

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENİZE DEŞARJ YAPILARININ İNŞA YÖNTEMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Başak ÇITIR ARSLAN**

**MAYIS 2014  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENİZE DEŞARJ YAPILARININ İNŞA YÖNTEMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**İnş. Müh. Başak ÇITIR ARSLAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.04.2014  
Tezin Savunma Tarihi : 22.05.2014**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Basri ERTAŞ**

**Trabzon 2014**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Başak ÇİTİR ARSLAN tarafından hazırlanan**

**DENİZE DEŞARJ YAPILARININ İNŞA YÖNTEMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 06 / 05 / 2014 gün ve 1552 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Basri ERTAŞ**

**Üye : Prof. Dr. Fikri BULUT**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Denize Deşarj Yapılarının İnşaa Yöntemlerinin Karşılaştırılması” isimli bu çalışma: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu denli önemli ve Ülkemizde her geçen gün biraz daha fazla gelişen bu konuda çalışmamı sağlayan, çalışma boyunca araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşılıp ufkumu açan, paylaşmaktan ve yol göstermekten asla kaçmayan, engin bilgi ve tecrübelerinden daima faydalandığım Yönetici Hocam Sayın Prof. Dr. Basri ERTAŞ’a minnet ve şükranlarımı sunmayı her zaman için bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında her türlü bilgi, belge, doküman, proje, video vb. ekipmanlardan faydalanmamı sağlayan İlbank A.Ş. çalışanlarına, denize deşarj yapıları ile ilgili teknik desteğini esirgemeyen Çeltikçioğlu İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti.’ye, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Başak ÇITIR ARSLAN

Trabzon 2014

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Denize Deşarj Yapılarının İnşa Yöntemlerinin Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Basri ERTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 29/04/2014

Başak ÇİTİR ARSLAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	IX
SUMMARY .....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Deniz Ortamı .....	1
1.1.1. Deniz Suyunun Özellikleri .....	3
1.1.1.1. Deniz Suyunun Kimyasal Bileşimi.....	3
1.1.1.2. Deniz Suyunun Tuzluluğu .....	3
1.1.1.3. Deniz Suyunun Sıcaklığı .....	4
1.1.1.4. Deniz Suyunun Yoğunluğu.....	5
1.1.1.5. Çözünmüş Gazlar.....	6
1.1.1.6. Deniz Suyunun Optik Özellikleri .....	7
1.2. Atıksuların Özellikleri .....	7
1.2.1. Genel.....	7
1.2.2. Atıksu Karakterizasyonunda Başlıca Parametreler .....	10
1.2.2.1. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) .....	10
1.2.2.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ).....	10
1.2.2.2.1. KOİ Bileşenleri .....	11
1.2.2.3. Toplam Organik Karbon.....	11
1.2.2.4. Teorik Oksijen İhtiyacı (TeOİ).....	11
1.2.2.5. Toplam Oksijen İhtiyacı (TOİ) .....	12
1.2.2.6. Azot – Fosfor .....	12
1.2.3. Kaynağına Göre Atıksular .....	13
1.2.3.1. Evsel Atıksular.....	13

1.2.3.2.	Endüstriyel Atıksular .....	17
1.2.3.3.	Sızıntı Suyu.....	17
1.2.4.	Kirletici Maddelerin Arıtma Tesisinde Önemi ve Etkisi.....	18
1.2.4.1.	Toplam Katı Madde.....	18
1.3.	Atıksuların Denize Verilmeden Önce Arıtılmasında Uygulanan Temel İşlemler .....	19
1.3.1.	Atıksu Arıtma Yöntemleri .....	20
1.3.1.1.	Mekanik Arıtma Yöntemleri.....	21
1.3.1.2.	Biyolojik Arıtma Yöntemleri.....	22
1.3.1.3.	Kimyasal Arıtma Yöntemleri .....	22
1.3.2.	Atıksu Arıtımında Uygulanan İşlemler ve Prosesler .....	23
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1.	Giriş .....	26
2.2.	Deniz Deşarjı Sistemleri .....	26
2.2.1.	Deşarj Parametreleri .....	26
2.2.2.	Deşarj Edilen Atıksuların Seyrelmesi.....	26
2.2.3.	Su Kalitesi Standartları .....	28
2.2.4.	Deniz Araştırmaları .....	30
2.2.5.	Derin Deniz Deşarjıyla Alıcı Ortamlarda Boşaltım.....	33
2.3.	Boru Hatlarının Korunması ve Dengesi .....	33
2.3.1.	Gömme .....	34
2.3.2.	Ağırlık Ekleme.....	34
2.3.3.	Ankrajlama .....	35
2.3.4.	Taş Doldurma / Koruma .....	35
2.3.4.1.	Koruma Taşı Boyutu.....	36
2.4.	Boru Üzerine Gelen Kuvvetlerin Hesabı .....	37
2.4.1.	Dalga ve Akım Kuvvetleri.....	37
2.4.2.	Permenan Akımda Boruya Etkiyen Kuvvetler .....	40
2.4.2.1.	Deniz Tabanına Yerleştirilmiş ve Akım ile Açık Yapan Boru Hatları.....	41
2.4.3.	Permenan Olmayan Akımlarda Hidrodinamik Kuvvetler .....	42
2.4.4.	Çevrinti Akımı Nedeniyle Borudaki Salınımlar .....	44
2.4.5.	Rüzgar Nedeniyle Akım Derinliği Boyunca Oluşan Hız Dağılımı .....	46
2.5.	Deşarj Boru Hatlarının Stabilite Hesapları .....	48

2.5.1.	Deniz Tabanına Gömülü Olmayan Boru Hatlarının Düşey Stabiliteleleri.....	49
2.5.2.	Deniz Tabanına Gömülü Olan Boru Hatlarının Düşey Stabilitesi.....	49
2.5.3.	Deniz Tabanına Gömülü Olmayan Boru Hatlarının Yatay Stabiliteleleri.....	50
2.5.4.	Deniz Tabanına Gömülü Boru Hatlarının Yatay Stabiliteleleri .....	51
2.6.	Deniz Dibindeki Borunun Stabilitesinin Tahkiki .....	51
2.7.	Hendek Malzemesinin Çapının Tayini .....	52
2.7.1.	HRS (Hydraulics Research Station) Yöntemi .....	52
2.7.2.	ABD Kıyı Mühendisliği Araştırma Merkezi Yöntemi .....	54
2.7.3.	Shield Eğrisine Göre Hesap.....	55
3.	<b>BULGULAR VE İRDELEMELER .....</b>	<b>57</b>
3.1.	Boru Cinsleri.....	57
3.1.1.	Dökme Demir (Font, Pik) Borular.....	58
3.1.2.	Betonarme Borular.....	60
3.1.3.	Çelik Borular .....	60
3.1.4.	PVC ve PE Borular .....	62
3.1.5.	Cam Takviyeli Polyester Borular .....	66
3.2.	Deşarj İnşaatlarında Hazırlık Çalışmaları.....	68
3.3.	Derin Deniz Deşarj İnşaatlarında Gerekli Ekip ve Ekipmanlar .....	71
3.4.	Denize Deşarjın İnşa Yöntemleri.....	72
3.4.1.	Gemiden Döşeme Yöntemi .....	72
3.4.2.	Yüzdürme Yöntemi .....	73
3.4.3.	Tabandan Çekme Yöntemi .....	76
3.4.3.1.	Kısa Boru Hatlarının Dipte Birleştirilmesi Yöntemi.....	79
3.4.4.	Teker Teker veya Bölümler Halinde Batırma Yöntemi .....	80
3.4.5.	Dipte Monte Etme Yöntemi .....	81
3.4.5.1.	Mobil Bir Kriko Platformu ile Boru Hattı Döşeme Yöntemi.....	81
3.4.5.2.	Demir Köprüler Aracılığıyla Boru Hattı Döşeme Yöntemi .....	82
3.4.5.3.	Vinçli Bir Döşeme Gemisi ile Boru Hattı Döşeme Yöntemi .....	83
3.4.6.	Şamandıra Zincir Yöntemi .....	86
3.4.7.	Makaralı Döşeme Gemisi ile Boru Hattı Döşeme Yöntemi .....	86
3.5.	Yapım Yöntemlerinin Olabilirlik Açısından Değerlendirilmesi .....	87
3.6.	Derin Deniz Deşarj Hattı İnşaatlarında Dikkat Edilmesi Gerekli Konular .....	88
4.	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>92</b>



5.	KAYNAKLAR.....	96
6.	EKLER .....	98
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DENİZE DEŞARJ YAPILARININ İNŞA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Başak ÇITIR ARSLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Basri ERTAŞ  
2014, 97 Sayfa, 12 Ek Sayfa

Bu tez çalışmasında, denize deşarj yapılarının inşa yöntemlerinin karşılaştırılması araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak deniz ortamı, atıksuların özellikleri ve atıksuların denize verilmeden önce arıtılmasında uygulanan temel işlemler, deşarj parametreleri ve su kalitesi standartları, akım ve dalgalar nedeniyle boru hattına etkiyen kuvvetler, deşarj boru hatlarının stabilite hesapları anlatılmıştır.

Çalışmanın diğer bölümünde, günümüzde uygulanan denize deşarj boru hattı döşeme yöntemleri ile bu yöntemlerin nerelerde hangi koşullarda ve hangi boru cinsleri için uygulanmasının en uygun yöntem olduğu açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Denize deşarj yapıları, Boru cinsleri, Boru hattı döşeme yöntemleri.

Master Thesis

SUMMARY

COMPRASION OF CONSTRUCTION METHODS OF THE MARINE OUTFALL  
STRUCTURES

Başak ÇITIR ARSLAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Basri ERTAŞ  
2014, 97 Pages, 12 Pages Appendix

In this thesis, comprasion of construction methods of the marine outfall structures are investigated. For this purpose, first as marine environment, the characteristics of wastewater and wastewater into the sea before purified applied in this basic operations, discharge parameters and water quality standards, the forces acting on the pipe due to the flow and waves, stability calculations of discharge pipelines have been described.

In the other part of the study is practiced today marine outfall pipe settlement methods where the circumstances under which these methods are applicable for pipe types and which are claimed to be most appropriate method.

**Key Words:** Marine outfall structure, Pipe types, Pipe settlement methods.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Kıta sahanlığı ve derin sular ..... 2
Şekil 1.2.	Dalga kırılması..... 2
Şekil 1.3.	Tipik sıcaklık-derinlik değişimi ..... 5
Şekil 1.4.	Tuzluluğun derinliğe bağlı değişimi ..... 6
Şekil 1.5.	Bir atıksu arıtma tesisi akım şeması ..... 21
Şekil 2.1.	Birinci seyrelme ..... 27
Şekil 2.2.	Örnek bir yerleştirme şekli..... 34
Şekil 2.3.	Döküm yöntemiyle beton ağırlık örtüsü uygulaması ..... 35
Şekil 2.4.	Ankrajlı boru ..... 35
Şekil 2.5.	Tipik bir taş doldurmalı boru kesiti ..... 36
Şekil 2.6.	Boru üzerindeki hidrodinamik kuvvetler ..... 37
Şekil 2.7.	Tabana oturtulmuş boru hattının mansabında oluşan çevrıntiler (dümensuyu çevrıntıleri)..... 39
Şekil 2.8.	Boru hattının tabandan yukarıda olduğu durumda oluşan çevrıntiler (dümensuyu çevrıntıleri)..... 39
Şekil 2.9.	Akışla açılı yapan boru hatları ..... 41
Şekil 2.10.	Permenan olmayan akımda boruya etkileyen sürüklenme, atalet ve kaldırma kuvvetleri ..... 42
Şekil 2.11.	Çevrinti nedeniyle boruların salınımı ..... 44
Şekil 2.12.	Kısa süreli rüzgar nedeniyle derinlik boyunca hız dağılımının zaman ile değişimi..... 46
Şekil 2.13.	Boyutsuz hız dağılımı ..... 48
Şekil 2.14.	Deşarj borularının deniz tabanına yerleştirilme şekilleri ..... 49
Şekil 2.15.	Airy teorisine göre tabana yakın kısımda su partikülünün maksimum hız ve ivmesinin bulunması için diyagram ..... 54
Şekil 2.16.	Dolgu malzemesi stabilitesi için projelendirme eğrileri ..... 56
Şekil 3.1.	Çıkış uçlarında kullanılan dökme demir boru..... 59
Şekil 3.2.	Çelik ve çelik alaşımlı boruların dıştan betonarme ile kaplanması ..... 61
Şekil 3.3.	YYPE boru kaynağının yapılması ..... 64
Şekil 3.4.	YYPE borular için batırma blokları..... 66

Şekil 3.5.	Deniz deşarjı şantiyesi .....	69
Şekil 3.6.	Semer tip koruma blokları .....	69
Şekil 3.7.	YYPE borular için batırma blokları .....	70
Şekil 3.8.	Gabion hazırlıkları .....	70
Şekil 3.9.	Derin deniz deşarjı tip boy kesiti .....	71
Şekil 3.10.	En kesit.....	72
Şekil 3.11.	Gemiden döşeme metodu.....	72
Şekil 3.12.	Yüzdürme yönteminde kullanılan ekipmanları ve bu yöntemi gösteren bir konfigürasyon .....	74
Şekil 3.13.	Çekme vincine sahip bir gemi tarafından yüzdürülen boru hattı .....	75
Şekil 3.14.	Çelik borular için yüzdürme metodu .....	75
Şekil 3.15.	YYPE borular için yüzdürme metodu.....	76
Şekil 3.16.	Tabandan çekme yönteminde kullanılan ekipmanları ve bu yöntemi gösteren bir konfigürasyon .....	77
Şekil 3.17.	Dubalar bağlanmış çekilmeye hazır bir durumda bekleyen boru hattı .....	78
Şekil 3.18.	Mavna ile boru döşeme .....	81
Şekil 3.19.	Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan bir mobil kriko platformu .....	82
Şekil 3.20.	Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan vinçli döşeme gemisi ...	83
Şekil 3.21.	Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan vinçli döşeme gemisi ...	84
Şekil 3.22.	Borunun zarar görmesini engelleyene boru tutucu gövde .....	85
Şekil 3.23.	Boru döşeme operasyonunda döşeme gemisine boru taşıyan yardımcı gemi .....	85
Şekil 3.24.	Makaralı bir düzeneğe sahip olan döşeme gemisi .....	87
Şekil 3.25.	Tek yönlü çıkış ağızları.....	90
Şekil 3.26.	Şamandıralar .....	91

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1.	Deniz suyundaki önemli katyon ve anyonlar ..... 3
Tablo 1.2.	Denizlerdeki tuzluluk ve yoğunluk değerleri ..... 4
Tablo 1.3.	Atıksu arıtımında kirletici maddeler ve önemi ..... 8
Tablo 1.4.	Atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısı ve kirlilik kaynakları ..... 9
Tablo 1.5.	Evsel atıksuyun bileşenleri ..... 14
Tablo 1.6.	Evsel atıksuda kişi başına oluşan kirlilik miktarları, gr/N.Gün ..... 15
Tablo 1.7.	Atıksuların kanalizasyona/atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları ..... 16
Tablo 1.8.	Evsel nitelikli atıksuların ortama deşarj standartları ..... 17
Tablo 1.9.	Evsel atıksudaki katı madde miktarları ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı yükü ..... 19
Tablo 1.10.	Evsel atıksuların özellikleri ..... 19
Tablo 1.11.	Çeşitli arıtma işlem ve proseslerin giderim verimleri ..... 24
Tablo 1.12.	Atıksu arıtma tesisi temel işlemlerin fonksiyonları ..... 25
Tablo 2.1.	Çeşitli ülkelerin koliform standartları ..... 29
Tablo 2.2.	Evsel atıksu debilerine göre minimum deşarj boru boyu ..... 29
Tablo 2.3.	Derin deniz deşarjına izin verilebilecek atıksuların özellikleri ..... 29
Tablo 2.4.	Derin deniz deşarjı için uygulanacak kriterler..... 30
Tablo 2.5.	Su altı boru hattı için tavsiye edilen $C_D$ , $C_L$ ve $C_I$ katsayıları ..... 41
Tablo 3.1.	Standart düktül font boru özellikleri..... 58
Tablo 3.2.	Düktül font borularda çap-işletme basıncı ilişkileri ..... 59
Tablo 3.3.	Çelik borularda çap-işletme basıncı ilişkileri ..... 62
Tablo 3.4.	Standart çelik boru özellikleri..... 62
Tablo 3.5.	PE ve YYPE borularda çap-işletme basıncı ilişkileri..... 64
Tablo 3.6.	Standart PE ve YYPE boru özellikleri ..... 65
Tablo 3.7.	Standart CTP boru özellikleri (Çap ve et kalınlıkları)..... 67
Tablo 3.8.	CTP borularda çap-işletme basıncı ilişkileri ..... 67
Tablo 3.9.	Deniz deşarj borularının özellikleri ..... 68
Tablo 3.10.	Yapım yöntemlerinin olabilirlik açısından karşılaştırılması ..... 88

## SEMBOLLER DİZİNİ

AKM	Askıda Katı Madde
BOİ <sub>U</sub>	Birinci kademe nihai biyokimyasal oksijen ihtiyacı
Br <sup>-</sup>	Brom iyonu
Ca <sup>+</sup>	Kalsiyum iyonu
C <sub>D</sub>	Sürüklenme katsayısı
CH <sub>4</sub>	Metan
C <sub>I</sub>	Atalet katsayısı
C <sub>L</sub>	Kaldırma katsayısı
Cl <sup>-</sup>	Klor iyonu
C <sub>M</sub>	Atalet kuvveti sabiti
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
C <sub>s</sub>	Açıktaki borunun mesnet ve bağlama şartlarına bağlı bir sabit
d	Harekete geçiş durumundaki sediment parçacığının çapı
d <sub>f</sub>	Filtre malzemesi çapı
d <sub>s</sub>	Sürüntü maddesi çapı
D <sub>d</sub>	Boru dış çapı
D <sub>i</sub>	Boru iç çapı
D	Su derinliği
E <sub>I</sub>	Borunun yapıldığı malzemenin rijitliği (Elastisite modülü)
F <sub>D</sub>	Sürüklenme kuvveti
F <sub>DIM</sub>	Boyutsuz toplam kuvvet
F <sub>G</sub>	Beton ceket örtüsünü içeren borunun sıvı içerisinde batmış durumdaki ağırlığı
F <sub>Gek</sub>	Ek kütleliğin sıvı içerisindeki ağırlığı
F <sub>I</sub>	Atalet kuvveti
F <sub>L</sub>	Kaldırma kuvveti
F <sub>S</sub>	Sürtünme kuvveti
f <sub>n</sub>	Askıdaki boru kısmının doğal frekansı
f <sub>s</sub>	Çevrinti akım frekansı

G	Yer çekimi ivmesi
H	Dalga yüksekliği
H*	Akımla birlikte olan dalga yüksekliği
H <sub>2</sub> O	Su
H <sub>2</sub> S	Hidrojen Sülfür
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat
k	Dalga sayısı
K	Keulegan-Carpenter sayısı
K <sup>+</sup>	Potasyum iyonu
K <sub>M</sub>	Maksimum düşey kuvvet sabiti
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	Dalga boyu
L <sub>P</sub>	Askıdaki boru kısmı uzunluğu
M	Boru birleşim kütlesi
M*	Birim boy maliyeti (\$/m)
Mg <sup>+2</sup>	Magnezyum iyonu
N	Normal kuvvet
Na <sup>+</sup>	Sodyum iyonu
NH <sub>3</sub>	Amonyak
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amonyum İyonu
NO <sub>3</sub>	Nitrat
P	Basınç
PO <sub>4</sub>	Fosfat
S	Strouhal sayısı (Akışkan içerisindeki bir cisme dalganın neden olduğu etkileri anlamak için kullanılan boyutsuz bir sayıdır.)
SF	Emniyet Faktörü
S <sub>1</sub>	Birinci Seyrelme
S <sub>2</sub>	İkinci Seyrelme
S <sub>3</sub>	Üçüncü Seyrelme
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Sülfat
T	Dalga periyodu



$t$	Zaman
$TeOİ$	Teorik Oksijen İhtiyacı
$TN$	Toplam Azot
$TOİ$	Toplam Oksijen İhtiyacı
$TP$	Toplam Fosfor
$T_{90}$	Mikroorganizmaların deniz ortamında %90'ının yok olması için geçen süre
$t_b$	Boruların et kalınlığı
$U$	Permenan akımda, akımın boru ekseni seviyesindeki hızı
$U^*$	Boru ekseni seviyesindeki yatay ivmeyi
$U_{1max}$	Lineer dalga teorisine göre hesaplanan akışkan hızı
$u_{max}$	En büyük akım hızı
$u_o$	Ortalama akım hızı
$u_R$	Yüzeydeki su molekülü hızı
$u_t$	Dalganın olması halinde akım hızı
$u_w$	Dalgadan dolayı akımın kazandığı hız
$WG$	Dalga Ölçer
$X$	Yatay eksen
$Z$	Borunun sakin su yüzeyinden oluşan düşey mesafesi
$\alpha$	Akımın yaklaşım açısı
$\beta_1$	Değeri 1,08 alınabilen bir katsayı
$\gamma$	Akışkanın özgül ağırlığı
$\gamma_a$	Deniz suyunun özgül ağırlığı
$\gamma_s$	Sedimentin özgül ağırlığı
$\varepsilon$	Pürüzlülük yüksekliği
$\rho$	Akımı oluşturan sıvı yoğunluğu
$f$	Dönme faktörü
$\theta$	Tabanın yatayla yaptığı açı
$\mu_s$	Boru veya tespit kütlesi ile deniz tabanı arasındaki sürtünme katsayısı
$\tau$	Kayma gerilmesi
$\tau_d$	ds çaplı sürüntü maddesi için hesaplanan kayma gerilmeleri

$\nu$	Deniz suyunun kinematik viskozite katsayısı
$\omega$	Açısal frekans

## 1. GENEL BİLGİLER

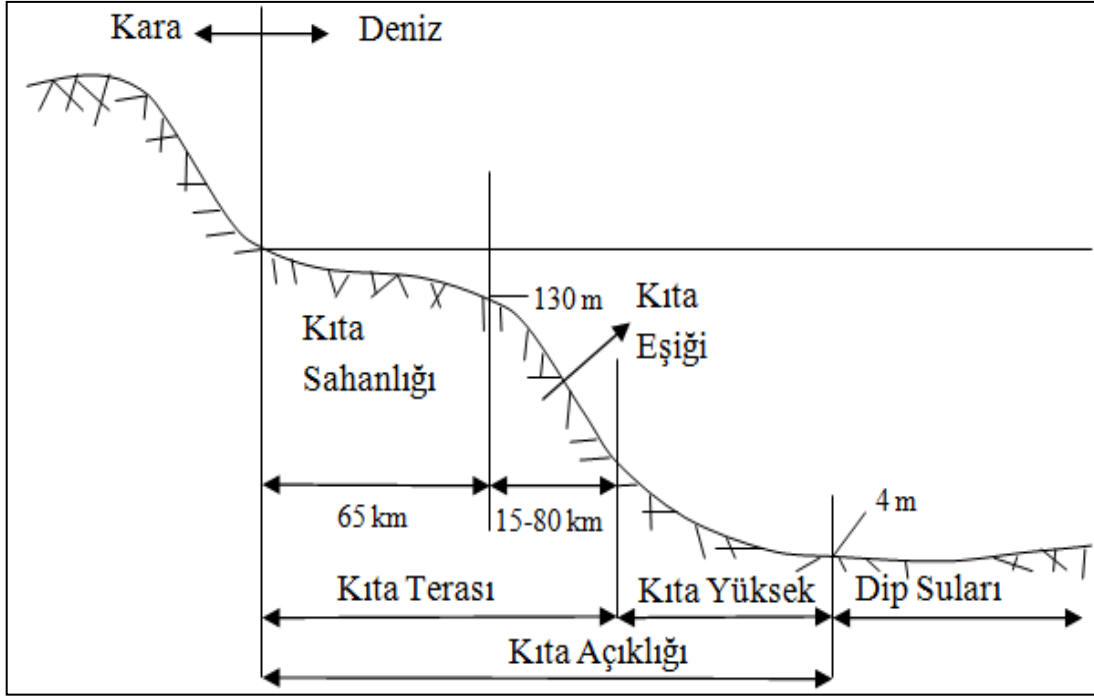
### 1.1. Deniz Ortamı

Dünya yüzeyinin takriben %70'i okyanus ve denizlerle kaplıdır. Toplam su hacmi 1.35 milyon km<sup>3</sup> olan okyanusların ortalama derinliği 3800 m'dir (Gunnerson, 1998). Deniz bilimi (Osenography)'nin ulaştırma, balıkçılık, iklim, jeofizik, su ve enerji dengesi, güvenlik ve ekolojik bakımdan önemi eski çağlardan beri bilinmektedir. Denizler, su ürünleri, su sporları, turizm ve ulaşım gibi nimetlere ilaveten soğutma suyu temini ve atıklar için alıcı ortam teşkili yoluyla endüstriyel ve evsel maksatlı kullanımlara da imkan vermektedir. Denizlerden en iyi şekilde yararlanmak, ancak bu eşsiz kaynağın yeterince korunması ile mümkündür (Öztürk, 1996).

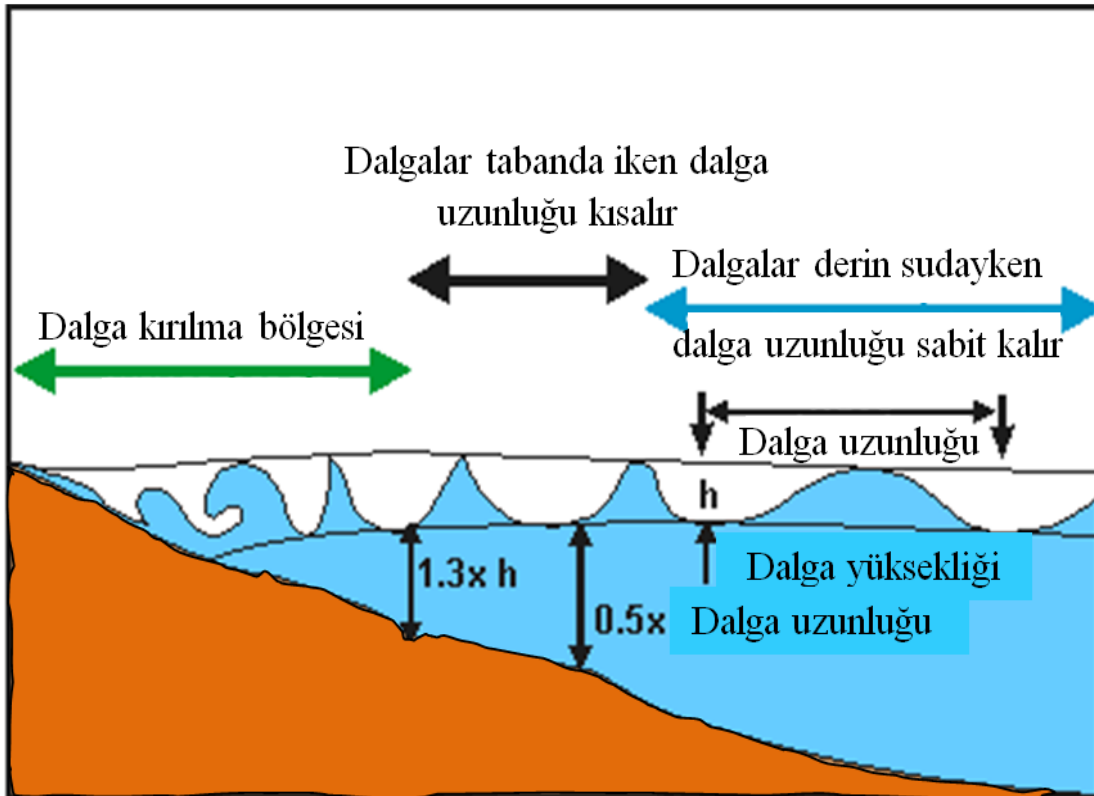
Sahile yakın kesimlerde denizler iki bölgeye ayrılır. Bunlardan biri kıta sahanlığı, diğeri ise kıta çukurudur. Kıta sahanlığı, sahil çizgisi ile deniz tabanının eğiminin aniden arttığı kıta eşiği arasındaki kısımdır (Şekil 1.1). Dünya okyanuslarının %7.5'ini kaplayan kıta sahanlığının ortalama genişliği 78 km, derinliği ise 133 m'dir. Genel olarak 130 m derinliğe kadar olan sahil kesimi kıta sahanlığı olarak kabul edilmektedir. Atıksu deşarjları da kıta sahanlığı olarak adlandırılan bu kısmın 75 m'yi geçmeyen derinliklere kadarki sığ sularına yapılmaktadır (Kocamış, 2006).

Denizler okyanuslara nispetle daha küçük tuzlu su ortamlarıdır. Genellikle etrafları kara parçaları ile çevrili olup okyanuslara bağlantıları vardır. Haliç ve körfezlerle kara parçalarının içlerine kadar sokulurlar. Etrafı karalarla çevrili olan iç denizlerde, okyanuslar veya açık denizlerle irtibatı sağlayan boğazların hidrografik özellikleri, bu denizlerin su kalitesi, akıntı iklimi ve diğeri karakteristiklerini önemli ölçüde etkiler. Örneğin kapalı bir deniz olan Akdeniz'in yılda ancak toplam su miktarının %1'i bağlandığı denizlere karışır (Öztürk 1996).

Sahil suları ile ilgili diğeri bir terim de dalga kırılma bölgesidir. Dalga kırılma bölgesi, sahile doğru ilerleyen dalgaların sığlaşma sonucu kırılarak, periyodik yapılarını kaybedip bütün enerjilerini bıraktıkları dalga kırılma derinliği ile sahil arasındaki kısımdır (Şekil 1.2.) (Öztürk, 1996).



Şekil 1.1. Kıta sahanlığı ve derin sular



Şekil 1.2. Dalga kırılması

### 1.1.1. Deniz Suyunun Özellikleri

#### 1.1.1.1. Deniz Suyunun Kimyasal Bileşimi

Deniz suyu bünyesinde çözünmüş, askıda organik ve inorganik maddelerle çeşitli gazlar bulunmaktadır. Deniz suyu içerisindeki başlıca anyon ve katyonlar Tablo 1.1’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere sadece  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonlarının tuzluluğa katkısı %85.65’tir.

Tablo 1.1. Deniz suyundaki önemli katyon ve anyonlar (Öztürk, 1996)

Anyon ve Katyon	Konsantrasyon (ppm)	Tuzluluğa Katkısı ( % )
$\text{Na}^+$	10.770	30.61
$\text{Mg}^{+2}$	1.294	3.69
$\text{Ca}^{+2}$	0.413	1.16
$\text{K}^+$	0.387	1.10
$\text{Cl}^-$	19.353	55.04
$\text{SO}_4^{-2}$	2.712	7.68
$\text{HCO}_3^-$	0.142	0.41
$\text{Br}^-$	0.067	0.19
$\text{I}^-$	0.060	Eser
Toplam	35.198	99.88

#### 1.1.1.2. Deniz Suyunun Tuzluluğu

Okyanuslardaki tuzluluk seviyesi genellikle %34-38 aralığında değişmektedir. İç denizler ve sahil sularında tuzluluk tatlı sularla karışım oranına bağlı olarak daha geniş aralıklarla değişir. Tuzluluk ayrıca derinlik boyunca da değişim gösterir. Tuzluluğun derinlikle değişimi açık denizlerde fazla önemli olmamasına karşılık sahil suları ve körfezlerde çok barizdir (Öztürk, 1996).

Deniz yüzeyindeki tuzluluk yağışlar, buzların erimesi ve akarsularla gelen tatlı sularla karışım gibi sebeplerle azalırken buharlaşma ve buzlanma tesirleriyle artar. Bu yüzden, yıllık yağış miktarının buharlaşmadan fazla olduğu ekvatora yakın bölgelerde deniz suyunun tuzluluğu diğer yerlere göre daha azdır. Aynı şekilde enlemlerde de buharlaşma nisbi olarak azaldığı için tuzluluk daha düşüktür (Berkün, 2006).

Okyanusların haricindeki büyük su kütleleri olan denizler, körfezler ve diğer iç denizlerde, bu denizlerin açık deniz veya okyanuslarla bağlantı şekli tuzluluğu etkiler (Öztürk, 1996).

Dar ve su alışverişi sınırlı bir bağlantı, iç denizlerdeki tuzluluğun mevsimlik olarak geniş aralıklarda değişmesine yol açabilir. Denizlerdeki ortalama tuzluluk ve yoğunluk değerleri (Tablo 1.2)'de görülmektedir.

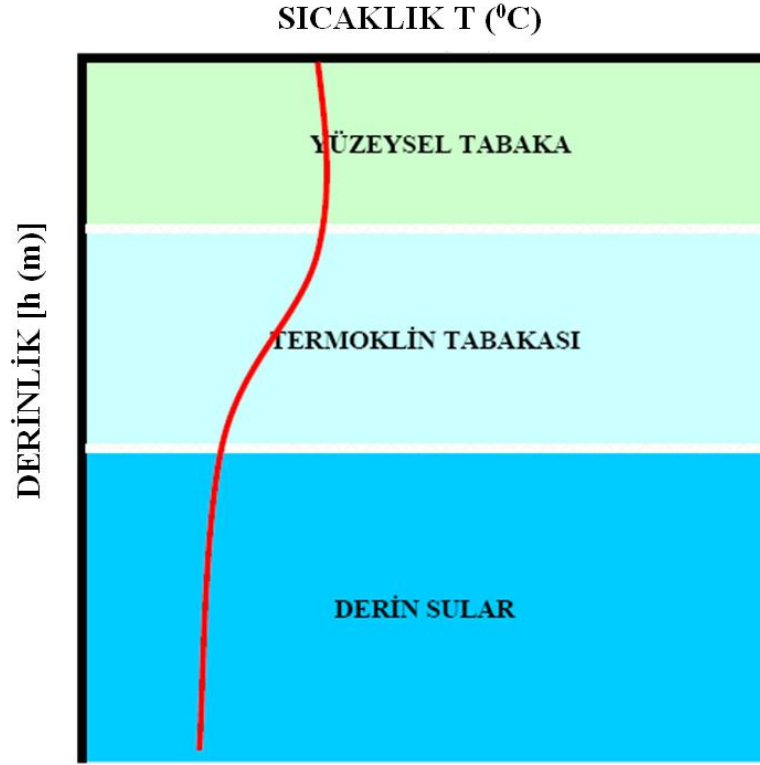
Tablo 1.2. Denizlerdeki tuzluluk ve yoğunluk değerleri (Öztürk, 1996)

Su	Tuzluluk ( % )	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
İçme suyu standardı	0.5 (max 1.0) <sup>o</sup>	1000 (4°C)
Evsel atıksu	0.5-1.5 <sup>o</sup>	1001-1003 (999.9)
Fosil yeraltı suyu (Acı su)	1.5-3.0 <sup>o</sup>	
Baltık denizi	~8.0	1006
Karadeniz (yüzeyde)	17-18	~1013
Akdeniz	~34	~1028
Hint Okyanusu	34.6-35.5	
Diğer Okyanuslar	34-38	1024-1030
Kızıldeniz	40	
Marmara Denizi (üst tabaka)	25	
Marmara Denizi (alt tabaka)	34	
İstanbul Boğazı (üst tabaka)	18-22	
İstanbul Boğazı (alt tabaka)	34	

### 1.1.1.3. Deniz Suyunun Sıcaklığı

Deniz suyu sıcaklığı da derinlikle mevsimlik değişimler gösterir. Denizlerdeki sıcaklık-derinlik profilleri tipik olarak Şekil 1.3'teki gibi gösterilebilir.

Üst tabakadaki sıcaklıkların nispeten üniform olması, bu kısmın rüzgar etkisiyle daha iyi karışmasından ileri gelmektedir. Sıcaklık-derinlik profilinde sıcaklığın aniden değiştiği bölgeye "Termoklin Tabakası" adı verilir. Termoklin tabakasında genellikle 1°C/m'den daha büyük bir sıcaklık değişimi söz konusudur. Sıcaklık profilleri mevsimlere göre önemli değişiklikler gösterir (Kocamış, 2006).



Şekil 1.3. Tipik sıcaklık-derinlik değişimi

#### 1.1.1.4. Deniz Suyunun Yoğunluğu

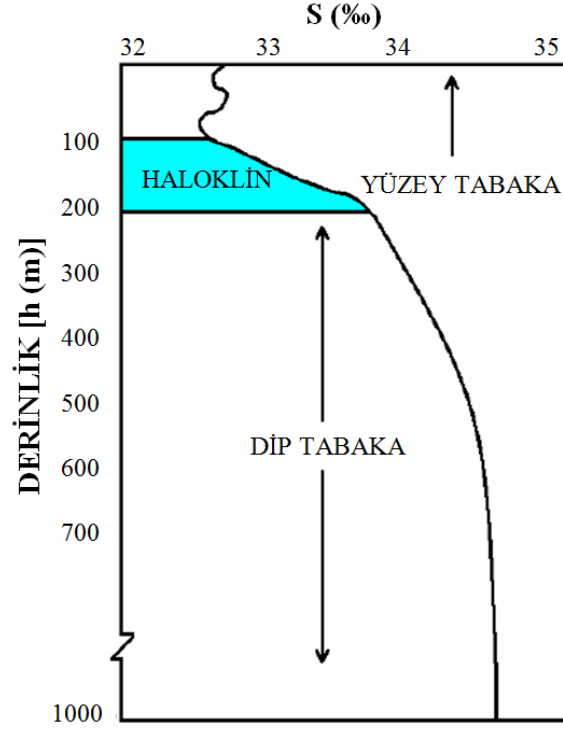
Tatlı suyun  $+4^{\circ}\text{C}$ 'deki yoğunluğu  $1000 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Deniz suyu yoğunluğunun tatlı su yoğunluğundan farkı Oşinografik Yoğunluk ile ifade edilir (Öztürk, 1996).

Gerçekte deniz suyu yoğunluğu sıcaklık, basınç ve tuzluluğa bağlı olarak değişir. Sahil sularında derinlik 200 m'nin altında olduğundan, basıncın tesiri genellikle ihmal edilmektedir (Öztürk, 1996).

Sıcaklık ve tuzluluk gibi deniz suyu yoğunlukları da derinlikle değişim gösterir . Yoğunluğun derinlikle hızlıca değiştiği bölgeye "piknoklin tabakası" adı verilir (Öztürk, 1996).

Yoğunluk üst kısımlarda daha düşük olup, derinlik arttıkça artarak sabit bir değere yaklaşır. Yoğunluk ortamdaki türbülans seviyesini etkiler. Küçük yoğunluk farkları dahi yoğunluk tabakalaşmasına yol açacak düşey karışım için önemli oranda enerjiyi gerektirir (Öztürk, 1996).

Termoklin, haloklin ve piknoklin tabakaları genellikle hemen birbiriyle çakışır ve deniz deşarjları sonucu ortaya çıkan atıksu tarlasının durumu hakkında fikir verir (Şekil 1.4). Yoğunluk tabakalaşması olan ortamlarda çok özel haller dışında batmış atıksu tarlası teşekkül eder. Üniform yoğunluklu ortamlarda ise atıksu tarlası su yüzeyine kadar ulaşır ve yüzeyde tarla oluşur (Öztürk, 1996).



Şekil 1.4. Tuzluluğun derinliğe bağlı değişimi

#### 1.1.1.5. Çözünmüş Gazlar

Deniz suyunda iyonların dışında, çözünmüş gazlarda mevcuttur. Çözünen gazlardan dikkate değer olanlar azot, oksijen ve karbondioksittir. Bunlardan karbondioksit, fotosentez yapan organizmaların yüzünden; oksijen, bitki ve hayvan organizmaların solunumlarında kullanıldıklarından dolayı en önemlileridir (Kocamış, 2006).

Karbondioksit,  $H_2O$  ile reaksiyona girebildiğinden dolayı, deniz suyunda birden fazla formda bulunur. Bunlar; gaz olarak;  $CO_2$ , çok az çözünürlüğü olan bağlanmamış karbonik asit ( $H_2CO_3$ ), suda bir miktar çözünebilir olan bağlı karbonik asit ve daha çözünebilir olan



bikarbonatlardır ( $\text{HCO}_3$ ). Denizlerdeki  $\text{CO}_2$ 'nin büyük bir kısmı suda bikarbonat iyonu halinde bulunur (Kocamış, 2006).

Denizin yüzeye yakın yerlerinde sürekli ve hızlı bir kullanıma sahip olması nedeniyle, oksijen için kesin bir  $\text{O}_2$  konsantrasyon değeri vermek zordur. Ayrıca gazların sıcaklıkla ters orantılı olarak çözünübilirliği yüzünden, deniz suyundaki oksijen konsantrasyonu yer, derinlik ve iklime bağlı olarak sürekli değişiklik gösterir. Ancak, bir değer vermek gerekirse, sub-tropik bölgeler için 6-8 mg/L çözülmüş  $\text{O}_2$  değeri tipik kabul edilebilir (Grace, 1998).

#### **1.1.1.6. Deniz Suyunun Optik Özellikleri**

Deniz ortamında, kimyasal ve biyolojik reaksiyonların oluşumu ve gelişimini etkileyen bir önemli faktörde ışıktır. Güneş ışığı, denizlerde sadece 200 m derinliğindeki su kütlesi içine sızabilir. Deniz ortamında 200 m derinlikte, suyun temiz ve berrak olması halinde dahi; gelen radyasyonun sadece %0.01'inden daha az bir kısmı görülebilir ışık olarak kalabilmektedir. Sudaki askıda ya da çözülmüş maddelerden kaynaklanan bulanıklık, ışığın geçişini engelleyerek ışığın alt tabakalara daha az ulaşımına sebep olur. Bu da bulanık sularda ışığın 200 m derinliğe kalmadan bulanıklığa sebep olan maddeler tarafından tamamen engellenmesi anlamına gelmektedir. Yapılan çalışmalarda, bulanıklığın yüksek olduğu kıyı sularında, güneşten gelen ışığın %99'u ilk 5 m'de absorbe edildiği gözlenmiştir (Gunnerson, 1996).

### **1.2. Atıksuların Özellikleri**

#### **1.2.1. Genel**

Atıksu için gerekli arıtma derecesinin tespitinde, en uygun arıtma metodunun seçilmesinde ve mansap imkanlarının araştırılmasında atıksuyun miktarı kadar özelliklerinin de belirlenmesi gerekir. Kanalizasyon sistemi ve nüfus yoğunluğu bu suyun özelliklerini belirler (Samsunlu, 2006).

Atıksuyun kirliliği genel olarak toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), askıda katı madde (AKM), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gibi parametrelerin değerlerine bağlı

olarak belirlenir. Koliform bakteri sayısı ise yüzeysel sularda özellikle içme suyu tesisleri ve plaj yerleri civarında önemli bir kirlilik ölçüğü olarak kullanılır (Samsunlu, 2006).

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde atıksuların deşarj kriterleri verilmiştir. Bir arıtma tesisinden geçen sudan alınan numunelerin analizi tesisin kontrolüne işletilmesine yardımcı olur. Atıksular %99 oranında organik ve inorganik maddeleri, %1 oranında da yabancı maddeleri ihtiva eder. Esas olarak atıksuya kirlilik özelliğini veren %1 oranında bulunan bu yabancı maddelerdir. Atıksu içindeki maddeler kısmen organik, kısmen inorganiktir. Özellikle organik maddelerin kontrol edilemeyen şartlar altında biyolojik ve kimyasal olarak ayrışması verildikleri yüzeysel suların kullanılmasını tehlikeli hale sokar ve ekolojik dengeyi bozar.

Atıksudaki çeşitli parametreler ve bunların önemi ve doğal sulara etkisi ise Tablo 1.3'te, atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısı ve bu yapıyı oluşturan kirlilik kaynakları ise Tablo 1.4'te açıklanmaktadır.

Tablo 1.3. Atıksu arıtımında kirleticiler ve önemi (Metcalf & Eddy, 1991)

<b>Kirleticiler</b>	<b>Önemi</b>
Askıda Katı Madde	Arıtmasız deşarjlarda alıcı ortamda dipte sediment birikimine ve anaerobik koşulların oluşmasına neden olur.
Biyolojik Ayrışabilir Organikler	BOİ ve KOİ olarak ölçülen bu maddeler arıtmasız deşarjlarda oksijeni tüketerek septik ortamın oluşmasına neden olurlar.
Besi Maddeleri (nütrient)	Azot ve fosfor karbonla birlikte çoğalma için gerekli besin maddeleridir. Suda yaşayan bazı canlıların (alg gibi) aşırı çoğalmasına neden olurlar.
Patojenler (hastalık yapıcı mikroorganizmalar)	Hastalıklara sebep olurlar.
Mikrokirleticiler	Kanserojen, mutajen, teratojen ve yüksek zehirlilikte maddelerdir.
Kalıcı organikler	Konvansiyonel arıtma metotlarına direnç gösteren ve bu yöntemle arıtılmayan organiklerdir. Fenol, pestisitler, dezenfektanlar gibi.
Ağır Metaller	Ticari ve endüstriyel faaliyetlerden atıksuya giren maddelerdir.
Çözünmüş İnorganikler	Ca, Na, SO <sub>4</sub> gibi evsel su temininde eklenen maddelerdir. Atıksu tekrar kullanılacaksa giderilmeleri gerekir.

Tablo 1.4. Atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısı ve kirlilik kaynakları  
(Metcalf & Eddy, 1991)

<b>Atıksu Karakteristiği</b>		<b>Kaynak</b>
Fiziksel Özellikler	Renk	Evsel ve endüstriyel atıklar, organik maddelerin doğal bozunması
	Koku	Ayrışan/bozunan atıksu ve endüstriyel atıklar
	Katı Madde	Evsel su temini, evsel ve endüstriyel atıklar, toprak erozyonu, sızma
	Sıcaklık	Evsel ve endüstriyel atıklar
Kimyasal Bileşenler	Organik	
	Karbonhidrat ve yağ-gres	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
	Pestisitler	Tarımsal atıklar
	Fenol	Endüstriyel atıklar
	Proteinler ve mikrokirleticiler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
	Yüzey dezenfektanlar	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
	Uçucu organik bileşikler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
	Diğerleri	Organik maddelerin doğal bozunması
	İnorganik	
	Alkalinite ve klorür	Evsel atıklar, evsel su temini, yer altı suyundan sızma
	Ağır metal	Endüstriyel atıklar
	Azot	Evsel ve tarımsal atıklar
	pH ve mikro kirleticiler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
	Fosfor	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar; doğal yüzeysel akış
	Sülfür	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Gazlar		
Hidrojen sülfür ve metan	Evsel atıkların ayrışması	
Oksijen	Evsel su temini, yüzeysel suyun sızması	
Biyolojik Bileşenler	Hayvanlar ve bitkiler	Açık kanallar/dereler ve arıtma birimleri
	Eu bakteri	Evsel atıklar, yüzeysel sudan sızma, arıtma birimleri
	Archae bakteri	Evsel atıklar, yüzeysel sudan sızma, arıtma birimleri
	Virüsler	Evsel atıklar

## 1.2.2. Atıksu Karakterizasyonunda Başlıca Parametreler

### 1.2.2.1. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Atıksular organik madde içerdiğinden, bunların konsantrasyonları, yani birebir sudaki miktarları kirlilik derecesinin ölçüsü olarak kabul edilir. Fakat atıksuların bileşimleri çok değişiktir ve içindeki maddeleri bir formülle ifade etmek mümkün değildir. Ayrıca bu maddeler tasfiye tesisinde bozunmaya uğradıklarından bu etkinin de dikkate alınması gerekir. Bu yüzden bu maddeleri konsantrasyonları ile ifade etme yoluna gidilmiştir (URL-1, 2013).

Organik maddenin ölçüsü olarak biyokimyasal oksidasyon (karbonlu maddelerin oksitlenmesi) sırasında harcanan oksijen miktarı esas alınabilir ve bu değer de BOİ olarak adlandırılır (URL-1, 2013).

Biyokimyasal oksidasyon, su içinde bir yanma olayı olup, bu yanma sırasında suda çözülmüş (erimiş) oksijen kullanılır. Ne kadar fazla oksijen sarf edilirse, sudaki organik madde miktarı da o kadar fazla demektir (URL-1, 2013).

Organik madde içeren sularda suların oksijen ihtiyacı  $BOİ_5$ , karbonlu maddelerin tamamen  $CO_2$ 'ye dönüşmesine kadar artar. Teorik olarak sonsuz, pratik olarak yaklaşık 10 gün kadar bir müddet sonunda bütün karbonlu maddeler ayrışır. Bu esnada sarf edilen oksijene, birinci kademe nihai biyokimyasal oksijen ihtiyacı denir ve  $BOİ_u$  ile gösterilir. Evsel atıksular için  $BOİ_5$  ve  $BOİ_u$  arasında  $BOİ_5/BOİ_u \sim 0,68$  bağıntısı vardır (URL-1, 2013).

### 1.2.2.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Kimyasal olarak oksitlenebilen organik maddelerin oksijen ihtiyacı KOİ ile ifade edilir. KOİ asit ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici (potasyum dikromat gibi) vasıtasıyla ölçülür. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyolojik olarak oksitlenebileceklerden daha fazla olduğundan kimyasal oksijen ihtiyacı biyolojik oksijen ihtiyacından daha büyüktür. Tasfiye edilmemiş atıksular için  $BOİ_5/KOİ = 0,4-0,8$  (ortalama 0,65) alınabilir (URL-1, 2013).

### 1.2.2.2.1. KOİ Bileşenleri

Yapılan çalışmalar sonucunda, biyolojik arıtma sistemlerinde substratın biyolojik ayrışması sonucunda zor ayrışan (inert) ürünlerin oluştuğu saptanmış ve biyolojik arıtma tesislerinde, atıksudaki organik maddelerin biyolojik ayrışmasının farklı mekanizma ve hızlarda meydana geldiği tespit edilmiştir (URL-1, 2013).

Evsel atıklardan biyolojik nütrient gideriminde, atıksudaki organik karbon-azot-fosfor arasındaki denge çok önemlidir. Biyolojik azot-fosfor gideriminde, arıtılmış atıksudaki kalan biyolojik olarak organik madde miktarı önemlidir (URL-1, 2013).

Kuvvetli atıksuların arıtımında gerek ham atıksuda bulunan gerekse biyolojik arıtım sırasında oluşan ve konvansiyonel arıtma yöntemleri ile arıtımı mümkün olmayan inert organik maddeler deşarj standartlarına ulaşmasını engelleyebilmektedir. Dolayısıyla biyolojik arıtma tesislerin değerlendirilmesinde KOİ'nin bileşenlerinin belirlenmesi yararlıdır. KOİ'nin bileşenlerine ayrılması inert ve biyolojik olarak parçalanabilen KOİ'nin belirlenmesidir. Biyolojik olarak parçalanmayan KOİ'nin de kolay parçalanmayan ve zor parçalanmayan olmak üzere bileşenleri belirlenmelidir. İntert KOİ'de çözünmüş inert ve partikül inert olmak üzere bileşenlere ayrılır (URL-1, 2013).

### 1.2.2.3. Toplam Organik Karbon

Özellikle çok küçük organik madde konsantrasyonları için uygun bir parametredir. Bu parametre, bilinen konsantrasyonlarda bir numuneyi yüksek sıcaklıkta bir fırına enjekte ederek saptanmaktadır.  $BOİ_5/TOK = 1-1,6$  alınabilir (URL-1, 2013).

### 1.2.2.4. Teorik Oksijen İhtiyacı (TeOİ)

Atıksularda bulunan karbonhidratlar, yağlar, proteinler ve bunların ayrışma ürünleri genel olarak karbon, hidrojen, oksijen ve azottan meydana gelir. Numunenin kimyasal formülü biliniyorsa, içindeki karbonun oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarı bulunabilir. Bu değer KOİ ve BOİ'den daha büyüktür. Çünkü KOİ'de bile, kimyasal olarak oksitlenmeyen bir miktar karbonlu madde daima bulunur (URL-1, 2013).

### 1.2.2.5. Toplam Oksijen İhtiyacı (TOİ)

TOİ parametresi ise diğer parametrelerin bulunmasından daha sonraki yıllarda gelişmiştir. TOİ deneyi, numuneyi platinle katalizlenen bir yanma odasında kararlı son ürünlere çevirmeyi ve bu esnada sarf edilen oksijen miktarını bulmayı esas alır (URL-1, 2013).

### 1.2.2.6. Azot – Fosfor

Azot ve fosfor elementleri, mikroorganizmaların büyümesi için çok gereklidir. Bunlara besi elementleri (nütrient) denir. Azot, proteinlerin sentezi için temel yapı taşı olduğundan atıksuların biyolojik yollarla tasfiyesinde azot konsantrasyonunu bilmeye ihtiyaç vardır. Suyun azot miktarı az ise, tasfiye için dışarıdan azot ilavesi gerekebilir. Aksine, eğer yüzeysel sulara verilen atıksu deşarjları sebebiyle oluşan alg ve yosunların kontrolü istenirse, alıcı ortamlara verilmeden önce azotun uzaklaştırılmasına veya miktarının azaltılmasına ihtiyaç vardır (URL-1, 2013).

Genellikle atıksularda azot, esas itibariyle proteinli maddelere ve üreye bağlı olarak bulunur. Bu maddelerin ayrışması ile azot, amonyağa dönüşür. Atıksuyun tazelik derecesi, amonyak miktarı ile ölçülür (URL-1, 2013).

Atıksularda azot pH'a göre ya amonyum iyonu ( $\text{NH}_4^+$ ) ya da amonyak ( $\text{NH}_3$ ) şeklinde bulunur:



$\text{pH} \geq 7$  ise denge sola doğru bozular,  $\text{pH} \leq 7$  ise amonyum iyonları ortama hakim olur.

Aerobik ortamda bakteri faaliyeti sonucu amonyak oksitlenerek nitrit ve nitrat haline gelir. Atıksularda nitrit azotu önemsizdir. Zira nitrit kararsız olup kolaylıkla nitrate dönüşür. Konsantrasyonu atıksularda 1 mg/L'yi nadiren geçer. Nitratlar ise azotun en ileri derecede oksitlenmiş halleridir. Atıksularda 0-20 mg N/L konsantrasyonlarında bulunabilir. Alg ve diğer mikroorganizmaların çoğalması bakımından fosfor da önemlidir. Sularda fosfor fosfat olarak bulunur. Evsel atıksular genellikle fosfor bileşenlerince zengindir. Son yıllarda deterjan yapımında katı maddesi olarak fosfat ve polifosfat bileşikleri, büyük

miktarlarda kullanılmaktadır. Bu maddelerin yaklaşık %12-13'ünü fosfor ve %'den fazlasının polifosfat olduğu düşünülürse, sentetik deterjan tüketiminin artışı ile birlikte yüzeysel sulara fosfor deşarjı da artış göstermiştir. Genellikle evsel atıksularda 4-15 mg/L civarında fosfor bulunur (URL-1, 2013).

### **1.2.3. Kaynağına Göre Atıksular**

Yağmur suları dışında atıksuları kaynağına göre üç grup altında incelemek mümkündür (Samsunlu, 2006).

1. Evsel atıksular
2. Endüstriyel atıksular
3. Sızıntı atıksular

Atıksu arıtma tesislerinde boyutlandırmaya esas olan debi;

- nüfusa bağılı debi
- küçük sanayi ve ticari tesisler debisi
- endüstriyel debi ve sızma debisi toplamı alınarak belirlenir.

Birleşik kanalizasyon sistemlerinde yağmur suyuna özel önem verilmelidir. Ayrıca tarımdan ve hayvancılıktan gelen sularda hasssiyetle incelenmeli ve dikkate alınmalıdır. Ülkemizde yöresel olarak bu debiler belirli olmadığından ve genellikle ölçülmediğinden nüfusa bağılı değerlerin hesaplanmasında İbank A.Ş. yönetmeliklerinden faydalanılır. Küçük sanayi ve ticari tesisler debisi genellikle nüfusa bağılı debinin belirli bir yüzdesi olarak veya eşdeğer nüfus cinsinden alınır. Endüstriyel debi eğer ölçüm yapma imkanı yoksa literatürde belirtilen su kullanım değerlerinde göre belirlenir. Sızma debisi ise nüfusa bağılı debinin bir yüzdesi olarak veya arazi büyüklüğüne göre hesaplanır (Samsunlu, 2006).

#### **1.2.3.1. Evsel Atıksular**

İçme suyu sistemiyle evlere verilen sular çeşitli şekillerde kullanıldıktan sonra kanalizasyon sistemi ile uzaklaşır. Atıksuyun miktarı kanalizasyon sistemine bağılanan alanın nüfusuna, atıksuyun özellikleri ise bu alandaki nüfusun yaşam standartlarına bağılıdır. Bu nedenle büyük yerleşimlerde kişi başına kanala verilen atıksu miktarı küçük yerleşimlerinden büyüktür (Samsunlu, 2006).

Arıtılmamış evsel atıksuyun özellikleri konsantrasyonuna bağlı olarak Tablo 1.5'te verilmiştir.

Tablo 1.5. Evsel atıksuyun bileşenleri

Kalite Parametresi	Konsantrasyon (mg/L)		
	Kuvvetli	Orta	Zayıf
Toplam katı madde	1200	720	350
Çözünmüş toplam katı madde	850	500	250
Toplam askıda madde	350	220	100
Çökebilir madde	20	10	5
BOİ <sub>5</sub>	400	220	110
Toplam organik karbon (TOK)	290	160	80
KOİ	1000	500	250
Toplam azot	85	40	20
Organik azot	35	15	8
Serbest amonyak	50	25	12
Nitrit	0	0	0
Nitrat	0	0	0
Toplam fosfor	15	8	4
Organik fosfor	5	3	1
İnorganik fosfor	10	5	3
Klorür	100	50	30
Alkalinite (CaCO <sub>3</sub> olarak)	200	100	50
Yağ-gres	150	100	50
Toplam koliform, sayı/100 mL	10 <sup>8</sup> -10 <sup>10</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>
Uçucu organik bileşikler, µg/L	>400	100-400	<100

Evsel atıksuyun önemli bir miktarı insan artıklarından, mutfak suyu, sebze ve yiyecek artıklarından meydana gelmektedir. Evsel atıksuda kişi başına oluşan kirletici madde yükleri Tablo 1.6'da verilmiştir. Bu atıksuda taze olduğu zaman bulanık veya sarı renklidir. Belirli bir kokuya sahiptir. Kendisini oluşturan maddelerin oksijen tüketici özelliklerinden dolayı çok az oksijen içerir. Bazen suda hiç oksijen bulunmayabilir. Az eğimli kanallarda veya uzun süren akışlarda anaerobik ayrışma meydana gelir ve bu nedenle suyun rengi kararır. H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> ve benzeri gazlar ortaya çıkar. Kanallarda meydana gelen bu ayrışma atıksuyun biyolojik yolla arıtılmasını zorlaştırır. Bu nedenle atıksu oluşumundan mümkün olduğu kadar kısa sürede arıtılmalıdır (Samsunlu, 2006).



Evsel atıksuyun miktarı ve özellikleri daha çok insanların yaşantılarına bağlıdır. Avrupa’da ortalama günlük su tüketimi 200 L/N.Gün, Almanya’da endüstriye sahip büyük şehirlerde 200-350 L/N.Gün olarak kabul edilmektedir. Türkiye’de ise 100-250 L/N.Gün değerleri esas alınmaktadır. Eğer bir değer verilmemiş ise yaklaşık olarak arıtma tesislerinin boyutlandırılmasında her 1000 kişi için 3-4 L/sn debi esas alınabilir. Son yıllarda kişilerin çevreye önem vermesi ve su tariflerinin yüksek oluşu nedeniyle su tüketiminde azalmaların olduğu dikkat çekmektedir (Samsunlu, 2006).

Tablo 1.6. Evsel atıksuda kişi başına oluşan kirlilik miktarları, gr/N.Gün (Imhoff, 1999)

<b>Kirletici Kaynak</b>	<b>İnorganik Katı Madde</b>	<b>Organik Katı Madde</b>	<b>Toplam</b>	<b>BOİ<sub>5</sub></b>
İnsan dışkısı	19	63	82	24
Mutfak ve banyo	11	47	58	30
İçme suyu	50	-	50	-
Toplam	80	110	190	60

Evsel atık su bünyesinde çok sayıda farklı madde bulunmaktadır. Her kademedeki atıksuyun karakterinin belirlenmesi için çeşitli parametrelerin ölçülmesi gerekir (Samsunlu, 2005). Bunların belirlenebilmesi için fiziksel, kimyasal, biyolojik ve bakteriyolojik deney ve yöntemlerden faydalanılır.

Bu metotlarla ölçümlerin yapılması ve parametre değerlerinin belirlenmesi,

1. Arıtılacak atıksuyu tanımaya
2. Arıtma tesisine gelen atıksu için arıtma tesisinin yeterli olup olmadığının belirlenmesine,
3. Arıtma tesislerinin kontrolüne ve işletilmesine faydalı olur.

Tablo 1.7’de atıkların kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan altyapı tesislerine verilmesinde ve kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan altyapı tesislerine verilmesinde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ile istenen parametre değerleri verilmiştir.

Tablo 1.8’de evsel nitelikli atıksuların arıtma sonucu alıcı ortama deşarjında sağlanması gereken değerler nüfusa bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 1.7. Atıksuların kanalizasyona/atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları (SKKY, Tablo 25)

Parametre, mg/L	Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atıksu alt yapı tesislerinde	Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde
Sıcaklık, °C	40	40
pH	6,5~10,0	6,0~10,0
AKM	500	350
Yağ ve gres	250	50
Katran ve petrolkökenli yağlar	50	10
KOİ	4000	600
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	1000	1000
Toplam Sülfür (S)	2	2
Fenol	20	10
Serbest Klor	5	5
Toplam Azot (N)	-(a)	40
Toplam Fosfor (P)	-(a)	10
Arsenik (As)	3	10
T. Siyanür (Toplam CN <sup>-</sup> )	10	10
T. Kurşun (Pb)	3	3
T. Kadmiyum (Cd)	2	2
T. Krom (Cr)	5	5
T. Civa (Hg)	0,2	0,2
T. Bakır (Cu)	2	2
T. Nikel (Ni)	5	5
T. Çinko (Zn)	10	10
T. Kalay (Sn)	5	5
T. Gümüş (Ag)	5	5
Klorür (Cl <sup>-</sup> )	10000	-
Yüzey Aktif Maddeler	Biyolojik olarak parçalanması TSE standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

(a)- Bu parametrelere atıksu değerlendirilmesinde bakılmayacaktır.

Tablo 1.8. Evsel nitelikli atıksuların ortama deşarj standartları (SKKY, Tablo 21)

(Sınıf 1 : Kirlilik yükü ham BOİ olarak 5-60 kg/Gün arasında, Nüfus &lt; 1000)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
BOİ <sub>5</sub>	mg/L	50	45
KOİ	mg/L	180	120
AKM	mg/L	70	45
pH		6-9	6-9

(Sınıf 2 : Kirlilik yükü ham BOİ olarak 60-600 kg/Gün, Nüfus = 1000 – 10000)

BOİ <sub>5</sub>	mg/L	50	45
KOİ	mg/L	160	110
AKM	mg/L	60	30
pH		6-9	6-9

(Sınıf 3 : Kirlilik yükü ham BOİ olarak 600 kg/Gün'den büyük, Nüfus &gt; 10000)

BOİ <sub>5</sub>	mg/L	50	45
KOİ	mg/L	140	100
AKM	mg/L	45	30
pH		6-9	6-9

### 1.2.3.2. Endüstriyel Atıksular

Endüstri atıksuları faaliyet alanına göre çok farklılık gösterebilmektedir. Endüstri atıksuları yeterli arıtma yapıldıktan sonra doğrudan doğruya yüzeysel suya deşarj edilebildikleri gibi ön arıtma sonrası kanalizasyona verilerek kentsel atıksu arıtma tesislerine gönderilebilmektedir (Samsunlu, 2006).

### 1.2.3.3. Sızıntı Suyu

Yeraltı suyunun yüksekliğine ve kanal şebekesinin kalitesine bağlı olarak bir miktar yer altı suyu kanalizasyona girerek arıtma tesisine gelir. Genel olarak sızıntı suyu temiz olarak kabul edilir. Sızma debisi farklı şekilde hesap edilebilir (Samsunlu, 2006):

- Oluşan atıksu debisinin %50-%100 gibi bir oranı sızma debisi olarak ilave edilir.

- Atıksuyun toplandığı alanın birim hektar değeri başına 0,1–0,2 L/sn.ha miktarında bir sızma debisi ilave edilir.
- Kanal uzunluğu başına 0,8 L/sn.km sızma debisi ilave edilir.

#### **1.2.4. Kirletici Maddelerin Arıtma Tesisinde Önemi ve Etkisi**

Evsel atıksu arıtma tesislerinin boyutlandırılmasında etkili olan iki önemli kirletici madde askıda katı madde ve organik maddelerdir. Katı maddelerin ölçümünde AKM parametresi ve organik maddelerin ölçümünde ise BOİ<sub>5</sub> parametresi kullanılmaktadır (Samsunlu, 2006).

##### **1.2.4.1. Toplam Katı Madde**

Toplam katı maddelerin (çözünmüş ve çözünmemiş) evsel atıksularda rastlanan miktarları (gr/N.Gün) cinsinden nüfusa bağlı olarak Tablo 1.9’da gösterilmiştir. Burada nüfus başına günlük su tüketimi 200 L/N.Gün olarak alınmıştır. Bu değerler genellikle insanların yaşam alışkanlıklarına ve ekonomik koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte Avrupa ve Almanya’da bu tabloda verilen değerler kullanılmaktadır. Örneğin beslenme alışkanlıkları vs. bağlı olan BOİ<sub>5</sub> değeri 35 ile 90 gr/N.Gün aralığında değişmektedir. Günlük su tüketimi 150 L/N.Gün olduğunda BOİ<sub>5</sub> değeri 54 gr/N.Gün alınmaktadır. Bazı araştırmacılar tarafından Türkiye’de bu değer 40 gr/N.Gün alınması önerilmektedir (Samsunlu, 2006).

Tablolarda organik katı madde olarak verilen değer, 550 °C’de yakma işlemi ile yok olan maddeleri (uçucu katılar), inorganik (mineral) katı maddeleri ve kalan sabit katıları ifade etmektedir. Kişi başı günde 200 L su kullanılan ve endüstrisi bulunmayan orta kirlilikte atıksuya sahip bir kentin askıda katı madde ve çözünmüş madde konsantrasyonları Tablo 1.10’da verilmiştir.

Tablo 1.9. Evsel atıksudaki katı madde miktarları ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı yükü

Parametre	İnorganik (mineral) Katı Madde, gr/N.Gün	Organik Katı Madde, gr/N.Gün	Toplam Katı Madde, gr/N.Gün	BOİ <sub>5</sub> , gr/N.Gün
Çözünmemiş Askıda Katı Madde				
a) Çökebilin	20	30	50	20
b) Çökemeyen	5	10	15	10
Çözünmüş Katı Madde	75	50	125	30
Toplam Kirlilik	100	90	190	60

Tablo 1.10. Evsel atıksuların özellikleri (Imhoff, 1999)

Parametre	İnorganik	Organik	Toplam	BOİ <sub>5</sub>
Çözünmemiş (Askıda) Katı Maddeler				
a) Çökebilin	100	150	250	100
b) Çökemeyen	25	50	75	50
Çözünmüş Katı Maddeler	375	250	625	150
Toplam	500	450	950	300

### 1.3. Atıksuların Denize Verilmeden Önce Arıtılmasında Uygulanan Temel İşlemler

Atıksular arıtılsın ya da arıtılmasın son noktada bir su kaynağına verilirler. Genellikle deniz, nehir, göl gibi bir yüzeysel su kaynağına verilir veya nadiren zemine sızdırılırlar. Atıksular, arıtılmadan deşarj edildikleri takdirde aşırı beslenmeye (ötrifikasyon), yüzeysel suların anaerobik bir ortama dönüşmesine, balık ölümlerine, koku yayılmasına sebep olurlar.

Atıksuların uzaklaştırılması ve gerekli tesislerin planlamasında mevcut şartlara ve ortama en uygun arıtma yönteminin seçimi önem taşımaktadır. Deşarjı yapılacak su ortamının özellikleri, kendi kendini temizleme öncelikle belirlenmelidir. Tasarımı yapacak mühendisin arıtma yöntemlerini ve yapılacak işlerin ekonomisini çok iyi bilmesi gerekmektedir. Burada farklı her bir yöntemle elde edilecek arıtma veriminin, arıtma maliyeti ve bu suyun yüzeysel su kalitesi üzerindeki etkisi önemlidir. Gerekli ekipman ve

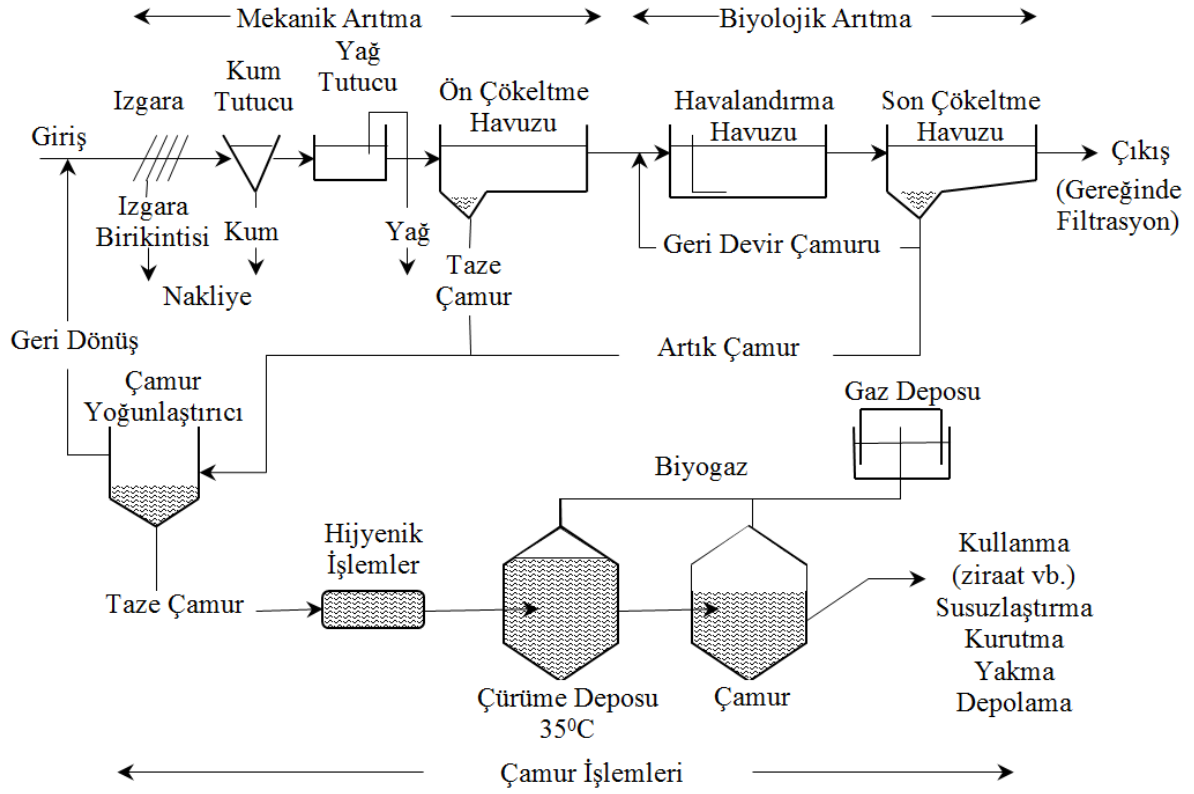
personel ihtiyacı doğru belirlenmeli, oluşan atıkların uzaklaştırılma biçimi, arıtılmış suyun yeniden kullanılıp kullanılmayacağı da tespit edilmelidir (Samsunlu, 2006).

### 1.3.1. Atıksu Arıtma Yöntemleri

Arıtma yöntemlerini, kullanılan işlemler bakımından üç grupta toplayabiliriz. Birinci yöntem fiziksel işlemlerden faydalanılarak geliştirilmiş olan mekanik arıtma yöntemidir. İkinci yöntem mikroorganizmaların ve biyokimyasal reaksiyonların rol oynadığı biyolojik arıtma yöntemidir. Diğer bir yöntem, kimyasal proseslere dayanan kimyasal arıtma yöntemidir (Samsunlu, 2006).

- Mekanik Arıtma Yöntemi
- Biyolojik Arıtma Yöntemi
- Kimyasal Arıtma Yöntemi

Atıksu arıtma yöntemleri birbirinden bağımsız olarak görülmemeli, bir bütünün birbirini tamamlayan parçaları olarak düşünölmelidir. Arıtma yöntemleri, arıtma sistemini oluşturan arıtma kademeleridir. Arıtma işleminde hangi yöntem veya yöntemlerin kullanılacağı; arıtma işleminin hangi kademeye kadar sürdürölebileceğı, deşarj yapılacak yüzeysel su için konulmuş su kalitesi limitlerine bağılıdır. Atıksuyun özelliklerine ve alıcı ortam deşarj standartlarına (arıtma ihtiyacına) bağılı olarak arıtma yöntemlerinden hangilerinin uygulanacağına ve arıtmanın hangi kademede sonlandırılacağına karar verilir ve atıksu gerekli görölen arıtma kademelerinden geçirilir. Böylece arıtma işleminin belli bir kademede durdurulması yeterli görölebilir veya tüm arıtma işleminin boyunca gerek görölmeyen bazı kademeler aradan çıkarılabilir. Üç arıtma yönteminin (fiziksel, biyolojik ve kimyasal) birlikte kullanıldığı iki kademeli bir arıtma sisteminin akım şeması Şekil 1.5'te görölmektedir.



Şekil 1.5. Bir atıksu arıtma tesisi akım şeması (Guyer, 2002)

### 1.3.1.1. Mekanik Arıtma Yöntemleri

Mekanik arıtma fiziksel yöntemlerle yapılan arıtma işlemlerini içermektedir. Bu nedenle bu arıtmaya “Fiziksel Arıtma” ve ayrıca “I. Kademe Arıtma” denmektedir. Mekanik arıtmada, atıksu içerisinde bulunan ve daha sonraki arıtma kademelerindeki işlemleri yavaşlatacak, engelleyecek ve donatımları (ekipmanları) bozacak özellikle gözle görülür nitelikte kirleticiler giderilir (Samsunlu, 2006). Mekanik arıtma birimleri:

- Izgara
- Elek
- Öğütücü
- Kum Tutucu
- Yağ Tutucu
- Çökeltme Havuzu
- Yüzdürme (Flatasyon) Havuzu

### 1.3.1.2. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Doğada rastlanılan biyolojik olaylardan faydalanılarak geliştirilmiş organik maddelerin bertarafını ve ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan yöntemlerdir. Bu arıtmaya “II. Kademe Arıtma” da denilmektedir (Samsunlu, 2006).

Yapay Biyolojik Yöntemler:

- Aktif çamur havuzu
- Damlatmalı filtre
- Biyodisk
- Stabilizasyon havuzu
- Çamur çürütme birimi

Doğal Biyolojik Yöntemler:

- Arazide arıtma (zemine sızdırma, sulama, yüzeyden akıtma vs.)
- Su ortamında arıtma (su bitkileri, sulak alanlar, vs.)

### 1.3.1.3. Kimyasal Arıtma Yöntemleri

Evsel atıkların kimyasal işlemlerle arıtımında normal olarak kendi halinde çökelemeyen maddelerin kimyasal madde ilavesi ile çökmesi ve zararlı mikroorganizmaların bertarafı (dezenfeksiyonu) gerçekleştirilebilir (Samsunlu, 2006).

Kimyasal arıtma yöntemleri;

- Nötralizasyon
- Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma (Koagülasyon ve flokülasyon)
- Yüzdürme (Flotasyon)
- Kristallendirme
- Diyaliz ve Elektroliz
- Havalandırma
- Kimyasal Oksidasyon
- Kimyasal İndirgeme
- İyon Değiştirme
- Santrifüjleme



- Süzme (Filtrasyon)
- Dezenfeksiyon
- Buharlaştırma ve Kurutma
- Adsorbsiyon (Yüzeye Tutunma)

### **1.3.2. Atıksu Arıtımında Uygulanan İşlemler ve Prosesler**

İri maddeler, kendiliğinden çökebilen maddeler sudan mekanik yöntemlerle uzaklaştırılır. Mekanik yöntemler süzme, filtrasyon, çökelme, yüzdürme (flotasyon) gibi işlemleri kapsar. Bu yöntemlerin bir kısmı evsel suların arıtımında uygulanmaz. Bu yöntemlerle çözünmemiş askıda katı maddeler uzaklaştırılır (Samsunlu, 2006).

Çökebilen maddelerin ayrılması ile atıksu bir miktar durulanmasına rağmen atıksu içerisinde çözünmüş ve kolloid maddeler kalır. Bu maddeler mekanik arıtma sonrası uygulanacak biyolojik arıtma yöntemleri ile sudan uzaklaştırılırlar. Suda çözünmüş haldeki maddelerin, mekanik olarak uzaklaştırılması istenirse, öncelikle moleküllerin yumaklar halinde bir araya gelmesi sağlanarak askıda katı madde oluşturulur ve oluşan yumaklar mekanik yöntemlerle uzaklaştırılır (Samsunlu, 2006).

Çözünmüş ve çözünmemiş madde ara fazında kolloid olarak tanımlanan yarı çözünmüş maddeler bulunur. Bu maddeler fiziksel, kimyasal veya elektrokimyasal yollarla ya çözünmemiş maddeye dönüştürülür (yumaklaştırılırlar) ya da parçalanarak çözünmüş maddeye dönüştürülürler. Yumaklaşmış kolloid pişmiş yumurta akına benzer. Yumurta akının midede çözülmesi gibi su içindeki kolloidlerde yumaklaşmanın ardından bakteri fermentasyonu ile çözülürler. Atıksu kolloidleri protozoaların yaşamsal faaliyetleri sonucunda biyolojik bir olayla yumaklaşırlar (Samsunlu, 2006).

Atıksu içerisindeki maddeler organik ve inorganik asılıdır. Mineral maddeler bünyelerinde karbon içermezler, CO<sub>2</sub> gibi oksijene doygun haldedirler. Organik maddeler ise karbonun diğer elementlerle oluşturduğu bileşiklerdir. Atıksularda rastlanan maddeler saf kimyasal maddeler olmayıp insanların, hayvanların ve bitkilerin yaşamsal faaliyetlerinden ortaya çıkan atıklardır. Bu maddeler başlıca karbon, azot ve kükürtten ibarettir (Samsunlu, 2006).

Atıksudaki maddeler oldukça kararsız olup çabuk form değiştirirler. Bu madde değişimlerinin bir kısmı kimyasal olup bu nedenle kimyasal arıtma yöntemleri önem

taşımaktadır. Atıksudaki madde değişimi olayı kimyasal yönden birbirine zıt iki yönde gerçekleşir; oksijene mevcut olduğu durumda yükseltgenme (oksidasyon), oksijenin bulunmadığı durumda ise indirgenme (redüksiyon) fazında gerçekleşir. Atıksuyun biyolojik arıtımı bir yükseltgenme, çamur çürütme işlemi ise indirgenme reaksiyonuna örnek olarak verilebilir (Samsunlu, 2006).

Atıksuda bulunan ayrışabilen organik maddeler bakteriler aracılığıyla, oksijen kullanılarak ayrışmayan son ürünlere dönüştürülür. Suda yeterli oksijen varsa aerobik bakteriler bu görevi üstlenirler. Oksijen tüketildiğinde aerobik bakteriler görev yapamazlar ve anaerobik bakteriler devreye girerler. Bu bakteriler nitrat ve sülfata bağlı oksijenle yaşamlarını sürdürürler. Bakteriler tarafından oksidasyon sırasında CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> meydana çıkarır. Eğer atıksuda yeterli miktarda alkali maddeler varsa asitlerden karbonat, nitrat, sülfat gibi tuzlar oluşur. Karbondioksidin bir kısmı çözeltide kalır veya uçar. Bu şekilde aerobik ortamda organik maddelerin stabilizasyonu tamamlanmış olur (Samsunlu, 2006).

Kirletici maddeler ve bunların giderilmesi, tutulması için evsel atıksu arıtma tesislerinde yaygınlıkla kullanılan arıtma birimleri Tablo 1.11.'de verilmiştir. Çeşitli arıtma kademelerinin kirletici maddelerin giderimi üzerindeki etkisi Tablo 1.12'de BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, TP, Organik Azot ve Amonyak Azotu açısından değerlendirilmiştir.

Tablo 1.11. Atıksu arıtma tesisi temel işlemlerin fonksiyonları (Metcalf & Eddy, 1991)

<b>İşlem</b>	<b>Fonksiyon</b>
Izgara ve Elekler	İri askıda veya yüzen maddelerin ayrılması
Kum Tutucu	İnorganik iri çökebilir maddelerin (kum vb.) ayrılması
Ön Çökeltme	Yerçekimiyle çökebilir maddelerin ayrılması
Biyolojik Reaktörler (Aktif Çamur, Damlatmalı Filtre, Biyodiskler vb.)	Çözünmüş ve yarı çözünmüş organik maddelerin giderimi
Son Çökeltme Havuzu	Arıtma sırasında oluşan biyolojik ve kimyasal yumakların sudan ayrılması
Dezenfeksiyon	Hastalık yapan mikroorganizmaların ve bakterilerin giderimi
Koagülasyon	Partikül büyüklüğünü arttırmak için kimyasal madde ilave ederek karıştırma
Denitrifikasyon	Besi maddesi giderimi

Tablo 1.12. Çeşitli arıtma işlem ve proseslerin giderim verimleri (Metcalf &amp; Eddy, 1991)

Arıtma Metodu	Giderim Verimleri, (%)					
	BOİ <sub>5</sub>	KOİ	AKM	TP	Org-N	NH <sub>3</sub> – N
İlk Arıtma	-	-	5-10	-	-	-
Ön Çökeltim	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Aktif Çamur	80-85	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Damlatmalı Filtre	60-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Dezenfeksiyon	-	-	-	-	-	-
Koagülasyon ve Çöktürme	40-70	40-70	50-80	70-90	50-90	-
Koagülasyon ve Biyolojik Arıtma	80-90	80-90	70-90	75-85	60-90	-
Biyolojik Arıtmadan Sonra Kireç İlavesi	50-70	50-70	60-80	70-90	60-90	-
Biyolojik Arıtmaya Kireç İlavesi	80-90	80-90	70-80	75-85	60-90	-
Nitrifikasyon ve BOİ Giderimi	50-70	50-60	-	-	40-50	90-96
Nitrifikasyon (ayrı)	50-70	50-60	-	-	40-50	90-96
Denitrifikasyon	-	-	-	-	-	-
Amonyak Sıyırma	-	-	-	-	-	-
Kırılma Noktası Klorlaması	-	-	-	-	60-85	80-90
İyon Değiştirme	-	-	-	-	-	90-95
Filtrasyon	20-50	20-50	60-80	20-50	50-70	-
Karbon Adsorbisyonu	50-85	50-85	50-80	20-30	30-50	-
Ters Osmoz	90-100	90-100	-	90-100	90-100	60-90
Elektrodiyaliz	20-60	20-60	-	-	80-95	30-50

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1.Giriş**

Bu tez çalışmasında deniz deşarj sistemleri, deşarj parametreleri, atıksuların seyrelmesi, su kalitesi standartları, deniz araştırmaları incelenmiş olup, boru hatlarının korunması ve dengesi, denize deşarj boru hatları üzerine gelen dalga ve akım kuvvetleri, çevrıntiler nedeniyle borulardaki salınımlar ile deşarj boru hatlarının stabilite hesapları detaylı olarak anlatılmıştır.

### **2.2. Deniz Deşarjı Sistemleri**

#### **2.2.1. Deşarj Parametreleri**

Atıksuların denize deşarjında öncelikle göz önünde tutulması gereken hususlar aşağıda verilmiştir.

- a. Denizin estetik görünüşünü bozan yüzücü katı maddeler ve yağ-gres deşarjdan önce atıksudan ayrılmalıdır.
- b. DDT, PCB, PCP, ağır metaller vb. zehirli maddelerin atıksuya karışması önlenmelidir.
- c. İyi projelendirilmiş ve yeterince uzun deşarj hatlarında BOİ, askıda madde, çözünmüş oksijen, tuzluluk ve besi maddeleri (nütrientler) gibi deşarj suyu parametreleri fazla önem taşımamaktadır.

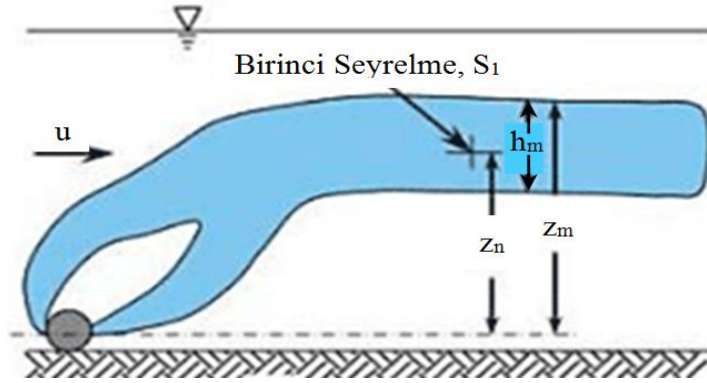
Yukarıdaki hususlar göz önünde tutularak projelendirilmiş bir deşarj sisteminde atıksu ve içindeki kirlilik unsurları deşarj ortamında seyreltilerek halk sağığı ve estetik bakımından gerekli şartlar emniyetle ve ekonomik bir şekilde sağılanabilir (Berkün, 2006).

#### **2.2.2. Deşarj Edilen Atıksuların Seyrelmesi**

Derin deniz deşarjları yeterli arıtma kapasitesine sahip olduğı mühendislik çalışmaları ile tespit edilen alıcı ortamlarda, denizin seyreltme ve doğıal arıtma

süreçlerinden faydalanmak amacıyla atıksuların sahillerden belirli uzaklıklarda deniz dibine boru ve difüzörlerle deşarj edilmesi esasına dayanmaktadır. Uzun bir deşarj hattı ile denize verilen atıksuların bünyesindeki kirleticiler deşarj ortamında birinci, ikinci ve üçüncü seyrelme şeklinde üç değişik yolla seyrelebilirler (Atıksu Arıtma Tesislerinde Teknik Usuller Tebliği, Madde-4).

- a. Denize karışım sırasında atıksular öncelikle kıyıdaki son pompajdan veya kanalizasyon sisteminin son bölümündeki düşüden kaynaklanan enerji yardımıyla deniz deşarj hattı ucundaki difüzör deliklerinden denize verilir. Birinci seyrelme ( $S_1$ ) olarak tanımlanan ilk faz, atıksu akımının taşıdığı bu enerji ve atıksu ile deniz suyu arasındaki yoğunluk farkından kaynaklanan deniz içindeki hareketinden ve bu hareket sırasında temiz deniz suyuyla karışımından meydana gelir (Şekil 2.1). Atıksuyun başlangıçta sahip olduğu noktada sona erer. Bu şekilde meydana gelen atıksu ve deniz suyu karışımının oluşturduğu atıksu bulutu, deniz ortamının doğal hareketlerine bırakılır. Atıksu bulutunun deniz dibi veya derinlik boyunca herhangi bir tabakada asılı kalması mümkün olduğu gibi, derinliğin yetersiz olduğu deniz kesimlerinde veya özel deniz koşulları altında bulut yüzeye de çıkabilir.



Şekil 2.1. Birinci seyrelme

- b. Atıksu bulutunun hareketi, bulunduğu derinlikteki akıntılarla ilgilidir. Çok durgun ve hareketsiz bir denizde, bulut ilk meydana geldiği noktayı merkez olarak çok yavaş bir hızla yayılıp seyreler. Derinlerde gömülü kalan batık atıksu bulutları, o derinlikteki akıntılara kapılarak yüzeydeki gözlemlere göre farklı yönlerde de

hareket edebilir. Atıksu bulutunun büyüme ve uzaklaşma hareketi sırasında, bulutu çevreleyen deniz suyu ile karışarak seyrelmesi ikinci seyrelme ( $S_2$ ) olarak adlandırılır. İkinci seyrelmede etkili başlıca faktörler; akıntı, türbülans difüzyon ve boyuna dispersiyondur.

- c. Deniz deşarjı projelerinde, denizin bakteriyolojik kalitesi, indikatör olarak kullanılan toplam veya fekal koliform grubu mikroorganizmaların belirli bir konsantrasyonunun altında tutulması ile sağlanır. Deniz ortamında bu türden kirleticilerin, atıksuların deniz içerisinde boşaltıldığı andan itibaren, projeye korunması hedef alınan atıksuların bölgeye, mesela bir plaja, ulaşmasına kadar geçecek zaman boyunca miktarının, güneş ışınlarının radyasyon tesiri, tuzluluk ve çökelen maddelere tutunma gibi etkilerle, kendi kendine azalması da üçüncü seyrelme ( $S_3$ ) olarak adlandırılır. Üçüncü seyrelme sadece deniz ortamında fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlara girerek nitelik değiştiren korunamayan tipteki kirletici parametreler için söz konusudur. Mikroorganizmaların deniz ortamında %90'ının yok olması için geçen süreyi temsil eden  $T_{90}$  değeri, korunamayan türdeki indikatör kirletici toplam veya fekal koliform grubu mikroorganizmaların üçüncü seyrelmesinde önemli rol oynar.

### 2.2.3. Su Kalitesi Standartları

Su kalitesi standartları, sahil sularının kullanılma maksadına göre değişir. Evsel atıksuların denize deşarjında, deşarj hattı boyunun belirlenmesinde, koliform mikroorganizma konsantrasyonu sınırlayıcıdır. Bu yüzden deşarj sisteminin ekonomik olarak projelendirilmesinde koliform standartları önemli rol oynar. Koliform standartları deniz suyunun halk sağlığı ve estetik bakımdan yeterli özellikte olması göz önüne alınarak tespit edilir (Berkün, 2006). Çeşitli ülkelere ait koliform standartları Tablo 2.1'de, evsel atıksu debilerine göre minimum deşarj boru boyu ise Tablo 2.2'te görülmektedir.

Derin deniz deşarjından önce sadece sınırlı düzeyde bir arıtma yapıldığı için, deniz ortamının korunabilmesi amacıyla derin deniz deşarjıyla alıcı ortama verilebilecek atıksu özellikleri sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırmalar Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te belirtilmektedir.

Tablo 2.1. Çeşitli ülkelerin koliform standartları

Ülke	Organizma Türü	Koliform (En Muhtemel Sayı, EMS)/100 mL			
		%50	%80	%90	%95
ABD (California)	Koliform	230	1000		
Danimarka	E.Koliform		100		1.000
Japonya	E.Koliform		1000		
Hollanda	E.Koliform	100-1000			
Rusya	E.Koliform	1000			
İsveç	E.Koliform	100			
Türkiye	Toplam Koliform E.Koliform			1000 200	

Tablo 2.2. Evsel atıksu debilerine göre minimum deşarj boru boyu

Nüfus	Debi	Minimum Deşarj Boru Boyu
<1000	200 m <sup>3</sup> /gün	500 m
1000-10000	200-2000 m <sup>3</sup> /gün	1300 m

Tablo 2.3. Derin deniz deşarjına izin verilebilecek atıksuların özellikleri

Parametre	Sınır	Düşünceler
pH	6-9	
Sıcaklık	35°C	
Askıda Katı Madde (mg/L)	350	
Yağ ve Gres (mg/L)	15	
Yüzer Maddeler	Bulunmayacaktır	
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	250	
KOİ (mg/L)	400	
Toplam Azot (mg/L)	40	
Toplam Fosfor (mg/L)	10	
Yüzey Aktif Maddeleri (mg/L)	10	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enst. Standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.
Diğer Parametreler		Tehlike ve zararlı maddeler tebliğinde bu parametreler için verilen sınır değerlere uymalıdır.

Tablo 2.4. Derin deniz deşarjı için uygulanacak kriterler

Parametre	Limit
Sıcaklık	Deniz ortamının seyrelme kapasitesi ne olursa olsun, denize deşarj edilecek suların sıcaklığı 35°C'yi aşamaz. Sıcak su deşarjları difüzörün fiziksel olarak sağladığı birinci seyrelme (S <sub>1</sub> ) sonucunda karıştığı deniz suyunun sıcaklığını Haziran-Eylül aylarını kapsayan yaz döneminde 1°C'den, diğer aylarda ise 2°C'den fazla arttıramaz. Ancak, deniz suyu sıcaklığının 28°C'nin üzerinde olduğu durumlarda, soğutma amaçlı olarak kullanılan deniz suyunun deşarj sıcaklığına herhangi bir sınırlama getirmeksizin alıcı ortam sıcaklığını 3°C'den fazla arttırmayacak şekilde deşarjına izin verilebilir.
EMS Toplam ve Fekal Koliformlar	Derin deniz deşarjıyla sağlanacak olan toplam seyrelme sonucunda insan teması olan koruma bölgesinde, zamanın %90'ından, EMS olarak toplam koliform seviyesi 1000 TC/100 mL ve fekal koliform seviyesi 200 FC/100 mL'den az olmamalıdır.
Katı ve Yüzen Maddeler	Difüzör çıkışı üzerinde, toplam genişliği o noktadaki deniz suyu derinliğine eşit olan bir şerit dışında gözle izlenebilecek katı ve yüzer maddeler bulunmayacaktır.
Diğer Parametreler	Yönetmelikte verilen sınırlara uyulacaktır.

#### 2.2.4. Deniz Araştırmaları

Deşarj yeri ve alıcı ortam özellikleri ile ilgili verileri elde etmek için kapsamlı araştırmalara ihtiyaç vardır. Bu araştırmalarda,

- Deniz ortamının durumunun tesbiti
- Deniz ortamının muhtemel çevre etkilerinin tahmini
- Deniz deşarj sistemi tasarım ve inşasına esas verilerin elde edilmesi

gibi hedefler gözetilir. Söz konusu hedeflere ulaşmak üzere ölçülmesi gerekli fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler ile numune alma programının çerçevesi ve süresi iyi tayin edilmelidir (Öztürk, 1996).

Şehir kanalizasyon şebekesi ana kollektörü veya kollektörlerinin uç noktaları ile varsa atıksu arıtma tesisi çıkış noktası dikkate alınarak öncelikle muhtemel deniz deşarjı noktaları belirlenir. Daha sonra deşarj hattı güzergah alternatifleri mevcut Seyir Hidrografi ve Oşinogrofi Dairesi haritaları üzerinden tahkik ederek bilhassa deniz tabanı topoğrafyası, kıyı ve liman yapıları, batıklar yönünden uygun olanı seçilir. Bu ön etütte Liman



Başkanlıkları ile yerel balıkçılardan sağlanacak bilgiler büyük önem taşımaktadır. Deniz araştırmaları seçilen güzergah veya güzergahlarda hattın her iki yanında sahildeki çıkış noktasındaki genişlik tercihen 200 m'den az olmamak üzere açığa doğru deşarj hattı doğrultusu ile 30° lik açı yapar tarzda genişletmek üzere genelde 40-50 m derinliğe kadar olan sahada planlanır (Öztürk, 1996).

Deniz araştırmalarının yürütüleceği sahada daha önceden yapılmış çalışmalar derlenir. Genellikle 1/100000 veya 1/25000 ölçekli batimetrik haritalar Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesinden temin edilebilir. Ayrıca liman idarelerinde veya Belediyelerde de bu tür bilgiler bulunabilir. Batimetrik haritalara ilaveten, alıcı ortamın oşinografik özellikleri, akıntı veya dalga durumu ile bazen su kalitesi durumu da çeşitli kuruluşlarca daha önceden belirlenmiş olabilir. Dolayısıyla dikkatli bir inceleme ile deniz araştırmalarının kapsamı ve maliyeti büyük ölçüde azaltılabilir. Böylece sadece belli parametrelerin kontrolü gayesiyle yapılacak az sayıda teyid ölçümü ile gerekli veriler derlenebilir (Berkün, 2006).

Alıcı ortamın mevcut kirlilik durumu ile ilgili olarak öncelikle kirletici kaynaklar ve kirlilik yükleri, avlanan deniz ürünlerinin tür ve miktarları, sahillerin kullanma maksatları gibi temel bilgiler elde edilmelidir. Bu çerçevede derlenmesi gerekli veriler aşağıda sıralanmıştır (Berkün, 2006).

- a. Mevcut topografik veriler ve batimetrik haritalar
- b. Hidrografik özellikler (akıntılar, gel-git, dalga vb.)
- c. Yöredeki rüzgar hız, yön ve sayıları
- d. Alıcı ortamın mevsimlik sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk profilleri
- e. Kirletici kaynaklar ve kirlilik yükleri, varsa arıtma tesisi özellikleri ve çıkış suyu kalitesi
- f. Sahil sularının ve plajların su kalitesi durumu ve kullanım maksatları
- g. T<sub>90</sub>, türbülans difüzyon katsayısı ölçümleri
- h. Deniz tabanı flora ve faunası durumu

Yukarıda belirtilen verilerin derlenebilmesi için iki tür araştırmaya ihtiyaç vardır.

1. Fiziksel araştırmalar
2. Kimyasal ve biyokimyasal araştırmalar

Elde edilen verilerin daha iyi yorumlanabilmesi için bu iki grup araştırmanın olabildiğince eş zamanlı olarak yürütülmesi gerekir. Kimyasal ve biyokimyasal verilerin

önceden derlenmesi durumunda mevcut sonuçların mutlaka çalışma dönemindeki hidrografik özellikler göz önünde tutularak yorumlanması gerekir (Öztürk, 1996).

İdeal durumda deşarj ortamındaki örnekleme (numune alma) istasyonları yatay düzlemde ve iki boyutlu eksen takımında bir ağ oluşturacak tarzda seçilir. Ancak deniz araştırmalarının maliyetinin yüksek oluşu dolayısıyla istasyon sayısı asgari tutulur. Çoğu kere deşarj hattı güzergahı üzerinde 10, 20 m derinlik ve difüzör hizasında olmak üzere asgari 3 istasyon seçilir. Bu istasyonlar dışında difüzörün her iki tarafında ilave iki istasyon daha seçilmesi deşarj sonrası izleme açısından uygun olacaktır (Öztürk, 1996).

Su kalitesi durumu, oşinografik parametreler, biyolojik parametreler (birincil üretim, klorofil vs.) ile flora ve fauna asgari 3 mevsim (baharlar ve yaz) izlenmelidir.

Rüzgar verileri genellikle yöreye en yakın meteoroloji istasyonundan temin edilebilir. Ancak bazı yörelerde rüzgar durumu mahalli şartlara aşırı duyarlı olabilir ve yakınındaki istasyonlardan büyük ölçüde fark edebilir. Bu gibi durumlarda geçici bir meteoroloji istasyonu tesis etmek sureti ile deşarj yerine has rüzgar verilerinin elde edilmesi gerekebilir (Berkün, 2006).

Çoğu kez ön araştırmalarda deniz deşarj hatlarının fizibilite analizine esas olmak üzere sınırlı sayıda parametre ile çalışmak gerekebilir. Bu maksatla genellikle sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk profilleri, akıntılar ve deşarj hattı güzergahı boy kesiti dikkate alınır. Kısa süreli, fizibilite çalışmaları için söz konusu verilerin örneğin sadece kritik mevsim olan, yaz dönemi sonuçları ile yetinilebilir. Ancak genelde 1 yıldan daha kısa süreli deniz araştırmalarının tercih edilmemesi gerekir. Numune alma sıklığı alıcı ortamın özelliğine göre tayin edilir. Kapalı koy ve körfezlerdeki deniz araştırmaları daha uzun süreli ve kapsamlı olarak planlanmalıdır. Deniz deşarjı öncesi araştırmalar, daha sonra kullanılması düşünülen modellerin kalibrasyonu için gerekli parametrelerin ölçümünü de içermelidir (Öztürk, 1996).

İnşaat safhası için deşarj güzergahındaki deniz tabanı zeminin geoteknik özelliklerinin de belirlenmesi gerekir. Bu yüzden deniz dibi sondajları ile zemin sınıfı, kıvam limitleri, özgül ağırlık, organik madde muhtevası, granülometrik özellikler, hendek şev açısı ve taşıma gücü gibi temel geoteknik parametreler belirlenmelidir. Ayrıca gerektiğinde kıyı erozyonu ve taban profilinin yıl boyunca değişimi ile kararlı durum profili de araştırılmalıdır (Öztürk, 1996).

Deniz araştırmaları oldukça masraflıdır ve deniz deşarj sistemi yatırım maliyetinin %1 ile %2'sine karşı gelir.

Deşarj hattı işletmeye açıldıktan sonra da düzenli izleme programı ile alıcı ortamın su kalitesi ve deşarj hattının durumu kontrol edilmelidir. Bu çerçevede genellikle çözünmüş oksijen seviyesi, BOİ<sub>5</sub>, Yağ-Gres, Koliform, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>-P, Fenol vb. su kalitesi parametreleri izlenir. Ayrıca birincil üretim, kabuklu deniz hayvanlarında (midye, istiridye vb.) ağır metal ve bakteri birikimi, sechi diski derinliği gibi ilave parametrelerde belli aralıklarla ölçülmelidir. Sürekli izleme için büyük kuruluşlar kendi izleme personel, vasıta, ekipman ve laboratuvarlarını kurabilirler. Daha küçük idareler bu konuda sürekli personel, vasıta ve laboratuvar donanımı olan üniversite veya özel kuruluşlardan yararlanabilirler (Berkün, 2006).

### **2.2.5. Derin Deniz Deşarjıyla Alıcı Ortamlarda Boşaltım**

Denize kıyısı olan yerleşimler ve kıyı bölgelerinde bulunan endüstriler için, alıcı ortamlarda yeterli seyreltme kapasitesinin bulunduğunun ayrıntılı mühendislik çalışmaları sonucunda kanıtlanması halinde, atıksuların ve soğutma sularının derin deniz deşarjıyla bertarafına izin verilir. Bu durumlarda evsel ve endüstriyel atıksular için alıcı ortamlara doğrudan deşarj için belirlenmiş olan deşarj standartları uygulanmaz. Arıtılmamış evsel nitelikli atıksuların ve soğutma sularının değişim ve seyreltme potansiyeli düşük olan yarı kapalı koy ve körfezlerde, coğrafi şartlar nedeni ile derin deniz deşarjı yapılması zorunlu olursa, yapılacak deşarjın alıcı ortamdaki ekolojik dengeleri bozmayacağı ve özellikle tehlike maddelerinin Su ve çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen maddelerin birikim yapmayacağı, bir çevresel etki değerlendirme çalışması ile ispat edilirse, bu yönetmeliğin 42. Maddesi uyarınca izin verilir.

### **2.3. Boru Hatlarının Korunması ve Dengesi**

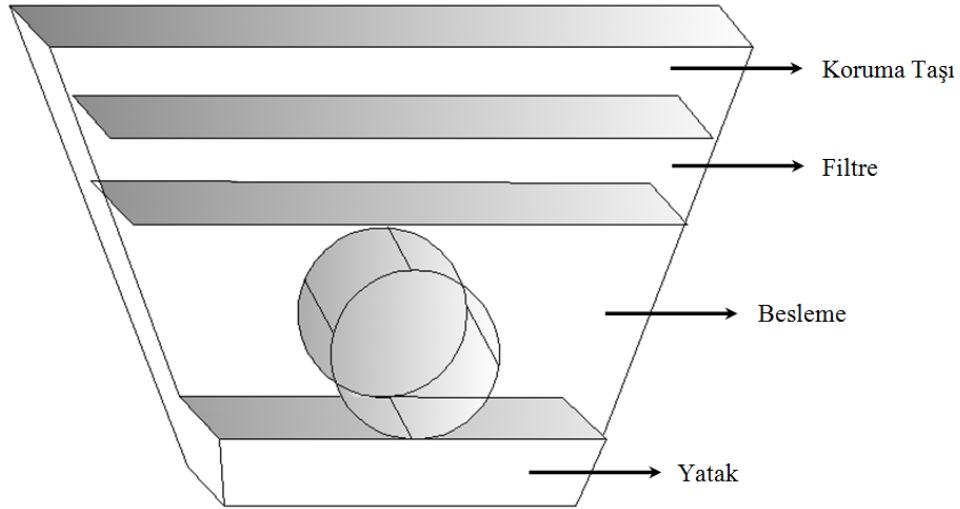
Boru hattını evre etkilerden korumak ve dengesini sağlamak için kullanılan yöntemler şu şekilde özetlenebilir (Gündemir, 2006).

- Gömme
- Ağırlık Ekleme

- Ankrajlama
- Koruma Taşı Uygulaması

### 2.3.1. Gömme

Bu yöntem genellikle en ucuz ve en etkin olarak kabul edilen yöntemdir. Deniz tabanının fazla hareketli olduğu bölgelerde, boru hattının güvenliği, gömme derinliği mümkün olan en düşük deniz tabanı seviyesi altında tutularak sağlanmalıdır (Şekil 2.2). Eğer tamamen gömme, boru hattının bütün ömrü boyunca güvenliği sağlıyorsa başka önleme gerek yoktur (Gündemir, 2006).

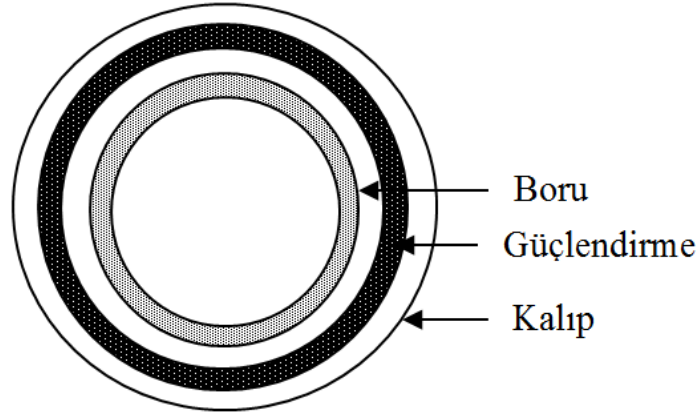


Şekil 2.2. Örnek bir yerleştirme şekli (Anonim, 1990)

### 2.3.2. Ağırlık Ekleme

Bu olay bir ağırlık örtüsü ile gerçekleştirilebilir (Şekil 2.3);

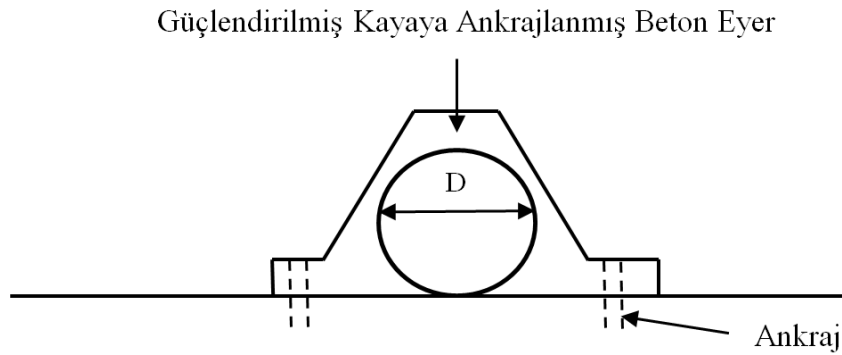
- Ağırlaştırılmış boru malzemesi kullanılarak
- Boru et kalınlığı artırılarak
  - a. Boydan boya
  - b. Yer yer



Şekil 2.3. Döküm yöntemiyle beton ağırlık örtüsü uygulaması  
(Anonim, 1990)

### 2.3.3. Ankrajlama

Bazı boru hatları (deniz tabanına tespit edilmek için) kazık kullanılarak inşa edilirler. Vida ve kaya ankrajlar da boruların deniz tabanındaki emniyetini sağlamak için kullanılırlar. Ankrajlama, genelde dalga ve akıntıya açık haldeki boruların dengelenmesi için iyi bir iyileştirme yöntemi olarak kullanılır. Şekil 2.4'te ankrajlı boruya örnek görülmektedir.



Şekil 2.4. Ankrajlı boru (Anonim, 1990)

### 2.3.4. Taş Doldurma/Koruma

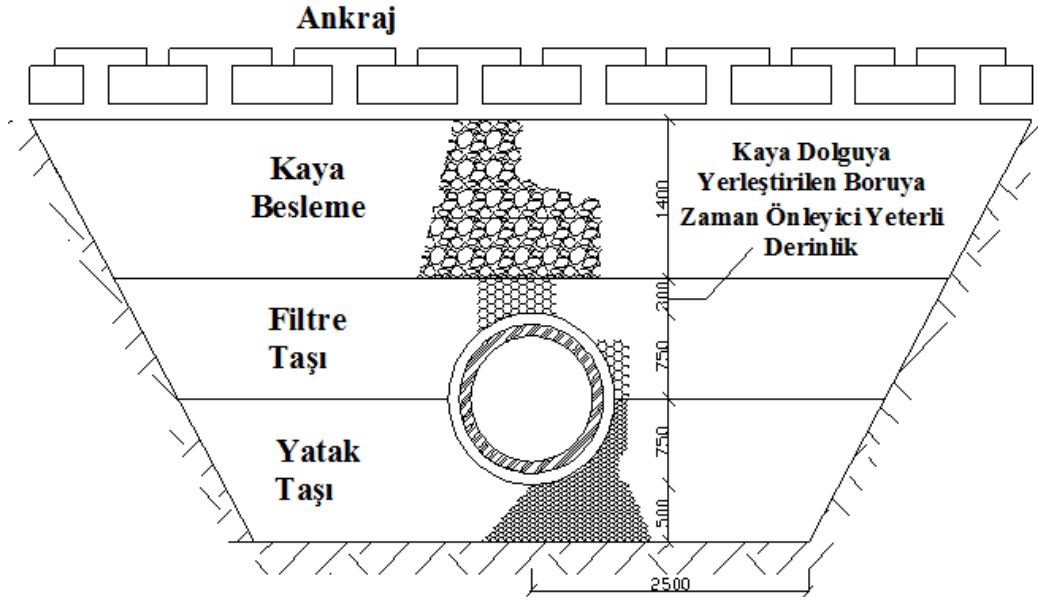
Boru hattının koruma taşı ile örtülmesi boru hattının dengelenmesi ve korunması için kullanılan bir yöntemdir. Koruma taşı tasarımında, deniz tabanının geoteknik özelliklerinin

ve akım hızının bilinmesi gerekir. Deniz tabanı sedimentinin, sınıflandırılması ve filtrenin boyutlandırılması için, akım hızları gereklidir (Gündemir, 2006).

Koruma taşı tasarımı için iki ana gereklilik vardır.

- a. Koruma taşı boyutu
- b. Filtre tasarımı

Şekil 2.5'te ise tipik bir taş doldurulmalı boru kesiti görülmektedir.



Şekil 2.5. Tipik bir taş doldurulmalı boru kesiti (Anonim, 1990)

#### 2.3.4.1. Koruma Taşı Boyutu

Borunun hendek içinde gömülü olarak geçeceği bölgede açılacak hendekte kullanılan dolgu malzemesinin, dalga etkisi ile taşınmayacak çapta ve ağırlıkta olması gerekir. Hendek dolgu malzemesi çapının hesabı ile ilgili çeşitli yöntemler bulunmaktadır.

Boru hattı korunması için taş kullanılmasının artması ile birlikte, istenilen taş boyutunu belirlemek için birçok formül geliştirilmiştir. Formüllerden, kıyı koruma taşlarını boyutlandırmak, kumlar ve çakıllar için başlangıç hareketini önceden belirlemekte yararlanır. Fiziksel esasları olması ile beraber, bunlar genelde ampirik bağıntılardır. Bu formüller ön tasarım için tasarım kontrolleri veya düşük maliyetli projeler için uygundur.

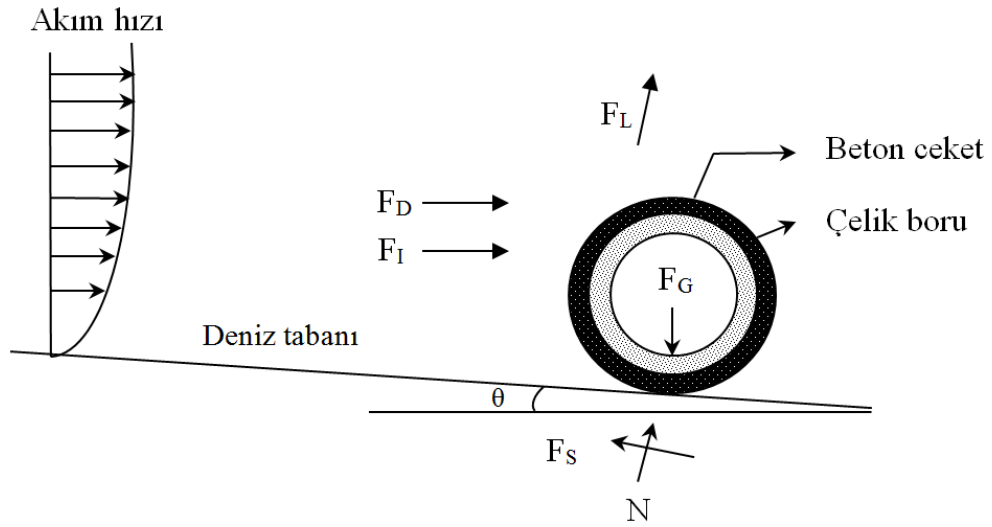
Büyük çaplı bir yatırım olduğu yerlerde, ön tasarım hesaplarının kapsamlı fiziksel model testleriyle doğrulanmaya ihtiyacı vardır (Gündemir, 2006).

## 2.4. Boru Üzerine Gelen Kuvvetlerin Hesabı

Su altındaki bir boru hattı; permenan ve permenan olmayan akımların ve dalgaların sebep olduğu kuvvetlerin etkisi altındadır.

### 2.4.1. Dalga ve Akım Kuvvetleri

Borunun dış yüzeyinde, yarattığı basınç farkı ve sürtünmeler nedeniyle, akım ve dalga boruya kuvvet uygulamaktadır. Şekil 2.6'da boruya etkiyen kuvvetler görülmektedir.



Şekil 2.6. Boru üzerindeki hidrodinamik kuvvetler (Mousselli, 1981)

Bu çizimdeki ifadeler aşağıda tarif edildiği gibidir:

$F_G$  : Beton ceket örtüsünü içeren borunun sıvı içerisinde batmış durumdaki ağırlığı

$F_D$  : Akım yönünde, akımın boruya uyguladığı sürükleme kuvveti

$F_I$  : Atalet kuvveti

$F_L$  : Akıma dik yönde akımın boruya uyguladığı kaldırma kuvveti

$N$  : Normal kuvvet

$F_s$  : Sürtünme kuvveti

$\theta$  : Tabanının yatayla yaptığı açı

$\mu_s$  : Deniz tabanı ile boru yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı

Boru hattının deniz tabanı üstünde sabit kalabilmesi için sıvı dolu borunun akım içindeki ağırlığı  $F_G$ , eşitlik 2.1 ve eşitlik 2.2'deki statik denge denklemlerinden bulunacak  $F_G$ 'ye eşit veya daha büyük olmalıdır. Statik dengenin sağlanmadığı durumlarda boru hattı üzerine ağırlıklar yerleştirilmesi gerekecektir.

Borunun taban doğrultusundaki hareket denklemi

$$F_D + F_1 - F_s - F_G \sin\theta = 0 \quad (2.1)$$

Borunun, tabana dik yönde hareket denklemi

$$N + F_L - F_G \cos\theta = 0 \text{ veya } N = W \cos\theta - F_L \quad (2.2)$$

Deniz tabanına yerleştirilen boru için sürtünme kuvveti,  $F_s$  ile normal kuvvet  $N$  arasındaki ilişki eşitlik 2.3'teki gibidir.

$$F_s = \mu_s \cdot N \quad (2.3)$$

$$F_D + F_1 + \mu_s (F_L - F_G \cos\theta) = F_G \sin\theta \quad (2.4)$$

İnşaat sırasında hava; işletme sırasında ise akışkan ile dolu borunun sıvı içerisindeki (batmış) ağırlığı;

$$F_G = \left[ \frac{F_D + F_1 + \mu_s F_L}{\mu_s \cos\theta + \sin\theta} \right] \quad (2.5)$$

$\theta = 0$  olduğunda;

$$F_G = F_L + \left( \frac{1}{\mu_s} \right) (F_D + F_1) \quad (2.6)$$

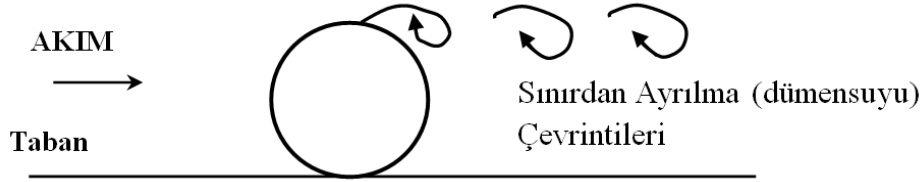


Boru hattı, belirli bir emniyet faktörüne sahip olmalıdır. Boruya takılacak ek kütlelerinin hesaplanmasında emniyet faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır (taban doğrultusunda);

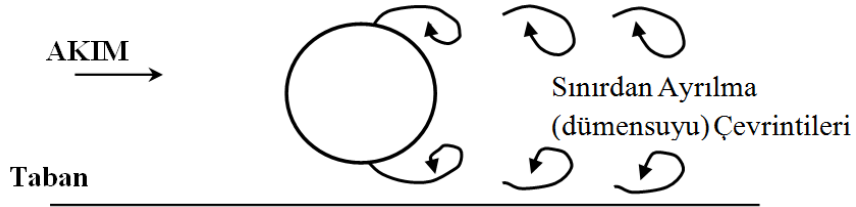
$$SF = \frac{(F_G + F_{Gek} - F_L)\mu_s}{(F_D + F_I)} \quad (2.7)$$

Burada; SF, emniyet faktörü;  $F_{Gek}$ , boruya takılan ek kütleinin sıvı içerisindeki (batmış) ağırlıdır. Boru hattı üzerine etkiyen kuvvetlerin belirlenmesi, boru hattının dengesi açısından oldukça önemlidir. Akım, boruyu geçerken, sınır tabakasının ayrılması nedeniyle borunun mansabında (dümen suyunda) çevrıntiler oluşur (Gündemir, 2006).

Bu çevrıntiler, boru üzerindeki basınçta periyodik değişimlere yol açar. Eğer boru hattı tabana oturtulmuşsa, bu çevrıntiler borunun üst yüzeyinden mansaba doğru ilerler (Şekil 2.7). Boru hattı tabandan yukarıda ise çevrıntiler borunun üst ve alt yüzeyinden mansaba doğru ilerler (Şekil 2.8).



Şekil 2.7. Tabana oturtulmuş boru hattının mansabında oluşan çevrıntiler (dümensuyu çevrıntileri) (Anonim, 1990)



Şekil 2.8. Boru hattının tabandan yukarıda olduğu durumda oluşan çevrıntiler (dümensuyu çevrıntileri) (Anonim, 1990)

### 2.4.2. Permenan Akımda Boruya Etkiyen Kuvvetler

L; dalga boyu ve D; borunun dış çapı olmak üzere, WRC (Water Research Center)'e göre  $\left(\frac{L}{D}\right) > 5$  olduğu zaman yukarıda görülen çevrıntilerden dolayı oluşan emme etkisiz kalmaktadır. Bundan dolayı,  $\left(\frac{L}{D}\right) > 5$  bölgesinde potansiyel akım çözümü yapılmalıdır (Anonim, 1990).  $\left(\frac{L}{D}\right) < 5$  için boruya, akım nedeniyle etkiyen sürüklenme kuvveti,  $F_D$ , eşitlik 2.8'deki ve kaldırma kuvveti,  $F_L$ , eşitlik 2.9'daki gibidir (Anonim, 1990).

$$F_D = 1/2 \cdot \rho \cdot C_D \cdot D \cdot U \cdot |U| \text{ (Birim boy için)} \quad (2.8)$$

$$F_L = 1/2 \cdot \rho \cdot C_L \cdot D \cdot U^2 \text{ (Birim boy için)} \quad (2.9)$$

Bu ifadelerde;

D: Borunun dış çapı

U : Permenan akımda, akımın boru eksenini seviyesindeki hızı

$C_D$  : Sürüklenme katsayısı

$C_L$  : Kaldırma katsayısı

$\rho$  : İçerisinde borunun yer aldığı akımı oluşturan sıvının yoğunluğu (birim hacim kütlesi)

Sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerini hesaplamak için en büyük zorluk, kaldırma ve sürüklenme katsayılarını belirlemektir. Permenan akım şartlarında sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ) ve kaldırma katsayısı ( $C_L$ ); akımın Reynolds sayısına ( $Re$ ) ve boru yüzeyine ait relatif pürüzlülüğe ( $\epsilon/D$ ) bağlıdır ( $\epsilon$ : pürüzlülük yüksekliği).

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad (2.10)$$

$Re$  : Reynolds sayısı

$\nu$  : Akışkanın kinematik vizkozitesi

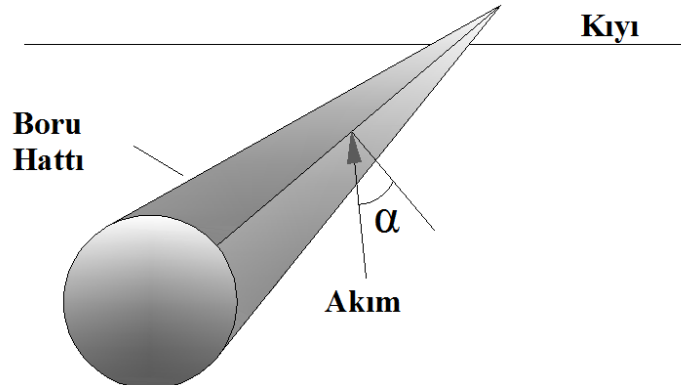
Su altı boru hatlarına etkiyen kuvvetlerin hesabında kullanılan  $C_1$  (Atalet Katsayısı),  $C_D$  ve  $C_L$  katsayıları için tavsiye edilen değerler Tablo 2.5'te görülmektedir.

Tablo 2.5. Su altı boru hattı için tavsiye edilen  $C_D$ ,  $C_L$  ve  $C_I$  katsayıları Mousselli, 1981)

$Re = \frac{U.D}{\nu}$	$C_D$ Sürüklenme katsayısı	$C_L$ Kaldırma katsayısı	$C_I$ Atalet katsayısı
Re ( $5.0 \times 10^4$ )	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4$ (Re( $1.0 \times 10^5$ ))	1.2	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5$ (Re( $2.5 \times 10^5$ ))	$1.53 - \left(\frac{Re}{3 \times 10^5}\right)$	$1.2 - \left(\frac{Re}{5 \times 10^5}\right)$	2.0
$2.5 \times 10^5$ (Re( $5.0 \times 10^5$ ))	0.7	0.7	$2.5 - \left(\frac{Re}{5 \times 10^5}\right)$
$5.0 \times 10^5$ (Re)	0.7	0.7	1.5

#### 2.4.2.1. Deniz Tabanına Yerleştirilmiş ve Akım ile Açı Yapan Boru Hatları

Şekil 2.9'da görüldüğü üzere,  $\alpha$ , boru hattı eksenini ile akım yönü arasındaki açıdır. Akımın boru hattını dik olmadığı durumlarda,  $F_D$  ve  $F_L$  kuvvetlerinin hesabında kullanılan formüllerde akımın yatay hızı  $U$  yerine  $U \cdot \cos \alpha$  değeri kullanılacağından, hesaplanan bu kuvvetlerde azalma olur.



Şekil 2.9. Akıyla açı yapan boru hatları (Anonim, 1990)

Çeşitli  $\alpha$  değerleri için tavsiye edilen  $C_D$  değerleri aşağıdaki gibidir (Anonim, 1990).

$$\alpha = 15^\circ \text{ için } C_D = 0.6$$

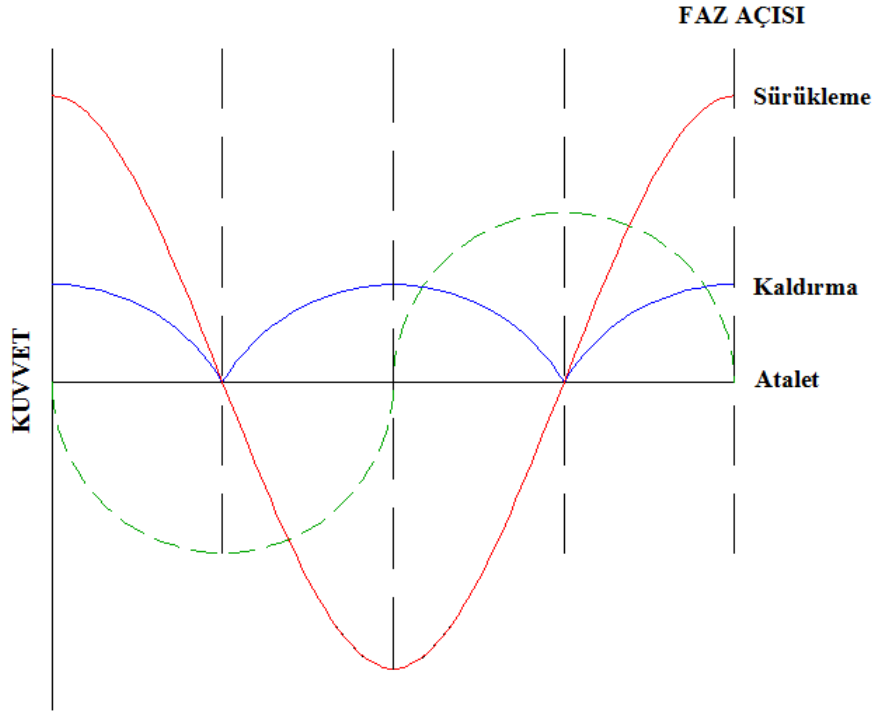
$$\alpha = 30^\circ \text{ için } C_D = 0.48$$

$\alpha = 45^\circ$  için  $C_D = 0.3$

### 2.4.3. Permenan Olmayan Akımlarda Hidrodinamik Kuvvetler

Dalga hareketi altındaki akım permenan olmayan akımdır. Boru hattı, salınlımlı akım içindedir.  $(L/D) < 5$  için yine Morison denklemi kullanılır.  $(L/D) > 5$  olduğunda potansiyel akım çözümü kullanılır (Anonim, 1990). Permenan olmayan akımlarda suyun yatay hızı ve katsayıların hesabı aşağıda verilmiştir.

Şekil 2.10'da boruya etkiyen kaldırma, sürüklenme ve atalet kuvvetlerinin değişim görülmektedir.



Şekil 2.10. Permenan olmayan akımda boruya etkiyen sürüklenme, atalet ve kaldırma kuvvetleri (Yüksel, 1998)

Şekil 2.10'da görüldüğü üzere sürüklenme kuvvetleri, atalet kuvvetleriyle faz dışıdır. Akımın hızı  $u_t$  (lineer hız dağılımı) ve ivmesi aşağıda verildiği gibidir (Teng ve Nath, 1986).

$$u_t = \frac{\omega \cdot H}{2} \cdot \frac{\cosh(k(z+d))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \cos(kx - \omega t) \quad (2.11)$$

$$\frac{du_t}{dt} = \frac{H \cdot \omega^2}{2} \cdot \frac{\cosh(k(z+d))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \cos(kx - \omega t) \quad (2.12)$$

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{L} \quad (2.13)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad (2.14)$$

Burada;

$u_t$  : Dalganın olması halinde akımın hızı ( $u_t = U + u_w$ )

$u_w$  : Dalgadan dolayı akımın kazandığı hız

H : Dalga yüksekliği

T : Dalga periyodu

d : Su derinliği

z : Borunun sakin su yüzeyinden olan düşey mesafesi

k : Dalga sayısı

L : Dalga boyu

$\omega$  : Açısal frekans

x : Yatay eksen

t : Zaman

$\frac{du_t}{dt}$  : Boru eksen (merkez) seviyesinde akımın ivmesi

Permenan olmayan akımda sürüklenme ( $F_D$ ), atalet ( $F_I$ ) ve kaldırma ( $F_L$ ) kuvvetleri genellikle aşağıda verilen yarı ampirik Morison denklemiyle hesaplanır.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot D \cdot u_t \cdot |u_t| \quad (\text{Birim boy için sürüklenme kuvveti}) \quad (2.15)$$

$$F_I = \rho \cdot \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot C_I \cdot \frac{du_t}{dt} \quad (\text{Birim boy için atalet kuvveti}) \quad (2.16)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_L \cdot D \cdot u_t^2 \quad (\text{Birim boy için kaldırma kuvveti}) \quad (2.17)$$

Eşitlik 2.15'te  $u_t^2$  yerine  $u_t \cdot |u_t|$  yazılmasının sebebi; sürüklenme kuvvetinin işareti  $u_t$  ile değişir. Eşitlik 2.17'de  $u_t^2$  nin sebebi, deniz tabanına oturan boruya akım hangi yönde gelirse gelsin kaldırma kuvveti her zaman yukarı doğru olduğudur.

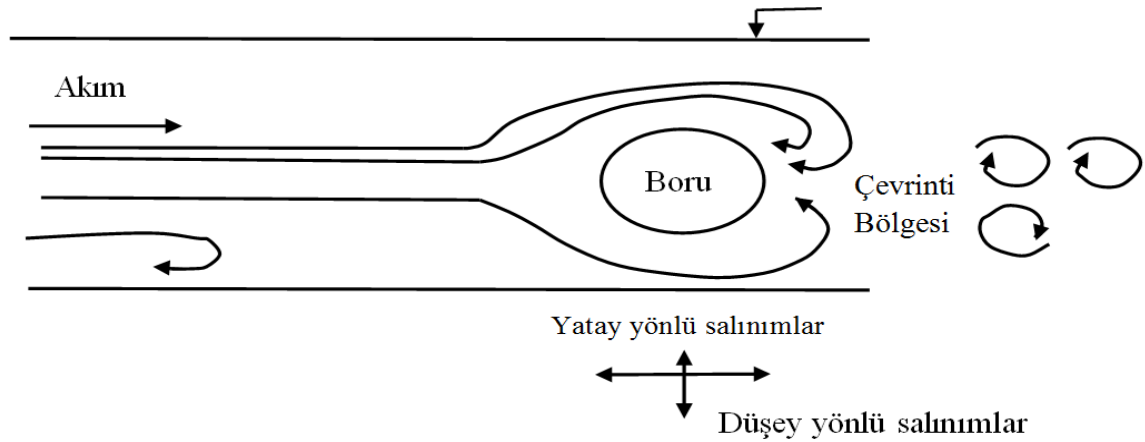
Eşitlik 2.18'de verilen Morison denklemi (Teng ve Nath, 1986), permanen olmayan akımlardaki kuvvetler için en uygun denklemdir.

Buna göre boruya etkiyen toplam kuvvet  $\vec{F}$ ,

$$\vec{F} = \vec{F}_D + \vec{F}_I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot D \cdot u_t \cdot |u_t| + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_I \cdot \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot \frac{du_t}{dt} \quad (2.18)$$

#### 2.4.4. Çevrinti Akımı Nedeniyle Borudaki Salınımlar

Borunun mansabında oluşan çevrinti akımının frekansı, akımın hızıyla doğru, boru çapıyla ters orantılı olup borunun çapına ve akımın hızına bağlıdır. Eğer çevrinti frekansı, askıdaki boru hattı kısmının doğal frekanslarından birisiyle aynı olursa, boru hattı düşey ve yatay yönde titreşim ve salınımlar yapar. Düşey yöndeki salınımlar, yatay yöndeki salınımlara göre daha tehlikelidir. Çevrintilerden kaynaklanan salınımların sebep olduğu hasarı önlemek için çevrintilerin frekansı boru kısmının frekansından yeterince farklı olmasını sağlamak gerekir. Şekil 2.11'de çevrinti nedeniyle borunun salınımı gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Çevrinti nedeniyle boruların salınımı (Mousselli, 1981)

Çevrinti akım frekansı  $f_s$  eşitlik 2.19' daki gibidir.

$$f_s = \frac{S \cdot u_t}{D} \quad (2.19)$$

$f_s$  : Çevrinti akım frekansı

S : Strouhal sayısı

Strouhal sayısı ile sürüklenme katsayısı arasındaki ilişki eşitlik 2.20'deki gibidir (Gökkus, 1995). Strouhal sayısı, akışkan içindeki bir cisme dalganın neden olduğu etkileri anlamak için kullanılan boyutsuz bir sayıdır. Bu olgu dümen suyundaki çevrintilerin (vortekslerin) oluşumundan kaynaklanmaktadır. Strouhal sayısı,

$$S = \frac{0.21}{(C_D)^{0.75}} \quad (2.20)$$

Askıdaki boru kısmının doğal frekansı, borunun rijitliğine, boyuna, mesnet ve bağlantılarına, borunun toplam kütesine, sürtünme nedeniyle boru tarafından boruyla birlikte harekete geçirilen borunun dışındaki akışkan kütesine (ek kütle) bağlıdır. Sürtünme (viskozite) gerilmesi nedeniyle boru ile birlikte harekete geçen dış akışkan kütesi (ek kütle) genellikle boru tarafından yeri değiştirilen sıvının bir veya iki katı kadardır. Askıdaki boru kısmının titreşimine ait doğal frekans eşitlik 2.21'deki gibidir (Mousselli, 1981).

$$f_n = \frac{C_s}{L_p^2} \sqrt{\frac{E_I}{M}} \quad (2.21)$$

$f_n$  : Askıdaki boru kısmının doğal frekansı

$E_I$  : Borunun yapıldığı malzemenin rijitliği (Elastisite Modülü)

$L_p$  : Askıdaki boru kısmı uzunluğu

M : Borunun birleşmiş kütesi (ek kütesi dahil) ve borunun birim uzunluğu başına boru çevresindeki eklenmiş kütle

$C_s$  : Açıklıktaki borunun mesnet ve bağlama şartlarına bağlı bir sabit

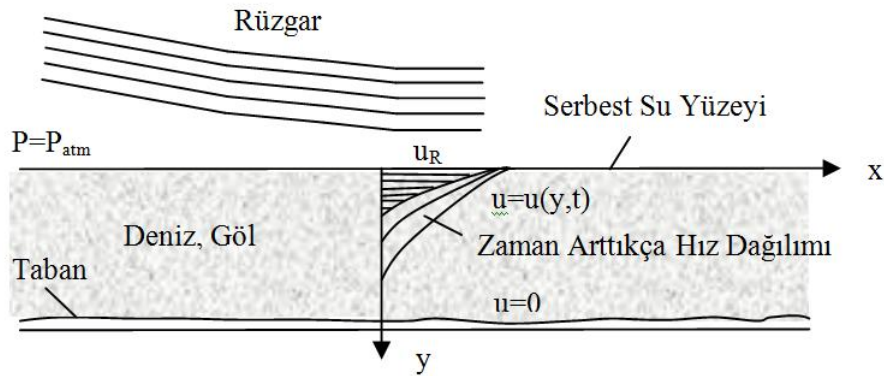
Örneğin, eğer askıdaki boru kısmının her iki sonu basit mesnetlendirilmişse

$C_s = \frac{\pi}{2}$  veya 1.57'dir. aksi halde,  $C_s = 3.50$ 'dir.

Eğer boru kısmının tamamı sabitlenmişse, çevrinti akım frekansıyla doğal frekansın tamamen aynı olmasına gerek yoktur. Borunun serbest hareket edebildiği durumlarda ise, çevrintinin frekansı ile borunun frekansı birbirini etkiler. Çevrintinin oluşturduğu salınımlar boru malzemesinin yorulmasına ve aşırı gerilimlere sebep olduğundan boru hattını tehlikeye sokabilir. Tabanla boru arasındaki boşluk (boşluk/çap oranı) küçükse, bu etkileşimi bir miktar arttırır. Borunun dış yüzey pürüzlülüğü ve deniz tabanı pürüzlülüğü de birer etki olarak kabul edilebilir. Eksenel çekme kuvvetleri, askıdaki uzun boru kısmının doğal frekansını önemli ölçüde artırdığından, hesabında toplam eksenel kuvvetler dikkate alınmalıdır.

#### 2.4.5. Rüzgar Nedeniyle Akım Derinliği Boyunca Oluşan Hız Dağılımı

Göl veya deniz gibi bir su kütlesi göz önüne alınsın. Rüzgar akımı ile yüzeydeki su arasında gelişen sürtünme kuvvetinden dolayı, yüzeydeki su modülü  $u_R$  hızıyla harekete başlar. Viskozite nedeniyle, sürtünme kuvveti diğer tabakaları da zamanla etkiler. Böylece alt tabakalardaki sıvı molekülleri de harekete geçerek hız kazanır. Serbest sıvı yüzeyindeki rüzgar nedeniyle, akımın derinliği boyunca hızın zamanla nasıl değiştiği Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Kısa süreli rüzgar nedeniyle derinlik boyunca hız dağılımının zaman ile değişimi (Alexandrou, 2000)



Süreklilik:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.22)$$

Burada u ve v akım hızının x yatay ve y düşey yönündeki bileşenleridir.

x – yatay yönde momentum denklemi

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \quad (2.23)$$

Bu ifadede,

P : basınç

g : yer çekimi ivmesi

$\tau$  : kayma gerilmesidir

y – düşey yönde momentum denklemi :

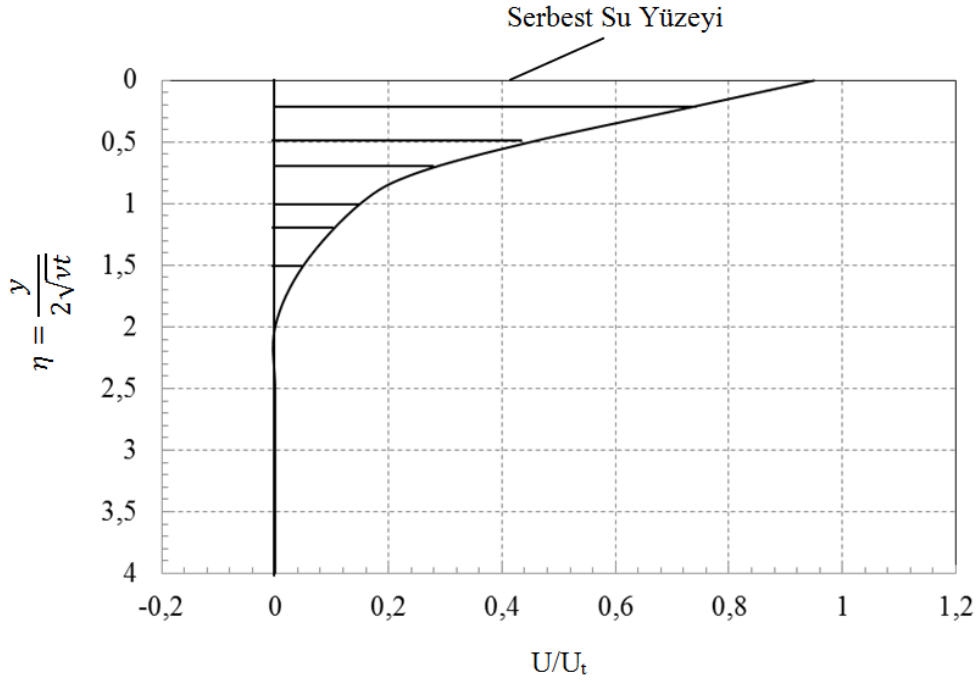
$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \rho g - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \quad (2.24)$$

Yukarıdaki denklemler çözüldüğünde (Alexandrou, 2000), akım derinliği boyunca hız dağılımı aşağıdaki gibi bulunur.

$$u = u_R \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{y}{2\sqrt{v \cdot t}} \right) \quad \text{veya} \quad \frac{u}{u_R} = ( 1 - \operatorname{erf} \eta ) \quad (2.25)$$

Burada  $\eta = y / ( 2 \sqrt{v \cdot t} )$  olup boyutsuz derinlik ve erf, hata fonksiyonu anlamındadır.

Eşitlik 2.25’de verilen hız dağılımı Şekil 2.13’te gösterilmiştir (Alexandrou, 2000).



Şekil 2.13. Boyutsuz hız dağılımı (Alexandrou, 2000)

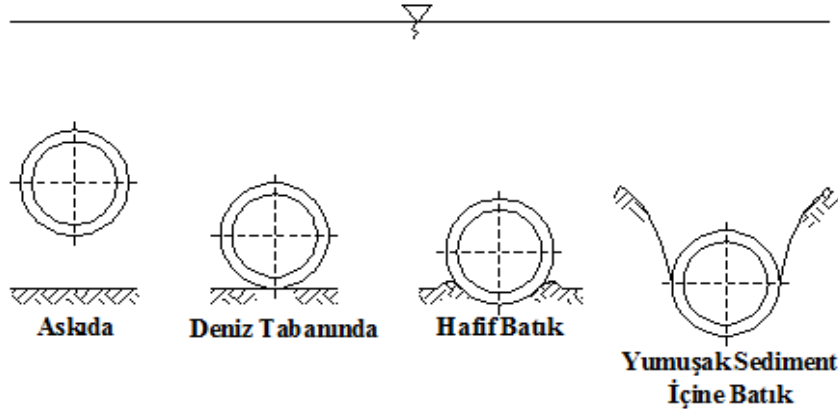
Rüzgar istatistikleri kullanılarak oluşabilecek en şiddetli rüzgar ve süresi, akımda bu rüzgar nedeniyle oluşacak hızın en fazla hangi derinliğe kadar inebileceği konusunda tahminde bulunulabilir ve derin sularda borunun hangi derinliğe indirilip yerleştirileceğine karar verilebilir. Hızın sıfır olduğu yerde akım nedeniyle boruya etkiyecek kuvvet en küçük değerdedir.

## 2.5. Deşarj Boru Hatlarının Stabilite Hesapları

Deniz tabanına döşenen boru hatları denizlerin yıkıcı etkisine açık narin yapılardır. Deniz tabanına döşenen boruların stabiliteleri deşarj boru hatlarının hesabında en önemli konulardan biridir. Maruz kaldıkları dalga ve akıntı gibi dinamik yükler yanında, deniz tabanı ile sürekli etkileşimde bulunmaları nedeniyle özellikli yapılar olarak algılanmaktadırlar. Boru hatları döşenirken içleri genellikle boş olup operasyona sokulduklarında su ile doldurulur. Her iki durumda boru hattının çoğu sahil kesiminde deniz tabanına gömülüdür. Deşarjın yapıldığı kısımlarda ise gömülü değildir. Bu durumda her iki hale ait stabilite hesaplarının yapılması gerekir (Berkün, 2006).

### 2.5.1. Deniz Tabanına Gömülü Olmayan Boru Hatlarının Düşey Stabiliteleri

Bir boru hattı deniz yatağına döşendiğinde boru ağırlığı ile taban malzemesinin cinsine bağlı olarak aşağıdaki durumlardan biri oluşabilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Deşarj borularının deniz tabanına yerleştirilme şekilleri

- Yüzer hale geçerek deniz yüzeyine doğru hareket eder.
- Deniz yatağına oturur.
- Taşıma yüzeyi yeterli dayanımı gösterinceye kadar deniz tabanına hafifçe batar.

Gömülü olmayan bir boru hattının düşey stabilite yetersizliği borunun yüzücü hale gelmesine veya sedimentlerin içine proje gerilmesi karşılancaya kadar eğrisel formda bir yataklanma ile batmasına sebep olur (Berkün, 2006).

Düşey stabilite boru hattının altından geçen veya içinde bulunduğu yerdeki akıntının şiddetine de bağlıdır. Deniz taban zeminindeki kazınmanın tahmini zordur. Boru iri taşlarla korunarak tabandaki kazınma miktarı azaltılabilir. Borunun öngerilmeli bir beton örtü içine alınması da iyi bir önlem olabilir (Berkün, 2006).

### 2.5.2. Deniz Tabanına Gömülü Olan Boru Hatlarının Düşey Stabilitesi

Deniz tabanına gömülü bir boru hattının stabilitesi aşağıdaki durumlarda bozular.

- Boru yüzer hale geçerek toprak sonrada su yüzeyine çıkar. Burada proje dayanım kuvvetlerini zorlayan dalga ve akıntı kuvvetleri tesiri altında kalır.

- b. Zeminin taşıma kuvvetinin yeterli olmaması nedeniyle boru döşendiği yatak kanalında devamlı olarak batar.

Projelendirmede olabildiğince hafif boru kullanmanın tercih etmeleri sebebi ile borular yatak kanallarından çıkarak yüzer hale gelebilirler. Bunun sebebi hesaplarda borunun dayanabileceği kuvvetin üzerinde yapılan kuvvetler ve dolgu malzemesinin ağırlığının boruya gömülü halde tutmaya yeterli olmamasıdır. Bu olayın oluşması zeminin sahip olduğu koşullara, dolgu malzemesine ve uygulanan gömme yöntemine bağlıdır. Örneğin periyodik olarak su basmasına uğrayan yerlerde yapılan projelerde boru hattının ağırlığı bunun yüzdürülerek yerine götürülebileceği şekilde seçilerek, yerine sıra ile batırılması için içine su doldurulmaktadır. Deniz tabanına açılan kanaldan çıkan malzemenin boru yerleştirildikten sonra kanalın geriye doldurulmasında kullanılması oldukça sık uygulanan bir yöntemdir. Çukurdan çıkarılan kazı toprağının birim ağırlığı yüksektir (~1.3). Kanalın kapatılması için ikinci defa kullanılan bu sıvı-çamur özelliğindeki malzemenin kesme mukavemeti çok küçüktür. Bazı durumlarda çukura geri doldurma yapılmamakta ve doğal sedimentasyonla çukuru zamanla dolduracağı düşünülmektedir. Deprem şokları veya yüksek dalga etkileri sebebiyle gecikmiş olarak zeminde sıvılaşma oluşabilmektedir. Yerinde yüzdürülerek yerleştirilecek derecede hafif boru hatlarının bu koşullara göre analiz edilmeleri gerekmektedir (Berkün, 2006).

Sıvı çamur oluşumuna ve sıvılaşmaya sebep olan bütün çukur açma yöntemleri düşey stabilite problemleri oluşturur. Özellikle kızak-jet (jet-sled) tipindeki kazı yöntemleri borunun altındaki toprakta sıvılaşma oluşturarak borunun batmasını sağlarken, daha ağır olan kazı malzemesi çukur içine geriye akarak borunun batması yerine yükselmesine de sebep olabilmektedir (Berkün, 2006).

Aktif kıyılara gömülen boru hatlarının gömülme derinlikleri kıyıda oluşan kısa ve uzun süreli profil değişimlerinden etkilenir. Mevsimsel fırtınalar da önemli miktarda malzeme erozyonuna sebep olabilmektedir (Berkün, 2006).

### **2.5.3. Deniz Tabanına Gömülü Olmayan Boru Hatlarının Yatay Stabiliteleri**

Deniz tabanına oturan ankre edilmemiş bir boru hattı, kaldırma, sürüklenme ve atalet kuvvetlerini karşılayabilecek ağırlıkta olmalıdır. Projelendirmede kullanılan akıntı ve dalga kuvvetleri istatistik analizlere, yerinde yapılan ölçümlere ve geçmiş hava tahmini

raporlarına dayanır. Boru hattının yerleştirilmesi ve operasyonu için iki veri setine gereksinim vardır. Yerleştirme nispeten kısa sürede yapıldığı için herhangi bir yıla ait olan ve sapması %5'i aşmayan maksimum dalga yükseklikleri ve akıntı hızı değeri yeterlidir. Operasyonel projelendirme için genellikle senelik olasılık sapması %1 olan veya 100 yılda bir tekerrür eden fırtına verisi kullanılabilir (Berkün, 2006).

Yatay stabilitede esas faktörleri; sürüklenme, atalet, kaldırma, toprak direnci kuvvetleri oluşturur. Sığ sahil sularında kırılmayan dalgalar halinde oluşan atalet kuvveti, sürüklenme kuvvetine kıyasla çok daha küçük, derin sularda ise birbirine çok yakın değerdedir (Berkün, 2006).

#### **2.5.4. Deniz Tabanına Gömülü Boru Hatlarının Yatay Stabiliteleri**

Bu tip boru hatlarında yatay stabilite problemi boruyu örten malzemenin normal veya fırtına koşulları altında kazınarak veya sürüklenerek kaldırılması sonucu oluşur. Fırtına sırasında yakın sahil akıntıları sonucu boru hatları akıntı ve dalga kuvvetlerinin etkisi altında kalır. Bu kuvvetler çukur içindeki malzemenin süspansiyon haline gelmesine veya sıvılaşarak akıcı hale gelmesine sebep olur. Boruların gömülme derinliğinin tespiti için bölgeye ait fırtına olayları için uzun süre ile yapılmış kayıtların verileri kullanılmalıdır (Berkün, 2006).

#### **2.6. Deniz Dibindeki Borunun Stabilitésinin Tahkiki**

Deniz dibindeki boruların dalga, akıntı vb. tesirlerle stabilitesi bozulmayacak mertebede bir ağırlığa sahip olmaları gerekir. Su içerisindeki borunun birim boy ağırlığı,

$$W = -\gamma_d (\pi D_d^2/4) + \gamma_b \pi [(D_d^2 - D_i^2)/4] + \gamma_{as} (\pi D_i^2/4) \quad (2.26)$$

ifadesinden bulunabilir. Borunun kendi ağırlığı ile stabilitesinin temini için, kayma emniyeti bakımından,

$$(W_T - \max F_v) \cdot \mu_s \geq \max F_H \quad (2.27)$$

şartı sağlanmalıdır. Burada,

$W_T$  : Borunun kendi birim boy ağırlığı ile birim boya düşen ilave tesbit kütlesi ağırlığının ( $W_{BS}$ ) toplamıdır.

$\mu_s$  : Boru veya tesbit kütlesi ile deniz tabanı arasındaki sürtünme katsayısı

$\mu_s$  , kumlu zeminlerde 0.6-1.4 (0.9), killi (balçık) zeminlerde ise 0.2-0.7 (0.5) alınabilir.

Ülkemizde yatay ve düşey yüklere karşı en az 1.5 kat emniyet istendiğinden yukarıdaki ifade yeniden yazılacak olursa,

$$(W_{BS} + W - 1.5 \max F_v) \cdot \mu_s > 1.5 \max F_H \quad (2.28)$$

elde edilir. Tesbit kütlelerinin çok büyük ve özellikle yüksek olduğu durumlarda ayrıca devrilmeye karşı emniyet tahkiki yapılması da gerekebilir (Öztürk, 1996).

## 2.7. Hendek Malzemesinin Çapının Tayini

Deşarj hatları bir hendek içine yerleştirildikten sonra hendeğin taban kazısından çıkan doğal malzeme ile mekanik olarak veya doğal olarak doldurulması mümkündür. Kazı malzemesi ile hendeğin doldurulması tabandaki akıntı hızının 0.5 m/sn'den küçük değerleri için uygulanabilir. Çünkü hendek kazısından çıkan ince malzeme dalga ekileri ile kısa sürede kaybedilir. Bu nedenle borunun hendek içinde gömülü olacağı bölgede açılacak hendeğin geriye doldurulması için kullanılacak dolgu malzemesinin dalga etkisi ile taşınmayacak çapta ve ağırlıkta olması gerekir (Berkün, 2006). Hendek dolgu malzemesi çapının hesabı ile ilgili çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Öztürk, 1996).

### 2.7.1. HRS (Hydraulics Research Station) Yöntemi

Bu yönteme göre dalga hareketinin kinematiği ile harekete geçen dane çapı arasında;

$$\frac{U_{\max}^* d}{U_{\max}^2} = 6.69 \left( \frac{U_{\max}^*}{g'} \right)^{2.278} \quad 0.067 \leq \frac{U_{\max}^*}{g'} \leq 0.158 \quad (2.29)$$

$$\frac{U_{\max}^* d}{U_{\max}^2} = 0.533 \left( \frac{U_{\max}^*}{g'} \right)^{1.340} \quad 0.005 \leq \frac{U_{\max}^*}{g'} \leq 0.067 \quad (2.30)$$

bağıntısı vardır. Burada;

$U_{\max}$  = en yüksek dalga etkisiyle oluşan akım hızı

$U_{\max}^*$  = En yüksek dalga etkisiyle oluşan ivme

$d$  = Hareket geçiş durumundaki sediment parçacığının çapı

$$g' = \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - \frac{\gamma_a}{\gamma} \right) g \quad (2.31)$$

$\gamma_s$  = Sedimentin özgül ağırlığı

$\gamma_a$  = Deniz suyunun özgül ağırlığı

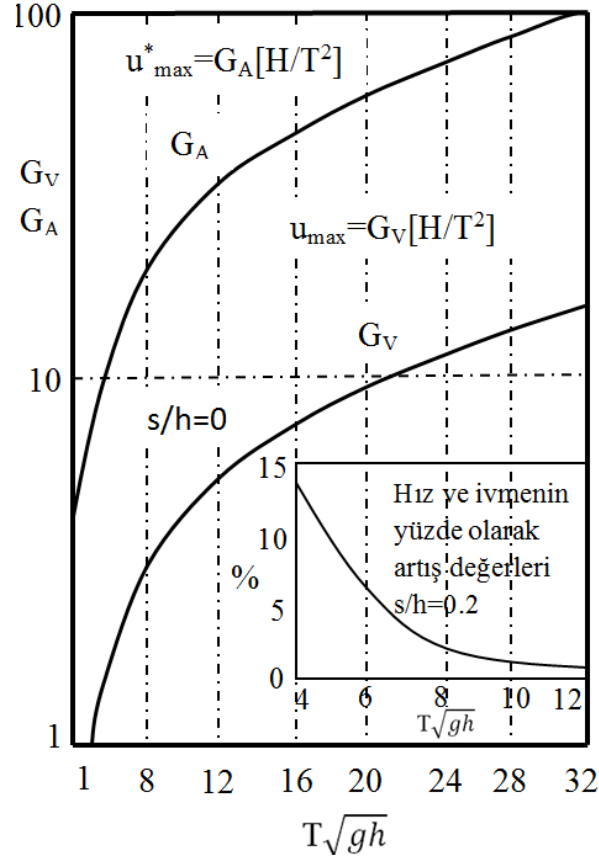
$g$  = Yer çekimi ivmesi

Bu bağıntılardaki  $U$  ve  $U^*$  değerleri, airy dalga teorisinin kinematik değerlerine bağlı olarak aşağıdaki denklemler bulunabilir (Öztürk, 1996).

$$\frac{U_{\max}^2}{U_{\max}^*} = 0.86 \frac{U_{\max\text{airy}}}{U_{\max\text{airy}}^*} \quad (2.32)$$

$$U_{\max}^* = 1.36 u_{\max\text{airy}}^* \quad (2.33)$$

$u_{\max\text{airy}}$  ve  $u_{\max\text{airy}}^*$  değerleri  $G_V$  ve  $G_A$  değerleri bulunarak (Şekil 2.15) hesaplanabilir.



Şekil 2.15. Airy teorisine göre tabana yakın kısımda su partikülünün maksimum hız ve ivmesinin bulunması için diyagram

### 2.7.2. ABD Kıyı Mühendisliği Araştırma Merkezi Yöntemi

Bu yönteme göre deniz tabanında,  $d_s$  çaplı dolgu malzemesini harekete geçiren hız,

$$V = 6.74 d_s^{0.5} \quad (2.34)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $V$  yerine  $h$  derinliğindeki maksimum yatay akışkan zerresi hızı,  $U_{max}$  alınarak gerekli malzemenin çapı bulunabilir.  $U_{max}$  ile Lineer Dalga Teorisine göre hesaplanacak maksimum yatay hız  $U_{Imax}$  arasında,

$$U_{max}^2 = 1.08 U_{Imax}^2 \quad (2.35)$$

bağıntısı geçerlidir (Öztürk, 1996).



### 2.7.3. Shield Eğrisine Göre Hesap

Dolgu malzemesi çapının seçiminde en çok kullanılan yöntem, kararlı (permenan) akımlarda tabandaki sedimentin stabilitesini belirleyen Shield eğrisini esas alan hesap yöntemidir. Bu metodun geçerliliği ABD ve Avusturalya'da yapılan birçok deniz deşarjı üzerinde görülmüştür. Hesaplarda esas alınan Shield eğrisi, boyutsuz kayma gerilmesi ( $\tau^*$ ) ile Reynolds sayısı ( $Re^*$ ) arasındaki ilişkiyi tariflemektedir (Öztürk, 1996).

$$\tau^* = \frac{\tau_D}{(\gamma_s - \gamma_a)d_s} \quad (2.36)$$

$$Re^* = \frac{(\tau_d / \rho_s)^{0.5} d_s}{\nu} \quad (2.37)$$

Burada,

$\tau_d = d_s$  çaplı sürüntü maddesi için hesaplanan kayma gerilmeleri

$\rho_s =$  deniz suyunun özgül kütleini

$\nu =$  deniz suyunun kinematik viskozite katsayısını

göstermektedir. Shield eğrisine göre,

$Re^* > 500$  için  $\tau^* = 0.06$

$Re^* \approx 10$  için  $\tau^* = 0.03 - 0.04$

alınabilir. Dolgu malzemesi stabilitesi hesabı için  $\tau^* / \beta_s^2$  parametresine bağlı olarak geliştirilen projelendirme eğrileri Şekil 2.16'da verilmiştir (Grace 1998). Burada  $\beta_s$  pik hız faktörü,

$$\beta_s = 1.4 U_{lm} / (H/h\sqrt{gh} (1 + H/h))^{0.5} \quad (2.38)$$

denklemlerinden hesaplanabilir. Denklem 2.38'de,

H : Etkin dalga yüksekliği

h : Su derinliği

göstermektedir. Bu yöntemle göre hesapta en çok  $\tau^* / \beta_s^2 = 0.06$  eğrisi kullanılmaktadır. Bu eğri için aşağıdaki ifade geçerlidir.

$$d_s = \frac{h}{10^a} \quad (2.39)$$

$$a = 6.723 - 5.958x(H/h)^{0.2945} \quad (2.40)$$

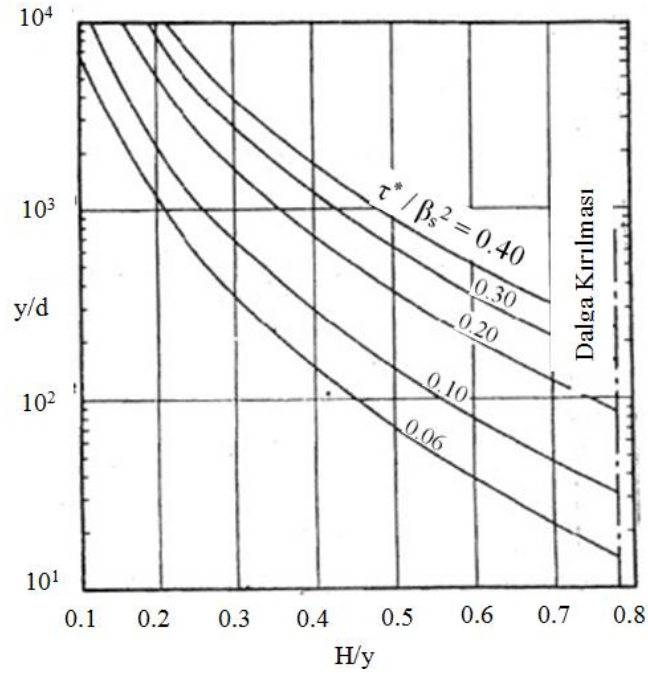
Yukarıdaki hesap yöntemlerine göre bulunacak dolgu malzemesi çapı, hendeğin en üst kısmında yer alacak malzemenin çapıdır. Dalga tesirleri ile yıkanma olmaması için filtre tabakası olarak adlandırılan bu malzeme çapı ( $d_f$ ) ile altına konacak malzeme ( $d_{alt}$ ) çapı arasında, aşağıdaki şartları sağlaması gerekir (Posey,1971).

$$d_{15(f)} < 5 d_{85(alt)} \quad (2.41)$$

$$4 d_{15(alt)} < d_{15(f)} < 20 d_{15(alt)} \quad (2.42)$$

$$d_{50(f)} < 25 d_{50(alt)} \quad (2.43)$$

Burada  $d_{50}$ , malzemenin %50 sini geçiren elek çapını göstermektedir.



Şekil 2.16. Dolgu malzemesi stabilitesi için projelendirme eğrileri (Grace, 1998)

### 3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Tezin bu bölümünde, denize deşarj yapılarında kullanılan boruların özellikleri, boru cinslerinin çap-işletme basıncı açısından ilişkileri ile deşarj inşaatlarında hazırlık çalışmaları ile ilgili elde edilen bulgular verilmektedir.

Denize deşarj boru hattı döşeme işleminde döşenecek boru hattı uzunluğu, boruların depolanması ve birleştirilmesi için kıyıda ihtiyaç duyulan alanın genişliği, yapım ekipmanlarının mevcudiyeti, gel-git ve fırtına akımlarının durumu, deniz tabanının durumu ve dalga yükseklikleri gibi değişimlerin hangi inşa yöntemi için en uygulanabilir metod olduğu irdelenerek değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Boru Cinsleri

Deşarj borusu deniz deşarjı hattının en önemli kısımlarından biridir. Bu borunun özel şartlar altında işlevini yerine getirmesi gerekir (Oğuz ve Akşit, 1987). Deşarj hatlarında kullanılacak boruların cinsleri ile inşa yöntemleri arasında önemli ilişkiler vardır. Kullanılacak inşa yöntemine göre boruları teknik özellikleri ve işletme koşulları bakımından ele almak gerekmektedir. Deşarj boruları esneklik, dayanıklılık ve ağırlık açısından birbirinden farklı özelliklere sahiptir. İnşa yöntemi ile boru cinsinin özellikleri uyumlu olmalıdır (Berkün, 2006).

Boru malzemesinin seçiminde etkili olan faktörler aşağıdaki şekilde özetlenebilir (URL-2, 2013).

- a. İnşa metodu ve zeminin geoteknik özellikleri
- b. Aşınma ve korozyona karşı mukavemet
- c. Malzemenin dış tesirlere (dalgalara, akıntılara ve deniz tabanı hareketleri) karşı dayanıklılığı
- d. Döşeme ve ekleme kolaylıkları
- e. Malzemenin ekonomik ömrü ve fiyatı
- f. Boru cidar pürüzlülüğü ve sürtünme kayıpları
- g. Özel parça temini

### 3.1.1. Dökme Demir (Font, PİK) Borular

PİK dökme demir, evsel atıksu tesisatında klasikleşmiş olan malzemedir. 1980’li yıllardan beri de, mufszuz PİK atıksu boruları, evsel tesisatlarda muflu atıksu borularının yerini almış durumdadır.

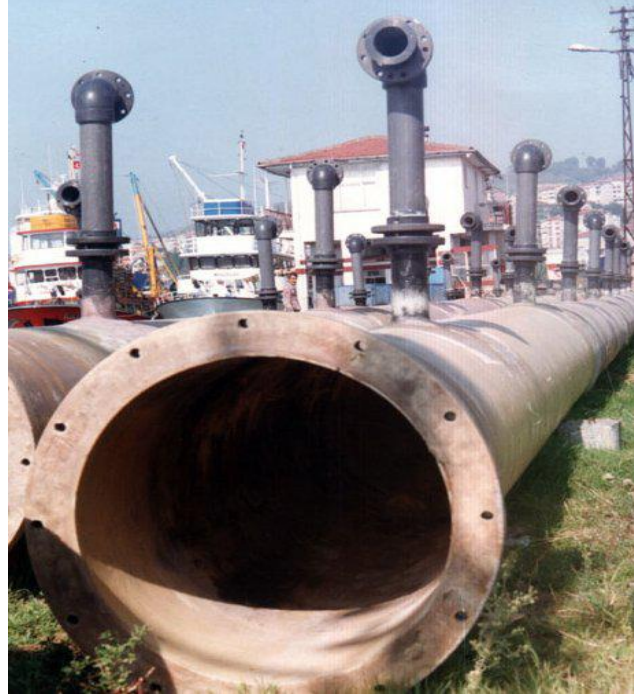
Günümüzde, basınçsız atıksu hatlarında mufszuz, PİK döküm borulardan, basınçlı ise muflu duktil dökme demir borulardan bahsetmek doğru olacaktır. PİK dökme demir borular, yüklere karşı dayanıklı (yüksek basma ve kopma dayanımı), formunu koruyabilen, çeliğe nispeten yüksek korezyon dayanımına sahip, yanmaz, donma ve yüksek sıcaklıktan kesinlikle etkilenmez özelliğindedir. Bunun yanı sıra daha kırılğan, darbelere karşı mukavemeti daha az, daha ağır ve pahalıdırlar (Grace, 1998).

Günümüzde geliştirilen duktil borular sfero döküm tekniğı ile üretilmiş PİK borulardır. Bu borular normal döküm PİK borulara göre, yüksek mukavemet ve esneklik değeri ile fark ederler. Duktil borular 80-1600 mm aralığındaki standart çaplarda, 12.5-16 atülük işletme basınçları için üretilmektedirler. Küresel muflu bağlantılarda boru hattına 15° ye varan aksenel sapmalar verilebilmektedir (Öztürk, 1996). Böylece dirsek kullanılmaksızın boru hattı arazinin topoğrafyasına daha iyi uyum sağlamaktadır (Şekil 3.1).

Font boruların deniz tabanında döşenmesi, boruların dalgıçların teker teker su altında özel muflu veya flanşlı bağlantılarla birbirine eklenmesi yoluyla olur. Bu yüzden font boruların su altında döşenmeleri zor ve pahalı olmaktadır (Grace, 1998). duktil font borularda çap-işletme basıncı ilişkisi Tablo 3.1’de ve standart duktil font boru özellikleri ise Tablo 3.2’de ve verilmiştir.

Tablo 3.1. Duktil font borularda çap–işletme basıncı ilişkileri (Öztürk, 1996)

Anma Çapı $D_i$ (mm)	Maksimum İşletme Basıncı (atü)			
	Esnek Bağlantı	Kaynaklı Flanşlar		Boru ile Dökülen Flanşlar
		PN 16	PN 25	
80-300	$\geq 16$	12.5	16	12.5
350-600	$\geq 16$	12.5	16	8
700-800	16	12.5	16	5
900-1200	16	12.5	12.5	5
1400-1600	12.5	-	-	-



Şekil 3.1. Çıkış uçlarında kullanılan dökme demir boru

Tablo 3.2. Standart düktil font boru özellikleri (Öztürk, 1996)

Boru Çapı		Et Kalınlığı (mm)	
Anma Çapı ( $D_i$ ) (mm)	$D_d$ (mm)	Esnek Birleşim ve Kaynaklı Flanşlar	Boru ile Dökülen Flanşlar
80	98	6.0	7.0
100	118	6.1	7.2
150	170	6.3	7.8
200	222	6.4	8.4
250	274	6.8	9.0
300	326	7.2	9.6
350	378	7.7	10.2
400	429	8.1	10.8
450	480	8.6	11.4
500	532	9.0	12.0
600	635	9.9	13.2
700	738	10.8	14.4
800	842	11.7	15.6
900	945	12.6	16.8
1000	1048	13.5	18.0
1100	1152	14.4	19.2
1200	1255	15.3	20.4
1400	1462	17.1	22.8
1600	1668	18.9	25.2

### 3.1.2. Betonarme Borular

Betonarme boru deniz deşarj hatlarında yaygın olarak kullanılan diğer bir boru çeşididir. Betonarme borunun döşenmesindeki zorluklar ve kırılabilirliği olumsuz yönleridir. Buna karşılık betonarme boru deniz altında oluşabilecek vakum şartlarına herhangi bir patlama tehlikesi olmadan dayanabilir (Oğuz ve Akşit, 1987).

Betonarme boru deniz suyuna ve denizde yaşayan canlılara karşı dayanıklıdır. Fakat atıksuda asit ve kükürttten etkilenir. Asit ve kükürte karşı dayanıklılığı arttırmak amacıyla koruyucu çimento harç veya paslanmaz çelik tabakalar kullanılabilir (Oğuz ve Akşit, 1987).

Betonarme boru kullanımında dikkat edilecek diğer bir nokta da boru bağlantılarıdır. Deniz altına döşenecek betonarme borular için sızdırmaz ve bükülebilir özel tip bağlantılar kullanılmalıdır. Vinçlerle yerine taşınan betonarme borular, batırılarak yerine yerleştirilir (Oğuz ve Akşit, 1987).

Günümüzde çapı 2000 mm'nin üzerindeki deniz deşarjlarında ön gerilmeli betonarme borular oldukça fazla kullanılmıştır. Boru maliyetleri düşük olmasına karşı ağır olmaları ve döşeme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle bunların kullanılmaları fazla yaygınlaşmamıştır (Berkün, 2006).

### 3.1.3. Çelik Borular

Çelik borular da deniz deşarj hatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik boruların en önemli avantajları hızlı döşenebilmeleri, sızdırmaz şekilde eklenebilmeleri, dış tesirlere ve zemin oturmalarına karşı yüksek dayanımlarıdır (Öztürk, 1996). Çelik borular font borulara göre daha hafif, ucuz, taşınmaları ve döşenmeleri kolaydır. 2300 mm iç çapa kadar üretilmektedir. Ancak içten beton kaplı çelik borularda maksimum anma çapı 900 mm'dir. Birbirlerine kaynakla eklenirler. Gerekirse özel parçalar kullanılarak flanşlı bağlantılar da yapılmaktadır (Berkün, 2006). Büyük çaplı deşarj hatlarında, borular birim boy ağırlığının arttırılması, boru stabilitesinin daha iyi sağlanması ve hattın korozyona karşı daha iyi korunabilmesi için çelik borular dıştan veya içten betonarme ile kaplanmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çelik ve çelik alaşımlı boruların dıştan betonarme ile kaplanması

Bu şekilde boru hattının dış tesirlere (dalga, akıntı vb. tesirler) karşı emniyeti de artırılmış olmaktadır. Diğer boru malzemeleri kadar uzun dayanabilmeleri için deniz suyunun ve atıksuyun korozif etkilerine karşı korunmaları gerekir (Öztürk, 1996). Bunun için kaplama malzemesi olarak asfalt, çimento ve diğer katodik koruma malzemeleri kullanılır. Bu durumda ilk yatırım maliyetleri betonarme ve plastik borulardan fazla olabilmektedir (Berkün, 2006). Çelik borularda çap-ışletme basıncı ilişkileri Tablo 3.3'te ve standart çelik boru özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Çelik borular başlıca aşağıdaki mahzurları taşımaktadır (Öztürk, 1996):

- a.  $\text{pH} < 7$  için korozyona maruzdur.
- b.  $\text{pH} > 7$  ise boru cidarında taşlaşma oluşur.
- c. Zamanla boru içindeki yumrulanma dolayısıyla cidar pürüzlülüğü artabilir.
- d. Kaynak yerlerinde iç taraftan korozyona karşı koruyucu bir tabaka teşkili zordur.
- e. Boru ek (birleşim) yerlerinin korozyonunu önlemek için dıştan betonla kaplanması ayrıca özel bir işlemi gerektirir.

Tablo 3.3. Çelik borularda çap – işletme basıncı ilişkileri (Öztürk, 1996)

<b>D<sub>d</sub> (mm)</b>	<b>Maksimum İşletme Basıncı (atü)</b>	<b>Fabrika Basıncı (atü)</b>
100 - 300	≥ 15	70
350 – 500	≥ 15	63 - 45
600 - 900	≥ 15	42 - 34

Tablo 3.4. Standart çelik boru özellikleri (Öztürk, 1996)

<b>D<sub>d</sub> (mm)</b>	<b>D<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>Minimum Et Kalınlığı (mm)</b>	<b>Beton Kaplama Kalınlığı (mm)</b>	<b>D<sub>d</sub> (mm)</b>
100	93.7	4.1	10	121.9
150	149.3	4.1	10	177.3
200	204.0	4.1	10	232.2
250	257.8	4.1	10	286.0
300	313.8	5.8	10	345.4
350	361.7	5.8	13	399.3
400	415.5	5.8	13	453.1
450	469.4	5.8	13	507.0
500	522.7	5.8	13	560.3
600	628.0	6.5	13	667.0
650	651.2	7.4	13	692.0
700	701.2	7.4	19	754.0
750	751.2	7.4	19	804.0
800	801.2	7.4	19	854.0
850	851.2	7.4	19	904.0
900	901.2	7.4	19	954.0

### 3.1.4. PVC ve PE Borular

Esnek borular genellikle PVC ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) malzeme ile yapılırlar (Berkün, 2006).

Kimyasal korozyona dayanıklılığı, karadaki taşıma, döşeme gibi işlemlerin kolaylığı, iç pürüzlükleri çok az olduğu için akış kolaylığı sağlamaları ve boru çeperlerinde birikinti maddeleri tutunamadığı için kabuklaşma olmaması plastik boruların ortak özelliğidir (Berkün, 2006).

PVC borular sıcaklığın 15°C'den düşük, 60°C'den yüksek olduğu ortamlarda kullanılmamalıdır. PVC'nin diğer bir olumsuz özelliği de düşük yapısal dayanımıdır. Yerleştirildiği ortamda oluşan kuvvetlerden etkilenerek kırılabilir. PVC borular flanşlı veya çimentolu geçme şeklinde birbirine bağlanabilir. Yüzdürme ve çekme metodları PVC boruların deniz tabanına yerleştirilmesi için kullanılan metodlardır (URL-2, 2013).



PE borular, esnek olması, yüksek iç basınç dayanımı, kolay uygulama, deniz altında en az ekipman gerektirmesi, deniz suyunun boruyu aşındırma gibi zararı olmaması, uzun ömür gibi nedenlerle Dünya’da çok fazla uygulama alanı bulurken, Türkiye’de de deniz deşarjında kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (URL-2, 2013).

PE borular kaynakla birleştirildiği için sızdırmazdır. Boru uzunlukları, deniz altında yapılacak ek yerlerinin sayısını azaltmak üzere imkan nispetinde büyük tutulmalıdır. PE borular karada kaynak yapıldıktan sonra (Şekil 3.3) denizde yüzdürülüp batırıldığı için deniz içinde ek yapmak açısından en başarılısıdır. Geniş çaplarda 300-500 metrede bir flanş kullanılarak herhangi bir sebeple boruda hasar olursa, sadece o parça yukarı çıkarılır ve yenisi ile değiştirilir. Tamiri kolaydır. Rijit borularda deniz dibi balçık olduğundan çökme, kayma ve deprem gibi sebeplerle ek yerinden çıkma, kırılma olabilir. Ancak polietilen borular deniz dibine uyum sağladığı için deforme olmazlar. PE borular uzun ömürlüdürler. Deniz suyu ve diğer kimyasal sular gibi ömür azaltıcı faktörler bu boruları etkilemez. Bu nedenle polietilen borular fiziksel ve kimyasal etkilere karşı en az 50 yıl ömre sahiptir. PE borular, dışarıdan gelecek şekil değişikliği baskılarına direnmez. Yeryüzü koşullarına uyumludur. Farklı tipte üretilen borular ise yer kabuğunda oluşan ani değişimlerden hemen etkilenir. Sadece PE borular, böyle bir yeryüzü hareketinde (deprem gibi) kendinden beklenen dayanma gücünü gösterir; çünkü kendi mekanik ve analitik özelliklerini koruyarak, üzerine gelen baskıları ya toprağa aktarır ya da baskının geliş şekline oriente olarak molekül yapısını yeni durumuna göre disipline eder (URL-2, 2013).

Hidrolik pürüzsüz olduğu için diğer borulara göre daha küçük çapları seçmek mümkündür. PE borular aşınmaz dolayısıyla pürüzlülük artmaz. Pürüzlülük katsayısı aşağıdaki gibidir (URL-2, 2013).

Cam: 150

PE : 149

PVC : 146

CTP : 143

Beton : 130

Çelik : 118

Font : 95

PE ve YYPE borularda  $\text{çap-ışletme basıncı}$  ilişkileri Tablo 3.5'te ve standart PE ve YYPE boru özellikleri Tablo 3.6'da verilmiştir. YYPE borular için batırma blokları ise Şekil 3.4'teki gibidir.



Şekil 3.3. YYPE boru kaynağının yapılması

Tablo 3.5. PE ve YYPE borularda  $\text{çap-ışletme basıncı}$  ilişkileri (Öztürk, 1996)

$D_d$ (mm)	Uzun Süreli İşletme Basıncı (atü)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )
63 - 450	16 – 20	$\leq 20$
500 - 630	10 – 13	$\leq 20$
710 - 1000	6 – 8	$\leq 20$
1200 - 1600	4 – 5	$\leq 20$

Tablo 3.6. Standart PE ve YYPE boru özellikleri (Öztürk, 1996)

	Et Kalınlığı Serisi															NS
	S-16			S-12,5			S-6			S-5			S-3,2			
	İşletme Basıncı															
	PN 3,2			PN 4			PN 6			PN 10			PN 16			
S(mm)	Di (mm)	mi (kg/m)	S(mm)	Di (mm)	mi (kg/m)	S(mm)	Di (mm)	mi (kg/m)	S(mm)	Di (mm)	mi (kg/m)	S(mm)	Di (mm)	mi (kg/m)		
16												2,20	11,60	0,10	10	
20												2,80	14,40	0,16	15	
25									2,30	20,40	0,17	3,50	18,00	0,24	20	
32									2,90	26,20	0,28	4,40	23,20	0,39	25	
40							2,40	35,20	0,30	3,70	32,60	0,44	5,50	29,00	0,61	32
50				2,00	46,00	0,32	3,00	44,00	0,46	4,60	40,80	0,68	6,90	36,20	0,95	40
63	2,00	59,00	0,41	2,40	58,20	0,48	3,60	55,80	0,73	5,80	51,40	1,07	8,40	46,20	1,49	50
75	2,30	70,40	0,56	2,90	69,20	0,69	4,50	66,00	1,00	6,80	61,40	1,49	10,30	54,40	2,13	60
90	2,80	84,40	0,80	3,50	83,00	0,99	5,40	79,20	1,48	8,20	73,60	2,16	12,30	65,40	3,06	80
110	3,40	103,20	1,19	4,20	101,60	1,45	6,60	96,80	2,20	10,00	90,00	3,19	15,10	79,80	4,56	100
125	3,90	117,20	1,54	4,80	115,40	1,87	7,40	110,20	2,80	11,40	102,20	4,14	17,10	90,80	5,87	100
140	4,30	131,40	1,91	5,40	129,20	2,36	8,30	123,40	3,52	12,70	114,60	5,16	19,20	101,60	7,37	125
160	4,90	150,20	2,46	6,20	147,60	3,09	9,50	141,00	4,50	14,60	130,80	6,77	21,90	116,20	9,39	150
180	5,50	169,00	3,11	6,90	166,20	3,85	10,70	158,60	5,80	16,40	147,20	8,56	24,60	130,80	12,10	150
200	6,20	187,60	3,90	7,70	184,60	4,77	11,90	176,20	7,16	18,20	163,60	10,60	27,30	145,40	15,00	200
225	6,90	211,20	4,85	8,60	207,80	5,99	13,40	198,20	9,07	20,50	184,00	13,40	30,80	163,40	19,00	200
250	7,70	234,60	6,01	9,60	230,80	7,41	14,80	220,40	11,10	22,70	204,60	16,40	34,20	181,60	23,40	250
280	8,60	262,80	7,51	10,70	258,60	9,24	16,60	246,80	14,30	25,40	229,20	20,60	38,30	203,40	29,30	250
315	9,70	295,60	9,51	12,10	290,80	11,80	18,70	277,60	18,00	28,60	257,80	26,00	43,00	229,00	37,00	300
355	10,90	333,20	12,00	13,60	327,80	14,90	21,10	312,80	23,00	32,20	290,60	33,00	48,50	258,00	47,00	350
400	12,30	375,40	15,30	15,30	369,40	188,80	23,70	352,60	29,00	36,30	327,40	41,90	54,70	290,60	29,80	400
450	13,80	422,40	19,70	17,20	415,60	24,30	26,70	396,60	36,80	40,90	368,20	54,30	61,50	327,00	77,10	450
500	15,30	469,40	24,20	19,10	461,80	30,00	29,60	440,80	46,30	45,40	409,20	66,90				500
560	17,20	525,60	30,50	21,40	517,20	37,70	33,20	493,60	56,90	50,80	458,40	83,90				580
630	19,30	591,40	38,50	24,10	581,80	47,70	37,30	555,40	71,90	57,20	515,60	106,00				700
710	21,80	666,40	49,00	27,20	655,60	60,50	42,10	625,80	91,40							800
800	24,50	751,00	62,00	30,60	738,80	76,70	47,40	705,20	116,00							900
900	27,60	844,80	78,60	34,40	831,20	97,00	53,30	793,40	147,00							1000
1000	30,60	938,80	96,70	38,20	923,60	120,00	59,30	881,40	181,00							1200
1200	36,70	1226,60	139,00	45,90	1108,20	172,00										1400
1400	42,90	1314,20	190,00	53,50	1293,00	234,00										1600
1600	49,00	1502,00	243,00	61,20	1477,60	306,00										



Şekil 3.4. YYPE borular için batırma blokları

### 3.1.5. Cam Takviyeli Polyester Borular

Cam takviyeli polyester borular (CTP), devamlı akan cam elyaf takviye ipliklerinin otomatik makinede sarma tekniği ile üretilmektedir. Cam elyaf ve polyesterin sıkıştırılması ile boru iç ve dış cidarları oluşturulmakta ve dolgu maddesi (kum) ilave edilmektedir. Yüksek orandaki polyesterin cam elyaf ile takviye edilmesiyle borunun iç ve dış yüzeyi kimyasallara son derecede dayanıklı hale gelmektedir. Borunun orta bölgesi oldukça dayanıklı olduğundan, ihtiyaç duyulan rijitlik sağlanmakta ve boru boyunca çalışma basınçlarına karşı direnç elde edilmektedir (Berkün, 2006).

CTP borular büyük çaplarda ve uzun üniteler halinde üretilebilir. CTP borular betonarme boru ile karşılaştırıldığında ince et kalınlığı, buna karşı dayanıklı fiziksel yapıya sahiptir. CTP boru aynı kapasiteli çelikten 6 kez, betonarmeden 15 kez daha hafiftir. CTP borular manşonlarla veya flanşlarla birbirine bağlanabilirler (Oğuz ve Akşit, 1987). Boru üretiminde kullanılan malzeme ısı değişimlerinden etkilenmediğinden, üretilen borular ısı değişimlerinden fazla etkilenmezler. Borunun kimyasallara karşı dayanımı boru üretiminde kullanılan polyester türüne göre değişim gösterir. Borular sıcaklığın  $-40^{\circ}\text{C}$ 'den,  $+50^{\circ}\text{C}$ 'ye

kadar değiştiği her yerde kullanılabilir. CTP borularda 300 mm'den 3500 mm'ye kadar i çaplarda retilenmektedirler (Berkün, 2006).

CTP boru, esnek boru duvarı sayesinde ‘‘Su Darbesi’’ adı verilen anlık basınç artışlarını önemli oranda sönümlene özelliğine sahiptir. CTP borular metal olmayan malzemelerden (cam elyafı, reçine vb.) retildiği için, çok yüksek korozyon direncine sahiptir. Bu özelliği sayesinde CTP boru hatları için katodik koruma sistemleri gerekmez (URL-3, 2013).

Bu boru cinsinin deniz deşarjı açısından önemi şunlardır (Berkün, 2006).

- Esnekliği betonarme borulardan fazla, PE borulardan azdır.
- Dayanımı yüksek ve maliyeti düşüktür.
- İ ve dış kimyasal etkilere karşı duyarsızdır.
- Taşınması ve döşenmesi kolaydır.

Standart CTP boru zellikleri Tablo 3.7'de ve CTP borularda çap-işletme basıncı ilişkisi Tablo 3.8'de verilmiştir. Tablo 3.9'da denize deşarj inşaatlarındaki kullanılan boruların özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Standart CTP boru özellikleri (ap ve et kalınlıkları) (ztrk, 1996)

<b>D<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>PN 6 - PN 10 (mm)</b>	<b>PN 16 (mm)</b>
400	5.5	6.1
500	5.5	7.5
600	6.9	8.8
700	7.4	10.2
800	8.3	11.5
900	9.3	12.9
1000	10.2	14.2
1200	12.1	16.9
1400	14.0	19.6
1600	15.9	22.3
1800	17.8	25.0
2000	19.7	27.7

Tablo 3.8. CTP borularda çap-işletme basıncı ilişkileri (ztrk, 1996)

<b>D<sub>i</sub> (mm)</b>	<b>Basıncı Sınıfı</b>	
	<b>(at)</b>	<b>(at)</b>
400-500	6-10	16
600-2000	6-10	16

Tablo 3.9. Deniz deşarj borularının özellikleri (URL-2, 2013)

	<b>PE</b>	<b>Font</b>	<b>Beton</b>	<b>CTP</b>	<b>Çelik</b>
<b>Aşınma</b>	Yok	kötü	kötü	kötü	çok kötü
<b>Darbe Dayanımı</b>	mükemmel	çok kötü	çok kötü	çok kötü	iyi
<b>Döşeme Şekli</b>	yüzdürme	teker teker veya modüler batırma	teker teker veya modüler batırma	teker teker veya modüler batırma	tabandan çekme
<b>İşçilik Maliyeti</b>	çok az	çok fazla	çok fazla	çok fazla	çok fazla
<b>Su İçindeki Etkileme</b>	yok veya çok az	çok fazla	çok fazla	çok fazla	fazla
<b>Ekleme Yeri</b>	karada	su içinde	su içinde	su içinde	karada
<b>Çap Aralığı</b>	3000'e kadar	1600'e kadar	1000'den büyük	3500'e kadar	900'e kadar
<b>Zemine Uyum</b>	çok iyi	kötü	kötü	kötü	kötü
<b>Ağırlık</b>	çok hafif	çok ağır	çok ağır	hafif	çok ağır
<b>Tamir Bakım Kolaylığı</b>	kolay	Zor	zor	zor	zor

### 3.2. Deşarj İnşaatlarında Hazırlık Çalışmaları

- Deşarj güzergahının coğrafi koordinat sistemine dönüştürülerek aplikasyonunun yapılması, şamandıra ile tespit edilmesi,
- Deşarj güzergahı batimetri kontrolünün yapılması,
- Deşarj güzergahı zemin durumunun kontrol edilmesi,
- Boru temini ve kaynak işleri,
- Difüzör hattının hazırlanması
- Batırma bloğu hazırlanması (Şekil 3.7),
- Tespit kütlesi hazırlanması,
- Beton semer hazırlanması (Şekil 3.6),
- Gabion hazırlanması (Şekil 3.8),
- Montaj yastıkları hazırlanması,
- Bağlantı elemanları temini (Cıvata, saplama, somun, flanş ve kör flanş),
- Şamandıra imalatıdır.

Deniz deşarjı şantiyesinden tipik bir görünüm Şekil 3.5'deki gibidir.



Şekil 3.5. Deniz deşarjı şantiyesi



Şekil 3.6. Semer tip koruma blokları



Şekil 3.7. YYPE borular için batırma blokları



Şekil 3.8. Gabion hazırlıkları



### 3.3. Derin Deniz Deşarj İnşaatlarında Gerekli Ekip ve Ekipmanlar

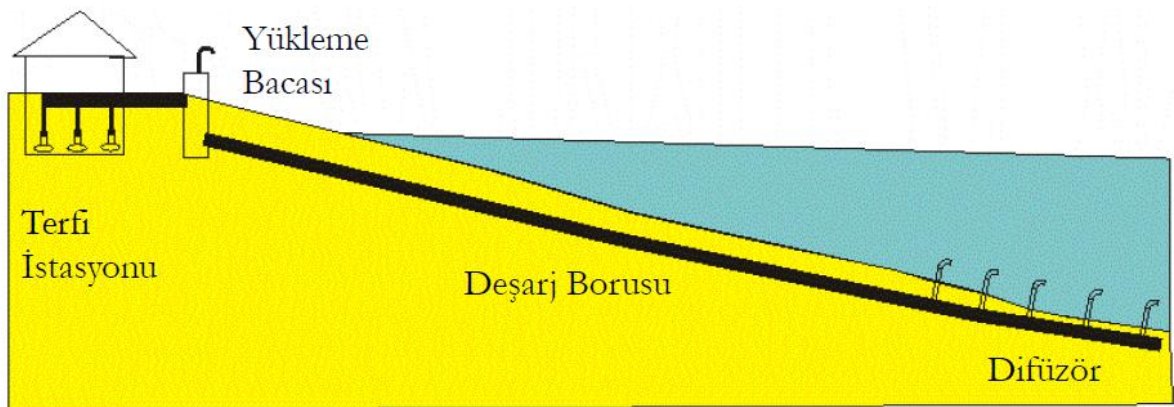
Derin deniz deşarj inşaatlarında bulunması gereken ekip ve ekipmanlar şunlardır.

- Ekskavatör
- HIAB veya vinç
- Kaynak makinesi
- Kazı dubası
- Dolgu gemisi
- Çekme botu
- Hizmet botları
- Dalgıç takımları ve basınç odası

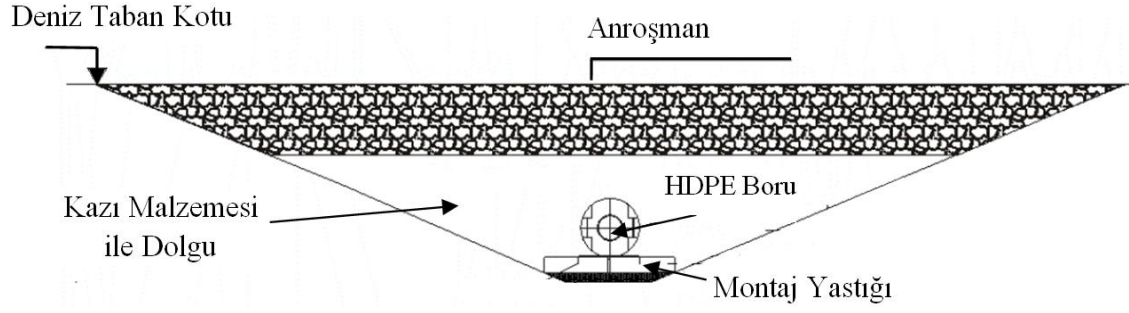
Gemilerde bulunması gerekli personel ise;

- Kazı dubası : 6 kişi
- Kazı gemisi : 8 kişi
- Dolgu gemisi : 5 kişi
- Çekme botu : 2 kişi
- Hizmet teknesi : 1 kişi
- Dalgıç ekibi : 7 kişi

Derin deniz deşarjı tip boy kesiti Şekil 3.9'da ve en kesiti Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Derin deniz deşarjı tip boy kesiti



Şekil 3.10. En kesit

### 3.4. Denize Deşarjın İnşa Yöntemleri

Deniz altında başarılı bir boru hattı döşenmesi için uygulanan konstrüksiyon yöntemleri, bu yöntemlerin hangi şartlarda uygulandığı, her yöntemin özellikleri ve tasarım faktörleri iyi bir şekilde bilinmelidir. Dünyamızda deniz altına boru hattı döşenmesi için uygulanan yöntemler aşağıda açıklanmaktadır.

#### 3.4.1. Gemiden Döşeme Yöntemi

Borular özel tipte ve kapasitedeki bir gemiye yüklenerken teker teker denize indirilirken, gemiye belirli bir ilerleme hareketi yaptırılır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Gemiden döşeme metodu

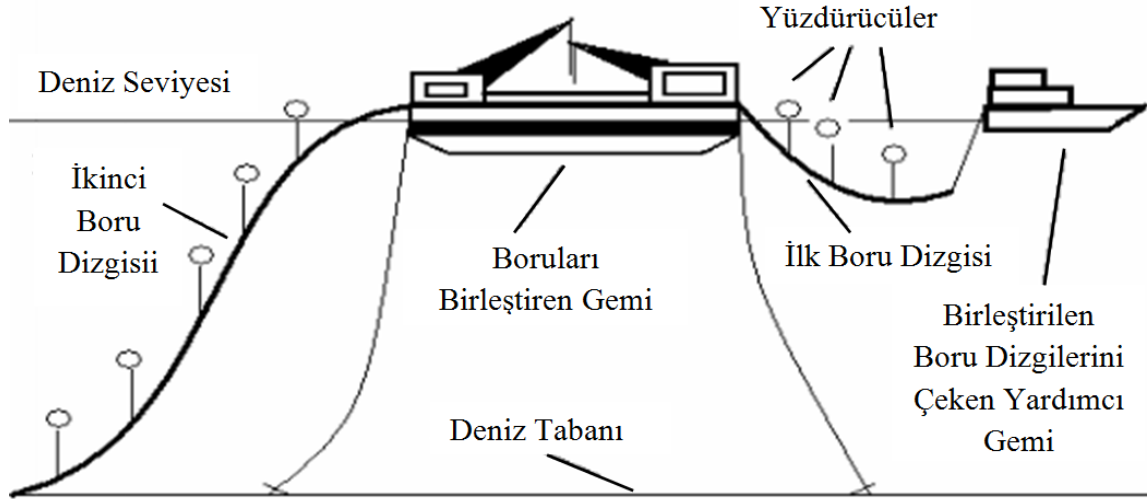
Boru malzemesi esnekliğe sahipse, borular gemide eklenerek denize sarkıtılır Bunun için yüzer bir platform da kullanılabilir. Bu yöntemle, 100 m derinliğe kadar boru döşenebilmektedir. Bu yöntemde, karada şantiye kurulması gerekmemektedir. Petrol boru hatlarının döşenmesinde tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle çelik boru hatlarının döşenmesinde kullanılır. Çelik borular gemide kaynakla eklenerek ve denize sarkıtılarak yerine döşenir (Berkün, 2006).

### 3.4.2. Yüzdürme Yöntemi

Yüzdürme yöntemi küçük çaptaki plastik ve çelik boruların döşenmesinde kullanılır. Bu yöntemi gösteren konfigürasyon Şekil 3.12'de görülmektedir. Çelik borular uzun kısımlar halinde kıyıda birleştirilir ve yüzdürücüler eklenir ve çekilecek yöne paralel olarak kızak bölgesi üzerine tutturulur. Birleştirilen her dizgi suya indirilir ve pozisyonuna getirilir. Daha önceden yüzdürülerek getirilmiş olan ilk dizginin denizdeki ucunu tutan gemi iki dizgi arasındaki bağlantıyı gerçekleştirir. Daha sonra şamandıralar serbest bırakılır. Sadece tamamlanmış borunun son kısmı batırılmaz. Daha sonra diğer bir dizgi de suya çekilir, bölgeye doğru yüzdürülür ve bağlantı gerçekleştirilir. Bu işlem, kalan boru dizgileri ile de aynen devam eder (Gunnerson & French, 1996 ).

Bu yöntem kötü hava koşullarında, dalga ve akıntıların yoğun ve şiddetli olduğu bölgelerde uygulanamaz. Orta durgunluktaki denizlerde bile uygulanması tehlikeli olabilir. Çünkü boru, küçük bir dalga veya akıntının etkisiyle sallanabilir. Bu sallantı sonrası çekilmekte boru dizgileri rotasından kolaylıkla çıkar tekrar rotasına getirmek büyük bir zaman kaybına neden olur. Bu nedenle bu yöntem genellikle korunan sularda uygulanır (Doğan, 2005). Bu olumsuz özelliklere rağmen, dalgıç işçiliğinin az olması, büyük deniz araçlarına ve ekipmana ihtiyaç duyulmaması ve günde 1000-2000 m gibi oldukça yüksek döşeme hızlarında çalışabilmeleri bu yöntemin avantajlarıdır (Berkün, 2006).

Borular şamandıralar arasında asılı durur. Eğer ki borunun bu asılı durduğu alan fazla ise boruyu deniz dibine indirme işlemleri gerçekleştirilirken borular üzerinde fazla gerilmeler oluşabilir. Yukarıdaki yöntem üzerinde yapılan bir varyasyonda boru kısımları kıyıda birleştirilir; böylece uygun gemiye olan gereksinim de ortadan kalkar (Doğan, 2005).



Şekil 3.12. Yüzdürme yönteminde kullanılan ekipmanları ve bu yöntemi gösteren bir konfigürasyon

Yüzdürme yöntemi plastik boruların döşenmesinde de uygulanan başarılı bir yöntemdir. Boru hattı 200-300 m uzunluğunda dizgiler halinde kıyıda monte edilir. Her dizgi, daha sonra boru hattının çapına bağlı olarak beton ağırlıkların eklenmesi ile batırılır. Dizginin her ucu bir flanş ile tutturulur. Ağırlık genellikle havayla dolu borunun kaldırma gücünün yüzde 90 ile 95'i kadardır. Bu yöntemde, ağırlık kütleleri karada bağlanmış, uçları kapalı ve içi hava ile dolu olan borular Şekil 3.13'te görüldüğü gibi bir çekme vincine sahip gemi sayesinde yüzdürülerek denizdeki güzergahı üzerine getirilir ve sonra kara veya deniz tarafından boru içine kontrollü şekilde su verilerek boru hattı yavaş yavaş deniz tabanına batırılır. Pozisyonu oturduğunda dizgi dibe veya hazır bir çukur içerisine dikkatli şekilde indirilir. Son ağırlık ayarları beton ağırlıklarla yapılabilir (Öztürk. 1996). Bu esnada borunun müsaade edeceği eğrilik yarıçaplarının altına düşülmemesine dikkat edilmelidir. Daldırma sırasındaki eğrilik yarıçapları,

PE ve YYPE borularda,  $R > 40 D_d$ ;

Sıgı sularda,  $R > 30 D_d$

sınırlarının altına düşmemelidir (Öztürk. 1996).

Bu yöntem sert hava koşullarına karşı hassastır. Güçlü akıntılar çoğunlukla tek yönde olsa da, etkileri boruların dibe doğru çekilmeleri ile kontrol edilebilir. Tüm operasyon, birkaç uzman dalgıç ve güçlü bir tekne gerektirir. Fakat teknenin büyüklüğü ve kullanılacak dalgıçların sayısı projenin büyüklüğüne göre belirlenir. Böylece çeliğin

döşenmesi için mavnalara ve yardımcı ekipmana olan gereksinim ortadan kalkmış olur (Şekil 3.14). YYPE borular için yüzdürme metodu Şekil 3.15'teki gibidir.



Şekil 3.13. Çekme vincine sahip bir gemi tarafından yüzdürülen boru hattı



Şekil 3.14. Çelik borular için yüzdürme metodu



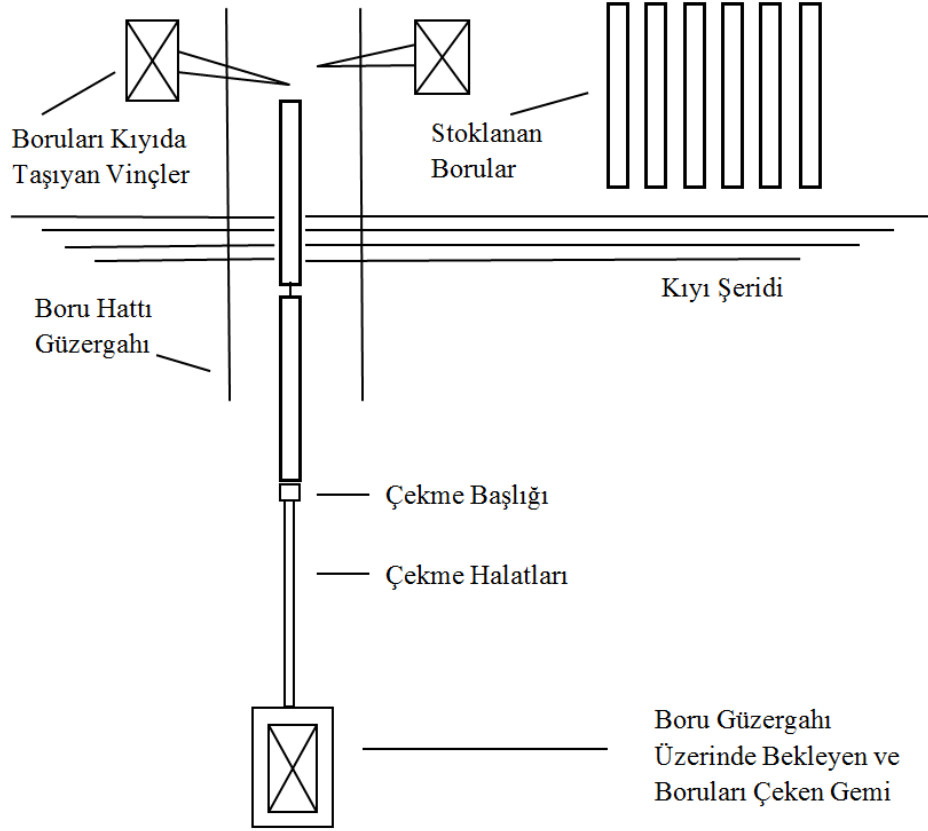
Şekil 3.15. YYPE borular için yüzdürme metodu

### 3.4.3. Tabandan Çekme Yöntemi

Bu yöntem hem endüstriyel hem de gelişmekte olan ülkelerde genellikle deniz deşarj sistemlerinin inşasında küçük çaptaki boruların döşenmesi için uygundur ve bu yöntemle boru hattı döşenirken en az seviyede yüzen ekipman kullanılır. Bu yüzden ekipmanda güzergah üzerinde bekleyen boruları çeken gemidir. Tabandan çekme yöntemi ile ilgili bir konfigürasyon planı Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Çelik ve yüksek yoğunluklu polietilen plastik borular bu yöntemle döşenmektedir. Bölgedeki ortam ve koşullar uygun olduğunda tabandan çekme yönteminin çeşitli varyasyonları başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Gunnerson & French, 1996).

Tabandan çekme yönteminde boruların hazırlanması ve kaynakla birleştirilmeleri karada yapılır. Çelik borular daha önceden kaplanmış olup, kıyıdaki stok alanına getirilirler. Önceden kaplanmış çelik boru kısımları kıyıda 20 ile 500 m uzunluğundaki diziler halinde monte edilir (Gunnerson & French, 1996). Kaynaklara zarar verilmeden test

edilir ve alanda yer alan çıplak boru kısmına korozyona dirençli bir koruyucu kaplama yapılır.



Şekil 3.16. Tabandan çekme yönteminde kullanılan ekipmanları ve bu yöntemi gösteren bir konfigürasyon

Her boru kısmı, gerçek döşeme için hazır olacak şekilde boru hattının rotasına paralel olarak kızaklar veya raylar üzerine yerleştirilir. Borunun deniz tabanı boyunca daha rahat çekilmesini sağlamak için borunun su içindeki ağırlığı özel bir şekilde ayarlanır. Bunun amacı hem çekme için gerekli kuvveti azaltmak hem de borunun dalgalara ve deniz dibindeki akıntılara karşı dayanımını arttırmak ve bu sayede borunun rotadan çıkmasını önlemektir (Doğan, 2005).

Çekme vinci, borunun bitiş noktasının ötesinde ve boru hattının güzergahı ile aynı çizgide birkaç yüz metre derinliğe çapa atmış bir gemi üzerinde olabilir. Alternatif olarak vinç, denizde veya bir boğazın karşı yakasında yer alan bir noktada, kıyı üzerinde bir yere yerleştirilir (Doğan, 2005).

Çekme işleminden önce bir kablonun veya halatın bir ucu, çekilecek borunun öndeki kısmında bulunan ve boruya kaynaklanmış olan bir çekme başlığına bağlanır. Boruların rahat çekilebilmesi için kıyıda bir ray veya kızak sistemine ihtiyaç duyulabilir (Doğan, 2005).

Bu yöntemin uygulandığı bölgedeki deniz tabanı kayalık veya sert bir zemine sahipse boru hattı çekme işlemi yapılırken zarar görebilir. Boru suya girerken suyun kaldırma gücü boru ağırlığının bir kısmını alır ancak boru hattına daha fazla kaldırma gücü eklemek çoğunlukla gerekli olur. Dış kaplama sert ve kayalık dip sebebiyle zarar görebilir. Borular genellikle boş şekilde çekilir ve çoğunlukla da ağaç yüzdürücüler veya dubalar ile yüzdürülerek uygun hale getirilir. Şekil 3.17’de dubalar bağlanmış çekilmeye hazır bir boru hattı görülmektedir. 60 m’den daha derin sularda kullandığımız bu ağaç yüzdürücüleri ve dubaları serbest bırakmak zorlaşır. Genel uygulama şudur; bir boru hattı tabandan çekilecekse 8-30 kg/m büyüklüğünde negatif bir kaldırma gücü sağlanır. Maksimum çekme hızı dakikada 6 m’dir (Gunnerson & French, 1996).



Şekil 3.17. Dubalar bağlanmış çekilmeye hazır bir durumda bekleyen boru hattı

Çekme işlemi mümkün olduğunca seri bir şekilde ara verilmeden yapılmalıdır. Çünkü işleme uzun süre ara verilirse boru zemine iyice yapışır veya gömülür. Bu da çekme



kuvvetinin artmasını gerektirir. Sonuç olarak da boru aşırı gerilmelere maruz kalır (Öztürk, 1996). Boru hattı gel-gitler arasında hareketsiz olarak bırakılmak zorunda ise ve özellikle de dalgalar boru hattına yanal olarak gelecekte bu yöntem kullanılmamalıdır. Uyguladığımız negatif kaldırma gücü eğer ki az ise çekilmekte olan boru hattı kolaylıkla rotadan ayrılabilir ve rotadan ayrılan boru hattını tekrar rotaya sokmak için çekme yöntemiyle hattı düzeltme girişimleri genelde çekme halatının, boru hattının veya boru kaplama materyelinin ayrılması ile sonuçlanır. Çekme işlemi esnasında sürtünme ve kohezyonun etkilerinden kaynaklanan ciddi bir problem vardır. Bu da çekme operasyonlarının kaldığı yerden devam etmesi esnasında başlangıç kuvvetinin borunun esneme sınırlarının dışına çıkması ve boruya ya da kaplamasına bir zarar gelmesidir. Aşırı gerilimli uygulamalar da borular kırılabilir. Tabandan çekme yöntemi uygulanırken kaya çıkıntıları, resifler, gemi enkazları veya izole derinlikler gibi engeller etrafına boru hattı döşenmesi sağlıklı değildir. Tabandan çekilen boru hatları geniş kavisler üzerine döşenemez anlamına gelmemektedir. Bununla birlikte, en önemlisi boru sertliği ve dip koşullardır. En iyi uygulama, boru hattını düz rota hizasında çekmektir. Bu yöntem kıyı çizgisi yakınlarında ve planlanan açık deniz rotası ile aynı doğrultuda büyük bir mavna alanını gerektirir. Bu da kıyıda depo yapmayı ve çekme operasyonundan önce boru kısımlarının monte edilmesini olanaklı kılar (Doğan, 2005).

#### **3.4.3.1. Kısa Boru Hatlarının Dipte Birleştirilmesi Yöntemi**

Bu yöntem tabandan çekme yönteminin bir çeşididir. Borunun birkaç uzun kısmı dibe batırılır ve daha sonra dipte kaynak ya da cıvata ile birleştirilir. İlk kısım, en uzak açık deniz alanına çekilir. Daha sonra ikinci bir kısım aynı yöntemle çekilir ve rota doğrultusunda ilk çekilen kısım ile aynı hizaya getirilir. Son ayarlamalar, yüzeyden boru hattının üzerine doğru inilen bir hizalama aracı tarafından gerçekleştirilir ve operasyonlar dalgıçlar tarafından yapılır. Bundan sonraki döşenecek olan boru dizgileri içinde aynı işlemler sırasıyla gerçekleştirilir. Kıyıda hazırlanmış olan boru dizgileri birbirine flanşlarla tutturulur. Bu flanşlar, kaba bir hizalamaya yardımcı olmak ve hizalayıcı kaynak bağlantısını güvenli kılmak için kullanılmaktadır. Pozisyonlamadan sonra, hizalama aracı hat üzerindeki boruya kadar indirilir. Dalgıçlar çekici baş kısımları çıkarır ve aracın bağlantılarını boruya takarlar. Hizalama aracının sistemi harekete geçer. Bu sistem boruyu

araç içinde pozisyonlamak ve boru uçlarını kapatma, temizleme ve son hizalama çemberi içerisine çekmek amacıyla kullanılır. Kaynaklama, kaplama, kuru ve kontrollü bir atmosferde gerçekleştirilir (Gunnerson & French, 1996).

#### **3.4.4. Teker Teker veya Bölümler Halinde Batırma Yöntemi**

Bu yöntem istendiği takdirde, bütün boru cinsleri için kullanılabilir. Ancak özellikle CTP, öngerilmeli beton, betonarme ve font borular için tercih edilmektedir (Öztürk, 1996). Deşarj hattı boruları teker teker veya 200 m'yi aşmayan tercihen 30-60 m'lik bölümler halinde karada hazırlanır ve özel bir kaydırma sistemi ile denize indirilir. Römorkörle çekilerek döşenecekleri yere getirilerek batırılırlar. Boru hattının römorklerle yerine çekilmesine karmaşık bir yüzdürücü sistem veya şişirilebilen dubalar sistemi uygulanır. Bu şekilde hattın ağırlığı azaltılır. Batırma işlemi dubaların havası kontrollü şekilde boşaltılarak yapılır. Deniz tabanına indirilen boru bölümlerinin birbirine bağlanmaları ve boru güzergahına indirilen tespit kitlelerine veya ağırlık örtülerine montajı dalgıçlar tarafından yapılır. Bu nedenle derinliği fazla olmaması gerekir (Berkün, 2006).

Bu yöntemin S eğrisi olarak isimlendirilen ve özellikle esnek ve uzun boru hatları için elverişli olan bir şeklide vardır (Şekil 3.18). Bu yöntemde hattın bir ucu veya kısmı deniz tabanında diğer ucu gemidedir. Bu durumda boru hattı S şeklini alır. Gemide hattın ucuna yeni borular eklenince bir duba ve yüzdürücü sistemiyle taşıma ve yüzdürme güçleri ayarlanarak, eğilmeden dolayı boru malzemesinin dayanım sınırları aşılmadan borunun S formu korunarak boru hattı kademeli olarak deniz tabanına indirilir (Berkün, 2006).

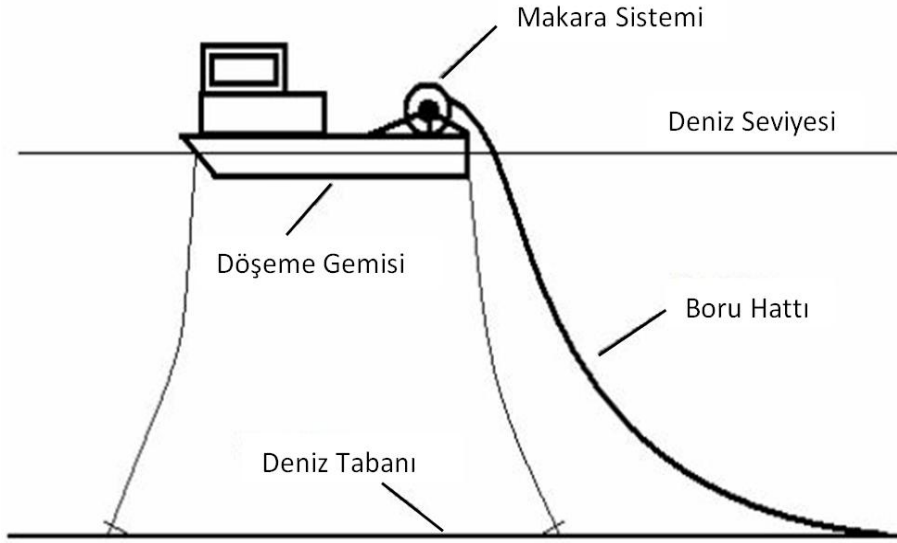
Bu yöntemde inşaat hızı, CTP, PVC ve YYPE borularda düşük, çelik borularda ise orta seviyededir. Çelik, betonarme ve font borular için özel ağır deniz teçhizatı ve vasıtaları gerekir. Modüllerin batırılması esnasında minimum eğrilik yarıçapı,

$$\text{CTP borular için, } R > 150 \times D_d$$

$$\text{Çelik borular için, } R > 100 - 300 D_d$$

sınırlarının altına düşmemelidir. Tatbikinin kolay oluşu ve deniz trafiğinin engellemeyişi, yoğun dalgıç işçiliğine rağmen, özellikle CTP, PVC ve YYPE borular için bu yöntemi cazip kılmaktadır (Öztürk, 1996).

Türkiye'deki CTP, PVC ve bazı YYPE deşarj hatları genellikle bu yöntemle döşenmektedir.



Şekil 3.18. Mavna ile boru döşeme

### 3.4.5. Dipte Monte Etme Yöntemi

Bu yöntemde adından da anlaşılacağı gibi boru hatlarının son bağlantıları deniz tabanında yapılmaktadır. Dipte yapılan birleştirme 3-10 metrelik kısa hatların vinçler veya krikolar aracılığı ile deniz dibine indirilerek, bağlantılarının dalgıçlar tarafından yapılmasıyla gerçekleşir. Bu yöntemin çeşitleri arasında bir mobil platform aracılığı ile döşeme, demir iskeletli bir köprü aracılığıyla döşeme veya vinçli bir döşeme gemisi aracılığıyla döşeme yer almaktadır. Tüm varyasyonlar, boruların yerine indirilmesi, hizalanması ve bağlantıların dalgıçlar tarafından yapılması amacıyla yeterli hassasiyetle yapılan bir pozisyonlama ve kaldırma kapasitesi gerektirir. Bu arada dipte monte etme yöntemleri su derinliği ve dalgıçların yararlı performans gösterebileceği sualtı koşulları ile sınırlandırılmaktadır. Bu koşullar şu anda geleneksel dalma için 100 m'den az ve saturasyon dalgıçlığı için 250 m'dir (Gunnensen & French, 1996).

#### 3.4.5.1. Mobil Bir Kriko Platformu ile Boru Hattı Döşeme Yöntemi

Mobil kriko platformları, büyük çapta olan ve destekli beton boruları kullanan spesifik projeler için yapılmıştır. Bu platform boru döşenecek güzergaha doğru yönlendirilir.

Daha sonra büyük çapalar atılır. Bu çapalar ya ağırlık çapaları ya da delici çapalardır. Daha sonra ayaklar deniz dibine indirilir (Doğan, 2005).

Bu platform kötü hava koşullarından, dalgalardan ve akıntılardan fazla etkilenmez. Çalışma platformunu normal dalgaların ve akıntılarının etkilerinden bağımsız halde su dışına kaldırmak için büyük krikolar kullanılır. Bu sayede dalga ve akıntılardan platform etkilenmemiş olur. Her boru parçası hatta çapa hatları bir sonraki pozisyona geçer ve platformu döşeme operasyonuna devam etmek amacıyla suyun dışına kaldırır (Gunnerson & French, 1996). Şekil 3.19’da bu yöntemle kullanılan platform görülmektedir.



Şekil 3.19. Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan bir mobil krikolar platformu

#### **3.4.5.2. Demir Köprüler Aracılığıyla Boru Hattı Döşeme Yöntemi**

Birçok boru hattı inşaatı projesinde kıyıya yakın bölümler genellikle demir köprüler vasıtasıyla veya geçici iskeleler aracılığıyla döşenmektedir. Demir köprüler boru döşeyici gemiler için çok sığ olan sularda veya dalga koşullarının yüzücü bir platformun

çalışmasına olanak vermediği şartlarda kullanılır. Demir köprüler kıyıya yakın sularda tam anlamıyla tüm dalga hareketlerini ortadan kaldırmaz fakat işin bir platform aracılığı ile yapılabilmesini sağlar. Demir köprülere H-dirseklerin deniz tabanına yerleştirilmesi ile başlanır. Bir direk makasları kirişlerin direk çiftlerinin üzerine çapraz olarak konulmasıyla ortaya çıkar. Birleştirme işleminde kaynak yerine genellikle civatalama kullanılır bu sayede direkler ve kirişler daha sonra da boru döşeme ekipmanı için raylar üzerinde yerine yerleştirilir. Vinç, direklerin yerleştirilmesi ve diğer işlemler için denize doğru ilerlerler. Kullanılan vinç iş bittiğinde kıyıya geri döner ve dönerken de direkleri toplar. Demir köprü bir vinç ile uzatılırken diğer bir vinç de kıyıda kazık çakmaya yardımcı olabilir ya da deniz dibini boru döşeme operasyonları için hazırlamak amacıyla bir kepçe ile kazı yapabilir. Bir veya iki standart vinç ya da bir gezer vinç boruların indirilmesi için kullanılabilir (Gunnerson & French, 1996).

#### 3.4.5.3. Vinçli Bir Döşeme Gemisi ile Boru Hattı Döşeme Yöntemi

Bu yöntemde özel bir kaldırma kapasitesine ve hassasiyete sahip vinçle donatılmış Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de görülen döşeme gemileri kullanılır.



Şekil 3.20. Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan vinçli döşeme gemisi



Şekil 3.21. Deniz altında boru hattı döşenmesinde kullanılan vinçli döşeme gemisi

Bu yöntemde boru hatlarının hizalaması, pozisyonlaması ve son bağlantıları deniz tabanında yapılmaktadır. Bu yöntemle boru hattı döşenmesi gayet basittir. Döşenecek olan borular gemideki vinç sayesinde suya indirilir. Burada pozisyonlama, hizalama ve dipteki son bağlantılar dalgıçlar tarafından yapılır. Bu işlem için hava ve su altı koşullarının uygun olması gerekir (Doğan, 2005).

Vinçli bir döşeme gemisi ile boru hattı döşeme yöntemi uygulanırken hizalama, pozisyonlama ve bağlantılar dalgıçlar tarafından yapıldığı için yeterli seviyede hassasiyet ve kaldırma kapasitesi gerekir. Kullanılan döşeme gemisindeki vincin bu iskeletlere cevap vermesi gerekir. Bu arada dipte monte etme işlemi su derinliği ve dalgıçların yararlı performans gösterebileceği su altı koşulları ile sınırlandırılmaktadır (Gunnerson & French, 1996).

Boru döşeme işlemini kötü hava koşullarında yapmak zorundaysak döşenecek borular pozisyonlama, hizalama ve dipte bağlantıları yapılırken bu kötü hava koşullarında etkilenebilir ve birleştirme esnasında boru uçları zarar görebilir ayrıca önceden döşenmiş olan boru hattına zarar verebilir. Bunu önlemek için Şekil 3.22’de görülen bir boru tutucu gövde ya da boru hattı altlığı kullanılabilir.



Şekil 3.22. Borunun zarar görmesini engelleyene boru tutucu gövde

Bu yöntemde boru hattı döşenirken kullanılan döşeme gemilerinin döşenecek boruları depolama ve taşıma kapasitesi fazla yoktur. Bu da bir taşıma sorunu ortaya çıkarır. Bu problemi ortadan kaldırmak için döşeme gemisine yardımcı olan ve boruları taşıyan Şekil 3.23’de gösterilen yardımcı gemiler kullanılmaktadır.



Şekil 3.23. Boru döşeme operasyonunda döşeme gemisine boru taşıyan yardımcı gemi

Vinçli bir döşeme gemisi ile boru hattı döşeme yöntemi daha çok durgun sularda uygulanır (Gunnerson & French, 1996). Daha önceden de belirtildiği gibi hizalama, pozisyonlama ve deniz dibi bağlantıları durgun olmayan sularda düzenli bir şekilde yapılmaz. Sonuç olarak başarılı ve istenen amaca uygun boru hattı döşenemez.

#### **3.4.6. Şamandıra Zincir Yöntemi**

Şamandıra zincir yönteminde üzerine yüzücü üniteler bağlanmış ve zincirlerle hazırlanmış uzun boru kısımlarının yerleştirilmesi ve döşenmesi için geliştirilmiştir. Üzerine yüzdürücü üniteler bağlanmış olan borular, deniz dibinin birkaç metre üzerinde yüzer halde dururken çekilme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem için döşeme gemilerine göre operasyon için daha ucuza mal olan ve deniz yüzeyinde yer alan bazı tesislere ihtiyaç duyulur. Bu yöntem 100 metreye kadar olan derinliklerde 10 km'nin üzerindeki uzunluklarda boru hatlarının döşenmesi için kullanılmaktadır (Gunnerson & French, 1996).

Kullanılan zincirlerin ağırlığı, yüzdürücü ünitelerin yükü ve borunun ağırlığını dengeler. Borular boş olarak çekilir. Boru hattının döşeneceği deniz dibinin düz olduğu durumlarda zincirler boruyu deniz dibinin üzerinde sabit bir seviyede tutar. Deniz dibi üzerinden çekilen zincirlerin boyu hesaplanır; böylece çekme işlemi boyunca meydana gelen herhangi bir yanal akıntıda borunun dengesi sağlanmış olur. Bu yöntem özellikle küçük akıntıların olduğu bölgelerde büyük ilgi görmektedir. Bu yöntem geleneksel tabandan çekme yönteminden bir açıdan ayrılmaktadır. Bükülmeyi engellemek için boru hattının kıyıdaki ucu üzerine engelleyici bir kuvvet uygulanır (Doğan, 2005).

#### **3.4.7. Makaralı Döşeme Gemisi ile Boru Hattı Döşeme Yöntemi**

Bu yöntem genellikle su sağlayıcı ve fazla uzun olmayan hatlarda kullanılır. 30 cm çapa kadar olan polietilen borular 10 km'den daha büyük uzunluklarda kullanılır (Gunnerson & French, 1996). Plastik borular, gemide bulunan büyük bir makara veya bobin üzerinde sarılarak depolanır. Boru döşenirken uygulanan diğer aşamalarda ise boru, makaradan sürekli ve kesintisiz bir şekilde açılır ve güzergahına döşenir. Şekil 3.24'te bu yöntemde kullanılan makaralı bir düzeneğe sahip olan döşeme gemisi görülmektedir.





Şekil 3.24. Makaralı bir düzeneğe sahip olan döşeme gemisi

Makaralı mavna yöntemi ile döşenmiş olan çelik borular, normal şartlarda polietilen ya da epoksi kaplama ile kaplanır. Ağır duvar borular ise, bu teknikle yeterli negatif boru batmazlığına ulaşmak için kullanılır. Bu yöntem uygulanırken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta vardır. Bu noktada borular döşenirken borunun izin vereceği eğrilik yarıçaplarının altına düşülmemesidir. Bu eğrilik yarıçapları boruların cinsine göre değişmektedir. Eğrilik momenti, eğilme gerilmeleri ve eğrilik kullanılan borunun elastoplastik davranışına da bağlıdır ve hesaplar buna göre yapılmaktadır (Gunnerson & French, 1996).

### 3.5. Yapım Yöntemlerinin Olabilirlik Açısından Değerlendirilmesi

Denizaltı boru hatları günümüzde özellikle deniz deşarjı sistemlerinde kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen yöntemler arasında özellikle vinçli bir döşeme gemisi ile boru hattı döşeme yöntemi, tabandan çekme yöntemi, yüzdürme yöntemi, makaralı döşeme gemisi ile boru hattı döşeme yöntemi günümüzde denizaltı boru hattı döşenirken uygulanan en önemli ve güncel yöntemlerdir (Sükan, 1986). Yüzdürme yöntemi ile vinçli bir döşeme gemisi ile yapılan döşeme işlemleri özellikle kötü hava koşullarından etkilenirler. Tabandan çekme yöntemi ise boru hattının düşmanı kayalık zeminlerdir. Bu tip zeminlerde bu işlem yapılamaz yoksa boru hattı zarar görür. Polietilen boruların döşenmesinde uygulanan en kolay yöntem makaralı döşeme gemisi ile yapılan döşeme

yöntemidir. Tablo 3.10’da ise bu yöntemlerin olabirlik açısından karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 3.10. Yapım Yöntemlerinin Olabirlik Açısından Karşılaştırılması

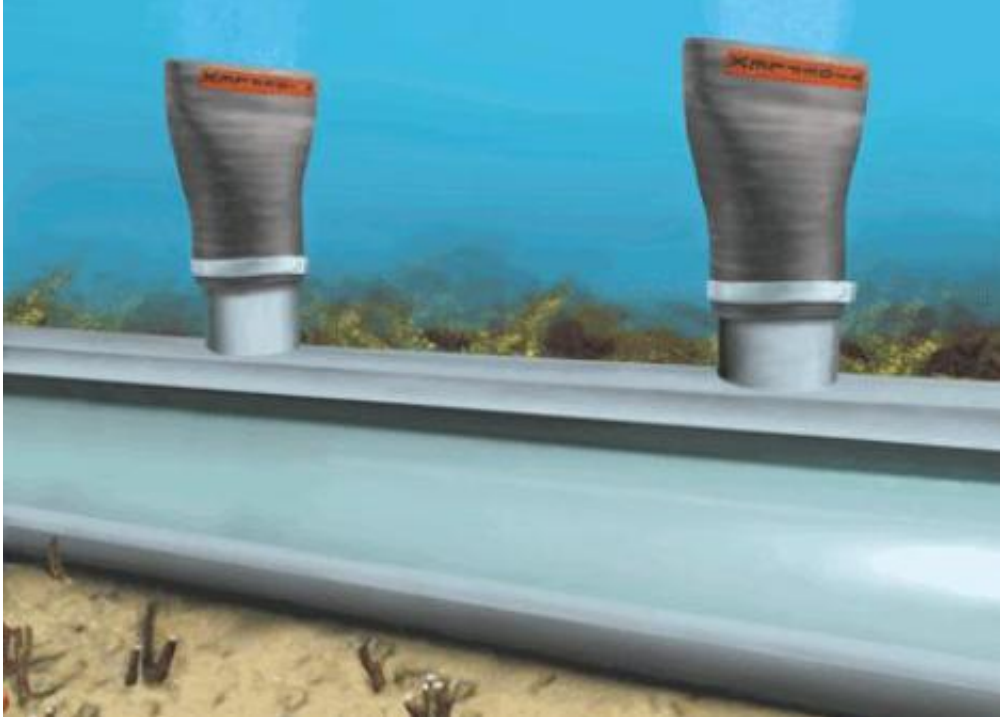
Döşeme Yöntemi	Uygulama Yerleri	Hava Şartları	Gereksinim	Boru Tipi	Zemin	Avantaj Dezavantaj
Vinçli bir döşeme gemisi ile boru döşeme	Deniz Deşarjı Yapıları	Kötü havadan etkilenir.	Boruları taşımak için yardımcı gemiler kullanılır.	Plastik ve çelik borular kullanılır.	Yer tehlikesi olmayan her zeminde uygulanır.	Geminin boru taşıma kapasitesi azdır. Sadece korunan sularda uygulanır.
Tabandan çekme yöntemi	Deniz Deşarjı Yapıları	Kötü havadan etkilenir.	Boruların depolanması ve montajı için kıyıda alana ihtiyaç vardır.	Plastik ve çelik borular kullanılır.	Sert zeminlerde uygulanmaz.	Çekme işlemi ara verilmeden yapılmalıdır
Yüzdürme yöntemi	Deniz Deşarjı Yapıları	Kötü havadan etkilenir.	Yüzdürme ekipmanlarına ihtiyaç duyulur.	Plastik ve çelik borular kullanılır.	Her zeminde uygulanır.	Sadece korunan sularda uygulanır.
Makaralı döşeme gemisi ile	Su sağlayıcı kısa hatlar	Kötü havadan az etkilenir.	Makara sistemine ihtiyaç duyulur.	Polietilen borular kullanılır.	Her zeminde uygulanır.	Boru hattı kısa zamanda tamamlanır.

### 3.6. Derin Deniz Deşarj Hattı İnşaatlarında Dikkat Edilmesi Gerekli Konular

- İhalelerden önce tüm yasal izinler alınmalıdır.
- En uygun deşarj borusu tipi YYPE borulardır.
- Deşarj çıkış noktaları nehir ağızlarından mümkün olduğunca uzak tutulmalıdır.
- Proje aşamasında uygun iskele veya liman tespiti yapılmalı, çıkabilecek maliyetler keşiflerde dikkate alınmalıdır.
- Uygulama projelerinde coğrafi koordinat sistemi kullanılması (deniz işlerinin tümünde ve seyrüseferlerde coğrafi koordinat kullanılmaktadır).
- Uygulama projelerinde met-cezir ve deniz tabanı değişimleri dikkate alınmalıdır.

- Deniz çalışmalarının ortalama olarak 150 gün/yıl yapılabileceği keşif hesaplamalarında dikkate alınmalıdır.
- Deşarj boruları mümkün ise tamamen gömülü veya örtülü olarak tasarlanmalıdır.
- Difüzör sonları mutlaka açılır kapaklı tipte ve delikli olarak tasarlanmalı ve periyodik olarak bu kapaklar açılmalı ve difüzörde biriken kumlar dışarı atılmalıdır.
- Şartnamelerde + / - 0.0 kotunun deniz kazısı başlangıç kotu olarak belirtilmesi, uygulamada yaşanacak sıkıntıların önüne geçecektir.
- Kıyı başlangıç noktasında montaj yastığı kullanılmamalıdır.
- Kıyı yaklaşımlarında hendek üstü kaplamaları doğal deniz tabanının altında bırakılmamalıdır.
- Kıyı başlangıç noktasında deşarj başlangıcı mümkün olduğunca derinden yapılmalı, kıyıda mutlaka tahkimat, beton blok, gabion veya şilte ile önlem alınmalıdır (doğal kıyı ve deniz tabanı tekrar sağlanmalıdır).
- Deniz altında kullanılacak tüm bağlantı elemanları en az 316 kalite paslanmaz çelik olmalı veya dayanıklı plastik malzemeden veya metal üzeri plastik kaplı malzemelerden imal edilmelidir.
- Kayalık, kumtaşı ve sıkışmış kil içeren zeminlerde deşarj hatları mümkün olduğunca betonarme semer ile korunacak şekilde projelendirilmelidir (hendek üstü dolgusu hiçbir zaman doğal deniz tabanı oluşumundan daha yumuşak olmamalıdır).
- Deniz dibi tepeciklerinin tektonik hareketlerde dip heyelanı yaratma riski olduğu için, bu tür lokasyonlardan kaçınılmalıdır.
- Deşarj terfi merkezi pompa şarjları “ yumuşak yol verici ” (soft – starter) tipinde tasarlanmalıdır. Böylece pompalar ilk devreye girdikleri anda aşırı basınç farkları oluşmayacak, deşarj hattı ve pompalar tehlikeye girmecektir.
- Terfi merkezlerindeki kum tutucuların iyi çalıştırılmaması nedeniyle, deşarj hatlarında kısa süre içerisinde kum birikmesi sonucu arızalar oluşmaktadır. En uygun çözüm, deşarj pompası ile akuple çalışan “ siklon + vibrasyon eleği ” (otomatik çalışan) sistemlerin kullanılmasıdır.

- Difüzör çıkışlarında duck-bill'ler (tek yönlü çıkış ağızları) kullanılmalıdır (Şekil 3.25). Böylece difüzör borusu içine ters yönlü akış olmayacak ve yosunlanma ve tıkanmaların önüne geçilecektir.



Şekil 3.25. Tek yönlü çıkış ağızları

- Hat üzerine yerleştirilen şamandıralar (Şekil 3.26) güneş enerjisi ile çalışan, çakar tipte, büyük boy olmalıdır. 1.5–2.0 deniz mili mesafesinden görünür olmalıdır.
- Montaj yastığı uygulamalarında yastık ebadı 40 x 20 x 60 cm seçilmeli, daha büyük ebatlar kullanılmamalıdır.
- İşin yapımı esnasında, geçici ve kesin kabul işlemlerinde,teçhizat ve ekipman seçiminde profesyonel ve bağımsız olan kurumlardan, tercihen klas kuruluşlardan (Türk Loydu gibi) müşavirlik hizmetleri alınmalı, böylece
  - a. Hem inşaat kalitesi yükselecek ve uluslararası standartlar kullanılacaktır.
  - b. Hem de tesislerin sigorta edilmesinde yaşanan sıkıntılar ortadan kalkacaktır.

- Deniz deşarjı inşaatı ihaleleri öncesinde ön yeterlilik ihaleleri yapılarak, personel, ekipman ve mali güç bakımından uluslararası standartlarda çalışma yapabilecek, yeni teknolojileri kullanabilen, uzman personel istihdam eden müteahhitlerin ihalelerde yarışması sağlanmalıdır.



Şekil 3.26. Şamandıralar

Böylece inşaat kalitesi yükselecektir ve her bir proje idare ve yüklenicinin, dünya genelinde uygulanan yeni teknikleri tatbik edebileceği bir çalışma alanı haline gelecektir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deniz, nehir, göl gibi bir yüzeysel su kaynağına verilen atıksular, arıtılmadan deşarj edildikleri takdirde ötrifikasyona, yüzeysel suların anaerobik bir ortama dönüşmesine, balık ölümlerine, koku yayılmasına sebep olur. Bu nedenle atıksuların çevreye en az zarar verecek şekilde arıtılarak deşarj edilmesi önem arz etmektedir. Bunun için gerekli ekipman ve personel ihtiyacı doğru belirlenmeli, atıksuların uzaklaştırma biçimi ve arıtılmış suyun yeniden kullanılıp kullanılmayacağı gibi hususlar üzerinde çalışmalar yapılmalıdır. Bu hususlara açıklık getirmek amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Derin deniz deşarjlarında deşarj borusu deniz deşarj hattının en önemli kısımlarından birini oluşturur. Bu borunun özel şartlar altında işlevini yerine getirmesi gerekir. Deşarj hatlarında kullanılacak boruların cinsleri ile inşa yöntemleri arasında önemli ilişkilerin olduğu tespit edilmiş olup, boruların teknik özellikleri ve işletme koşulları kullanılacak inşa yöntemine göre değerlendirilmelidir.
2. Deniz altında bir boru hattı döşeme işlemi yapılırken kullanılacak olan boru cinsi ile inşa yöntemi arasındaki ilişki incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.
  - a. Deniz deşarjı sistemlerinin inşasında küçük çaptaki ( $\phi \leq 500$  mm) polietilen ve çelik boruların döşenmesinde yüzdürme yöntemi ve tabandan çekme yöntemi kullanılmaktadır. Yüzdürme metodu çelik borular için her ne kadar uygulanabilirse de, bu yöntemin uygulanmasında deşarj hattının parça parça yüzdürülerek batırılması gerekir. Gerek yüzdürme ve gerek batırma işlemleri için özel teçhizata ihtiyaç duyulur ve aynı zamanda borunun yüksek gerilmelere maruz kalma riski bulunur. Bu bakımdan çelik borular için tabandan çekme yönteminin, polietilen borular için ise yüzdürme yönteminin kullanılması tavsiye edilmektedir.
  - b. Bütün boru cinsleri için uygulanabilir olan yöntem, tatbiki kolay ve deniz trafiğini engellemeyen teker teker veya bölümler halinde batırma yöntemidir.
  - c. 1 km'nin altındaki su sağlayıcı hatlarda, polietilen boruların döşenmesinde uygulanabilecek en kolay ve başarılı yöntem ise makaralı döşeme gemisi ile inşa yöntemidir.

3. Dalga ve akıntılar ile güçlü gel-git ve fırtına akımlarına maruz bir sistemde uygulanacak olan inşa yöntemleri arasındaki ilişki incelendiğinde;
  - a. Yüzdürme yöntemi, dalga ve akıntıların yoğun ve şiddetli olduğu bölgelerde uygulanması zor bir yöntemdir. Çünkü boru, küçük bir dalga veya akıntının etkisiyle sallanabilmektedir. Bu sallantı sonrası çekilmekte olan boru dizgileri rotalarından kolaylıkla çıkmakta ve tekrar rotasına getirmek büyük bir zaman kaybına yol açmaktadır. Bu nedenle, yüzdürme yönteminin genellikle korunan sularda uygulanması tavsiye edilmektedir.
  - b. Uygulanan negatif kaldırma gücünün az olması durumunda çekilmekte olan boru hattı kolaylıkla rotasından çıkabilmekte ve rotadan çıkan boru hattını çekme yöntemiyle tekrar rotasına sokma çalışmaları genelde çekme halatının, boru hattının veya boru kaplama materyalinin kopmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu sebeple, boru hattının güçlü gel-gitler arasında hareketsiz olarak bırakılmak zorunda olduğu ve özellikle de dalgaların boru hattına yanal olarak geldiği durumlarda tabandan çekme yönteminin uygulanmaması önerilmektedir.
  - c. Hizalama, pozisyonlama ve deniz dibi bağlantıları, durgun olmayan sularda düzgün bir şekilde yapılamadığı için vinçli döşeme gemisi ile boru hattı döşeme yöntemi durgun sular için tercih edilmelidir.
  - d. Küçük akıntıların olduğu bölgelerde ise şamandıra zincir yönteminin uygulanması önerilmektedir.
  - e. Çalışma platformunun büyük krikolar kullanılarak normal dalgalar ve akıntılardan etkilenmeyecek şekilde su dışına kaldırıldığı mobil kriko platformu ile boru hattı döşeme yöntemi dalga ve akıntılardan en az etkilenen yöntemdir.
  - f. Demir köprülerle boru hattı döşeme yönteminde kıyıya yakın sularda tam anlamıyla tüm dalga hareketleri ortadan kaldırılamaz fakat iş bir platform aracılığıyla yapılır. Bu sebeple, dalga koşullarının sistemi olumsuz olarak etkilediği durumlarda kullanılması uygundur.
4. Denize deşarj sistemlerinin inşa yöntemleri ile yapım ekipmanlarının mevcudiyeti (dalgıç işçiliği, büyük deniz araçları ve ekipmanlar, vb.) arasındaki ilişki dikkate alındığında şu neticelere ulaşılmıştır.

- a. Yüzdürme metodunda boru kısımları kıyıda birleştirildiği için bütün işlemler birkaç uzman dalgıç ve güçlü bir tekne ile çözümlenebildiğinden büyük deniz araçlarına ve ekipmanlara ihtiyaç duyulmaz.
  - b. Teker teker veya bölümler halinde batırma yönteminde deşarj hattı boruları karada hazırlanır ve özel bir kaydırma sistemi ile denize indirilir. Çelik, betonarme ve font borular için özel ağır deniz teçhizatları gerekir. Boru hattı römorklarla yerine çekildiğinden karmaşık bir yüzdürücü sistem uygulanır. Deniz tabanına indirilen boru bölümlerinin birbirine bağlanmaları ve boru güzergahına indirilen tespit kitlelerine ve ağırlık örtülerine montajı dalgıçlar tarafından yapıldığından yüzdürme metoduna kıyasla yoğun dalgıç işçiliği gerektirmektedir.
  - c. Dipte monte etme yöntemi ve bu yöntemin tüm varyasyonlarında, boruların yerine indirilmesi, hizalanması ve dipteki son bağlantıları dalgıçlar tarafından yapıldığından yoğun dalgıç işçiliği gerektirmektedir. Vinçli döşeme gemisi ile yapılan inşa yönteminde boru hattı döşenirken kullanılan döşeme gemilerinin döşenecek boruları depolama ve taşıma kapasitesinin fazla olmaması nedeniyle döşeme gemilerine olan gereksinimin diğer yöntemlere göre daha fazla olduğu düşünülmektedir.
  - d. Tabandan çekme yönteminde boru dizgileri kıyıda birleştirilip koruyucu kaplamaları da kıyıda yapıldığı için diğer yöntemlere göre daha az seviyede yüzücü ekipman gerektirir.
  - e. Makaralı döşeme gemisi ile boru hattı döşeme yönteminde makara veya bobin sistemine sahip olan döşeme gemilerine ihtiyaç duyulur.
  - f. Karada şantiye kurulmasını gerektirmemesi açısından en avantajlı inşa yöntemi ise gemiden döşeme yöntemidir.
5. Deniz tabanının kayalık ve sert bir zemine sahip olduğu durumlarda boru, çekme işlemi yapılırken zarar görebileceğinden tabandan çekme yönteminin uygulanması önerilmemektedir. Deniz tabanından çekme işlemi yapılırken sürtünme ve kohezyon etkilerinden kaynaklanan ciddi problemlerle karşılaşılabilir. Çekme işleminin uzun süre ara verilmeden seri bir şekilde yapılması tavsiye edilmekte olup, aksi takdirde borunun zemine iyice yapışarak gömüldüğü ve sistemi bloke ettiği gözlemlenmiştir. Tabandan çekme yöntemi



dışındaki diğer inşa yöntemlerinin her türlü zeminde uygulanabileceği düşünülmektedir.

6. Boru hattı uzunluğu 600 m'den büyük olan denize deşarj hattı inşaatları için borular ya kıyı alanlarına yapılan bir imalattan sonra çekilerek ya da döşeme gemisi ile döşenmektedir. Büyük çaptaki ( $\phi \geq 1000$  mm) destekli beton boruların kullanıldığı spesifik projeler için mobil kriko platformu ile boru hattı döşeme yöntemi, 100 m'ye kadar olan derinliklerde ve 10 km'nin üzerindeki uzunluklardaki boru hatlarının döşenmesinde ise şamandıra zincir yönteminin kullanılması önerilmektedir.
7. Yüzdürme, tabandan çekme, teker teker veya bölümler halinde batırma yöntemlerinde deşarj borularının hazırlanması ve dizgiler halinde montajı karada yapıldığından kıyıda yeterli alanın olmadığı durumlarda döşeme gemisi veya yüzücü platformların kullanıldığı döşeme yöntemleri tercih edilmelidir.
8. Borunun tabana olan düşey mesafesi azaldıkça boruya etkiyen sürüklenme kuvveti azalmaktadır. Boru tabana yaklaştıkça, borunun alt kısmındaki akım hızının borunun üst kısmındaki akım hızından çok daha düşük olması, borunun dümensuyu çevrinti bölgesinin küçülmesine ve böylece sürüklenme katsayısının  $C_D$  (veya sürüklenme kuvvetinin) azalmasına sebep olur. Buna ek olarak, boru tabanı yükseldikçe boru hizasındaki akım hızı çok daha fazla düşeceğinden boruya etkiyen sürüklenme kuvveti de azalır.
9. Deniz tabanına gömülü olmayan boru hatlarında yeterli düşey stabilitenin sağlanamadığı durumlarda boru yüzücü hale gelir veya proje gerilmesi karşılanıncaya kadar eğrisel formda bir yataklanma ile sedimentlerin içine batar.
10. Deniz tabanına açılan kanaldan çıkan malzemenin boru döşendikten sonra kanalın doldurulmasında kullanılması sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Çukurdan çıkarılan kazının birim hacim ağırlığı yüksekken, kanalın kapatılması için ikinci defa kullanılan sıvı-çamur niteliğindeki malzemenin kesme mukavemeti oldukça düşüktür. Bazı durumlarda çukurun doğal sedimantasyonla zamanla dolacağı düşünülerek doldurma işlemi yapılmamaktadır. Böyle durumlarda, deprem şokları ve yüksek dalga etkileri sebebiyle zeminde sıvılaşma olabileceği düşünülmekte olup, yerine yüzdürülerek yerleştirilebilecek derecede hafif boru hatlarının bu koşullara göre anazili önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Alexandrou, A., 2000. Principles of Fluid Mechanics, New Jersey Prentice Hall, 573 s.
- Anonim, 1990. Wave and Current Forces, Water Research Center Report, Design Guide for Marine Treatment Schemes, III, IV, 437-500.
- Berkün, M., 2006. Atıksu Arıtma ve Deniz Deşarjı Yapıları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 374s.
- Doğan, Ö., 2005. Denizaltı Boru Hatları İnşası Öncesi Fizibilite Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Grace, R., 1998. Marine Outfall Systems: Planning, Design and Construction, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 600 s.
- Gökkus, Ü., 1995. Computer-Aided Design of Submarine Pipelines, Water Science Technology, 233-241.
- Gunnerson, G. C. ve French, A. J., 1996. Wastewater Management for Coastal Cities: The Ocean Disposal Option, Second Edition, Springer, Berlin, 345 s.
- Guyer, W., 2002. Siedlungswasserwirtschaft, Springer Verlag, Berlin.
- Gündemir, O., 2006. Su Altı Borularına Etkiyen Kuvvetler, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karakaş, A. R., Ergül, E. ve Karabey, H. E., 2007. Küçükçekmece Deniz Hattı Onarılması ve Uzatılması, 6. Ulusal kıyı Mühendisliği Sempozyumu, İzmir, 25-28 Ekim, 227-234.
- Kocamış, Z. A., 2006. Deniz Deşarjlarında Kirlilik Dağılımının Bilgisayar Destekli İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Metcalf&Eddy, 1991. Wastewater Engineering, McGraw-Hill Inc., New York, 780 s.
- Mousselli, A. H., 1981. Offshore Pipeline Design, Analysis and Methods, PennWell Boks Company, Oklahama, 193 s.
- Posey, C. J., 1971. Protection of Offshore Against Underscour, ASCE Journal of Hydraulics Division, 97, 1001-1016.
- Oğuz, M. ve Akşit, A., 1987. Deniz Deşarj Yapılarında En Uygun Boru Cinsinin Seçimi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Ağustos-Eylül, 17-20.
- Öztürk, İ., 1996. Atıksu Ön Arıtma ve Deniz Deşarjı Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 238 s.

Resmi Gazete, 2008. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 26786, 48-50.

Resmi Gazete, 2010. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 27527, 6-7.

Samsunlu, A., 2005. Su Getirme ve Kanalizasyon Yapılarının Projelendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 322 s.

Samsunlu, A., 2006. Atıksuların Arıtılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 647 s.

Sükan, L.M., 1986. Açık Deniz Altında Boru Döşeme Tekniği, İTÜ Matbaası, İstanbul, 159 s.

Teng, C. C. ve Nath, J. H., 1986. Forces on Horizontal Cylinder Towed in Waves, American Society of Civil Engineer, ASCE, 1022-1040.

URL-1, <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum01.pdf>, Atıksu Miktar ve Özellikleri. 13 Şubat 2013.

URL-2, <http://www.dizayngrup.com/kataloglar/altyapi/deniz-desarj-borulari.pdf>, Deniz Deşarj Dizayn Grubu. 15 Şubat 2013.

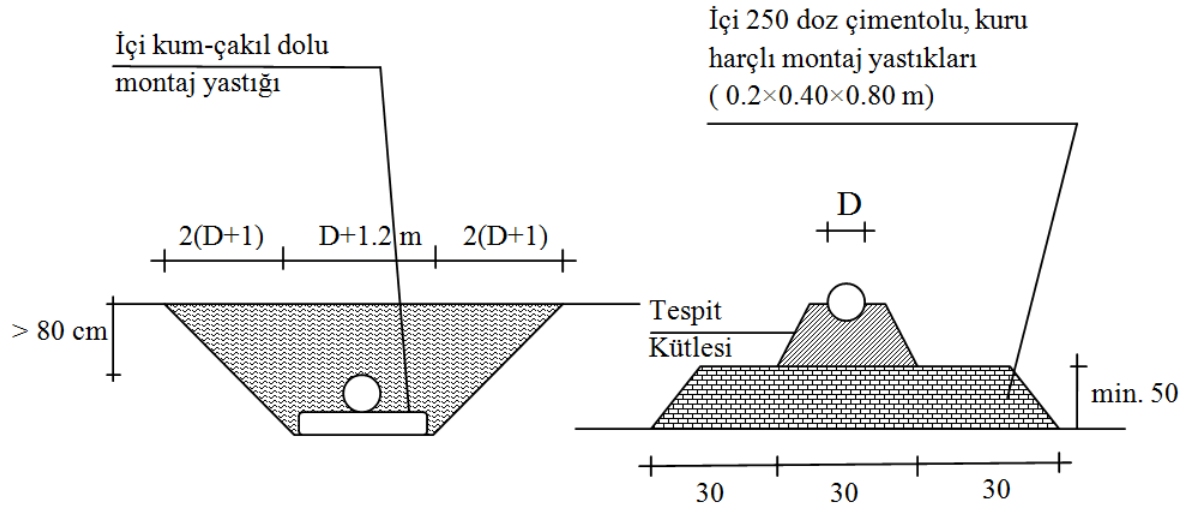
URL-3, <http://www.ebsboru.com/kataloglar/ebs-grp-katalog.pdf>, Ece Şirketler Grubu. 02 Mart 2013.

Yüksel, Y., 1998. Kıyı ve Liman Mühendisliği, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Kasım, 10-167.

## 6. EKLER

### Ek-1. Derin Deniz Deşarj Sistemlerinin Maliyeti

Maliyet analizinde, deniz deşarjlarında en çok kullanılan borular olan, CTP, YYPE ve beton kaplı çelik borular için çapa ve debiye bağlı maliyet grafikleri geliştirmiştir. Sahil ile difüzör arasındaki deşarj hattının tamamının ve ilk %30'luk kısmının gömülü olması halleri için maliyetler etüd edilmiştir. Deşarj hattı boyu 1300 m alınmıştır. Borunun açıktan döşendiği kısımlarda deşarj hattı altının boylu boyunca montaj yastıkları ile tesviyesi ve boruya yeterli ağırlıkta tespit kütleleri bağlanması göz önünde tutulmuştur. Borunun hendek içerisinde ve açıktaki döşendiği kısımlarda Şekil Ek-1.1'deki tipik en kesitler alınmıştır (Öztürk, 1996).



Şekil Ek-1.1. Hendek ve tespit kütlesi tipik enkesitleri

YYPE boru için maliyet analizleri boru hattının tamamının kumlu zemin içerisinde gömülü ve boru boyunun %30'nun kayalık, %70'nin ise kumlu zemine tam gömülü olarak döşenmesi halleri için ayrı ayrı verilmiştir.

Beton kaplı çelik borular için İstanbul atıksu ön arıtma tesislerindeki ihaleye esas yatırım maliyetlerinden yararlanılmıştır (Tablo Ek-1.1).

## EK-1.'in Devamı

Tablo Ek-1.1. İstanbul atıksu ön arıtma tesisleri maliyet verileri (Beton kaplı çelik boru, 2012 Birim fiyatlarıyla)

Tesis Adı	İnşaat İşleri ( \$ )	Elektrik ve Makina ( \$ )	Elektrik ve Makina (Toplamının %'si olarak)
Balta Limanı	6.309,98	7.597,73	54
Küçükçekmece	24.467,25	15.195,5	38
Kadıköy	13.650,15	16.096,88	54
Tuzla	19.831,35	17.255,85	46
Yenikapı	11.589,75	7.468,95	39

**Ek-1.1. Maliyet Analizindeki Kabul ve Kriterler**

CTP ve YYPE deniz deşarj hatları için başlıca maliyet bileşenleri; boru temini, boruların karada eklenmesi, karada basınç testi, denizde basınç testi, boruların denizde taşınması, su altında flanşlı boru bağlantısı, hendek tabanının montaj yastıkları ile tesviyesi, kırma taşla hendek dolgusu, işaret şamandırası imalat ve montajı, tespit kütlesi, nakliye (toplam maliyetin %15'i), etüd, mühendislik ve müşavirlik hizmetleri (toplam maliyetin %8'i) olarak belirlenmiştir. Bu tip borularda İlbank A.Ş.'nin 2012 yılı birim fiyatları esas alınmıştır (Tablo Ek-1.2).

Tablo-Ek 1.2. İstanbul atıksu ön arıtma ve deniz deşarj tesisleri teknik ve mali verileri (2012 Birim fiyatlarıyla)

Tesis Adı	Q (L / sn)	D (mm)	Boy (m)	Maliyet (\$)	
				Deniz Deşarjı	Ön Arıtma
Üsküdar	2073	1200	260	1.643.169,00	3.390.645,75
Baltalimanı	13280	2 x 1800	350	10.849.208,75	14.386.692,77
Ahırkapı	19160	2 x 1600	1162	16.788.396,75	19.338.141,75
Kadıköy	25500	2 x 1800	3000	31.585.044,74	30.713.571,52

**Ek-1.2. Deniz Deşarj Hatlarının Maliyeti**

Atıksu derin deniz deşarjı hatlarının maliyet tahminleri boru cinsi, zemin yapısı ve döşeme şekline göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. CTP boruların tamamen veya %30'unun

## Ek-1'in Devamı

gömülü olması halleri dikkate alınarak maliyet–debi ve çap ilişkileri araştırılmıştır. Çapa bağlı maliyet ilişkilerinin;  $M = A.e^D$  formuna uyduğu görülmüştür. YYPE borular için de zeminin kumlu veya ilk % 30'nun kaya, kalan kısmının kumluk olması durumları için benzer analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo Ek-1.3'te topluca verilmiştir.

Tablo Ek-1.3. Deniz deşarj sistemleri için elde edilen maliyet denklemleri (Öztürk,1996)

Yıllık Yatırım Maliyet Bileşeni	Açıklama
$M^* = 119,62.Q^{0.376}$ $M^* = 486,9.e^{1.17D}, r = 0.988$	$M^* =$ Birim boy maliyeti ( \$/m ) CTP boru, tamamen gömülü, L = 1300 m
$M^* = 343,61.e^{1.461D}, r = 0,988$	CTP boru, % 30'u gömülü
$M^* = 90,91.Q^{0.42}$	YYPE boru, kumlu zemin, tam gömülü
$M^* = 100,62.Q^{0.411}$	YYPE boru, % 30'u kaya zemin, tam gömülü
$M_y = 9949.Q^{0.472}$	CTP boru, tamamen gömülü halde yıllık yatırım maliyeti ( $M_y$ )
$M_y = 35,6.Q^{1.12}, r = 0.984$	İstanbul Deniz Deşarjı Tesisleri, BKÇ boru

Deniz deşarjı hatlarının maliyetleri boru tipine ve zemin cinsine göre değişmektedir. Özellikle İller Bankası uygulamalarında kullanılan CTP ve YYPE borular için döşenmiş birim boy maliyetini veren bağıntılar geliştirilmiştir. Söz konusu ifadelerin bu konudaki maliyet araştırmalarında yeterli hassasiyette bir maliyet tahmini vermesi mümkündür. Bununla birlikte belli boru ve zemin cinsine göre elde edilmiş olan bağıntılar, kabullerin dışına çıktığında formülasyon kullanımını kısıtlayabilir. Özellikle deniz deşarjı yapılarının maliyeti ülkeden ülkeye ve mahalli şartlara bağlı olarak değişebilmektedir. Gunnerson (1988)'nin çalışmasında verilen dünyanın çeşitli yerlerinde yapılmış, deniz deşarjları birim boy maliyetlerindeki farklılıklar bunu göstermektedir. Bu yüzden deniz deşarjı hatlarının maliyetinin tesbitinde zemin cinsi, boru malzemesi ve uygulanan inşaat teknolojilerinin etkileri daha detaylı bir şekilde araştırılmalı ve geliştirilen ifadeler yeni verilerle sürekli olarak güncelleştirilmelidir. İşletme maliyeti üzerindeki etkilerin olarak araştırılması ve olabildiğince fazla veri kullanılması geliştirilecek olan ifadelerin güvenilirliğini arttıracaktır (Öztürk, 1996).

## **Ek-2. Küçükçekmece Deniz Deşarj Hattı Onarılması ve Uzatılması ile İlgili Örnek Proje**

### **Ek-2.1. Projenin Yerleşimi**

Küçükçekmece Atıksu Arıtma ve Deniz Deşarjı, Marmara Denizinin kuzey kıyısında yer alan Küçükçekmece koyunda bulunmaktadır.

### **Ek-2.2. Mevcut Deniz Deşarj Hattı Özellikleri**

2001 yılında inşa edilen deniz deşarj hattı, boyları 127 metre ile 215 metre arasında değişen 6 adet  $\phi$  1600 mm YYPE boru modülünden ibarettir. Beher boru modülü, 12 metre boyundaki boruların alın kaynağı yöntemiyle birbirine bağlanması ile oluşturulmuştur. Modüller birbirine flanşlarla bağlanmışlardır. Bu şekilde 2001 yılında inşa edilen deniz deşarj hattının toplam uzunluğu 1047 metredir. Orijinal projelerine uygun olarak boru hattının kıyıdan (Km: 0+000 ~ 0+683)'e kadar ki bölümü (Derinlik:- 17 m) deniz tabanının gömülü ve üzeri granüler malzeme ve zırh taşı ile örtülüdür. Boru hattının kalan kısmı (Km: 0+683 ~ 1+047) ise serbest olarak deniz tabanına yatırılmış olup, üzeri açıktır ve boru ucu -26 metre derinlikte atıksuyu deşarj etmelidir. Boru hattının batırılmasında, orijinal projelerine uygun olarak, ağırlıkları 3.40 ton olan ve 3 ile 5 metre aralıklarla boru üzerine monte edilen kare şekilli ağırlık bloklarından istifade edilmiştir (Karakaş vd., 2007).

### **Ek-2.3. Mevcut Deniz Deşarj Hattının Hasarlanması**

2001 yılında inşa edilen deniz deşarj hattı ilerleyen yıllarda çapa etkilerine maruz kalmış ve bunun sonucunda boru hattı koparak ikiye ayrılmıştır. Kopma, üstü örtülü bölümünden deniz tabanında açıkta giden bölüme geçişte, Km: 0+683'teki flanşlı bağlantıda meydana gelmiştir. İlk kopma anının akabinde ortaya çıkan ilave tesirler ve dalga etkileri ile gömülü boru hattının 70.70 metrelik bir bölümü daha kopmuş ve bu

## Ek-2.'nin Devamı

sayede boru hattı üç parçaya ayrılmıştır. İşveren'in hasarlı deniz deşarj hattının onarılması ve uzatılması ile ilgili olarak müteahhit firmaya haber verdiği dönemde, kopan boruların Küçükçekmece Koyunda balınaya benzer bir görüntü sergilediği gözlemlenmiştir (Karakaş vd., 2007).

### **Ek-2.3.1. Yeni Deniz Deşarjı Tasarımı**

Yeni deniz deşarjı hattının tasarımında eski deniz deşarj hattının güzergah planı esas alınmıştır. Bu aşamada, bölgenin balıkçılar için önemli bir avlanma sahası olduğu, ayrıca, Küçükçekmece Koyunun ticari gemilerin yoğun trafiğine maruz kalarak çapada beklemek üzere sürekli kullanıldığı hatırlatılmıştır. Bu durum ve boru hattındaki hasarın oluşum sebepleri birlikte değerlendirilerek yenilenecek boru hattının tamamının deniz tabanına açılacak kanala gömülmesi ve üzerinin granüler malzeme ve zırh taşı ile örtülmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Bu sayede boru hattı güzergahının gelecekte maruz kalabileceği benzer etkilerin bertaraf edilmesi hedeflenmiştir (Karakaş vd., 2007)..

### **Ek-2.3.2. Hasarlı Boru ve Ağırlık Bloklarının Çıkarılması**

Yeni deniz deşarjı hattı inşaatına güzergahta bulunan hasarlı boru modüllerinin çıkarılması işi ile başlanmıştır. Bu sebeple boru hattının her iki ucu kapatılarak hava verilmiş ve suyun tahliyesi ile hasarlı boru yüzdürülmüştür. Bu esnada borunun yüzmesine karşı koyar mahiyette olan ağırlık bloklarından bazıları hattan ayrılarak sistemin hafiflemesi sağlanmıştır. Çapa ve dalga etkileri sonrasında gevşeyen ve deplase olan ağırlık bloklarının zaman içerisinde birbirlerini toplayarak boru üzerinde tespah benzeri bir görüntü oluşturduğu gözlemlenmiştir (Karakaş vd., 2007).

### **Ek-2.4. Kanal Kazısı (Tarama) ve Yataklama**

Yeni deniz deşarjı hattı inşaat güzergahında bulunan hasarlı boru modül ve ağırlık bloklarının çıkarılmasının akabinde kanal kazısı işine başlanmıştır. Bahis konusu işin



## Ek-2.'nin Devamı

ifasında -20 metre derinliğe kadar beko ataşmanlı tarak dubası, bu derinlikten ise klemşel ataşmanlı yüzer vinç kullanılmıştır. Tarama işlerinin tamamlanmasına paralel olarak yataklama işleri de aynı ekipmanlarla yapılmıştır. Kazı ve yataklama işleri tamamlanan bölgeler ileri ölçme teknikleri ile (RTK GPS) kontrol edilerek, imalatların boru hattının plan ve profiline uygun olarak yapıldığı tespit edilmiştir (Karakaş vd., 2007).

### **Ek-2.5. Betonarme Ağırlık Bloklarının İmalatı**

YYPE boru hatlarındaki genel uygulama dikkate alınarak boru batırma işleminin S-Bend yöntemiyle çekilmesi düşünülmüştür. Ancak gerek işin yürütüleceği bölgede ve gerekse yakınlarında uzun boru modülü imalat ve stoğuna imkan sağlayan korunaklı liman sahaları bulunmamaktadır. Diğer taraftan işverenin tahsis ettiği saha da yetersiz olup Küçükçekmece Koyunun deniz şartları imalatı yapılan hattın inşaat sahasına kıyısı olan bölgede muhafaza edilmesine imkan sağlamamaktadır. Ayrıca, yeni boru hattının denizdeki mevcut bir başka hatta bağlanacak olması münasebetiyle batırma işleminde oluşacak çekme kuvvetlerinin karşılanmasında olumsuzluklar yaşanacağı, bu durumun operasyonel risklere sebebiyet vereceği öngörülmüş ve S-Bend yöntemi ile boru batırılmasından vazgeçilmiştir. Bunun yerine boru hattının modüllerden teşkili planlanmış ve beher modülün hazırlandıkça mevcut hatta bağlanması ile inşaatın tamamlanmasına karar verilmiştir. Bu anlamda, boyu 103,50 metre olan beher boru modülünün, her biri 11,50 metre olan 9 adet boru parçasının alın kaynağı yöntemiyle birbirlerine bağlanması ile teşkili planlanmıştır. Bu amaçla projenin tamamında boyu 103,50 metre olan 10 adet standart modül oluşturulmuştur. 39 adet yükselticinin bulunduğu difüzörle 2 adet boru modülünün boyları ise 80,50 metre ve 69 metre olarak planlanmıştır. Alın kaynağının yapılabilmesi için sahile dik ve 103,50 metre uzunluğunda raylar döşenmiş, kaynaklanan borular bu hattın üzerindeki arabalarla kaydırılmak suretiyle modül oluşumu gerçekleştirilmiştir (Karakaş vd., 2007).

Ek-2.'nin Devamı

### **Ek-2.6. Boru Modüllerinin Denize Çekilmesi**

Hazırlanan modüllerin denize çekilmesinde kaynak işleminin yürütüldüğü hatta benzer bir diğer hattan istifade edilmiştir. Kaynak işlemi tamamlanarak stoklanan modüller çekim işlemi öncesi kıyıya dik olarak teşkil edilen bu hatta aktarılmıştır. Bu şekilde hazırlanan modüller romorkör marifetiyle denize çekilmiştir (Karakaş vd., 2007).

### **Ek-2.7. Ağırlık Bloğu, Sepye Tankı ve Zincir Montajlarının Yapılması**

Denize çekilen her bir boru modülüne 17 set halinde ağırlık bloğu, sepye tankı ve zincir montajı yapılacaktır. Bu işlerin ifası için sahilde 60 metre uzunluğunda geçici iskele inşa edilmiştir (Karakaş vd., 2007).

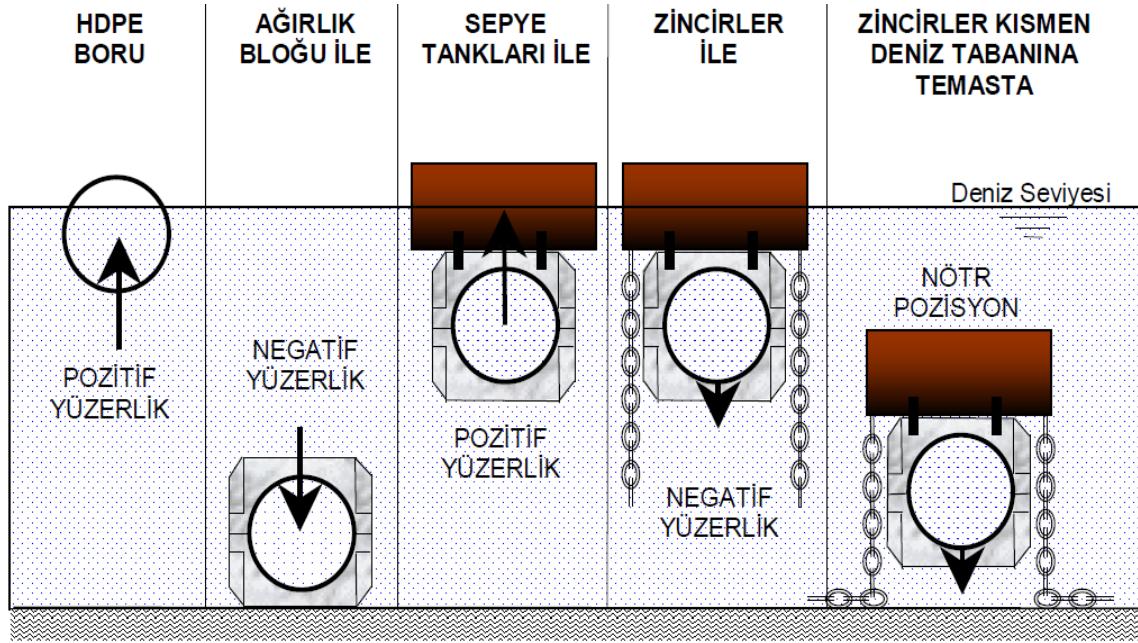
### **Ek-2.8. Yeni Deniz Deşarj Hattı Yapım Yöntemi ve Yaşanan Sorunlar**

Yeni denizdeşarj hattının inşaat yöntemi, deniz şartları ve mevcut hatta bağlanılacağı dikkate alınarak belirlenmiştir. Kararlaştırılan yöntemde, boru modüllerinin deniz tabanının hesaplanan mesafe kadar üzerinden çekilerek (Off-Bottom Towing Method) montaj bölgesine getirilmesi ve borunun yüze çıkarılmadan mevcut hatta montajı öngörülmüştür. Bu sebeple, boru özellikleri, beton bloklar, sepye tankları, zincirler ve flanşların ağırlık ve hacimleri dikkate alınarak yöntemin uygulanmasına olanak sağlayacak ölçüleri belirlenmiştir. Sistem içerisinde yer alan zincirlerin amacı elastik yay gibi davranarak boru modülünün su altında stabil kalmasını sağlamak, çekim esnasında dalga, rüzgar, akıntı ve sualtı topoğrafyasının olağandışı değişimi gibi olumsuzluklardan etkilenmesini engellemektir (Şekil Ek-2.1).

Bu minvalde hazırlanan ilk boru modülü romorkör marifetiyle montaj yerine alınırken, operasyonun ortalarında modülün sualtında hareket ettirilememesi ile yapım yönteminde ilk aksaklıkla karşılaşmıştır. Yerinde yapılan tespitlerde zincirlerin çekim sırasında killi bir bölgeye isabet ettiği ve zincirlerin çapa gibi davranarak sistemin hareketini durdurduğu anlaşılmıştır. Ayrıca beton ağırlık bloklarının geometrik olarak su

## Ek-2.'nin Devamı

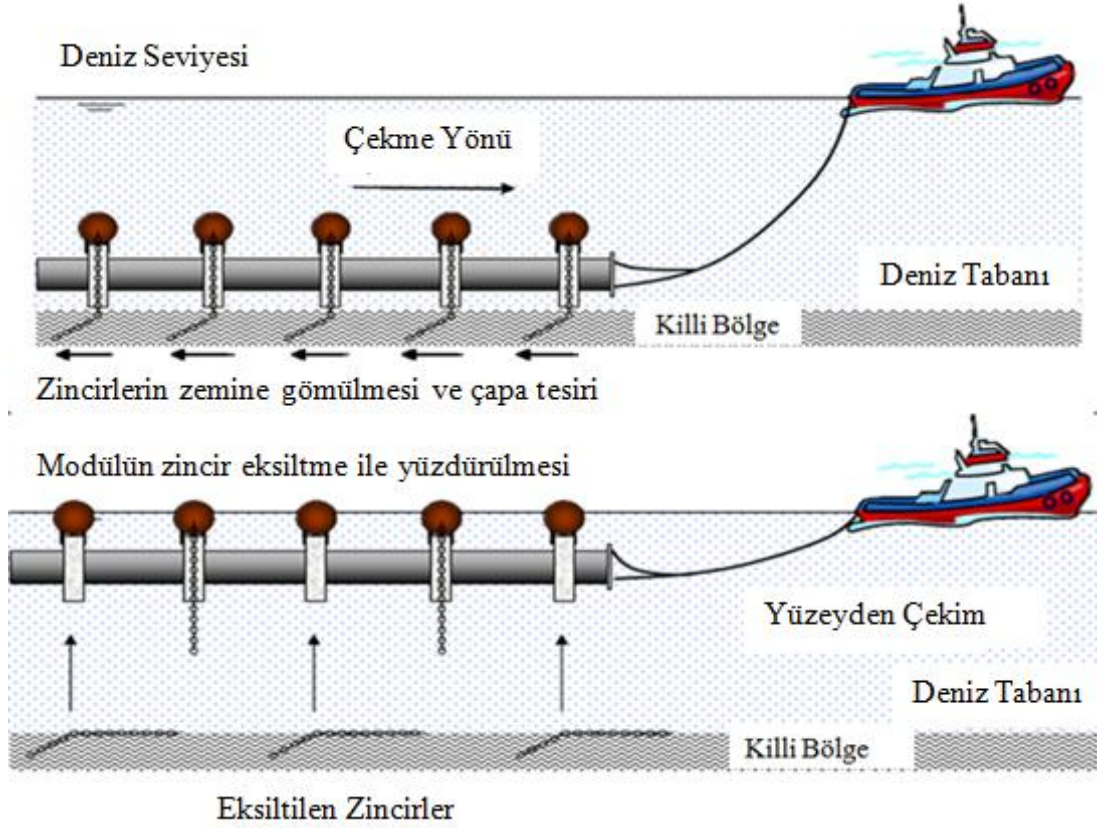
altında çekim işlemine uygun olmaması da operasyonun başarısızlığını destekleyici bir diğer etkidir. Sistemin tekrar hareket kazanmasını sağlamak amacıyla modül üzerindeki zincirlerin bir bölümü sepye tanklarından ayrılarak yüzmesi sağlanmış, bu sayede boru modülü batırılacağı pozisyona yüzeyden (Surface Towage Method) çekilerek getirilmiştir (Karakaş vd., 2007).



Şekil Ek-2.1. Yapım yönteminin şematik gösterimi (Off - bottom towage method )

Bu aşamada yüzeydeki boru modülünün batırılması için üzerindeki sepye tanklarına su alınmasına karar verilmiş, modül projesine uygun olarak kanal içerisine oturacak şekilde yüzeyde (mevcut boru hattından da kılavuzlanarak) pozisyonlanmış ve batırılmıştır. Bu aşamadan sonra yeni boru hattı ile eski boru hattının sualtındaki bağlantısı çalışmalarına geçilmiştir. Bu çalışmalar esnasında görülmüştür ki zincirler zemine temas ettikten sonra modülün statik halde kalmasını sağlamakta ve sistemin sualtında maruz kalabileceği olumsuzlukları bertaraf etmektedir (Şekil Ek-2.2).

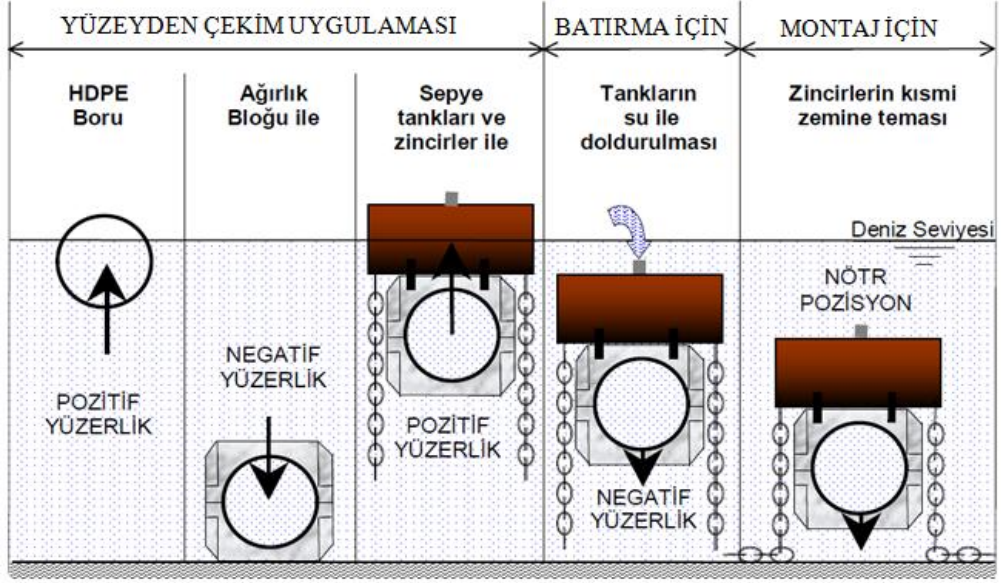
## Ek-2.'nin Devamı



Şekil Ek-2.2. Yapım yönteminde yaşanan aksaklıkların şematik gösterimi (Karakaş vd., 2007)

İlk modülde yaşanan bu olumsuzluklar neticesinde, yapım yöntemi yukarıda özetlenen şekliyle ele alınmış ve modülün montaj noktasına yüzeYden çekilerek getirilmesine ve sepye tanklarına su alınarak batırılmasına karar verilmiştir. Bu sebeple, sistem ağırlık ve hacimleri yeniden hesaplanarak zincir ağırlıklarında eksiltmeye gidilmiştir (Şekil Ek-2.3 ve Şekil Ek-2.4). Boru modülleri batırıldıktan sonra yüzeYdeki vinçli duba ve sualtındaki dalgıçlar marifetiyle birbirlerine ağızlanarak flanşlı bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Dalış operasyonlarının maksimum –40 metre derinliklerde yürütülmesi ve vinç operasyonlarının dalgıçlardan gelen bilgilere göre kumanda edilmesi münasebetiyle haberleşme özellikli kapalı devre dalgıç başlıkları kullanılmıştır. Bir sonraki aşama olarak, boru bağlantısı tamamlanan boru modüllerinde kullanılan sepye tankları ve zincirler sonraki modüllerde kullanılmak üzere sualtında sistemden demonte edilerek yüzeYye çıkarılmıştır (Karakaş vd., 2007).

Ek-2.'nin Devamı



Şekil Ek-2.3. Yüzeleden çekim ve batırma şematik gösterimi (Surface towage method)



Şekil Ek-2.4. Yüzeleden çekim (Surface towage method)

Ek-2.'nin Devamı

### **Ek-2.9. Yeni Deniz Deşarj Hattı Boru Üst Dolgusu**

Yeni deniz deşarj hattını oluşturan modüllerin batırılması, montajlarının tamamlanması ve sepye tankları ile zincirlerin alınmasının akabinde projesine uygun özellik ve tabakalardaki boru üzeri dolgularının yapılmasına başlanmıştır. Bu işlerin ifasında klapeli duba ekipmanından istifade edilmiştir. Bu sebeple modüle blok ve sepye tankı montajında kullanılan 60 m uzunluğundaki servis iskelesine geçici yükleme rampası inşa edilmiştir. Boru üst dolgusu işlerinin her aşaması ileri ölçme teknikleriyle (RTK GPS) kontrol edilerek, imalatların boru hattının plan ve profiline uygun olarak yapıldığı tespit edilmiştir (Şekil Ek-2.5).



Şekil Ek-2.5. Boru üzeri dolgusu (Karakaş vd., 2007)

### **Ek-2.10. Sonuç**

YYPE boru hatlarının inşaatında, hattın deniz tabanının hesaplanan mesafe kadar yukarisından çekilerek (Off-Bottom Towage Method) yerine yerleştirilmesi sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Bu sebeple deniz tabanının zemin özellikleri dikkatle ele alınmalı ve zincirlerin zemine teması sonrasında çapa gibi çalışarak sistemi bloke etmesi önlenmelidir. Yeni deniz deşarj hattı inşaatı sırasında karşılaşılan benzer sorundan dolayı

## Ek-2.'nin Devamı

modülün sualtı yerine yüzeyden çekilmesi (Surface Towage Method) öngörölmüş ve yüzerlilik hesapları bu yönde düzeltilmiştir. Boru modülünün döşeneceği noktaya yüzeyden getirilmesini takiben zincirler deniz tabanına temas edecek şekilde sepye tankları su ile doldurularak batırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Batırılan boru modülündeki zincirlerin zemine teması ile sistem stabil hale gelmiş, yanıl ve doğrusal hareketleri engellenmiş, olumsuz hava, deniz ve akıntı şartlarından etkilenme riskleri ortadan kaldırılmıştır. Bu durum olumsuz hava ve deniz koşullarının hüküm sürdüğü dönemlerde tecrübe edilmiş olup boru modülü montaj bölgesinin uzağında batırılarak fırtınalı havalar geçinceye kadar beklenmiş, daha sonra sepye tanklarındaki su tahliye edilerek sistem yeniden yüzdürölmüş, yerine çekilmiş ve batırılarak montajı yapılmıştır. Boru modülü su altında bulunduğu dönemde herhangi bir hasara maruz kalmamıştır. Boru modüllerinin çekiminde 360 HP romorkör ve 340 HP servis teknesi, batırılması ve montajında ise vinçli duba ekipmanlarından istifade edilmiştir (Karakaş vd., 2007).

## ÖZGEÇMİŞ

Başak ÇITIR ARSLAN, 1986 yılında Samsun'da doğdu. İlköğretimi, 1992-2000 yılları arasında Samsun Gülsüm Sami Kefeli İlköğretim Okulu'nda, ortaöğretimi ise 2000-2004 yılları arasında Samsun Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimi almaya hak kazandı. 2005-2006 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde İngilizce hazırlık eğitimi aldı. Lisans eğitimini 2010 yılında tamamladı ve aynı yıl içerisinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2010-2012 yılları arasında özel bir proje firmasında İnşaat Mühendisi olarak görev aldı. 2012 yılının Ağustos ayında, Devlet Su İşleri 23.Bölge Müdürlüğü'ne İnşaat Mühendisi olarak atandı. 2013 yılının Ekim ayında ise Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Sanat Yapıları Şubesine İnşaat Mühendisi olarak tayin oldu. Halen Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Sanat Yapıları Şubesi'nde görevine devam etmektedir.