemin kuvvetleri öne çıkmaktadır.

Geleneksel boru hattı tasarımlarında yalnızca sürtünme kuvvetleri dikkate alınır. Borunun bir miktar zemine gömülmesi durumunda ise pasif direnci göz önünde bulundurmak için sürtünme katsayısı bir miktar büyütülür.

$$F_s = W_N * \mu_s \quad (4.1)$$

$$W_N = W_T - F_L \quad (4.2)$$

F_s : Sürtünme kuvveti

W_N : Net düşey yük ($W_T - F_v$)

W_T : Borunun kendi birim boy ağırlığı ile birim boya düşen ilave tespit kütesi ağırlığı

F_L : Birim boru boyuna etki eden kaldırma kuvveti

μ_s : Boru veya tespit kütesi ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı

μ_s , kumlu zeminlerde 0.6 – 1.4 arasında genellikle 0.9, killi ve balçık zeminlerde ise 0.2 – 0.7 arasında genellikle 0.5 alınabilir [3].

Boru hattının oturduğu zemin tabakası eğer kumlu bir zemin tabakası ise sıvılaşma olasılığı ayrıca üzerinde dikkat edilmesi gereken bir husustur [2].

4.1.2 Hidrodinamik Kuvvetler

Deniz tabanındaki bir boru hattı sürekli olarak dalga ve akıntı kaynaklı yüklere maruz kalmaktadır. Genellikle dalga ve akıntı koşulları birlikte etkili olmaktadır bunun sonucunda boru hattı düşey yönde kaldırma kuvvetleri ve yatayda sürüklenme ile atalet kuvvetlerine maruz kalmaktadır.

Yatay yönde boru hattına normal doğrultuda oluşan sürüklenme kuvveti;

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U^2 \quad (4.3)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U |U| \quad (4.4)$$

ifadesiyle bulunabilir.

Burada;

F_D : Birim boy için yatay sürüklenme kuvveti

ρ : Akışkan yoğunluğu

C_D : Yatay sürüklenme katsayısı

D : Boru çapı

$U^2=U|U|$: Hız karesi ifadesi,

Sürüklenme kuvvetinin daima hızla aynı doğrultuda olduğunu göstermek için $U|U|$ şeklinde yazılır.

Permanan akımlarda boru üzerinden su geçişi boru hattının üstünde ve altında bir basınç alanının oluşmasına neden olur. Bu basınç alanının etkisiyle hareket eden akışkan kütlesi nedeniyle yatay yönde ek bir atalet kuvveti oluşur. Bu kuvvet ise

$$F_I = \rho C_M A a \quad (4.5)$$

$$F_I = \rho C_M \frac{\pi}{4} D^2 \dot{U} \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (4.6)$$

F_I : Atalet kuvveti

ρ : Akışkan yoğunluğu

C_M : Atalet katsayısı

D : Boru çapı

$a=\dot{U}$: Tabandaki akışkan taneciğinin ivmesi

Sonuçta yatayda boru hattına etkiyen kuvvet Morison Denklemi adı verilen aşağıdaki ifade ile elde edilebilir. [13]

$$F_H = F_D + F_I \quad (4.7)$$

$$F_H = \frac{1}{2} \rho C_D U |U| + \rho C_M A \dot{U} \quad (4.8)$$

Burada, yatay sürüklenme katsayısı (C_D) ve atalet kuvveti katsayısı (C_M), Reynolds Sayısı (Re), Keulagan Carpenter Sayısı (KC) ve e/D açıklık oranının da bir işlevidir.

KC, silindirin çapına göre akışkan taneciklerinin yapmış olduğu yer değiştirmenin veya yörüngesel hareketin göreceli olarak önemini ifade etmektedir. KC'nin küçük değerleri ($KC < 1$) için atalet kuvvetleri, direnç kuvvetlerine göre daha etkin iken $KC > 1$ durumunda sınır tabakasından ayrılma önem kazanır ve direnç kuvveti atalet kuvvetlerine göre etkinleşir. [14]

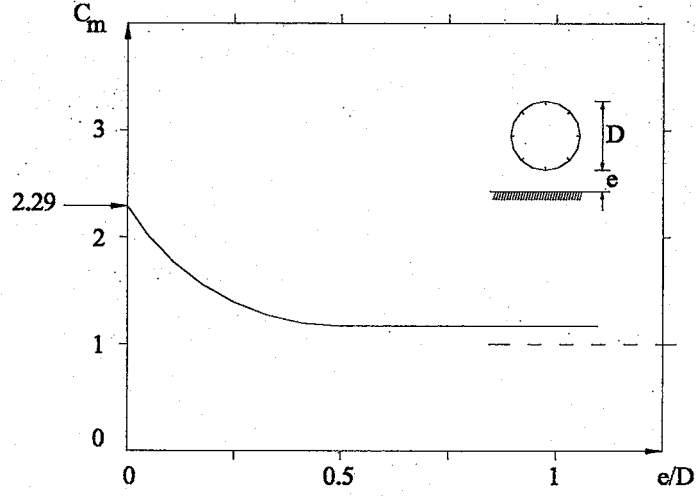
$$KC = \frac{U_m T}{D} \quad (4.9)$$

KC : Keulagan Carpenter Sayısı

U_m : Maksimum akışkan taneciği hızı

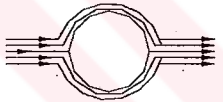
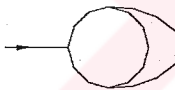
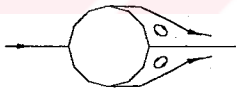
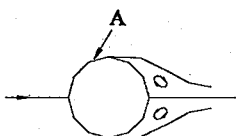
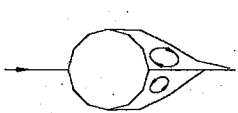
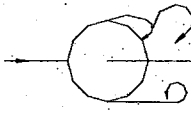
T : Dalga periyodu

D : Boru çapı



Şekil 4.1 Borular için Atalet Katsayısı (C_M) [13]

Tablo 4.1 KC Sayısına Göre Akım Rejimleri [13]

a)		ayrılma yok. krip (laminer) akış	$KC < 1.1$
b)		ayrılma ile Honji çevrintisi	$1.1 < KC < 1.6$
c)		bir çift simetrik çevrinti	$1.6 < KC < 2.1$
d)		bir çift simetrik çevrinti Türbulans silindir yüzey üzerinde	$2.1 < KC < 4$
e)		bir çift asimetrik çevrinti	$4 < KC < 7$
f)		çevrinti gölgelenmesi	$7 < KC$ gölgelenme rejimleri

Düşey yönde oluşan kaldırma kuvveti ise

$$F_L = \frac{1}{2} \rho D C_L U^2 \quad (4.10)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho D C_L U |U| \quad (4.11)$$

ifadesi yardımıyla hesaplanabilir [14].

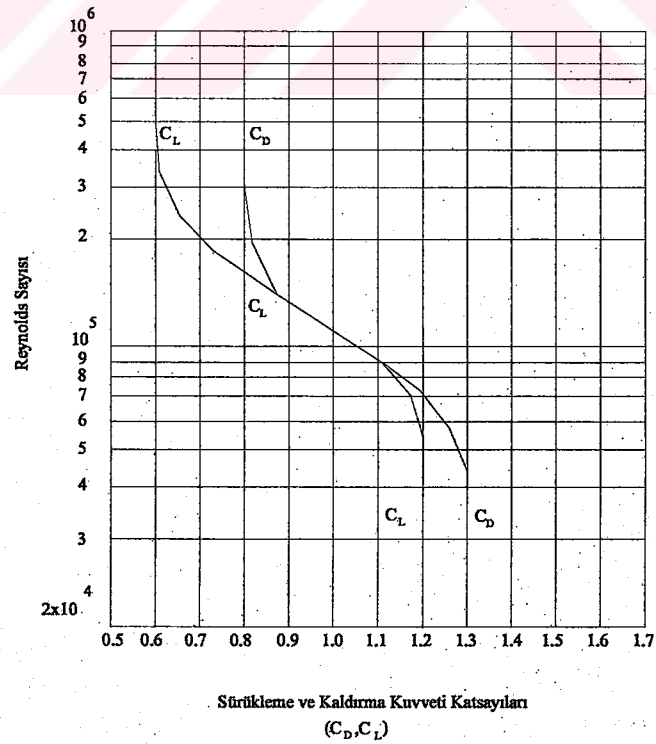
F_L : Birim boru boyuna etkiyen kaldırma kuvveti

ρ : Akışkan yoğunluğu

C_L : Kaldırma kuvveti katsayısı

D : Boru çapı

$U^2 = U|U|$: Hız karesi ifadesi,



Şekil 4.2 Sürüklenme (C_D) ve Kaldırma (C_L) Kuvveti Katsayıları [2]

Yatay sürüklenme katsayısı (C_D), ve düşey kaldırma kuvveti katsayısı (C_L), Reynolds Sayısının (Re) bir işlevidir. C_D ve C_L laminar akım için Re sayısı arttıkça azalır [13].

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (4.12)$$

U : Akışkan hızı

D : Boru çapı

ν : Kinematik viskozite

Eğer dalganın geliş doğrultusu, boru eksenine ile bir açı yapıyorsa yani belli bir atak açısıyla yaklaşıyorsa, hidrodinamik kuvvetlerin hesabı için hız ve ivme değerlerinin boru eksenine dik yöndeki bileşenleri kullanılmalıdır.

4.2 Boru Hattı Duraylılığının Sağlanması

Etkili bir deşarj sistemi tasarımı için kullanılan malzemenin dış etkilere karşı mukavemet özellikleri ve boru birim boy ağırlığı, deniz tabanı özellikleri, katı madde hareketi, dalga ve akıntı koşulları gibi bir çok etmen göz önünde bulundurulmalıdır.

Yukarıda bahsedilen hidrodinamik yüklerin yanında Grace deniz deşarjı boru hatlarının hasar nedenlerini aşağıdaki başlıklar altında toplamıştır [15].

- Deniz tabanı dinamiği
- Akıntı yükleri
- Deniz trafiği
- Malzeme hataları
- Deşarj edilen atık etmeni
- Çevresel etmenler
- İnsan kaynaklı etkiler

- İnşa yöntemi kaynaklı etkiler

Klasik olarak deşarj boruları tabanda açılan bir hendek içerisine yerleştirilerek üzeri bir kaplama dolgusu ile kapatılır veya doğrudan tabana oturtulur. Her iki durumun beraber kullanıldığı örnekler de mevcuttur.

Boru hatları genellikle dalga kırılma bölgesindeki hidrodinamik yüklere karşı tabana gömülü olarak inşa edilirler. Rijit, geçirimsiz bir deniz tabanı koşulunda kazı yapmak oldukça maliyetli olacağı için bu yöntemin uygulanması mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda ise boru hattı tabana yerleştirilir ve duraylık zemine yapılan ankrajlama ile sağlanabilir [16].

4.2.1 Gömülü Boru Hatlarının Duraylığı

Tabana açılan bir hendek içerisine gömülü boru hatları

- Zemin-su ara yüzünde yüzüyor ve dalga-akıntı yüklerine maruz kalıyorsa,
- Hendek tabanına doğru zemine batıyorsa,

duraylığını koruyamıyor demektir.

Gömülü boru hatlarını hendek dışında yüzerken bulmak hiç de şaşırtıcı bir olay değildir. Çünkü tasarım sırasında mümkün olduğunca hafif boru seçimi oldukça yaygındır, yapılan üst dolgunun boruyu hendek içerisinde tutacağı varsayılır. Bu durum ancak zemin koşullarına, kullanılan dolgu malzemesinin özelliklerine ve kullanılan gömme yöntemine bağlıdır.

Genellikle boru hatlarının üzeri hendek kazısından çıkan doğal malzeme ile doldurulur. Bu malzeme kayma gerilmesi düşük bir malzemedir çünkü iki kez yer değiştirilmiş ve tekrar hendek içerisine yerleştirilmiştir. Hendekten çıkan malzeme ile doldurmak yerine doğal sedimantasyon ile üzerinin dolacağı düşüncesiyle üzeri açık da bırakılabilir. Bu durumda borunun serbest halde yüzmeyeceği kontrol edilmelidir.

Yumuşak killi zeminlerde, borunun hendek içerisinde gömülü kalmasını sağlayacak ama zeminin göçmesine neden olmayacak bir tasarım ağırlığının belirlenmesi çok önemlidir. Bu nedenle zeminin su muhteviyatı yani likit limiti hassasiyetle belirlenmelidir.

Bu gibi problemler, gömme derinliğinin artırılması veya uygun birim boy ağırlıktaki boru cinsinin seçilmesi ile önlenabilir [2].

Mevsimsel fırtınalar örtü malzemesinin erozyona uğramasına neden olurken kıyı boyu akıntıların uzun dönem etkileri nedeniyle kıyı çizgisi malzemelerinin hareket etmesi söz konusu olabilir. Katı madde hareketinin yoğun olduğu kıyılarda kıyı profilindeki kısa ve uzun dönem değişimler dikkatle takip edilmeli ve buna bağlı olarak uygun bir gömme derinliği ve kaplama örtüsü malzemesinin çapı tayin edilmelidir [16].

Bu kaplama tabakasının arasından mevcut dolgunun kaybedilmesini önlemek için uygun bir gradasyon ile arada bir filtre tabakası oluşturmak gereklidir. Kaplama tabakasında kullanılacak taşların boyutlarının belirlenmesi için Shields eğrisi kullanılmaktadır.

$$\Phi_{cr} = \frac{\tau}{(\rho_s - \rho)gd_{50}} \quad (4.13)$$

Φ_{cr} : Kritik Shields parametresi

τ : Tabandaki kayma gerilmesi

ρ_s : Tanecik yoğunluğu

ρ : Deniz suyu yoğunluğu

g : Yerçekimi ivmesi

d_{50} : Tanecik medyan çapı

$$\tau = \frac{1}{4} \rho f_w U_b^2 \quad (4.14)$$

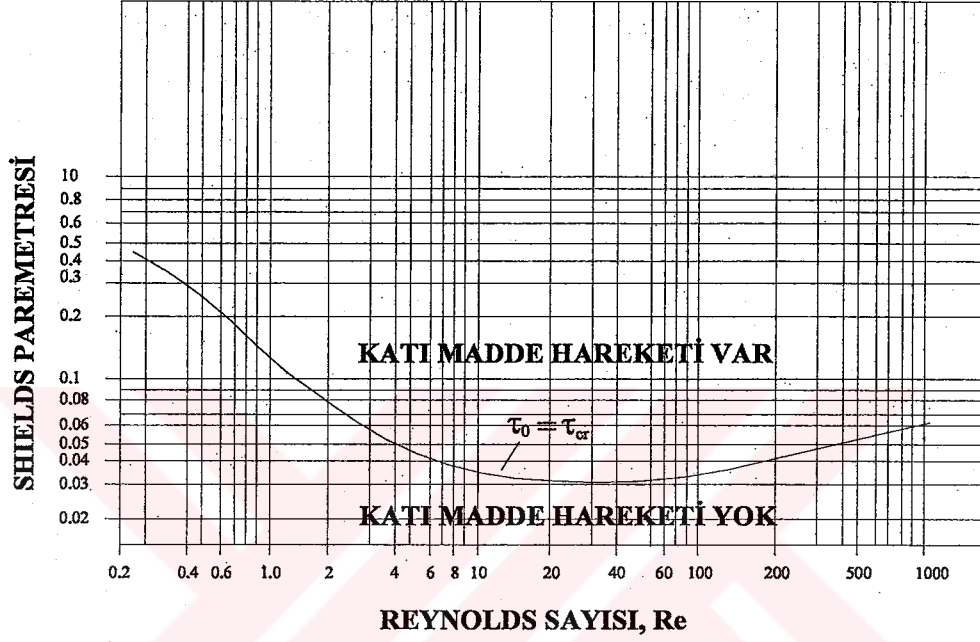
f_w : Dalga sürtünme etmeni

U_b^2 : Tabandaki maksimum kritik yörüngesel hız

$$f = \exp[-6 + 5.2(A_b / K_s)^{-0.19}] \quad (4.15)$$

A_b : Yörüngesel sapma

K_s : Etkin taban pürüzlülüğü



Şekil.4.3 Shields Eğrisi [17]

Kullanılan kaplama cinsine göre bir kritik Shields parametresi alınarak eğri yardımıyla hareket edecek taban malzemesinin % 50'sinin geçtiği elek çapı yani medyan çapı belirlenir. Örneğin deşarj hatlarında kullanılan kaya dolguları için $\Phi_{cr} = 0.06$ alınabilir [18].

4.2.2 Tabana Oturan Boru Hatlarının Duraylığı

Bir boru hattı deniz tabanı üzerine oturtulmuşsa duraylık bakımından aşağıdaki koşullardan biri görülecektir;

- Kullanılan boru cinsi yeterli birim boy ağırlığına sahip olmadığı için kaldırma kuvveti etkisiyle deşarj hattı yüzecektir.
- Deşarj hattının birim boy ağırlığı kaldırma kuvveti etkisi ile hareket etmeyecek kadar büyük ve zemin taşıma kapasitesi bu ağırlığı taşıyabilecek kadar büyük ise boru hattı deniz tabanı üzerine oturacak yani duraylığını koruyacaktır.
- Zemin taşıma gücü boru ağırlığını taşıyabilecek kadar büyük olmadığı için zemin içerisinde kalan borunun taşıma alanı yeterli oluncaya kadar boru hattı zemine batacaktır.
- Zemin taşıma kapasitesi boru birim boy ağırlığını taşımaya yeterli olmadığından boru hattı zemin içerisine tamamen gömülecektir.

Boru hattı tabana serbest olarak oturtulmuş ise boru ağırlığının kaldırma, sürüklenme ve atalet kuvvetlerine karşı koyabilecek kadar büyük olması gerekir. Kırılma olmayan sığ su dalgaları için atalet kuvvetleri sürüklenme kuvvetlerine göre oldukça küçükken derin su dalgaları için ise yaklaşık aynı mertebededir. Kırılan dalga ve akıntı kuvvetleri koşulları altında boru hattına etkileyen kuvvetler belirlenerek borunun duraylığını koruyabilmesi için yeterli bir birim boy ağırlığına sahip olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Granüler taban zemini üzerine oturtulan boru hatlarında özel bir dikkat gösterilmelidir. Çoğunlukla kumlu zeminler dinamik bir duraylık koşulu altındadırlar yani taban malzemeleri dalga ve akıntı etkisiyle hareket ederler. Tabana yerleştirilen bir nesne denge durumunu bozacaktır. Kayma gerilmelerinin artması sonucu doğal bir hareket gözlenmese de yersel oyulmalar söz konusu olabilir ve bu oyulma giderek genişleyebilir. Yersel hızlar artar ve ek türbülanslar oluşarak akımın katı madde taşıma kapasitesini artırır [16].

Eğer zemin taşıma kapasitesi boru ağırlığını taşıyamayacak kadar küçük ise boru hattı zemin içerisine gömülmeye başlayacaktır. Eğer küçük bir parça oturma yapıyorsa veya bel veriyorsa zemin oturma yapmaya başlar.

Boru hatları altında meydana gelen oyulmaların nedeni kum zemin içerisinde geçen akımdır. Boru üzerindeki ve altındaki basınç farkı nedeniyle meydana gelen bu akım taban malzemesinin taşınmasına neden olmaktadır. Bu oyulma zamanla genişler ve boru hattının bir bölümünün askıda kalmasına neden olur. Boru altındaki bu açıklığın artması borunun aşağı doğru bel vermesine neden olur [19].

Oyulma ve gömülme problemleri borunun aşağı doğru bel vermesine neden olur bu da hattın akım taşıma kapasitesini düşüren önemli bir sorundur. Eğer bu olay hattın uç kısmında gerçekleşiyorsa, difüzörler katı madde ile tıkanabilir ve hatta yapısal problemler ortaya çıkabilir.

Oyulma tahmin edilmesi oldukça güç bir sorundur. Boru etrafının dış etkilerle hareket etmeyecek kadar büyük bir malzeme kullanılarak trapez veya üçgen kesitli bir anroşman tabakasıyla kaplanması oyulma problemini büyük ölçüde çözecektir. Bu koruma tabakası taş olabileceği gibi agraflı yastıklardan ya da hazır koruma bloklarından da oluşturulabilir.

Boru hatlarının düşey duraylılığının sağlanması için iki tip ankrajlama uygulanabilir:

Yoğunluk ankrajları; borunun birim boy ağırlığını arttırarak kaldırma kuvveti etkisini azaltacak ek ağırlıklardır. Çelik borularda iç ve/veya dış yüzeye yapılan betonarme kaplamalar ve YYPE borularda, belli aralıklarda yerleştirilmiş boruyu çevreleyen batırma blokları bu grup içerisinde sayılabilir. Ayrıca semer şeklindeki bloklar da bu amaçla kullanılabilir. Fakat semer tipi batırma blokları boru hattı altından akım geçişine izin verdiğinden oyulmaların artmasına neden olmakta ve bu nedenle pek tercih edilmemektedir.

Mekanik ankrajlar; boru duraylılığını korumayı amaçlayan, boru hattına ek bir ağırlık sağlamayan ve genellikle çelikten yapılan ankrajlardır. Uygun olarak yerleştirildiklerinde görevleri boru üzerinde minimum bir tutma yükü oluşturmaktır. Özellikle büyük çaplı boru hatlarında mekanik ankrajların tutma kapasiteleri yoğunluk ankrajlarına oranla çok daha yüksektir. En çok kullanılan mekanik ankraj tipi uzun çelik bir çubuk ucuna yerleştirilen burgulu ankrajlardır. Diğer ucu ise bir kelepçeye bağlanabilir. Boru üzerine yerleştirilen bu kelepçe her iki tarafından burgulu ankrajlarla sıkılarak zemine sabitlenir.

Bir diğer tip mekanik ankrajlama sistemi olan genişleyen tip ankrajlar, burgulu ankrajlarla aynı amaçla kullanılır. Çelik çubuk ucunda, çubuk döndürüldükçe genişleyen bir çapa mevcuttur. Önceden açılmış deliklere yerleştirilerek veya zemine

doğrudan zemine çakıldıktan sonra açılarak da uygulanabilir. Meydana getirilen bu genişleme etkili alanı artırarak kayma gerilmesinin büyümesini amaçlamaktadır [2].



5. KAZIKLAR ÜZERİNE OTURAN DENİZ DEŞARJI SİSTEMLERİ

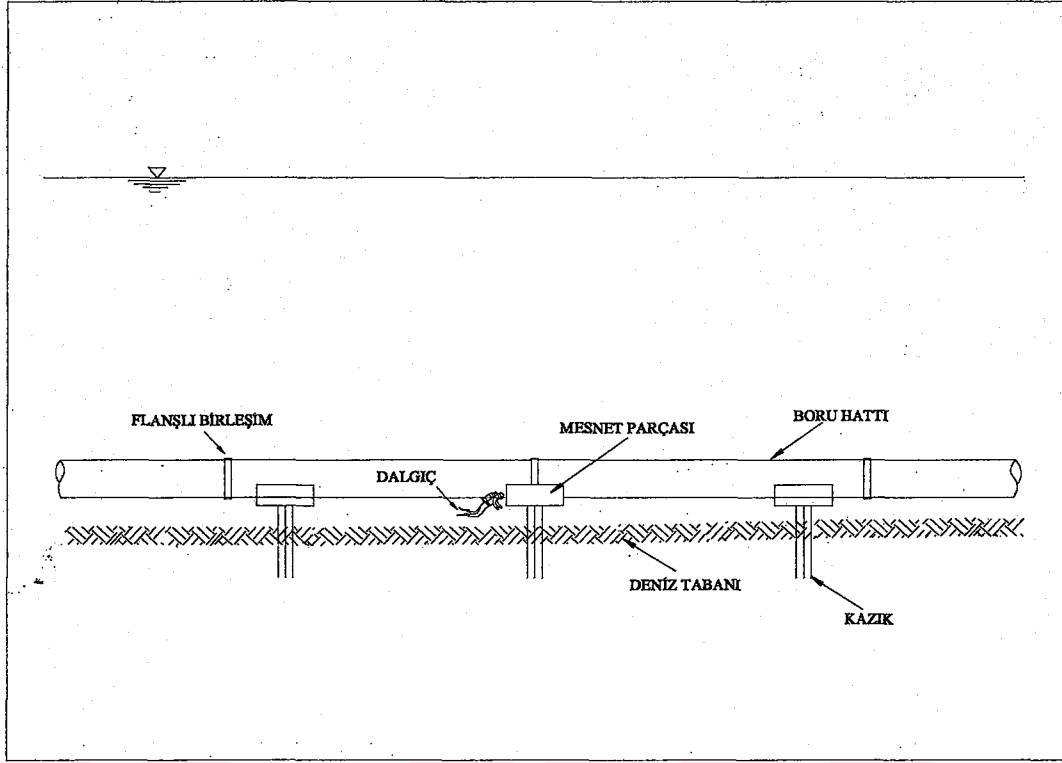
Daha önceki bölümlerde deniz deşarjı sistemleri için çeşitli yapım yöntemlerinden bahsedilmişti. Kazıklar üzerine oturan deşarj boru hatları yeni bir yapım yöntemi önerisi getirmektedir. Bu yöntemde boru hattı önceden deniz tabanına çakılmış kazık sistemi üzerine monte edilerek zemin ve hidrodinamik kuvvetlere karşı duraylılığı sağlanmaktadır.

Belirlenen deşarj güzergahı boyunca belli aralıklarda çakılan kazıklar, boru hattında yüksek gerilmeleri önleyecek şekilde, belirlenen kotlarda bir dalgıç marifetiyle kesilerek deşarj borusu bu kazıklar üzerine monte edilmiş mesnetler üzerine oturtulmaktadır. Böylece boru hattı tabandaki topografik değişimlerden etkilenmemekte ve yüksek gerilmelere maruz kalmamaktadır.

İstenen kotlarda kesilen kazıklar üzerine boruların oturabileceği mesnetler monte edilir ve daha önceden birleştirilen boru segmentleri bu mesnetler üzerine bir yüzer vinç marifetiyle indirilir. Boru indirme işlemi bir dalgıç gözetiminde yapılarak boruların yanlış indirilmesi olasılığının önüne geçilebilir.

Boru indirme işlemini takiben dalgıç flanşları karşılıklı getirerek birleştirme işlemini tamamlar. Daha sonra boru üzerine bir sabitleme parçası indirilerek veya bir halat geçirerek kazıklar üzerine monte edilmiş olan mesnetlerle boru parçalarının bağlantısı yapılır. Böylece boru hattı mesnetler üzerine sabitlenmiş olacaktır.

Tüm segmentler bu yöntemle indirilerek boru hattı tamamlanır. En son olarak Difüzör parçasının montajı gerçekleştirilir.



Şekil 5.1 Kazıklar Üzerine Oturan Deniz Deşarjı Sistemi

Kazıklar üzerine oturan deniz deşarjı sistemlerinde diğer inşa yöntemlerinde olduğu gibi dalga kırılma bölgesinde boru hattının bir hendek içerisine gömülmesi ve üzerinin bir koruma tabakasıyla kaplanması hidrodinamik yüklerin etkisini minimize etmek açısından faydalı olmaktadır.

Dalga kırılma bölgesi dışında kalan bölgede ise zemin ve hidrodinamik yüklerin karşılanmasında kazıklar etkili olmaktadır.

5.1 Kazık Tasarımı

Kazıklar düşük taşıma kapasitesine sahip zeminlerde yapılacak üst yapı yüklerini daha derinlerdeki taşıma kapasitesi yüksek zemin tabakalarına aktaran temel elemanlarıdır. Malzeme ve çeşit açısından çok çeşitli kazık tipleri mevcut olmakla beraber, günümüzde genel olarak kullanılan kazıklar betonarme veya çelik olabilirler. Deniz yapılarında genellikle çelik boru şeklindeki çakma kazıklar kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra H-profil ve Larsen profiller de kullanılmaktadır.

Kazıklar yapım yöntemine göre iki sınıfa ayrılmaktadır; fore kazıklar ve çakma kazıklar. Deniz yapılarında çoğunlukla çakma kazıklar kullanılmaktadır.

Bir kazık üst yapı yükünü ya kazık ucundaki yük taşıma kapasitesiyle ya da yan çeperleri ile zemin tabakaları arasındaki sürtünme kuvveti ile taşımaktadırlar.

Kullanılacak kazık tipinin ve gerekli çakma uzunluğunun belirlenmesi oldukça zor bir konudur. Boylarına ve zemine yük aktarma mekanizmasına bağlı olarak kazıklar iki ana kategoride incelenebilir.

- Noktasal Taşıyıcı Kazıklar

Makul bir derinlikte zemin taşıma kapasitesi, kaya veya kaya benzeri bir malzeme mertebesinde ise kazıklar bu yüzeye oturtulabilir. Bu durumda kazık taşıma yükü kapasitesi alttaki zeminin taşıma gücü kapasitesine bağlı olacaktır.

Eğer tabaka kaya değil de oldukça iyi sıkışmış ve sert bir malzeme ise kazık tabaka içerisine birkaç metre daha çakılmalıdır.

- Sürtünme Kazıkları

Eğer taban kohesif zeminlerden oluşuyorsa makul bir derinlikte kaya veya benzeri bir zemin tabakası bulunmamaktadır. Bu durumda kazık boyu oldukça fazla uzamaktadır ve kazıklar ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır. Bu tip zemin koşulları için kazıklar bu yumuşak malzeme içerisine yeterli bir derinliğe kadar çakılmalıdır.

Kazık uç taşıma kapasitesinden çok zemin ile olan sürtünme direnci ile üst yapı yüklerini taşımaktadır.

Bu tür kazık sistemlerinde zemine çakılacak olan kazık boyu zeminin kayma mukavemetine, etki eden yüke ve kazık çapına bağlıdır [20].

5.1.1 Kazıklarda Yük Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

Kazıkların taşıyabileceği emniyetli yük; kazık ucu taşıma kapasitesi ve sürtünme kapasitesi yardımıyla taşıdıkları yüklerin toplamıdır.

- Kazık Ucu Taşıma Kapasitesi

Kazık ucunun taşıyabileceği emniyetli yükü ifade etmektedir.

Kohezyonlu zeminlerde;

$$Q_T = N_c * C * A_t \quad (5.1)$$

Q_T : Yük taşıma kapasitesi

N_c : Boyutsuz taşıma gücü katsayısı (Genellikle $N_c=9$ alınır)

C : Kohezyon (kN/m^2)

A_t : Kazık ucu alanı (m^2)

Kohezyonsuz zeminlerde;

$$Q_T = q_t * A_t \quad (5.2)$$

$$q_t = P_0 * N_q \quad (5.3)$$

P_0 : Etkin düşey basınç

A_t : Kazık ucu alanı

N_q : Boyutsuz zemin taşıma gücü katsayısı

$$P_0 = \gamma' * z \quad (5.4)$$

γ' : Etkin zemin birim hacim ağırlığı

z : Kazık ucu derinliği

Gevşek kumlu zeminlerde $N_q = 8$

Çok sıkı kumlu zeminlerde $N_q = 50$ alınabilir.

- Sürtünme Kapasitesi

Kazık çeperi ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti nedeniyle oluşan yük taşıma kapasitesidir.

Kohezyonlu zeminlerde;

$$Q_s = P * C_A * L_p \quad (5.5)$$

Q_s : Sürtünme kapasitesi

P : Kazık çevresi

C_A : Adhezyon (kN/m^2)

L_p : Zemin tabakası içerisinde kalan kazık boyu (m)

$$C_A = C * \alpha \quad (5.6)$$

C : Kohezyon (kN/m^2)

α : Adhezyon katsayısı,

Adhezyon katsayısı, zemin cinsine, kullanılan kazık malzemesine ve etkin düşey basınca bağlıdır.

Çok yumuşak killerde $\alpha = 1.25$

Katı killerde ise $\alpha = 0.25$ alınabilir.

Kohezyonsuz zeminlerde;

$$Q_s = P * \sum_{i=1}^n \gamma'_i Z_i K_i \tan \delta_i \Delta z_i \quad (5.7)$$

Q_s : Sürtünme kapasitesi

P : Kazık çevresi

γ'_i : Etkin zemin birim hacim ağırlığı

Z_i : Zemin tabakasının ortasına kadar olan derinlik

K_i : Yatay zemin basıncı katsayısı

ΔZ_i : Tabaka kalınlığı

δ_i : Kazık ile zemin tabakası arasındaki içsel sürtünme açısı

$\tan \delta_i$: İçsel sürtünme katsayısı

Kazıkların toplam taşıma kapasiteleri ise

$$Q_U = Q_s + Q_T - W \quad (5.8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Çakma kazıklarda W , kazık ağırlığı dikkate alınmaz.

Kazığın emniyetli taşıma kapasitesi ise

$$Q_{em} = \frac{Q_U}{F_s} \quad (5.9)$$

ifadesiyle toplam yük taşıma kapasitesinin bir emniyet katsayısı (F_s) ile bölünerek elde edilir.

Emniyet katsayısının belirlenmesi için farklı yaklaşımlar mevcuttur.

$$Q_{em} = \frac{Q_u}{2} \quad (5.10)$$

$$Q_{em} = \frac{Q_s}{1.5} + \frac{Q_T}{3} \quad (5.11)$$

ifadelerinden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerlerinden küçük olanı kullanılır.

Eksenel çekme yükü alan kazıklar için zemindeki çekme sürtünme katsayıları, basınç sürtünme katsayılarından daha düşük alınır. Buna göre;

$$Q_U = 0.7Q_s + W \quad (5.12)$$

alınabilir. Emniyetli kazık taşıma kapasitesi ise basınç kazıklarında olduğu gibi bulunur [21].

5.2 Kazıklı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Kazıklar üzerine oturan deniz deşarjı sistemleri hemen hemen her türlü boru cinsine uygulanabilmektedir. Birleşimler kaynaklı olabilir veya flanşlı birleşimler yapmak mümkündür.

Oyulma özellikle tabana oturan boru hatlarındaki en büyük sorundur. Kazıklar üzerine oturan boru hatlarında ise boru ile taban zemini arasında doğrudan bir bağlantı olmadığından böyle bir problemle karşılaşmak ve boru hattının bel vermesi, akım kapasitesinin düşmesi gibi problemler söz konusu olmamaktadır.

Özellikle katı madde hareketinin yoğun olduğu bölgelerde tabandaki hareketten boru hattı etkilenmeyeceği için kazıklı sistemlerin uygulanması olumlu sonuçlar

verecektir. Difüzör kısmındaki Riser adı verilen portların katı madde ile tıkanması veya boru hattı altındaki zeminin oyularak boru hattının zarar görmesi gibi problemlerin önüne geçilmiş olacaktır.

Deniz tabanı üzerinde kalan kazık bölümünün yüksekliği ayarlanarak, taban konturları arasındaki ani değişimlerden boru hattının etkilenmesi önlenmiş olacaktır. Böylece esnek birleşimlere olan ihtiyaç bir nebze azaltılmış, boru hattına yüksek eğilme yükleri gelmesi önlenmiş olacaktır.

Düşük taşıma kapasitesine sahip zeminlerde kazıklar boru hattına etkileyen yükleri daha sağlam alt zemin tabakalarına aktardığından dolayı zemin taşıma kapasitesine bağlı gömülme problemi ortadan kalkmaktadır.

Özellikle gevşek kumlu zeminlerde boru hattının bir hendek içerisine gömülmesi gerekiyorsa, şev duraylılığının sağlanması için düşük eğimli hendekler kazılmalıdır. Bu da yapılması gereken kazı miktarını oldukça arttıran bir etmendir. Yüksek kazı miktarları büyük maliyetler doğurmaktadır. Kazıklı sistemler de ise kazı maliyeti sıfıra inmekte ve ayrıca ağır kazı ekipmanlarına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Ayrıca boru hattının bir koruma tabakasıyla kaplanması durumunda uygun boyutlarda koruma taşı ihtiyacı oldukça fazla olmaktadır. Deşarj sistemlerinde kazıklar kullanılması durumunda ise kum ve taş dolgu maliyetleri yine sıfıra indirilmiş olmaktadır.

Mühendislikte sistem duraylılığının sağlanması yanında inşa aşamalarının her birinde denizin çevresel özelliklerinin korunmasında da özel bir dikkat sarf edilmelidir. Sürdürülebilir bir ekolojik sistem için deniz deşarjı sistemi doğal dengeye uyum sağlamalıdır.

Deşarj hatlarında borunun tabana gömülmesi amacıyla hendek açılması için yapılan tarama faaliyetleri proje bölgesindeki deniz ekosistemini oldukça tahrip edici etkilere sahiptir. Tarama faaliyetleri sonucu askı durumuna geçen taban malzemesinin etkileri üç grup altında toplanabilir; fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkiler.

Taban malzemesi kil, silt, kum, çakıl ve organik malzemelerin bir karışımı şeklindedir. Bu taban malzemelerinin zehirli kimyasal maddeler içeriği farklı yerlerde farklı olmaktadır. Kil ve silt gibi malzemeler tarama faaliyetleri ile kolayca askı durumuna geçmekte ve bulanıklığa sebep olmaktadır. Çökelme hızı oldukça düşük olduğundan bu tip malzemelerin iri malzemelere oranla tabana tekrar oturması oldukça uzun bir zaman gerektirmektedir. Bu da su içerisindeki bulanıklığın derecesini ve süresini arttıran bir etmendir. Artan bulanıklık ışığın girişini

engelleyerek fotosentez faaliyetlerine izin vermemektedir. Fotosentezin gerçekleşmemesi bakteri ve mantar yoğunluğunun artmasına neden olur.

Bulanıklığın diğer önemli fiziksel etkileri arasında; estetik açıdan kötü bir izlenim bırakması, deniz canlılarının ihtiyaç duyduğu besin maddelerinin azalmasına sebep olması, bu canlıların bölgeden göç etmesi, topografik değişimlere sebep olması, taban akıntılarının değişimine neden olması sayılabilir.

Tarama faaliyetlerinin kimyasal etkilerinin arasında; oksijen yoğunluğundaki değişim, ağır metaller gibi zehirli maddelerin açığa çıkması sayılabilir. Bu ağır metaller bölgede yaşayan canlıların yaşam şartlarını etkilemekte; büyüme ve üreme potansiyellerini düşürmekte hatta ölümlere sebep olmaktadır [22].

Kazıklı sistemler tarama faaliyetlerine gereksinim duymadığından bu çevresel etkilerin görülmesi olası değildir. Bu nedenle kazıklı sistemleri sürdürülebilir ekoloji açısından oldukça uyumlu bir sistem olarak nitelendirmek olasıdır.

Klasik deniz deşarjı sistemlerinde kazı faaliyetlerinin dışında hendek içerisindeki boru hattının hidrodinamik kuvvetlere karşı korunması için yapılan geri dolgu ve kaplama tabakası deniz tabanındaki canlıların yaşam ortamına zarar vermektedir. Kazıklı inşa yönteminde dolgu gereksinimi minimuma indirildiğinden deniz canlılarının yaşam ortamlarına zarar verilmesi önlenmiş olmaktadır.

Bu önemli avantajlarının yanı sıra kazıklı sistemlerin bazı dezavantajlarının bulunduğu söylenebilir.

Kazık çakma oldukça maliyetli bir işlemdir. Ayrıca bu kazıkların tüm güzergah boyunca aynı doğrultuda çakılması oldukça zor bir işlemdir. Bunun için kazıkların yerlerinin belirlenmesinde GPS sürekli kullanılarak koordinatların tam olarak belirlenmesi sağlanmalı ve çakım işlemi sürekli takip edilmelidir.

Kazık çakma ve boru indirme işlemlerinde ağır deniz ekipmanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle çetin deniz şartlarında bu işlemleri gerçekleştirmek oldukça zordur.

Kazık çakma, kesme ve boru indirme gibi işlemlerde yoğun dalgıç işçiliğine ihtiyaç duyulur. Ayrıca bu dalgıçların tecrübeli kişilerden seçilmesine özel bir önem verilmelidir.

Boru hattı açıkta olduğundan doğrudan olarak hidrodinamik yüklere maruzdur. Tasarım sırasında kazık aralıkları, çakma derinliği, kazık çapı gibi unsurlar özenle belirlenmelidir.

Trol ve çapa gibi deniz tabanını tarayan cisimlerin boru hattına takılmasını önlemek için deşarj hattı yakınlarında şamandıralar öngör÷lmelidir.

Diğçer deşarj sistemlerinde olduğçu gibi her inşa yönteminin kendine has avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Zaten her yönüyle mükemmel bir yöntem geliştirilmesi mümkün değildir. Çünkü daha önce de belirtildiğı gibi tasarım esnasında bir çok etmen göz önüne alınmalıdır. Bu dezavantajlara rağmen kazıklı sistemler sağladığı faydalar düşün÷ldüğünde deniz deşarjı sistemlerinde kullanılmaya oldukça uygun bir yöntemdir.



6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kazıklar üzerine oturan deniz deşarj sistemlerinin dalga koşulları altındaki duraylılığını incelemek için İTÜ Hidrolik Laboratuvarı'nda bir deney düzeneği kurulmuştur.

Deneyler 120 x 2 x 2 m ebatlarındaki bir düzenli dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Taban zemini olarak 1/5, 1/20 ve 1/5 eğimlerinde üç bölgeden oluşan doğal kum kullanılmıştır.



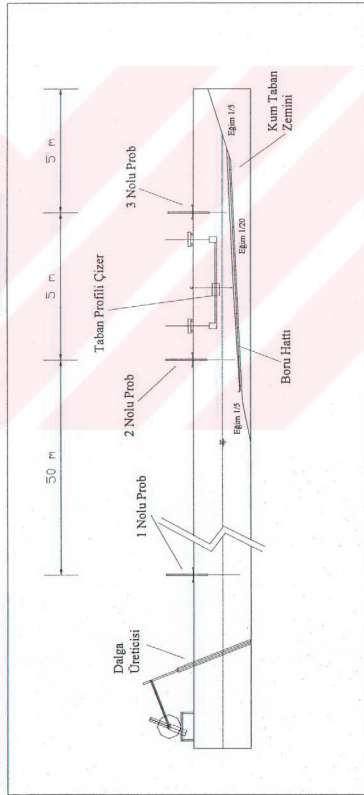
Şekil 6.1 Deney Düzeneğinden Bir Görünüş

Düzenekte deşarj borusu olarak 7 cm dış çapa sahip, difüzör kısmı fiberglas olan 11 m boyunda çelik bir boru kullanılmıştır. Bu borunun difüzör parçasını da içeren 8.50 m uzunluğundaki kısmı, 50 cm aralıklarla yerleştirilen, 30 cm boyunda ve

20 mm çaplı kazıklar üzerine bir kelepçe yardımıyla monte edildikten sonra bu kazıklar zemine 25 cm çakılarak tabana sabitlenmiştir.

Düzeneğin kıyıya yakın bölümünde dalgaların kırılma yüklerinden boru hattının zarar görmesini önlemek için boru zemin içerisine gömülmüştür.

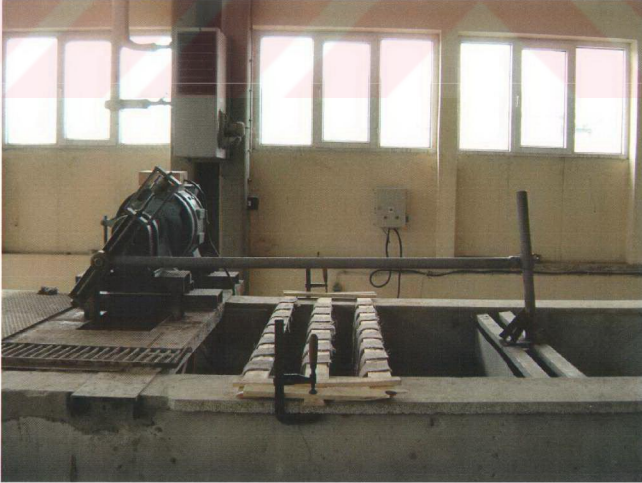
Deney sırasında kanal içerisine 1 m su doldurulmuş ve eksantrik bir mil yardımıyla doğru akım motoruna bağlanmış bir dalga paleti kullanılarak düzenli dalgalar elde edilmiştir. Çeşitli dalga yükseklikleri oluşturmak için doğru akım motorunun dönüş hızı motorun kontrol panosu yardımıyla ayarlanmıştır. Ayrıca palet milinin eksantrikliği artırılıp azaltılarak değişik periyotlara sahip dalgalar üretilmiştir.



Şekil 6.2 Deney Düzeneği



Şekil 6.3 Kullanılan Boru ve Kazık Sistemi



Şekil 6.4 Dalga Üreticisi

Dalga özelliklerinin ölçülmesi için HR Wallingford üretimi olan 2 adet 90 cm ve 1 adet 60 cm boyundaki dalga probları ve 8 kanallı dalga monitörü olan bir amplifier kullanılmıştır. Dalga problarının kalibrasyonlarının yapılabilmesi ve belli bir derinliğe kadar batırabilmesi için her prob ayrı ayrı limnometrelere bağlanmıştır.

Dalga ölçümleri, bu problardan geçen elektrik akımının değeri yardımıyla belirlenmektedir. Problardan geçen bu akım problemin su içerisine batma derinliği ile orantılıdır. Dalgaların prob üzerinden geçmesiyle beraber meydana gelen su derinliği değişimleri akım değerlerini değiştirmekte ve dalga monitörü vasıtasıyla bir çıkış voltajı değerine dönüştürülmektedir [23].

Elde edilen bu voltaj değerleri bir program yardımıyla uzunluk birimine çevrilmekte ve istatistiksel bir program kullanılarak dalga yüksekliği ve dalga periyodu gibi dalga özellikleri belirlenmektedir.



Şekil 6.5 Kullanılan Dalga Problemi

Deney süresi 300 s olarak belirlenmiş ve dalga paleti çalıştırılarak elde edilen dalgaların özellikleri dalga monitörü ve dalga probları kullanılarak ölçümlenmiş ve bilgisayar ortamında saklanmıştır.

1 no'lu Deney sonucunda 2 no'lu probdan elde edilen dalga özellikleri aşağıdaki tabloda ve EK-II' de verilmiştir.

Tablo 6.1 Deney Sonucunda Elde Edilen Dalga Özellikleri

Dalga Özelliği	
Dalga Yüksekliği (H)	12,923 cm
Dalga Periyodu (T)	1,589 s

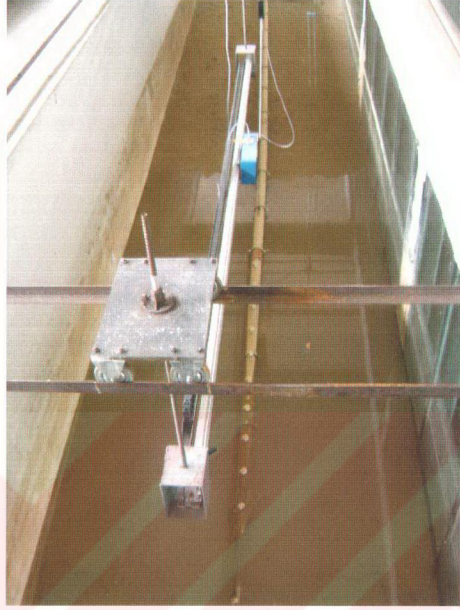
Ayrıca, boru hattında meydana gelebilecek düşey yer değiştirmeler kurulan bir düzenek üzerine monte edilen yine HR Wallingford üretimi olan bir 2 Boyutlu Taban Profili Çizer vasıtasıyla ölçümlenmiştir.

Taban profili çizer, taşıyıcı kiriş üzerine bağlanan belirlenen aralıklarla sağa ve sola doğru kendiliğinden hareket edebilen bir araba ile bu arabaya bağlı düşey yönde hareket edebilen bir probdan oluşmaktadır. Prob 10 mm çapa sahip paslanmaz çelikten üretilmiş bir çelik tüptür. Araba içerisine monte edilmiş bir dc servo motor yardımıyla aşağı ve yukarı hareket edebilmektedir. Probu ucunda ise çok hafif bir dokunma bulucusu olan bir algılayıcı bulunmaktadır.

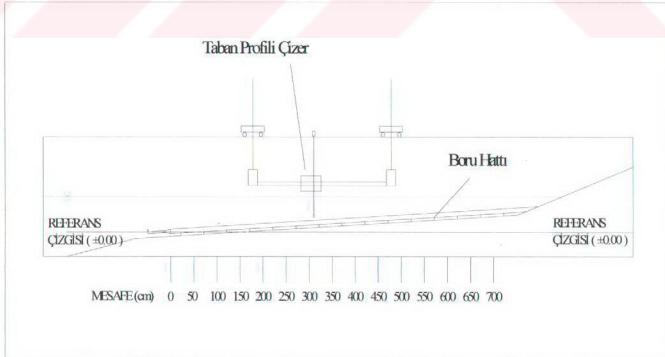
Bir kızıl ötesi ışık kaynağı probun üst kısmına bağlanmıştır ve optik lifler vasıtasıyla bu ışık tabana iletilmektedir. Bir diğer optik lif ise bulucunun üstünden yansıyan bu ışığı, prob ile taban arasındaki mesafeyle orantılı olarak sinyaller üreten kızıl ötesi fotoğraf diyotuna ulaştırmaktadır. Kontrol elektronikleri ise probu bulucusu yavaşça tabana değene kadar aşağı doğru indirmekte ve bir cisimle temas ettiğinde durdurmaktadır. Böylece, probun ilk konumu ile cisim arasındaki mesafe ölçümlenmiş olmaktadır [24].

Seçilen aralıklarda elde edilen bu mesafeler bir program vasıtasıyla grafiksel olarak çizilmekte ve böylece taban profili elde edilmektedir. Deney sırasında ise bu prob boru üzerinde okuma yapacak şekilde konumlandırılmış ve böylece boru hattının deney öncesi ve sonrası profili elde edilmiştir.

Deney esnasında taban profili çizici alet boru ucundan 50 cm ileriden başlayarak 50 cm aralıklarla toplam 15 noktada ölçüm yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Deney öncesi ve sonrası bu noktalarda yapılan ölçümler sayesinde deney sonucunda boru profilinde meydana gelen değişimler elde edilmiş ve grafik olarak çizilmiştir. Bu deney 20 değişik dalga koşulunda tekrarlanarak boru hattının düşeydeki duraylılığı hakkında bilgi elde edilmiştir.



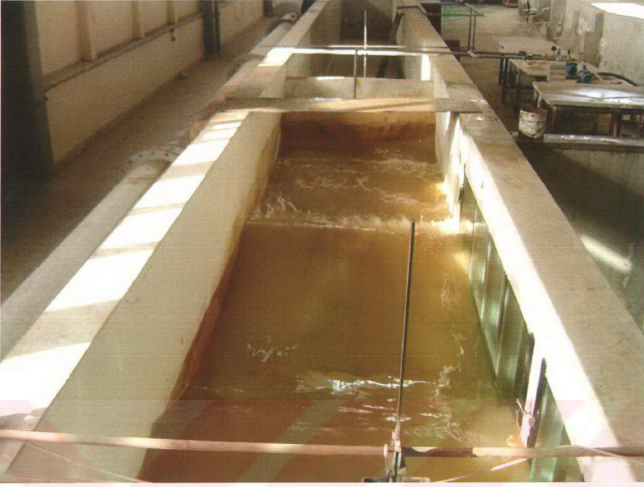
Şekil 6.6 Kullanılan Taban Profili Çizer



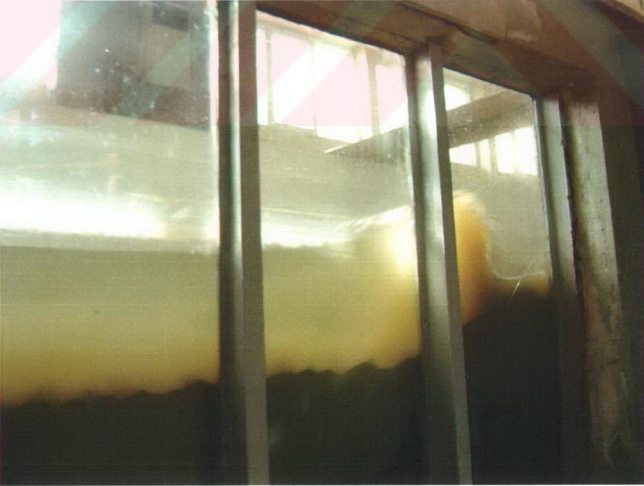
Şekil 6.7 Deney Esnasında Boru Üst Kotlarının Alındığı Noktaların Yerleri ve Referans Çizgisi

Tablo 6.2 Deney Öncesi ve Sonrasında Elde Edilen Boru Üst Kotları

Mesafe (cm)	Deney Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,45	8,15
100	10,55	11,50
150	12,66	12,87
200	14,50	14,37
250	16,80	16,72
300	20,70	20,70
350	22,13	21,80
400	24,60	24,60
450	27,55	27,05
500	30,00	30,00
550	32,60	32,20
600	35,10	35,35
650	37,87	38,00
700	40,90	41,00

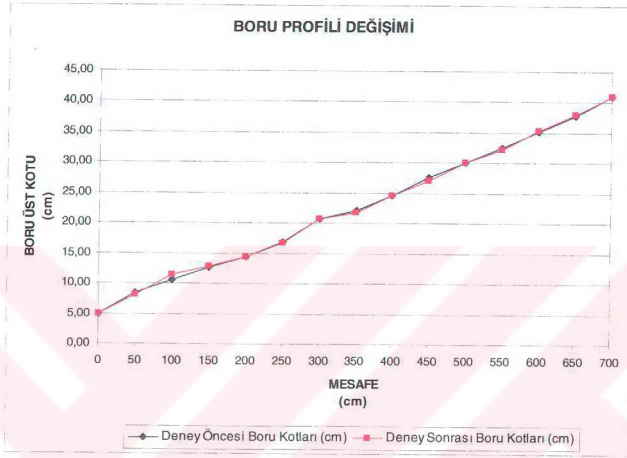


Şekil 6.8 Deney Esnasından Bir Görüntü



Şekil 6.9 Deney Esnasından Bir Görüntü

Deney sonuçlarına göre çizilen boru hattı profili değişimi grafiklerinden de görülebileceği gibi boru düşeyde önemli bir yer değiştirme yapmamaktadır. Boru hattının dalga koşulları altında duraylığını koruduğu deney sonuçlarında görülmektedir. Aşağıda 1 no'lu deney sonucunda elde edilen boru hattı profili değişimi grafiği görülmektedir.



Şekil 6.10 Deney Öncesi ve Sonrası Boru Hattı Profilleri

Ayrıca yapılan deneyler sırasında taban şeklinde boru hattından kaynaklanan ek bir değişimin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Kazıklar üzerine oturan deniz deşarj sisteminin taban malzemesi hareketi açısından kayda değer negatif bir etkisi yoktur sonucuna varılmıştır.

7. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma sonunda, kazıklar üzerine oturan deniz deşarjı sistemlerinin özellikle tarama ve dolgu gibi faaliyetleri minimuma indirdiğinden deniz canlılarının yaşam yerlerinde yapılacak çalışmaları minimize ederek ekolojik dengeyi bozmayan, çevreye uyumlu bir yapım yöntemi olduğu görülmüştür. Özellikle çevresel açıdan hassas bölgelerde yapılacak deşarj sistemleri için oldukça uygun bir yöntem seçeneği sunmaktadır.

Ayrıca her cins boru malzemesi için uygulanabilir olması bu yapım yöntemine geniş bir uygulama alanı kazandırmakta olup, inşa sorunları aşıldığı takdirde oldukça önemli bir yöntem olacağı düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar, kullanılan kazıklar sayesinde zemin kaynaklı taşıma gücü problemine ve hidrodinamik yüklere karşı güvenli bir duraylık sağlanmış olduğunu göstermiştir.

Hareketli taban malzemesine sahip proje alanlarında meydana gelebilecek katı madde hareketleri nedeniyle boru hattının altında oluşabilecek oyulmalardan hattın zarar görmesinin önüne geçilmiş böylece deniz yapılarındaki en önemli problemlerden olan oyulma problemleri önlenmiştir.

Kazıklı sistemlerin kazık çakma ve boru indirme maliyetleri gibi başlangıç maliyetleri yüksek olsa da geleneksel yapım yöntemleri ile karşılaştırıldığında hendek kazılarına gereksinim duyulmaması nedeniyle kazı maliyetleri en aza indirgenmiş ve ağır kazı ekipmanlarına ihtiyaç düşmüş olmaktadır. Bunun yanı sıra tarama ve dolgu faaliyetlerine gerek kalmaması nedeniyle çevresel açıdan oldukça uyumlu bir yöntem olmaktadır. Çevrenin daha az tahrip edileceği düşünüldüğünde gelen ek maliyetler yanında sağlanan çevresel artılar çok daha önemli olmaktadır.

Duraylığın kazıklarla sağlanması sayesinde boru hattının taban içerisine gömülmesine gerek kalmamakta, böylece taş dolgu maliyetleri düşürülmektedir.

Ayrıca deneyler sonucunda deniz tabanına kazıklarla sabitlenen boru hattının taban şekli üzerinde ek bir etkisi bulunmadığı görülmüştür. Yani tabana yerleştirilen boru

hattı normal taban hareketleri dışında oyulma veya dolgu gibi ek sorunların oluşmasına neden olmamaktadır.

Yukarıda sayılan bu özellikleri nedeniyle deniz deşarjı boru hatları için “ Kazıklar Üzerine Oturan Deniz Deşarjı Sistemleri ” yapım yöntemleri açısından bir alternatif getirmektedir.



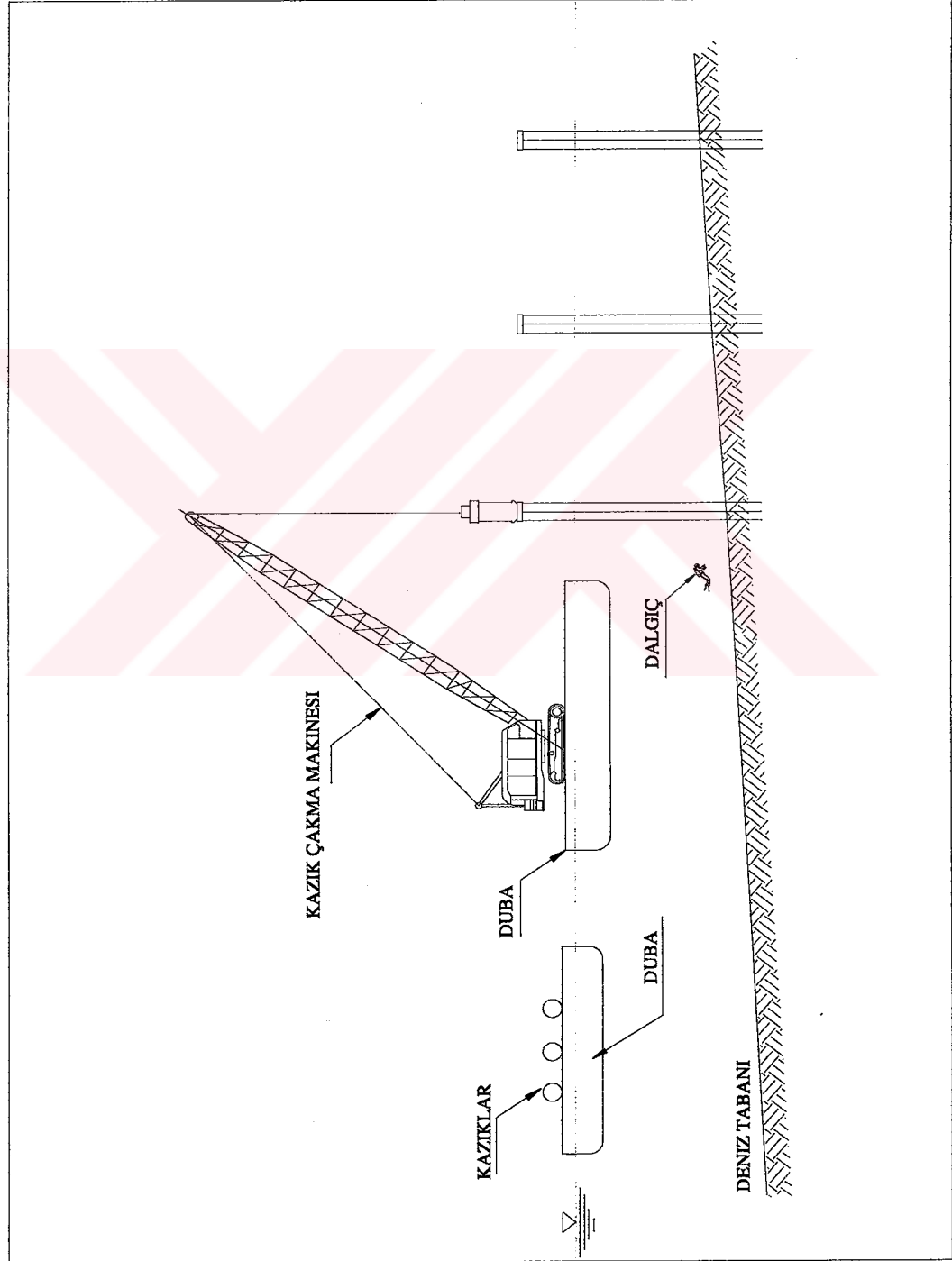
8. KAYNAKLAR

- [1] **Charlton, John A.**, 1988. Sea Outfalls, Developments in Hydraulic Engineering, Volume 3, Elsevier Applied Sciences Publishers, London
- [2] **Gunnerson, Charles G., French, Jonathan A.**, 1988. Wastewater Management for Coastal Cities, The Ocean Disposal Option, Springer, New York.
- [3] **Öztürk, İ.**, 1996. Atıksu Ön Arıtma ve Deniz Deşarjı Sistemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- [4] **Ünsal, İ.**, 2004. Kişisel Görüşme
- [5] http://www.ym.com.tr/turkce/mm2_sm8_2.htm, 2004
- [6] **Fırat Plastik Kataloğu**, 2003
- [7] **Maina, C., A.**, 2002. Mar Del Plata Outfall: An Outfall Waiting for Realization, 2nd Inter. Conference on Marine Waste Water Discharges (MWWD 2002)
- [8] **Grace, R. A.**, 1978. Marine Outfall Systems, Planning, Design and Construction, Prentice-Hall, New Jersey.
- [9] **Trygve, J. B.**, 2002. Advantages and Experiences of The Use of Long, Continuously Extruded PE Pipes for Outfall Construction, 2nd Inter. Conference on Marine Waste Water Discharges (MWWD 2002)
- [10] **Avanzini, C., Quirici P.**, 2002. Bottom Pull of a Large Diameter Steel Outfall Double Jointing and Long Ramp Arrangement, 2nd Inter. Conference on Marine Waste Water Discharges (MWWD 2002)
- [11] **Avanzini, C.**, 1995. Design and Construction Problems of a "Big Inch Outfall", Water Science and Technology, **32**, 209-216

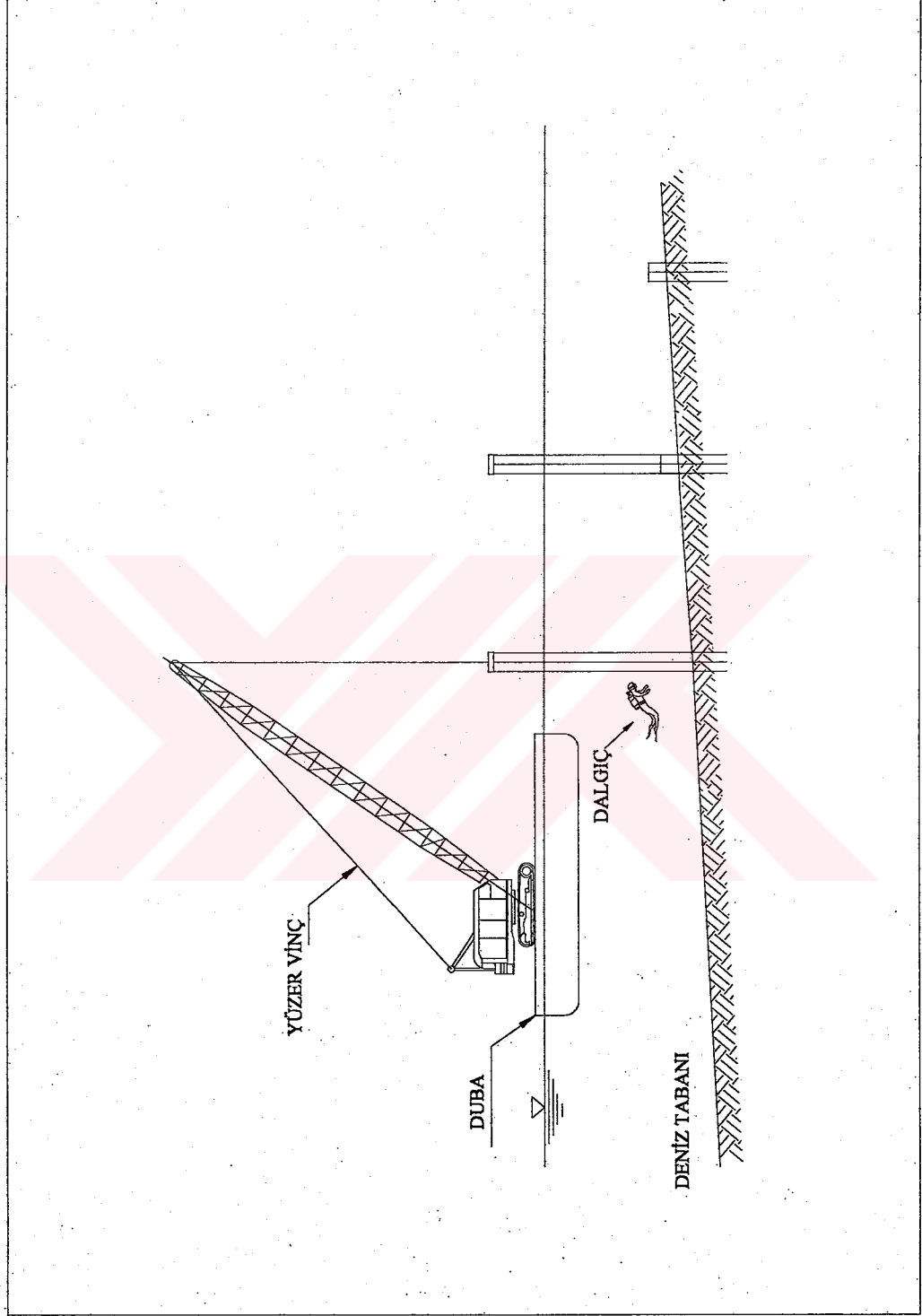
- [12] **Özel, T., Larsen I., Langaard, T., 2002** The Installation of an HDPE Outfall in Antalya, Turkey, 2nd Inter. Conference on Marine Waste Water Discharges (MWWD 2002)
- [13] **Sümer Mutlu, B., Fredsoe J., 1997.** Hydrodynamics Around Cylindrical Structures, World Scientific Publishing Co., Singapore
- [14] **Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., 1998.** Kıyı ve Liman Mühendisliği, İMO Ankara Şubesi Yayınları, Ankara
- [15] **Grace, R. A., 1985.** Sea Outfalls-a Review of Failure, Damage, and Impairment Mechanism, Proc. Inst. Civ. Engineering, **Part-1**, 137-152
- [16] **Yüksel, Y., Maktav, D., Kapdaşlı, S., 1995.** Application of Remote Sensing Technology to The Relation of Submarine Pipelines and Coastal Morphology, Water Science and Technology, **32**, 77-83
- [17] **Erkek, C., Ağırlioğlu, N., 1998.** Su Kaynakları Mühendisliği, Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul
- [18] **Alvarez, C., Revilla, J. A., Medina, R., Juanes J. A., 2002.** Proposal for Protection and Stabilization of Outfalls in High Wave Regime Seas. The Experience in Spain, 2nd Inter. Conference on Marine Waste Water Discharges (MWWD 2002)
- [19] **Sumer, B. M., Truelsen, C., Sichmann T., Fredsoe, J., 2001.** Onset of Scour Below Pipelines and Self Burial, Journal of Coastal Engineering, **42**, 313-335
- [20] **Prakash, S., Sharma H. D., 1990.** Pile Foundations in Engineering, John Wiley and Sons, New York
- [21] **Ayhan N., 2003.** Kıyı Mühendisliğinde Özel Konular Ders Notları, İstanbul
- [22] **Herbich J. B., 1992.** Handbook of Dredging Engineering, Mc-Graw Hill Inc. United State of America
- [23] **HR Wallingford, Wave Probe Monitor, Operating Instructions Manuel**
HR Wallingford Ltd. Howbery Park, Wallingford, Oxon OX10 8BA
- [24] **HR Wallingford, Touch Sensitive, Incremental 2-D Profiling System Manuel,**
HR Wallingford Ltd. Howbery Park, Wallingford, Oxon OX10 8BA

EK-1 KAZIKLAR ÜZERİNE OTURAN DENİZ DEŞARJ SİSTEMLERİNİN İNŞA AŞAMALARI

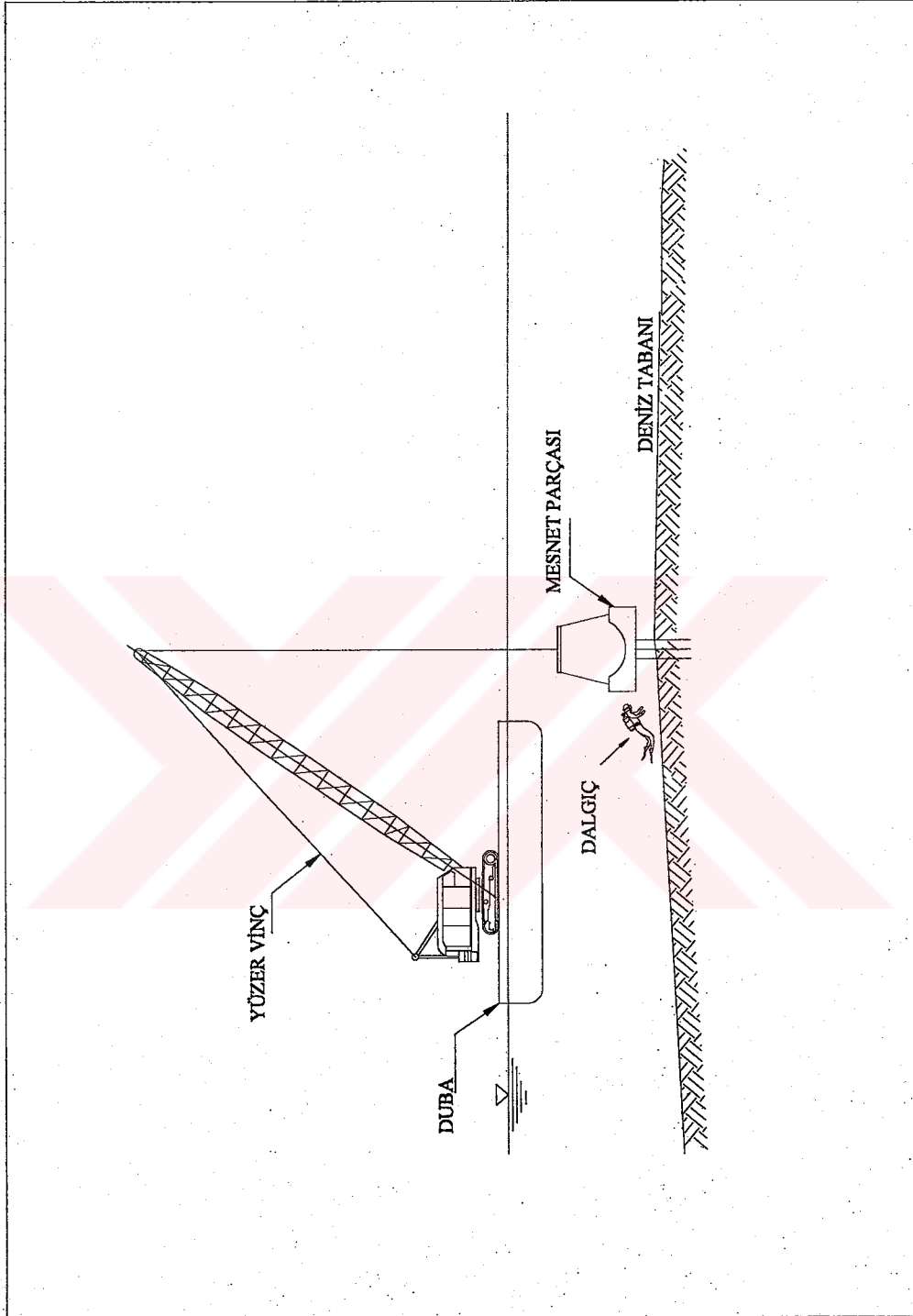
EK-1.1 Kazık Çakım İşlemi



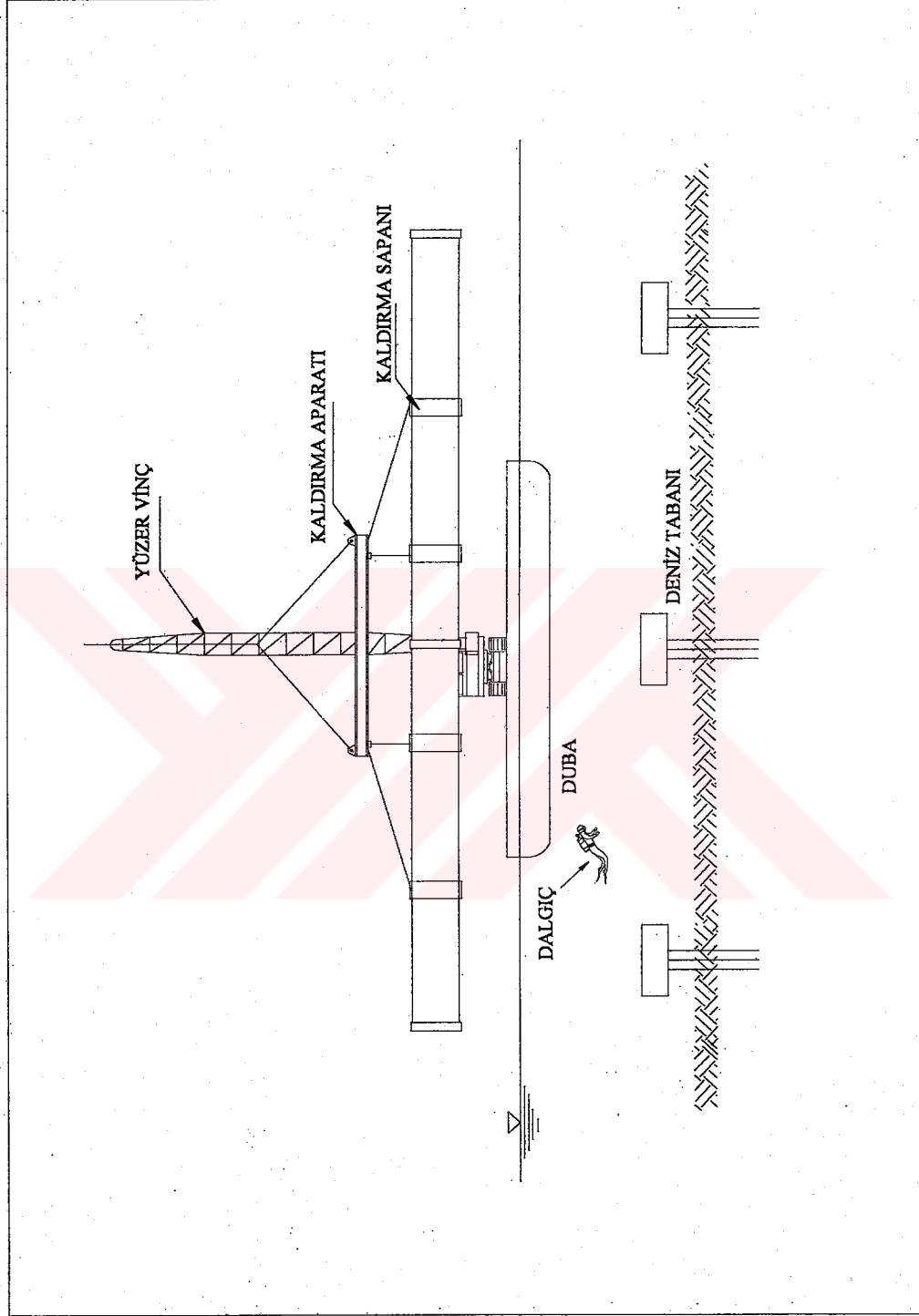
EK-1.2 Kazıkların Dalgıç Marifetiyle Kesilmesi



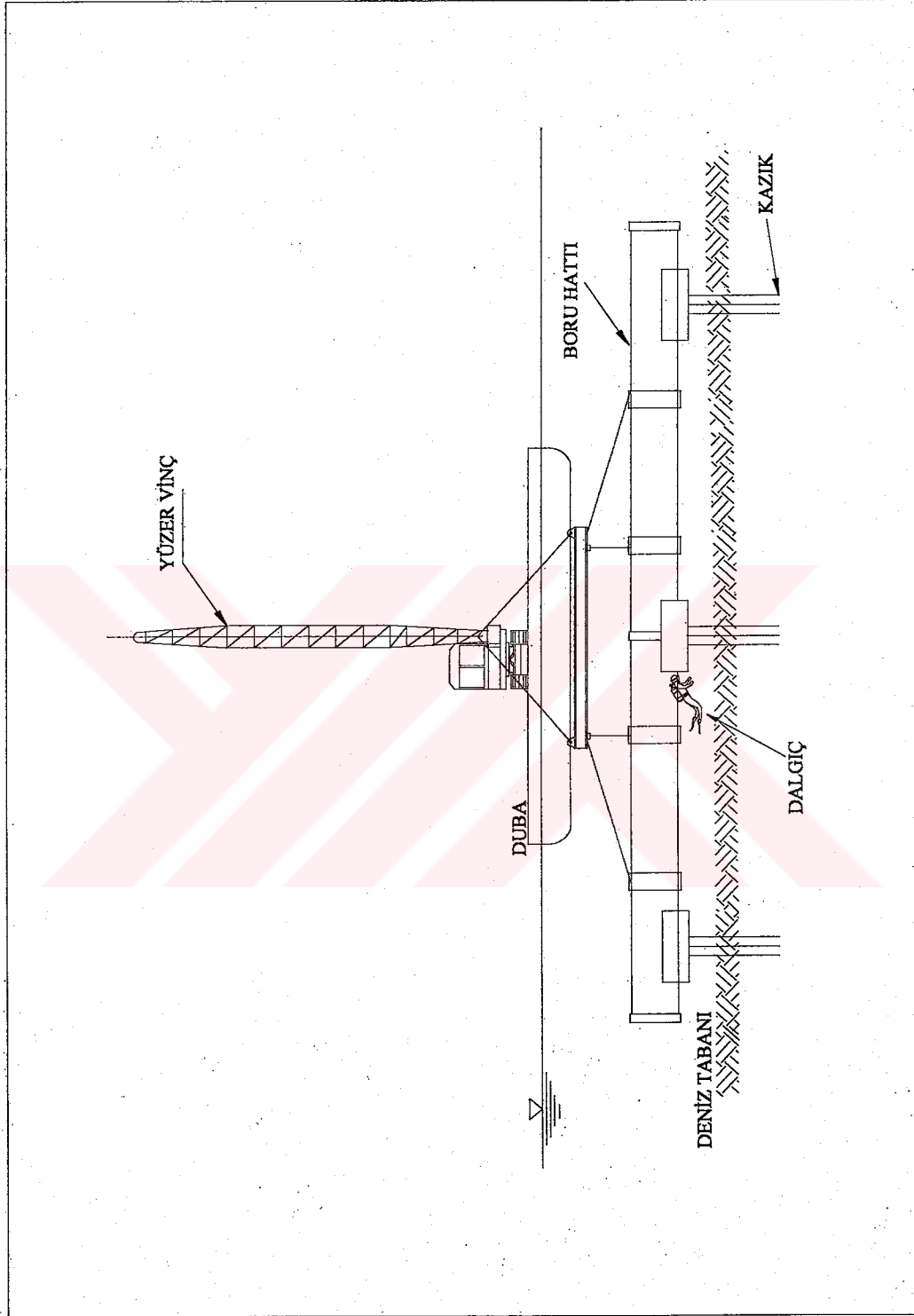
EK-1.3 Mesnetlerin Montajı



EK-1.4 Boruların İndirilmesi



EK-1.5 Boruların Sabitlenmesi

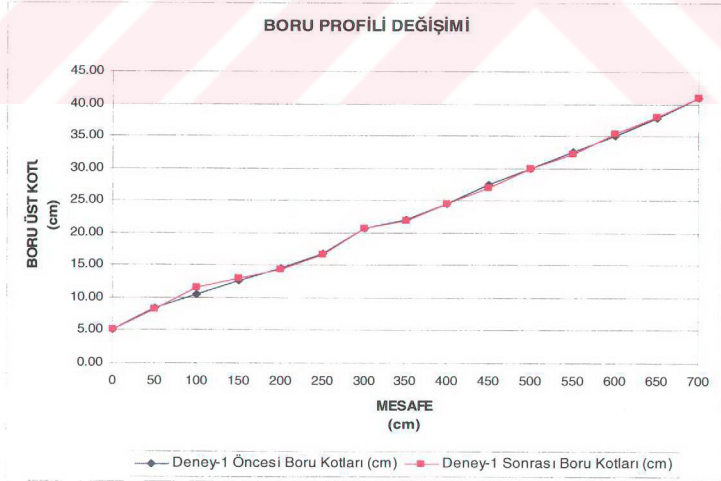


EK-II DENEYLER SONUCUNDA ELDE EDİLEN BORU PROFİLİ DEĞİŞİMİ GRAFİKLERİ

EK-2.1 1 Nolu Deney Sonuçları

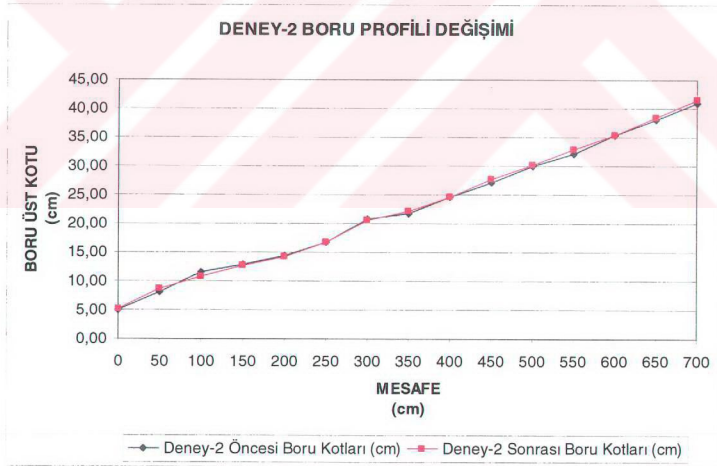
Mesafe (cm)	Deney-1 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-1 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5.00	5.00
50	8.45	8.15
100	10.55	11.50
150	12.66	12.87
200	14.50	14.37
250	16.80	16.72
300	20.70	20.70
350	22.13	21.80
400	24.60	24.60
450	27.55	27.05
500	30.00	30.00
550	32.60	32.20
600	35.10	35.35
650	37.87	38.00
700	40.90	41.00

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	12.923
Dalga Periyodu	T (s)	1.589



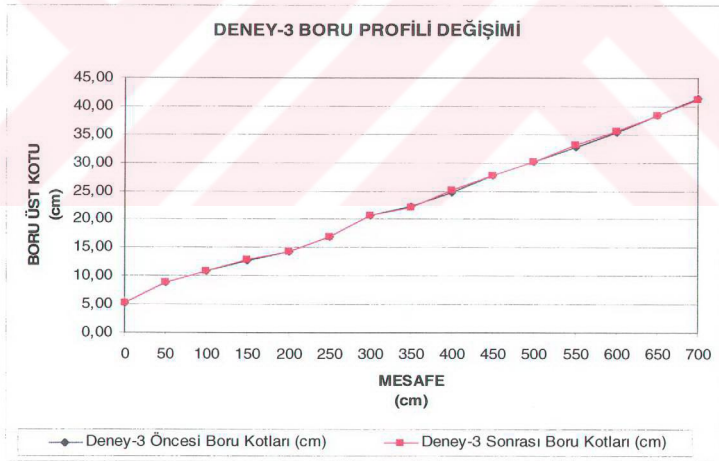
Mesafe (cm)	Deney-2 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-2 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,20
50	8,15	8,75
100	11,50	10,8
150	12,87	12,75
200	14,37	14,25
250	16,72	16,80
300	20,70	20,63
350	21,80	22,20
400	24,60	24,65
450	27,05	27,70
500	30,00	30,10
550	32,20	32,80
600	35,35	35,40
650	38,00	38,40
700	41,00	41,45

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	10,900
Dalga Periyodu	T (s)	2,549



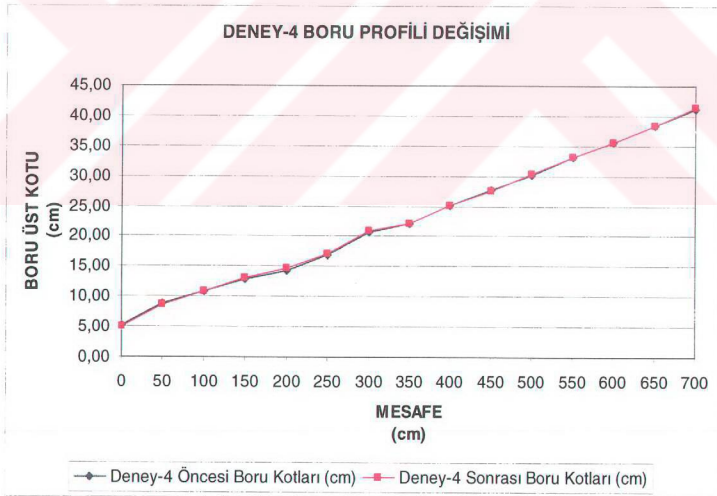
Mesafe (cm)	Deney-3 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-3 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,20	5,25
50	8,75	8,80
100	10,8	10,80
150	12,75	12,80
200	14,25	14,30
250	16,80	16,90
300	20,63	20,70
350	22,20	22,10
400	24,65	25,10
450	27,70	27,65
500	30,10	30,20
550	32,80	33,10
600	35,40	35,60
650	38,40	38,30
700	41,45	41,20

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	17,196
Dalga Periyodu	T (s)	1,748



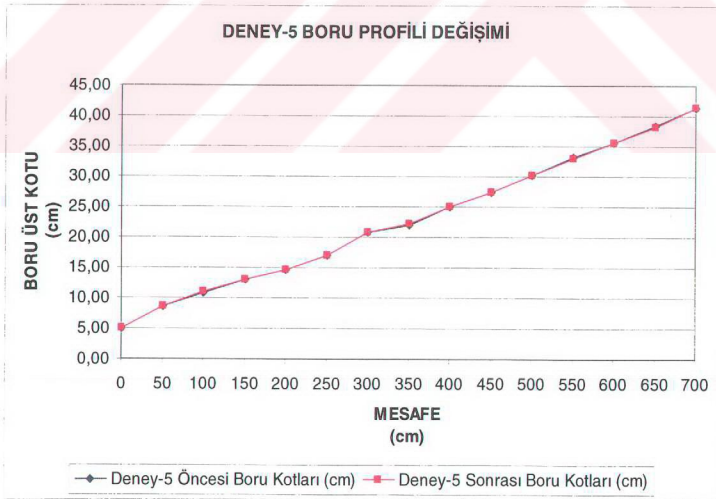
Mesafe (cm)	Deney-4 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-4 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,25	5,00
50	8,80	8,60
100	10,80	10,80
150	12,80	13,00
200	14,30	14,60
250	16,90	17,00
300	20,70	20,80
350	22,10	22,05
400	25,10	25,10
450	27,65	27,45
500	30,20	30,30
550	33,10	33,20
600	35,60	35,65
650	38,30	38,40
700	41,20	41,40

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	15,558
Dalga Periyodu	T (s)	2,034



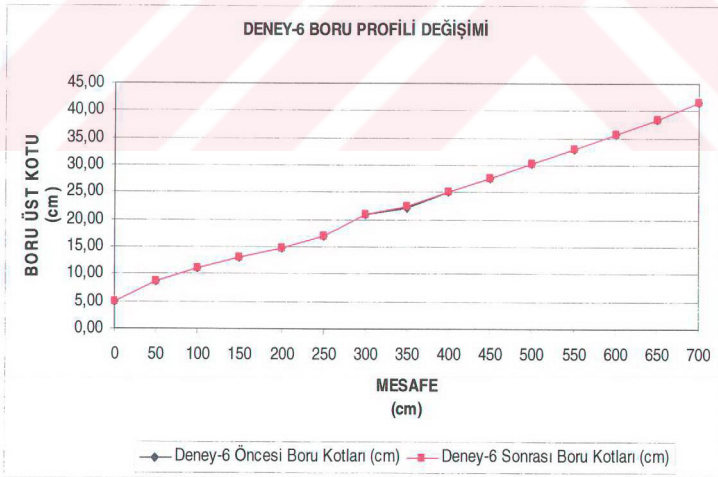
Mesafe (cm)	Deney-5 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-5 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,60	8,70
100	10,80	11,00
150	13,00	12,95
200	14,60	14,70
250	17,00	17,00
300	20,80	20,90
350	22,05	22,15
400	25,10	25,10
450	27,45	27,45
500	30,30	30,20
550	33,20	33,00
600	35,65	35,60
650	38,40	38,30
700	41,40	41,50

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	15,239
Dalga Periyodu	T (s)	2,295



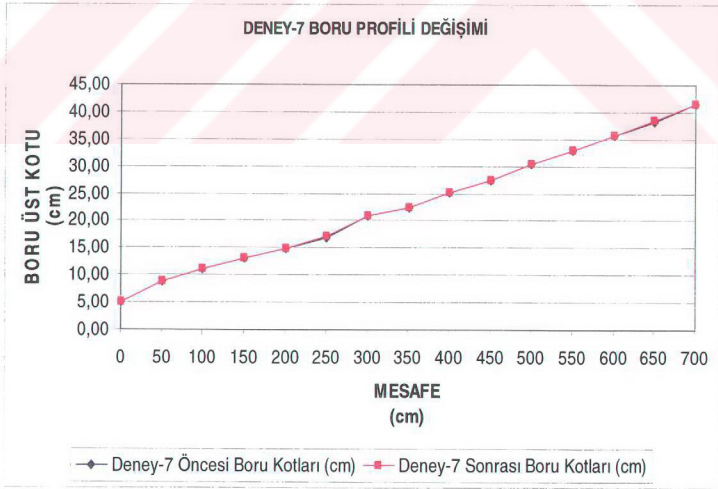
Mesafe (cm)	Deney-6 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-6 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,70	8,70
100	11,00	11,10
150	12,95	13,00
200	14,70	14,80
250	17,00	16,90
300	20,90	20,85
350	22,15	22,45
400	25,10	25,10
450	27,45	27,50
500	30,20	30,30
550	33,00	33,00
600	35,60	35,70
650	38,30	38,30
700	41,50	41,50

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	17,105
Dalga Periyodu	T (s)	2,362



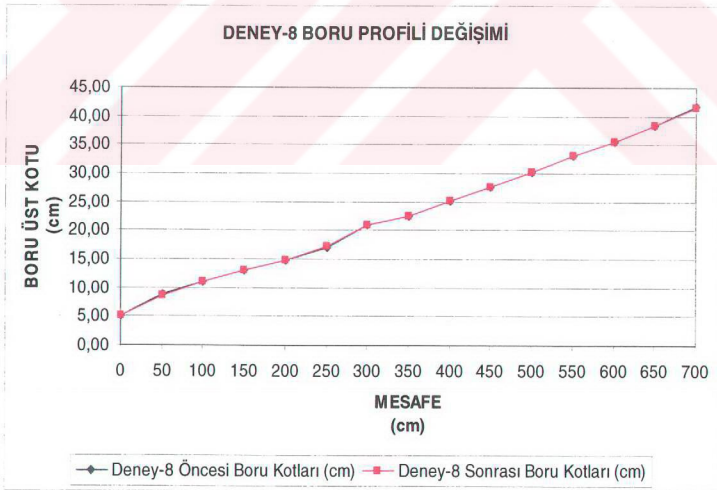
Mesafe (cm)	Deney-7 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-7 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,05
50	8,70	8,75
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,80	14,80
250	16,90	17,00
300	20,85	20,85
350	22,45	22,50
400	25,10	25,20
450	27,50	27,50
500	30,30	30,30
550	33,00	33,05
600	35,70	35,60
650	38,30	38,35
700	41,50	41,60

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	21,652
Dalga Periyodu	T (s)	1,995



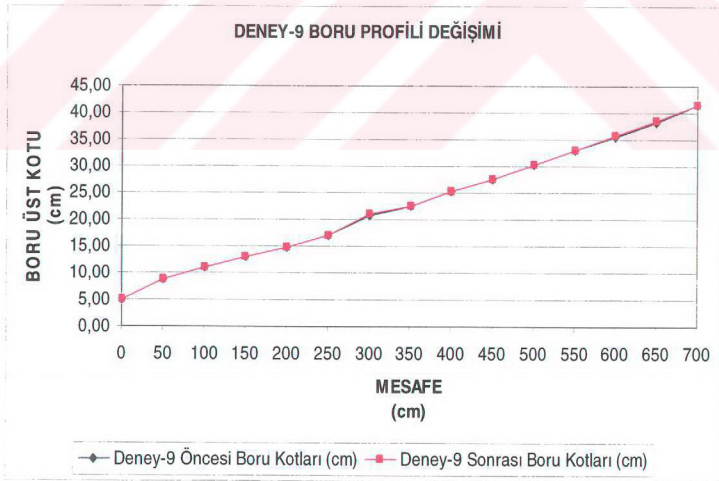
Mesafe (cm)	Deney-8 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-8 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,05	5,00
50	8,75	8,65
100	11,10	11,10
150	13,00	13,05
200	14,80	14,80
250	17,00	17,10
300	20,85	20,85
350	22,50	22,50
400	25,20	25,15
450	27,50	27,50
500	30,30	30,30
550	33,05	33,00
600	35,60	35,60
650	38,35	38,30
700	41,60	41,50

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	18,735
Dalga Periyodu	T (s)	1,666



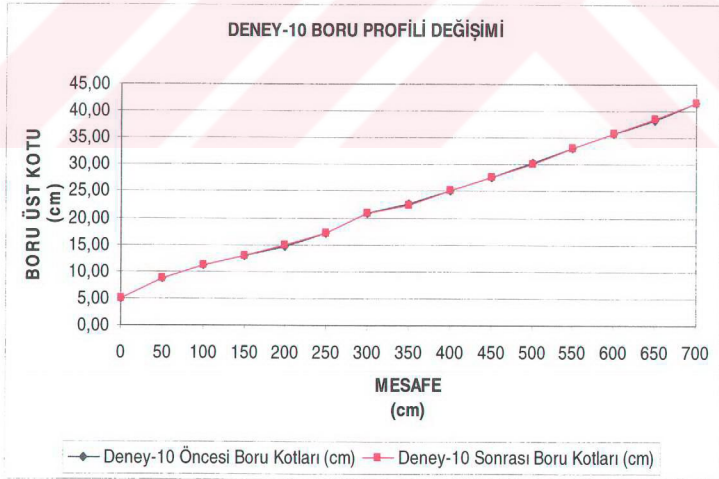
Mesafe (cm)	Deney-9 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-9 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,65	8,80
100	11,10	11,10
150	13,05	13,00
200	14,80	14,70
250	17,10	17,10
300	20,85	20,90
350	22,50	22,60
400	25,15	25,20
450	27,50	27,60
500	30,30	30,30
550	33,00	33,05
600	35,60	35,70
650	38,30	38,40
700	41,50	41,50

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	21,849
Dalga Periyodu	T (s)	1,577



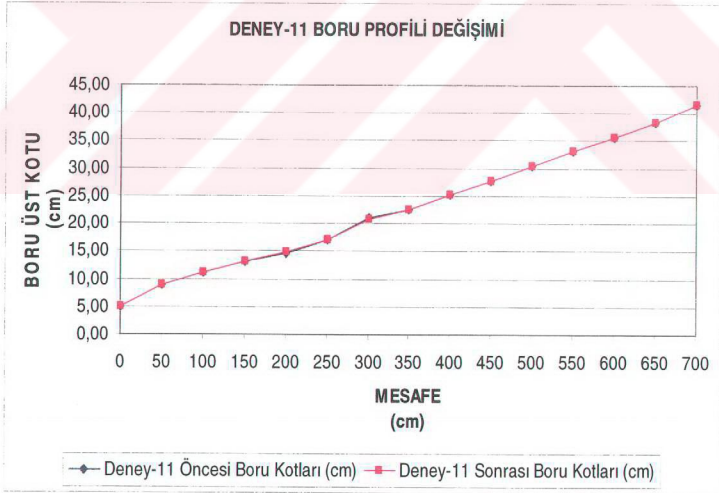
Mesafe (cm)	Deney-10 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-10 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,70	14,80
250	17,10	17,10
300	20,90	20,90
350	22,60	22,50
400	25,20	25,20
450	27,60	27,50
500	30,30	30,20
550	33,05	33,10
600	35,70	35,70
650	38,40	38,50
700	41,50	41,50

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	22,799
Dalga Periyodu	T (s)	1,581



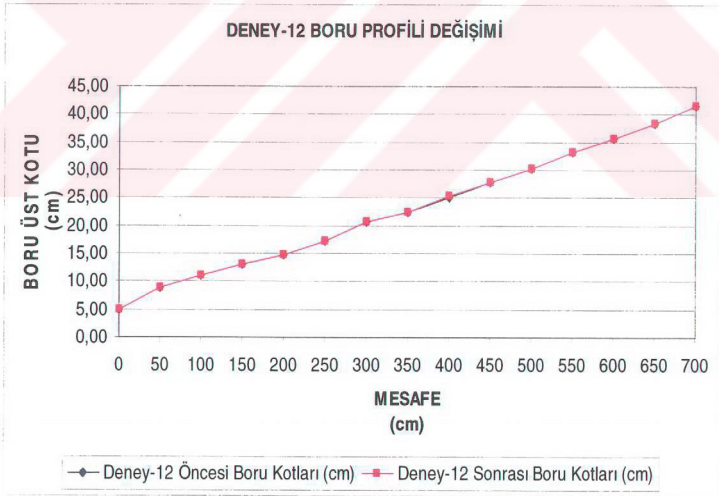
Mesafe (cm)	Deney-11 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-11 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,90	8,80
100	11,10	11,10
150	13,05	13,00
200	14,70	14,80
250	17,10	17,15
300	20,90	20,70
350	22,50	22,50
400	25,15	25,20
450	27,70	27,75
500	30,35	30,35
550	33,20	33,20
600	35,70	35,65
650	38,40	38,40
700	41,50	41,50

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	19,066
Dalga Periyodu	T (s)	1,474



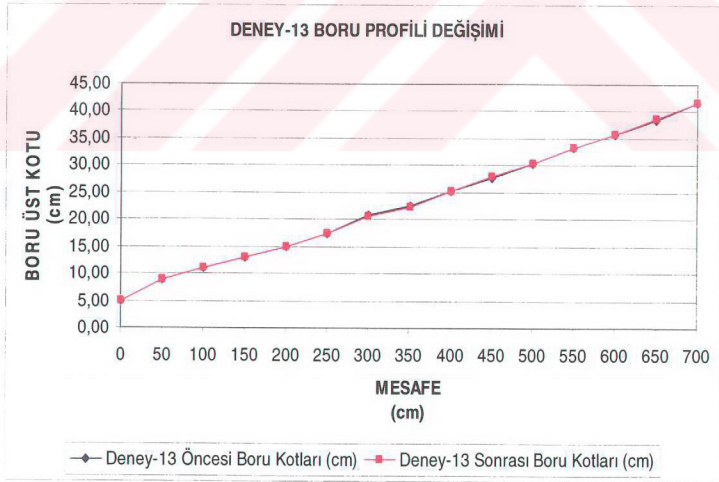
Mesafe (cm)	Deney-12 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-12 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,80	14,80
250	17,15	17,30
300	20,70	20,70
350	22,50	22,40
400	25,20	25,25
450	27,75	27,70
500	30,35	30,35
550	33,20	33,20
600	35,65	35,70
650	38,40	38,45
700	41,50	41,50

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	26,095
Dalga Periyodu	T (s)	1,901



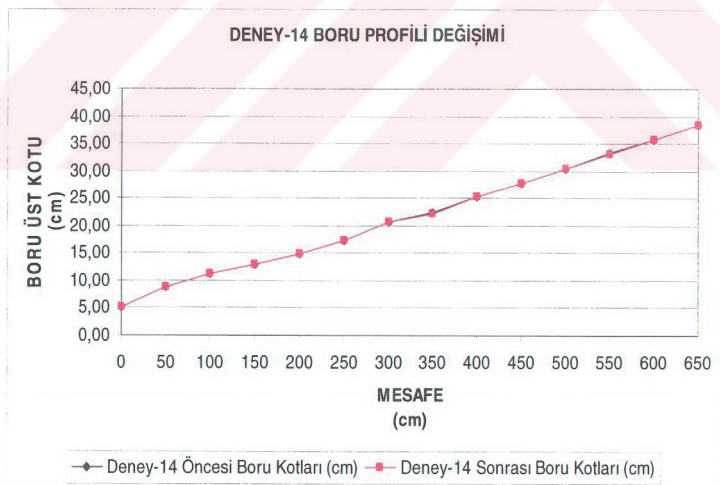
Mesafe (cm)	Deney-13 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-13 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,80	14,80
250	17,30	17,35
300	20,70	20,60
350	22,40	22,35
400	25,25	25,25
450	27,70	27,80
500	30,35	30,35
550	33,20	33,25
600	35,70	35,75
650	38,45	38,55
700	41,50	41,60

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	21,258
Dalga Periyodu	T (s)	2,454



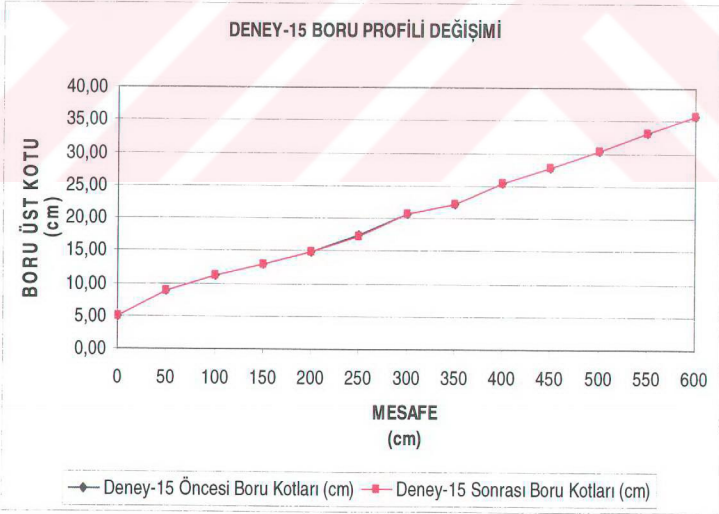
Mesafe (cm)	Deney-14 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-14 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,80	14,80
250	17,35	17,35
300	20,60	20,65
350	22,35	22,20
400	25,25	25,35
450	27,80	27,80
500	30,35	30,35
550	33,25	33,20
600	35,75	35,70
650	38,55	38,50

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	25,444
Dalga Periyodu	T (s)	1,859



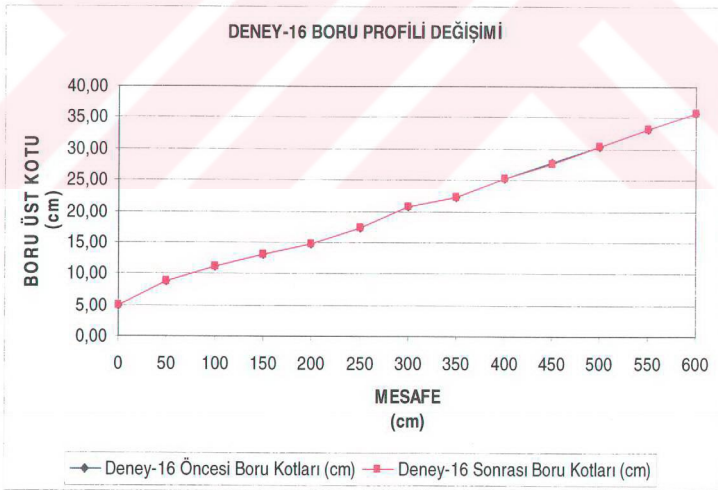
Mesafe (cm)	Deney-15 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-15 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,80	14,80
250	17,35	17,25
300	20,65	20,70
350	22,20	22,20
400	25,35	25,30
450	27,80	27,80
500	30,35	30,35
550	33,20	33,15
600	35,70	35,75

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	27,211
Dalga Periyodu	T (s)	1,668



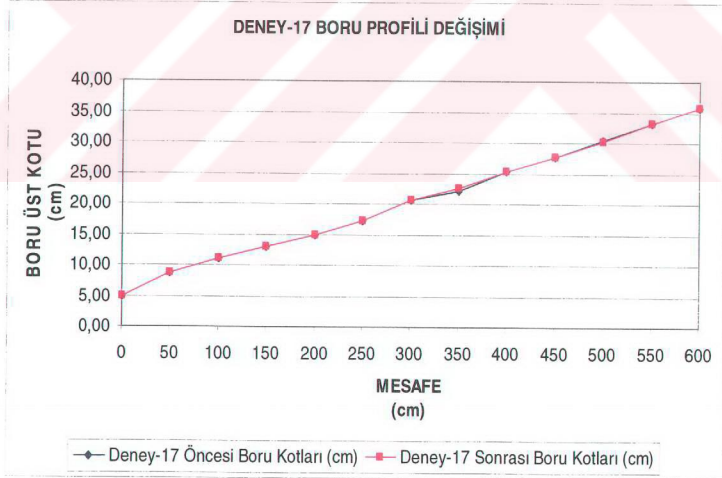
Mesafe (cm)	Deney-16 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-16 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,80	14,80
250	17,25	17,25
300	20,70	20,70
350	22,20	22,20
400	25,30	25,25
450	27,80	27,70
500	30,35	30,35
550	33,15	33,10
600	35,75	35,75

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	26,315
Dalga Periyodu	T (s)	1,562



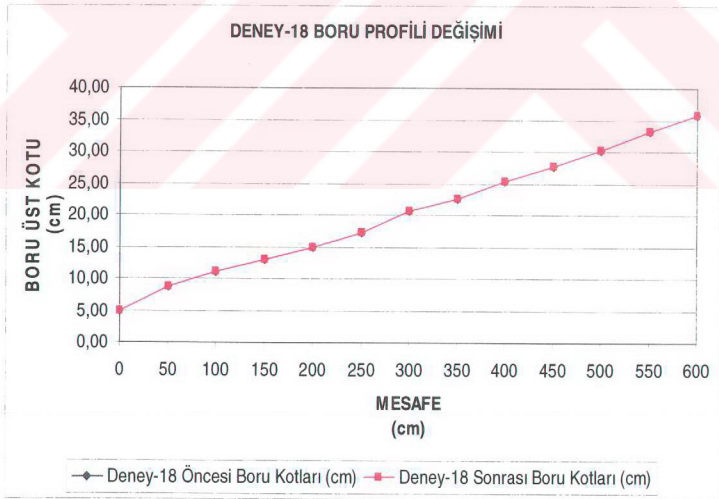
Mesafe (cm)	Deney-17 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-17 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,80	14,80
250	17,25	17,25
300	20,70	20,70
350	22,20	22,50
400	25,25	25,30
450	27,70	27,75
500	30,35	30,30
550	33,10	33,15
600	35,75	35,70

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	24,012
Dalga Periyodu	T (s)	2,691



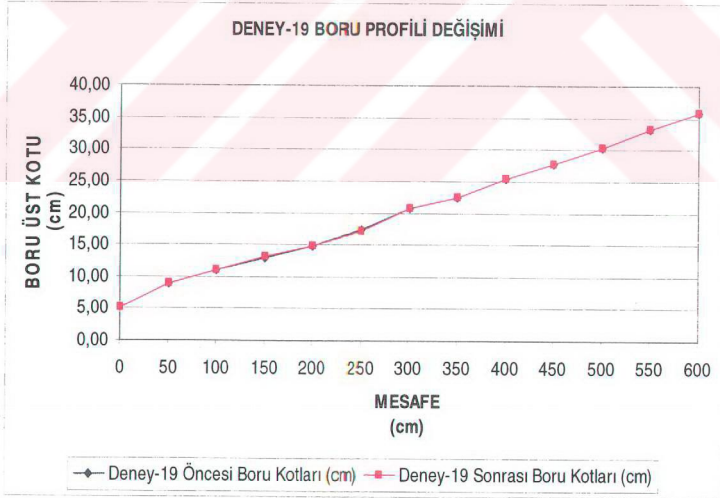
Mesafe (cm)	Deney-18 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-18 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,00
200	14,80	14,80
250	17,25	17,25
300	20,70	20,70
350	22,50	22,50
400	25,30	25,30
450	27,75	27,75
500	30,30	30,30
550	33,15	33,15
600	35,70	35,70

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	24,559
Dalga Periyodu	T (s)	2,195



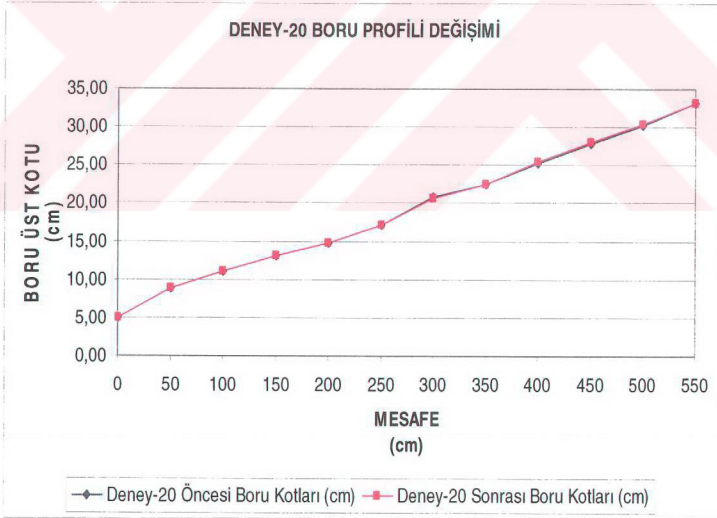
Mesafe (cm)	Deney-19 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-19 Sonrası Boru Kotları (cm)
0		5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,00	13,05
200	14,80	14,80
250	17,25	17,20
300	20,70	20,75
350	22,50	22,50
400	25,30	25,30
450	27,75	27,75
500	30,30	30,30
550	33,15	33,20
600	35,70	35,70

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	32,440
Dalga Periyodu	T (s)	1,856



Mesafe (cm)	Deney-20 Öncesi Boru Kotları (cm)	Deney-20 Sonrası Boru Kotları (cm)
0	5,00	5,00
50	8,80	8,80
100	11,10	11,10
150	13,05	13,00
200	14,80	14,80
250	17,20	17,10
300	20,75	20,70
350	22,50	22,45
400	25,30	25,50
450	27,75	28,00
500	30,30	30,45
550	33,20	33,10

Dalga Özellikleri		
Dalga Yüksekliği	H (cm)	33,425
Dalga Periyodu	T (s)	1,744



ÖZGEÇMİŞ

Yazar 15.10.1978 tarihinde Malatya’da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamlayarak Kanuni Lisesi’nden 1995 yılında mezun olmuştur. 1996 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmıştır. Aynı okuldan 2001 yılında İnşaat Mühendisi ünvanıyla Fakülte ve Bölüm Üçüncüsü olarak mezun olmuştur. Aynı yıl içerisinde İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Yüksek Lisans Programına kayıt yaptırmıştır. Halen 2ER-CEI Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti.’nde Kıyı ve Liman Yapıları Mühendisi olarak çalışmaktadır.