

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ DEŞARJI SİSTEMLERİNDE EN UYGUN
GÜZERGAHIN BELİRLENMESİ İÇİN BİR
FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Uygar İLDEŞ

Mart, 2010

İzmir

DENİZ DEŞARJI SİSTEMLERİNDE EN UYGUN GÜZERGAHIN BELİRLENMESİ İÇİN BİR FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Kıyı Mühendisliği Bölümü

Uygar İLDEŞ

Mart, 2010

İzmir

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

UYGAR İLDEŞ tarafından, PROF.DR. YALÇIN ARISOY yönetiminde hazırlanan “DENİZ DEŞARJİ SİSTEMLERİNDE EN UYGUN GÜZERGAHIN BELİRLENMESİ İÇİN BİR FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Yalçın ARISOY

Yönetici

Doç.Dr. Gökdeniz NEŞER

Jüri Üyesi

Yrd.Doç.Dr. Birol KAYA

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yaşadığı süre boyunca eğitim ve öğretime içtenlikle önem veren babaannem Fatma İLDEŞ'e, hayatım boyunca benden karşılıksız sevgilerini esirgemeyen ve beni en iyi şekilde yetiştiren annem Nuray ve babam Zafer İLDEŞ'e, kardeşim Çağdaş'a, bana her zaman destek olarak bana güç veren sevgili eşim Leyla'ya, doğdukları günden itibaren bana şans getiren, oğlum Zafer ve kızım Aslı'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmam süresince yaptığı katkılardan dolayı tez danışmanı sayın Prof.Dr. Yalçın Arısoy'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasına başladığım sırada danışmanım olan ve bana konu seçiminde katkıda bulunan merhum Dr. Gündüz GÜRHAN'a da teşekkürlerimi sunarım.

DENİZ DEŞARJİ SİSTEMLERİNDE EN UYGUN GÜZERGAHIN BELİRLENMESİ İÇİN BİR FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

ÖZ

Deniz deşarjı sistemlerinde en uygun güzergahın belirlenmesi için izlenmesi gereken yol, toplanması gereken veriler, yapılması gereken hesaplar ve alınması gereken kararlar tez içinde açıklanmış, en uygun güzergahın belirlenmesi için gerekli olan faktörler ortaya konulmuştur. Deşarj borusuna etkiyen dalgaların geliş yönlerinin değişiminin deşarj borusu tasarımına etkisi, Kuşadası derin deniz deşarjı örneğinde özel olarak ele alınmıştır.

Anahtar sözcükler: Deniz deşarjı, en uygun güzergah, Kuşadası deniz deşarjı.

A FEASIBILITY STUDY TO DETERMINE THE OPTIMUM ALIGNMENT OF A DISCHARGE PIPELINE

ABSTRACT

In order to determine the optimum alignment of a discharge pipeline, data to be gathered, calculations to be made and decisions to be had have and all the factors necessary to attain to the aim have been presented in this study. The effect of changing the approaching directions of the wave load act on the discharge pipeline design is considered and design of Kuşadası discharge pipeline has been revised as a case study.

Keywords: Discharge pipeline, optimum alignment, Kuşadası discharge pipeline.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....1

BÖLÜM İKİ - DENİZ DEŞARJİ SİSTEMLERİ.....3

2.1 Genel Tanıtımı.....	3
2.2 Planlama ve Tasarım Esasları.....	3
2.2.1 Çevre Mühendisliğini İlgilendiren Hususlar.....	3
2.2.2 İnşaat Mühendisliğini İlgilendiren Hususlar.....	9
2.3 Uygulama Örnekleri.....	16

BÖLÜM ÜÇ - DENİZ DEŞARJLARININ PLANLANMASI, PROJELENDİRİLMESİ VE İNŞAASI.....30

3.1 Planlama Safhası.....	30
3.1.1 Meteorolojik Analiz.....	31
3.1.2 Geoteknik Analiz.....	32
3.1.3 Deniz Suyu Analizi.....	37
3.1.4 Batımetrik Analiz.....	37
3.1.5 Güzergahın Belirlenmesi.....	41
3.2 Projelendirme Safhası.....	42
3.3 İnşaat Safhası.....	47
3.4 İşletme Safhası.....	61

BÖLÜM DÖRT - KUŞADASI DERİN DEŞARJ PROJESİ KAPSAMINDA EN UYGUN GÜZERGAH BELİRLENMESİ.....66

4.1 Genel.....	66
4.2 Tasarım Dalgasının Saptanması.....	72

4.3 Deşarj Borusuna Etkiyen Dalga Kuvvetlerinin Belirlenmesi.....	75
4.4 Deşarj Borusunun Stabilesi.....	84
4.5 Stabiles Hesapları.....	87
4.6 Tespit Kütleleri (Beton Ağırlıkların) Tayini	88
4.7 Dalga Geliş Açısının Deşarj Borusu Tasarımına Etkisi	94
BÖLÜM BEŞ - İRDELEME ve SONUÇ.....	99
KAYNAKLAR.....	102

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Dünya yüzeyinin %70'ini kaplayan denizler, insanlığın başlangıcından beri insanoğlunun ürettiği atıklar için alıcı ortam olarak kabul edilmiştir. Doğal süreç sonucunda akarsuların denizlere taşıdığı anormal miktardaki organizmalar ve sedimentler ile karşılaştırıldığında insanoğlunun yaptığı atık katkısı küçük bir oran teşkil etmektedir. İnsanoğlu sahil kesimlerinde atık suları denize verme yöntemini tarih boyunca kullanmıştır. Fakat hızla artan popülasyon, endüstriyel faaliyetlerin gelişmesiyle beraber kimyasal atıkların artması, turizm ve balıkçılık gibi faaliyetlerin tehdit altına girmesi ve çevre duyarlılığının gelişmesiyle beraber denize verilen atık suların bilimsel şekilde ele alınması zorunluluğunu doğurmuştur. Deniz deşarjı sistemleri bu kaygılar altında geliştirilmiş atık su bertaraf etme sistemleridir. Deniz ortamının doğal arıtma süreçleri, seyrelme ve atıkların çevreyi tehdit etmeyecek seviyelere düşürebilme imkanı kullanılarak, gerekli bilimsel ve mühendislik hesaplarıyla deniz deşarjı sistemleri tasarlanmıştır. Fakat zamanla denize deşarj kolaycılığının gres, yağ, yüzer maddeler ve ağır metaller gibi bazı atıkları seyreltemediği, öngörülen seviyelere indirgeyemediği görülmüş, bunun sonucunda atık su arıtma sistemleri de deniz deşarjı sistemleriyle beraber tasarlanmaya ve uygulanmaya başlamıştır.

Deniz deşarjları Türkiye’de de yaygın olarak kullanılan ve benimsenen bir arıtma alternatifidir. İller Bankası Genel Müdürlüğü’nün desteğiyle birçok sahil beldemizde ve kentlerimizde inşa edilmişlerdir.

Deniz deşarjlarının öncelikli hedefi, araştırma, kontrol ve deşarj sonrasında örnekleme aşamalarını içeren uygun olan en iyi teknolojinin kurulması ve işletilmesidir. Bu sistemlerin oluşturulması deniz ortamının çok değişkenler içeren karmaşık yapısından dolayı oldukça zordur. Çeşitli bilim dallarının ortak çalışması ile bu sistemler projelendirilir ve imal edilirler.

Planlama aşamasında deniz deşarjı yapılacak bölgenin verilerinin toplanması ve bu verilerin değerlendirilmesi, iyi bir projelendirmeye temel oluşturur. Deşarj yapılacak bölgenin, sistem kurulmadan önce deniz suyu özelliklerinin, sistem kurulduktan sonra ise bu özelliklerin ne ölçüde değişim gösterdikleri ve standartlar içinde kalıp kalmadığı konusunun belirlenmesi için gözlemler ve ölçümler yapılır. Deşarj yapısının çevresel ve yapısal yüklere karşı davranışı incelenir ve ekonomik ömrü boyunca bu yüklere karşı koyabilecek şekilde tasarımı yapılır. İyi projelendirilen sistemlerin doğru uygulaması ve işletilmesi de çevre ve insan sağlığı bakımından önem taşımaktadır.

Bu tezin amacı deniz deşarjı sistemlerinde en uygun güzergahın belirlenmesinde dikkate alınması gereken hususların belirlenmesi ve sonuçlarının araştırılmasıdır. Tez kapsamında güzergah seçimini etkileyen hususlar ele alınmış; plan, proje, inşaat ve işletme safhalarının esaslarını oluşturan faktörler açıklanmıştır. Güzergah seçimini etkileyen hidrodinamik kuvvetlerin deşarj hattı üzerindeki etkileri Kuşadası deniz deşarjı projesi örneğinde incelenmiştir. Tasarım dalgasının hesaplanması ile beraber, dalga geliş açısının ne şekilde güzergah seçimini etkilediği çeşitli geliş açılarıyla kıyı çizgisine yaklaşan dalgaların boru hattı üzerinde oluşturduğu düşey ve yatay yüklerin karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir.

BÖLÜM İKİ

DENİZ DEŞARJİ SİSTEMLERİ

2.1 Genel Tanıtımı

Deniz deşarjı sistemleri çeşitli bilim dallarının ortak çalışmasıyla şekillenen ve kıyı bölgeleri altyapılarında sıkça kullanılan çözümlerdir. Deniz deşarjı sistemlerinde temel mantık arıtılmış veya arıtılmamış atık suların kıyıdan yeterli uzaklıkta denize verilmesidir. Atık suların deşarj edilecek noktaya sevk edilmesi ise pik, çelik, öngerilmeli beton veya plastik borular vasıtasıyla sağlanır ve difüzörlerden deniz ortamına verilir. Denizde yapılan inşaatlar oldukça zor ve pahalıdır. Bu sebeple deşarj noktasının seçilmesi ve en uygun güzergahın belirlenmesi işin maliyeti açısından önem teşkil etmektedir.

2.2 Planlama ve Tasarım Esasları

2.2.1 Çevre Mühendisliğini İlgilendiren Hususlar

Deniz deşarjı sistemleri, atık suların bertaraf edilmesi amacıyla projelendirilen ve inşa edilen tesislerdir. Atık sular, zirai sular, yağmur ve drenaj suları, endüstriyel atık suları ve endüstri tesislerinin soğutma suları deniz ortamına karıştıklarında, deniz ortamının kirlenmesine, dengesinin ve düzeninin bozulmasına sebebiyet vermektedir. Bu sebeple deniz deşarjı sistemlerinin planlanması, projelendirilmesi, inşa edilmesi ve işletilmesi çevre mühendisliğini birincil olarak etkilemektedir.

Deniz deşarjı ile deniz ortamına verilen kirleticilerin çevreye verdiği zararları en aza indirmek için tasarımcı çevre mühendisliği ile ortak çalışma yürütmelidir. Planlama ve tasarımdan önce deniz ortamının çevresel değerleri detaylı olarak ölçülmelidir. Bu değerlerin tesisin kurulması ve kullanılmaya başlamasından sonra hangi ölçüde değişim gösterdiği ise, inşa edilen tesisin amaca uygun çalışıp çalışmadığının göstergesi olacaktır.

Deniz deşarjı sistemleri, arıtma yapılmadan denize deşarj edilmesi ve arıtma yapıldıktan sonra denize deşarj edilmesi olarak 2 şekilde tasarlanırlar. Alıcı ortamın seyreltme kapasitesi kirletici maddelerin seyrelmesine ve doğal olarak istenilen değerlere ulaşmasına yetiyorsa arıtma yapılmadan denize deşarj sistemi planlanabilir. Bu tip sistemler günümüzde pek kullanılan ve tavsiye edilen sistemler değildir. Yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda deniz ortamı hedeflenen seyrelmeyi doğal olarak sağlayamıyorsa ve kanunlar ile düzenlenen standartların üzerinde kalıyorsa, arıtma yapıldıktan sonra denize deşarj sistemleri projelendirilmelidir. Dikkate alınması gereken kriterleri, deniz suyu özellikleri ve oşinografik özellikler olarak 2 bölümde inceleyebiliriz.

a) Deniz Suyu Özellikleri: Deniz deşarjlarında, deniz suyu özellikleri ve atık suların deniz ortamına girmesiyle özelliklerinin değişimi, güzergah belirlenmesinde önemli yer teşkil eder. Deniz deşarj yapılarının yapıldığı bölgedeki su kalitesi, kanunlar ve yönetmelikler ile belirlenen standartları sağlamalıdır. Tablo 2.1, 2.2 ve 2.3 de su kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre standartlar verilmiştir. Bu standartlar deniz kullanım alanlarına göre değişiklik gösterir. Deniz suyu özelliklerinin belirlenmesinde dikkat edilecek parametreler aşağıda listelenmiştir.

1. Koliform Değerleri (adet/100 ml): Deniz deşarjında en önemli parametre koliform değerleridir. Koliform bakteriler gıda ve suların sıhhi durumunu gösteren göstergeç bakterilerdir. Tanım olarak çubuksu, Gram-negatif olup 35–37 °C'de laktoz fermante ederek asit ve gaz üretirler. Koliformlar sıcakkanlı hayvanların dışkılarında bolca bulunurlar, ama sulak ortamlarda, toprakta bitkilerde de bulunurlar. Çoğu zaman koliformlar kendileri hastalığa neden olmazlar ama kolay kültürlenirler ve varlıkları dışkı kaynaklı zararlı patojenlerin de mevcut olabileceğine işaret eder (Koliform Bakteri, 2009). Deniz ortamında; tuzluluk, radyasyon (güneş ışığı), sıcaklık, aglomerasyon (koliformların birleşerek çökebilir hale gelmesi), ve sedimentasyon gibi parametreler koliformların yok olma sürecini etkilemektedir. Türkiye standartlarında sınır koliform değeri 100ml'de 1000 koliformdur.

2. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH): pH bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir. 0'dan 14'e kadar olan bir gösterge çizelgesinde ölçülür. pH teriminde p; eksi logaritmanın matematiksel sembolünden ve H ise Hidrojenin kimyasal formülünden türetilmişlerdir. pH tanımı Hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması olarak verilebilir:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \text{ (Sınai Araştırma A.Ş., 2009)}$$

Su Kirliliği yönetmeliğine göre derin deniz deşarjına izin verilecek atık su özelliklerine göre pH değerleri 6–9 aralığında olmalıdır.

3. Askıda Katı Madde (mg/l): Deniz deşarjında irdelenmesi gereken parametrelerden birisidir. Sınır değerleri 1l deniz suyunda 350mg'dır.
4. Yağ ve Gres, (mg/l): Deniz deşarjında en önemli parametrelerden birisidir. Çünkü yağ ve gres deniz suyu üst tabakasında temizlenmesi zor çevre kirliliğine sebep olurlar. Yağ ve gres deniz yüzeyini bir film tabakası gibi kaplayarak oksijen alışverişini engeller. Sınır değerleri 1l deniz suyunda 15mg'dır.
5. Yüzer Maddeler: Deniz ortamında batmayan, seyreltilerek bertaraf edilemeyen ve besin zincirine dönüştürülemeyen maddeler kirliliğe sebep olurlar. Plastik ve türevleri, ahşap yüzer maddelere verilebilecek örneklerdir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre deşarj yapılan bölgede yüzer madde bulunmamalıdır.
6. Beş Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı BOİ₅ (mg/l): Aerobik koşullarda mikroorganizmaların sudaki organik maddeleri ayrıştırmaları için gereken oksijen miktarı olarak tanımlanmaktadır. Alıcı ortamlara verildiklerinde, evsel ve endüstriyel atık suların tüketecekleri çözünmüş oksijen miktarının belirlenmesiyle, kirlenme potansiyelinin ve alıcı ortamın özümleme kapasitesinin tayininde kullanılan bir parametredir. BOİ parametresi biyolojik olarak ayrışabilen organik maddelerin toplamını gösteren kolektif bir parametredir. BOİ parametresi; deniz deşarj sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi, alıcı ortama atık su deşarj limitlerine uygunluğunun kontrol edilmesi ve deniz deşarj sistemlerinin performanslarının ölçülmesinde kullanılmaktadır (İTÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarları [İTÜ ÇML], 2009). Sınır değerleri 1l deniz suyunda 250mg'dır.

7. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l): Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), su örneğinin asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici ile oksitlenebilen organik madde miktarının oksijen eşdeğeri cinsinden ifadesidir. KOİ su ve atık suların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç verebilen bir parametredir. Bir suya ait KOİ değeri, BOİ'den farklı olarak biyolojik yollarla ayrışmayan bazı maddeleri de içerebilmektedir. Bu sebeple KOİ değeri her zaman BOİ'ye eşit veya büyüktür (İTÜ ÇML, 2009). Sınır değerleri 11 deniz suyunda 400mg'dır.
8. Toplam Azot, (mg/l): Deniz suyundaki azot miktarı, deniz suyunun tadını ve kokusunu etkiler. Toplam azot miktarının fazlalığı, deniz suyunun doğal tad ve kokusunu bozar. Sınır değer 11 deniz suyunda 40mg'dır.
9. Toplam Fosfor (mg/l): Fosfor, canlı organizmalarda, tanecikli veya çözünmüş organik bileşiklerde ve fosfat iyonu halinde bulunur (Berkün, 2006). Fosfat, denizdeki bitkiler için önemli bir besin kaynağıdır; ama aynı zamanda canlılara ve suda yaşayan hayvanlara dolaylı yoldan zarar verdiği için bir kirlilik göstergesidir. Sudaki fosfat, su bitkilerinin çoğalmasına, sudaki oksijenin tükenmesine ve hayvanların ölümüne neden olur. Fosfat denize sadece kendi doğal döngüsüyle değil, aynı zamanda atık sularla da gelir. Günümüzde kullanılan deterjanların belli miktarlarda fosfat içermesi ve bu kullanılan suların daha sonra atık su olarak denize dökülmesi de denizde kirlenmeye, birçok canlı ve hayvanın ölümüne yol açar. Sınır değer 11 deniz suyunda 10mg'dır.
10. Anyonik Yüzey Aktif Maddeler (Deterjanlar) (mg/l): Yıkama malzemelerinde kullanılan yüzey aktif maddeler uygulandığı yüzey üzerinde bir film tabakası oluşturur. Yüzey aktif maddelerin içeriğinde su seven ve su sevmeyen moleküller bulunur. Su sevmeyen maddeler yüzeye tutunur. Su seven maddeler ise suya tutunur. Su seven maddeler diğer molekülleri yanına çeker bu şekilde yüzey yıkanmış olur. Kullandığımız sabun, deterjanda bu şekilde temizler. Yüzey aktif maddelerin en büyük dezavantajı köpük oluşmasına sebebiyet vermesidir. Deniz ortamında kirliliğe sebebiyet vermeyecek standart, kalıcı köpük teşkil etmeyecek seviyede olmasıdır. Ayrıca 0.3 mg/l lauril sülfat eşdeğerinin altında olmalıdır.

Tablo 2.1 Deniz suyunun genel kalite kriterleri (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004)

PARAMETRE	SINIR	DÜŞÜNCELER
pH	6.0-9.0	-
Renk ve bulanıklık	Doğal	Doğal su içi yaşam için gerekli fotosentez aktivitesinin, ölçüm derinliğindeki normal değerini % 90'dan fazla etkilemeyecek kadar olmalıdır.
Yüzer madde	-	Yüzer halde yağ, katran vb. sıvılarla çöp vb. katı maddeler bulunamaz.
Askıda katı madde (mg/l)	30	-
Çözülmüş oksijen (mg/l)	Doygunluğun % 90'ından fazla	Çözülmüş oksijen değerleri derinlik boyunca izlenmelidir.
Parçalanabilir organik kirleticiler	-	Seyreldikten sonra çözülmüş oksijen varlığını yukarıda öngörülen değerden daha fazla tehlikeye düşürecek miktarda olmamalıdır.
Ham petrol ve petrol türevleri (mg/l)	0.003	Su, biyota ve sedimanda ayrı değerlendirilmeli ve tercihan hiç bulunmamalıdır.
Radyoaktivite	-	Sözkonusu deniz ortamına ait doğal radyoaktivite tür ve seviyeleri aşılmayacaktır. Yapay radyoaktivite ölçülmeyecek düzeyde bulunacaktır.
Üretkenlik	-	Söz konusu deniz ortamına ait mevsimsel üretkenlik seviyeleri korunacaktır.
Zehirlilik	Bulunmayacak	
Fenoller (mg/l)	0.001	
Çeşitli ağır metaller		
Bakır, (mg/l)	0.01	
Kadmiyum, (mg/l)	0.01	
Krom, (mg/l)	0.1	
Kurşun, (mg/l)	0.1	
Nikel, (mg/l)	0.1	
Çinko, (mg/l)	0.1	
Civa, (mg/l)	0.004	
Arsenik, (mg/l)	0.1	
Amonyak, (mg/l)	0.02	

Tablo 2.2 Derin deniz deşarjına izin verilebilecek atık suların özellikleri(Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004)

PARAMETRE	SINIR	DÜŞÜNCELER
pH	6-9	-
Sıcaklık	35 °C	-
Askıda katı madde (mg/l)	350	-
Yağ ve gres (mg/l)	15	-
Yüzer maddeler	Bulunmayacaktır	-
5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı, BOİ5 (mg/l)	250	-
Kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ (mg/l)	400	-
Toplam azot (mg/l)	40	-
Toplam fosfor (mg/l)	10	-
Metilen mavisi ile reaksiyon vere yüzey aktif maddeleri(MBAS) (mg/l)	10	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltım prensip olarak yasaktır.
Diğer parametreler		Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tebliğinde bu parametreler için verilen sınır değerlere uymalıdır.

b) Oşinografik Özellikler:

1. Sıcaklık (°C): Sıcaklık deniz suyunun değişmez ve önemli bir özelliğidir. Denizlerde görülen birçok fiziksel ve kimyasal olayın sıcaklıkla yakından ilgisi vardır. Su ortamında sıcaklık değişimini etkileyen temel faktörler güneş radyasyonu ve atmosferle olan ısı alışverişleridir. Atmosferle ısı alışverişinin etkili olduğu yüzey tabakaları dışındaki suların ısısı, hiçbir şekilde hissedilir derecede değişmez. Sıcaklık, termometre kullanılarak ya da dijital pH-Metre, dijital multimetreler ile birlikte bulunan sıcaklık sensörleri vasıtasıyla kolaylıkla kaydedilebilir. Deniz suyu sıcaklığı dünyada -2 ile 30 derece arasında değişmektedir. Su sıcaklığı arttıkça içindeki tuzları eritme kapasitesi de artar. Ayrıca sıcaklık arttıkça koliformların yok olma hızları da artmaktadır. Deniz suyu alt tabaka ve üst tabaka sıcaklıkları değişimi yaz ve kış aylarında farklılık gösterir. Sıcaklık gradyanının maksimum olduğu bölgeye termoklin adı verilir. Yönetmeliklere göre deniz deşarjında atık su sınır sıcaklık değeri maksimum 35°C dir.
2. Yoğunluk: Saf suyun +4°C deki yoğunluğu 1000 kg/m³ tür. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda yoğunluk azalır. Deniz suyu yoğunluğu sıcaklık, tuzluluk ve basınç değerlerine bağlı değişim göstermektedir. Yoğunluk değerinin derinliğe bağlı olarak hızla değişim gösterdiği bölgeye tutsaklanma (piknoklin) denir. Eğer piknoklin tabakasının altından deniz deşarjı varsa ve karışımdan dolayı atık su yoğunluğu ile deniz suyu yoğunluğu eşit seviyeye gelirse atık su yukarıya gidemez. Atık su bulutu denizin içinde kalır. Denizlerde yoğunluk 1006-1030 kg/m³ tür. Denizlerdeki yoğunluk değerlerine örnek verecek olursak; Karadeniz 1013 kg/m³, Akdeniz 1028 kg/m³, İzmir Körfezi 1028.5 – 1029 kg/m³, Baltık Denizi 1006 dır. Okyanuslarda ise yoğunluk 1024 – 1030 kg/m³ arasında değişmektedir. Evsel atık su yoğunluğu 1001 – 1003 kg/m³ değerlerindedir. Denizin yoğunluğu atık su yoğunluğundan büyük ise atık su yukarı çıkmaya başlar. Yoğunluk oranlarını belirtmek için yoğunluk parametresi ($\Delta\rho$) kullanılır. Buna oşinografik yoğunluk da denir.

$$\Delta\rho = \rho - 1000 \quad (1.1)$$

3. Tuzluluk: Bir litre deniz suyunda erimiş halde bulunan madensel tuzların gram olarak ağırlığına tuzluluk oranı denir. Deniz suyunun tuzluluğu litre/gram ya da ‰ olarak ifade edilir. Tuzluluk oranı, Cl^- tayini ile belirlenir.

$$S (\text{‰}) = 0.03 + 1.8050 Cl^- \quad (1.2)$$

Tuzluluk oranı okyanuslarda ‰ 33.5 - ‰ 37.5 arasında, denizlerde ‰ 1.5 - ‰ 65 arasında değişir. Türkiye’de tuzluluk oranlarına bakacak olursak; Karadeniz’de ‰17, Kuzey Ege’de ‰ 37, Güney Ege ve Akdeniz’de ise ‰38–39 dur. Deniz suyunun tuzluluğunu değiştiren etmenler buharlaşma ve yağış miktarıdır. Deniz suyunun buharlaşması tuzluluğu artırır. Yağış miktarı arttıkça, deniz suyunun tuzluluğu azalır. Deniz suyu derinliği arttıkça tuzluluk artar. Tuzluluğun derinliğe bağlı olarak en hızlı arttığı bölgeye haloklin adı verilir.

Tablo 2.3 Derin deniz deşarjları için uygulanacak kriterler (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004)

PARAMETRE	LİMİT
Sıcaklık	Deniz ortamının seyreltme kapasitesi ne olursa olsun, denize deşarj edilecek suların sıcaklığı 35 °C yi aşamaz. Sıcak su deşarjları difüzörün fiziksel olarak sağladığı birinci seyrelme (S_1) sonucun da 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 getirilmeksizin alıcı ortam sıcaklığını 3 °C’den fazla arttırmayacak şekilde deşarjına izin verilebilir.
En muhtemel sayı (EMS) olarak toplam ve fekal koliformlar	Derin deniz deşarjıyla sağlanacak olan toplam seyrelme sonucunda insan teması olan koruma bölgesinde, zamanın % 90’ında, EMS olarak toplam koliform seviyesi 1000 TC/100 ml ve fekal koliform seviyesi 200 FC/100 ml’den az olmalıdır.
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	Tablo 2.1 ve 2.2 de verilen limitlere uyulacaktır.

2.2.2 İnşaat Mühendisliğini İlgilendiren Hususlar

Arıtılmış veya arıtılmamış evsel atık suların, endüstriyel atık suların veya endüstri tesislerinin soğutma sularının deniz ortamına verilebilmesi için çeşitli tesislerin yapılması gerekmektedir. Bu tesislerin planlanması, projelendirilmesi ve imal edilmesi inşaat mühendisliği bilim dalını ilgilendirmektedir. İnşaat mühendisi

planlama safhasında elde edilen verileri değerlendirerek, en uygun güzergahı belirler ve derin deniz deşarjını projelendirir. Projelendirme esnasında uygun malzemenin seçilmesi, döşeme yönteminin belirlenmesi, derin deniz deşarjına etki eden toprak kuvvetleri, hidrodinamik kuvvetler ve dalga kuvvetlerinin belirlenmesi, tespit kitleleri seçimi ve stabilitenin sağlanması, deşarj hattı uzunluğunun belirlenmesi, difüzör tipi ve sayısının seçilmesi, seyrelme hesapları gibi konular inşaat mühendisi tarafından ele alınarak projelendirilir. Derin deniz deşarjı inşaatının her safhasında inşaat mühendisinin bulunması, yapılan tesisin projeye uygun şekilde imalatının yapılması ve inşaatın fen ve bilim kurallarına uygun olarak yapılması açısından gereklidir. İnşaat mühendisliğini ilgilendiren konuları aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz:

a) Verilerin Toplanması ve Güzergâhın Belirlenmesi: Deniz deşarjı yapılacak yer hakkında her türlü bilimsel veri, deney, ölçümler, haritalar, etüdler, gözlemler ve mevcut durum raporları toplanılarak, gerekli değerlendirmeler, hesaplamalar yapılır. Tüm bu veriler ışığında güzergah belirlenir.

b) Boru Cinsinin ve Deşarj Hattı Döşeme Yönteminin Belirlenmesi: Boru cinsi ve inşaa yöntemleri birbirinden bağımsız olmayıp, aralarında çok kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Deniz deşarj hatlarında kullanılacak borular dayanıklı, esnek ve yeterince ağır olmalıdır. Her boru cinsinin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Hiçbir boru cinsi için diğerine göre daha iyi olduğu yargısına varamayız. Deşarj hatlarında kullanılan boru cinsleri aşağıda açıklanmıştır:

1. Font (Pik) Borular: Normal Font Borular (NFB), su ve atık su iletiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip borular çeliğe nispetle korozyona, toprak ve trafik yüklerine karşı daha mukavimdir. Buna mukabil daha kırılğan, darbelere karşı mukavemeti daha az, daha ağır ve pahalıdırlar. Geliştirilen Düktil Font malzeme sayesinde, adeta çeliğe yakın esneklikte daha sünek bir boru olan Düktil Font Borular (DFB) üretilmiştir. Font boruların deniz tabanında döşenmesi, boruların dalgıçların teker teker su altında özel muflu ve/veya flanşlı bağlantılarla birbirine eklenmesi yoluyla

olur. Bu yüzden font boruların su altında döşenmeleri nispeten daha zor ve pahalıdır.

2. Çelik Borular: Çelik borular da deniz deşarj hatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Font borularla mukayese edilirse, çelik borular, genellikle daha hafif, ucuz, taşınması ve döşenmesi de daha kolaydır. Çelik boruların eklenmesi kaynakla yapılır ancak bilhassa özel parça gelen yerlerde flanşlı bağlantı da kullanılmaktadır. Çelik boruların, deniz suyunun ve atık suyun korozyon etkilerine karşı korunması gerekir
3. Ön Gerilmeli Beton Borular: Çapı 2000 mm.nin üzerindeki çoğu deniz deşarj hattında, öngerilmeli betonarme borular kullanılmaktadır. Boru maliyeti düşük olmasına rağmen döşeme maliyetinin yüksek oluşu dolayısıyla, betonarme boruların uygulama alanları sınırlıdır.
4. Plastik Borular: Deniz deşarjlarında sıklıkla kullanılan borular yüksek yoğunluklu polietilen (high density polyethylene [HDPE]) borular ve cam takviyeli plastik (CTP) borulardır. Plastik borular yüksek basınç dayanımları, deniz ortamının ve atık suların korozyon etkilerine karşı dayanımlı olmaları, uzun metrajlarda imal edilmeleri, hafif olmaları ve döşeme kolaylıkları sebebiyle diğer boru cinslerine nazaran daha çok tercih edilirler. Her iki boru cinsi de deniz deşarjlarında sıklıkla kullanılır. HDPE boruların geliştirilmesi ile CTP boruların kullanımı azalmıştır. Günümüzde deniz deşarj sistemlerinde en çok kullanılan boru cinsi HDPE borulardır.

Her projede, yatırım maliyeti mahalli şartlara özeldir. Tesisin ekonomik ömrü büyük ölçüde proje kademeleri ve projeden beklentilere bağlıdır. Boru malzemesinin cinsinin belirlenmesi, teknik özellikler ve işletme şartları bakımından karşılaştırabilmesi için, başlıca aşağıdaki temel faktörlerin göz önünde tutulması gerekmektedir:

1. Boru malzemesi cidar pürüzlülüğü ve sürtünme kayıpları.
2. Malzemenin ekonomik ömrü ve fiyatı.
3. Aşınma ve korozyona karşı mukavemeti.
4. Malzemenin dış tesirlere karşı fiziksel mukavemet özellikleri.

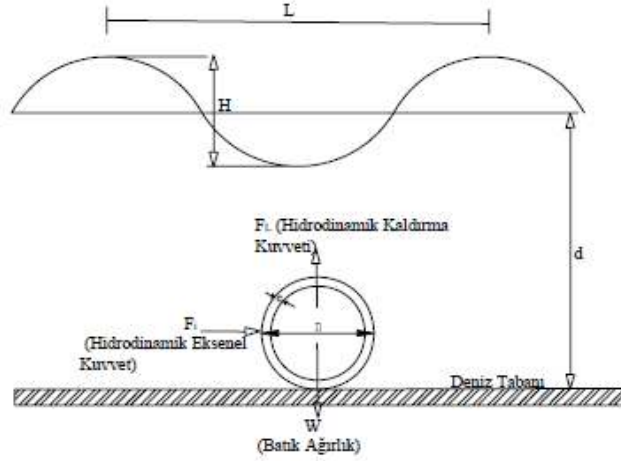
5. Döşenme ve eklenme kolaylıkları.
6. Özel parça temini.
7. İnşa metodu ve zeminin geoteknik özellikleri (Öztürk, 1996).

Boru hattının deniz tabanına döşenmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yöntem seçimini aşağıdaki faktörler etkilemektedir:

1. Zeminin geoteknik özellikleri.
2. Oşinografik özellikler.
3. Ekipman ve teknoloji olanakları.
4. Karada boruların depolanma ve birbirlerine eklenmeleri için bulunabilecek alanın büyüklüğü.
5. Deşarj hattının uzunluğu, derinliği akıntı ve dalga durumları.
6. Deniz tabanının topografyası ve jeolojisi.
7. Kullanılacak boru cinsi.

c) Boruya Gelecek Kuvvetlerin Belirlenmesi: Deniz tabanına döşediğimiz boruya çeşitli kuvvetler etki etmektedir (Şekil 2.1). Bu kuvvetler borunun stabilitesini etkilemektedir. Boruya etki eden kuvvetler şunlardır:

1. Kaldırma kuvveti.
2. Dalga kuvvetleri.
3. Akıntı kuvvetleri.
4. Yatay kuvvetler.
5. Zemin direnci.
6. Boru ağırlığı.
7. Boru içinden geçen atık su ağırlığı.



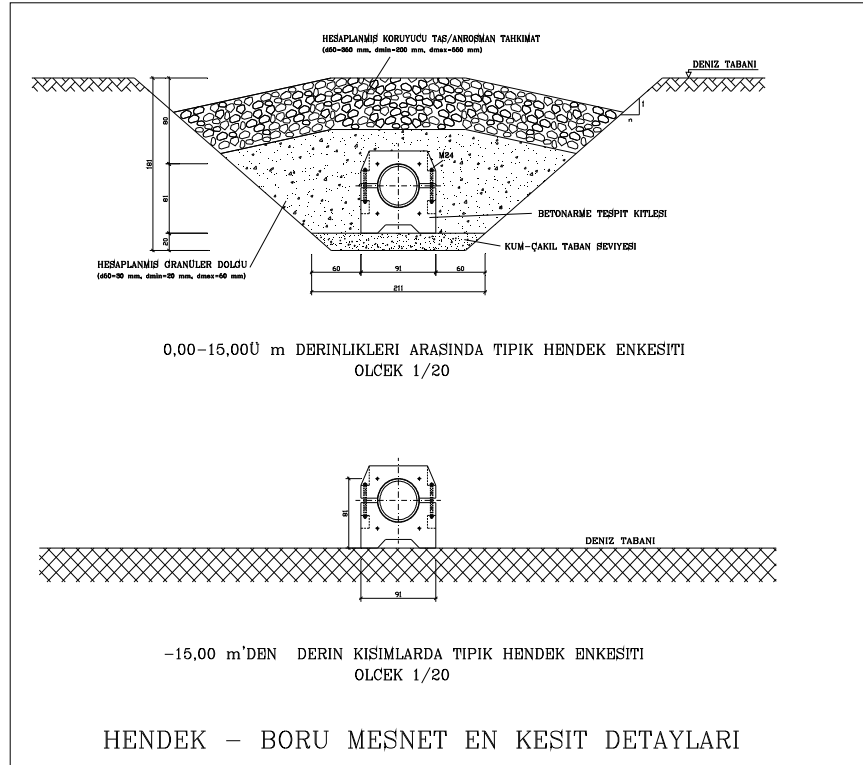
Şekil 2.1 Deşarj borusuna etki eden kuvvetler

d) Stabilité Hesapları: Deniz deşarj sisteminde boru stabilitesi en önemli konulardan birisidir. Stabilité hesaplarında boruya gelecek kuvvetler belirlenir ve bunlara karşı koyacak yapısal detaylara karar verilir. Stabilité hesaplarında etkili parametreler dalgalar ve akıntılardır. Başta dalgalar olmak üzere birçok kuvvet deşarj sisteminin stabilitesini etkiler. Bu olumsuz etkilerin giderilmesi için gerekli hesaplar yapılmalı ve önlemler alınmalıdır. Tasarımcılar, deniz deşarj boru hattının yapımı ve işletmesi esnasında, hem düşey, hem de yatay stabilite ile ayrıca özel durumlar ile ilgilenirler. Kıyı kesimlerinde dalga kırılma etkisi ve deniz trafiği yüzünden taban hareketleri yoğundur. Bu yüzden boru hattının bu kesimlerde gömülü olarak geçilmesi gerekmektedir. Borunun gömülü olarak geçeceği bölümlerde hendek kesitleri ve dolgu malzemesi hesapları yapılmalıdır. Açık kesimlerde ise borular deniz tabanına döşenirler. Her iki bölümde de borular değişik kuvvetlere maruz kalırlar. Boru hatlarının içleri genellikle inşaat sırasında boştur. İşletme sırasında ise içinden atık sular geçtiği için doludur. Bu değişkenler göz önünde bulundurularak gerekli stabilite hesapları yapılmalıdır.

1. Düşey Stabilité: Düşey stabilitesini sağlayamayan deniz tabanına gömülü olmayan boru, su yüzeyine doğru hareket ederek yüzer hale geçer veya projede hesaplanan gerilme limitlerini aşarak yumuşak deniz tabanına gömülür. Deniz tabanına gömülü olan borularda en çok görülen düşey

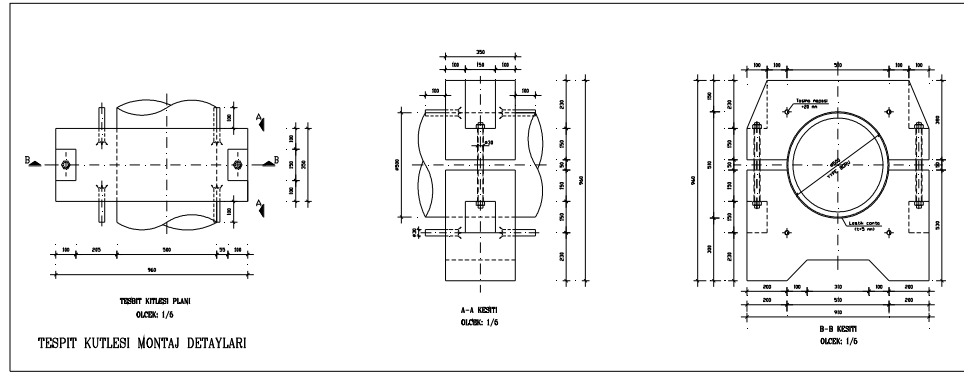
stabilite problemi borunun üzerinde bulunan dolgu malzemesinden kurtularak su içinde yüzer hale geçmesi veya gömülü olduğu hendeğin içinde daha da derinlere doğru batmasıdır. Her iki durum da tasarım aşamasında öngörülerek, gerekli stabilite hesaplarının yapılması ve uygulama esnasında alınan tedbirler ile engellenirler.

2. Yatay Stabilite: Deniz tabanında gömülü olmayan deşarj borusu yatay kuvvetleri karşılayabilecek yeterlikte ağırlığa sahip olmalıdır. Deniz tabanına gömülü olan borunun üzerinde bulunan örtü malzemesinin normal hava veya fırtınalı hava koşullarında kazınması ve sürüklenmesi sonucu ile birlikte, borunun yatay yöne hareket etmesi en çok karşılaşılan yatay stabilite problemidir. Boruların gömülme derinliğinin tespiti için bölgeye ait fırtına sezonlarının uzun süreli kayıt verileri kullanılmalıdır. Şekil 2.2’de Foça deniz deşarjında projelendirilen ve imal edilen gömülü olan ve gömülü olmayan deşarj borusu kesitleri, dolgu malzemesi çapları ve hendek kesitleri örneğini görebiliriz.



Şekil 2.2 Foça deniz deşarj hattı hendek enkesitleri (Öztürk, Yüksel ve Aydın, 2002).

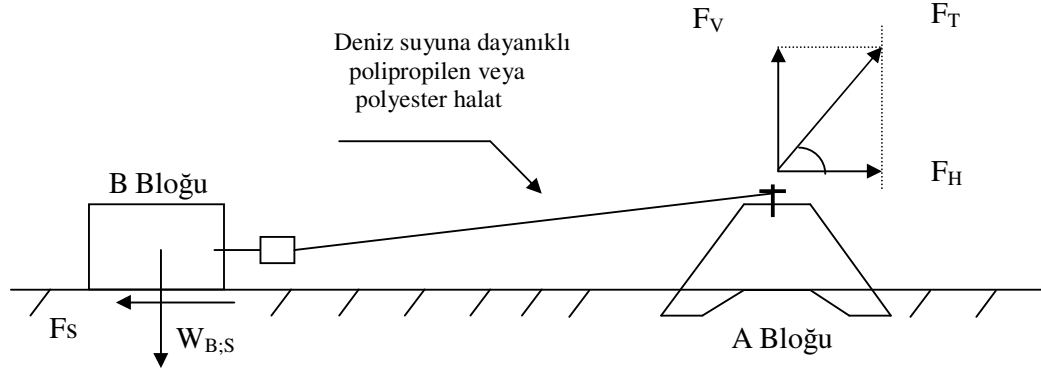
3. Tesbit Kütleleri: Deşarj borusunun her koşulda konumunu muhafaza etmesi diğer bir deyişle akıntı ve dalga hareketleri yüzünden oluşan yatay ve düşey dinamik yükleri karşılayabilecek şekilde planlanması gerekmektedir. Gömülü kısmın dışında kalan ve deniz tabanına yerleştirilen borularda ise beton ağırlık kütleleri yardımıyla stabilite sağlanmaktadır. Tesbit kütleleri, borunun yüzücü hale gelmesini engellemek için kullanılan ağırlıklardır. Kullanılacak olan beton ağırlık kütlelerinin tipi seçilirken; sahip olmaları gereken ağırlığın sağlanması, kütleler üzerine etkiyen yatay dalga kuvvetlerinin az olması ve kütlelerle deniz tabanı arasındaki sürtünmenin artırılması gibi hususların yanında, üretim ve yerleştirme açısından uygun olmaları hususu da dikkate alınmalıdır. Şekil 2.3’de örnek bir tesbit kütlesi detayları verilmiştir.



Şekil 2.3 Foça deniz deşarjı tesbit kütlesi montaj detayları (Öztürk ve diğerleri, 2002).

4. Mekanik Ankrajlar: Mekanik ankrajlar genellikle çelik malzemesinden yapılırlar ve boruya ağırlık eklememek üzerine tasarlanırlar. Uygun şekilde zemine tesbit edildiklerinde, boru hattına minimum basınç kuvveti bindirirler. Özellikle büyük çaplı boru hatlarında mekanik ankrajlar, tesbit kütlelerine nazaran daha randımanlıdır.
5. Deşarj Hattının Çapa Etkilerine Karşı Korunması: Deşarj hattı, deniz trafiği altında gemilerin çapa etkileriyle hasar görebilir ve stabilitesi bozulabilir. Çapa etkilerine karşı koruma sağlamak için çeşitli yöntemler kullanılarak önlemler alınabilir. Boru hattı üzerinden geçebilecek en büyük gemi çapasının kuvvetini karşılamak üzere beton bloklar ve zincirler vasıtasıyla koruyucu sistemler oluşturulur. Boru hattının gömülü kısmının bittiği bölümden difüzörlerin bittiği bölüme kadar bu koruma sistemi yapılması çapa

etkilerine karşı koruma sağlayacaktır. Şekil 2.4’de betonarme blok olarak tasarlanmış örnek bir sistem kesiti verilmiştir. Şekilde $W_{B,S}$: B bloğunun sudaki ağırlığı, F_s : sürtünme kuvvetini, F_V : çapa etkilerinin düşey bileşenlerini, F_H : çapa etkilerinin yatay bileşenlerini, F_T : çapa etkilerinin toplam kuvvetini göstermektedir. Tarama anında en az iki blok, çapa etkilerine karşı koyar.



Şekil 2.4 Çapa etkilerine karşı koruyucu sistem (Öztürk ve diğerleri, 2002).

2.3 Uygulama Örnekleri

Kıyı bölgesi yönetimlerinde, karasal kaynaklı kirlenmelerin denize deşarj yoluyla çözülmesi dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Önceleri direk olarak denize verilen karasal kaynaklı kirlenmeler, zamanla nüfusun artması, turizm ve balıkçılık gibi faaliyetlerin tehdit altına girmesiyle beraber, önce borular vasıtasıyla kıyıdan uzak deniz ortamına verilmesi yöntemine dönüştürülmüş, daha sonra arıtma tekniklerinin gelişmesiyle beraber, ön arıtmada yapıldıktan sonra deniz ortamına deşarj edilmeye başlanmıştır. 1970’li yıllardan beri bu konu hakkında yapılan birçok çalışma ile birlikte konu değişik açılardan ele alınmıştır.

Ülkemizde de sahil kesimlerinde deniz deşarjları yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.4, 2.5, 2.6 ve 2.7’den ülkemizde bulunan deniz deşarj sistemleri hakkında genel bilgiler edinilebilir.

Tablo 2.4 Karadeniz bölgesindeki deşarj yapıları (Berkün, 2006)

DEŞARJ YERİ	ÇAP (mm)	CİNSİ	UZUNLUK (m)	DEŞARJ DERİNLİĞİ
Akçaabat	500	HDPE	920	
Araklı	450	HDPE	400	
Bulancak	500	CTP	1646	34
Çayeli	400	CTP	1250	
Ereğli-1	700	CTP	1312	
Ereğli-2	350	CTP	1056	
Fatsa	400	CTP	1540	
Giresun-1	710	HDPE	800	
Giresun-2	400	CTP	1216	
Ordu	700	CTP	2460	
Rize	700	CTP	1142	
Samsun-1	1200	HDPE	1500	
Samsun-2	900	HDPE	1100	
Samsun-3	1000	HDPE	1100	
Trabzon-1	800	HDPE	1000	
Trabzon-2	500	HDPE	920	
Trabzon-3	900	HDPE	800	
Trabzon-4	900	HDPE	920	
Trabzon-5	800	CTP	850	
Ünye	500	CTP	200	

Tablo 2.5 Ege denizi ve Akdeniz bölgesindeki deşarj yapıları (Berkün, 2006)

DEŞARJ YERİ	ÇAP (mm)	CİNSİ	UZUNLUK (m)	DEŞARJ DERİNLİĞİ
Alanya	500	CTP	1646	34
Anamur	600	Çelik	1067	27
Ayvalık	500	CTP	1200	34
Bandırma	600	CTP	1000	
Bodrum 1	600	CTP	850	42
Bodrum 2	400	CTP	1050	38
Burhaniye	800	CTP	1500	34
Çeşme	600	CTP	1350	30
Alaçatı	800	CTP	1375	24
Fethiye	500	CTP	274	40
Gökçeada	300	CTP	650	35
Marmaris	600	CTP	707	
Turgutreis	400	CTP	955	
Urla	700	CTP	973	11

Tablo 2.6 Marmara denizi bölgesindeki deşarj yapıları (Berkün, 2006)

DEŞARJ YERİ	ÇAP (mm)	CİNSİ	UZUNLUK (m)	DEŞARJ DERİNLİĞİ
Çanakkale	400	CTP	110	
Çınarcık	300	CTP	330	
Dikili	450	CTP	1300	34
Edremit	500	CTP	717	18
Erdek 1	500	CTP	1313	
Erdek 2	250	CTP	1197	
Erdek 3	350	CTP	1056	
Yalova	600	CTP	2000	18
Gemlik	500	CTP	1304	
İzmit	1000	CTP	3000	
Küçükumla	500	CTP	500	
Silivri 1	500	CTP	1743	
Silivri 2	300	CTP	1555	
Tekirdağ	700	CTP	2000	

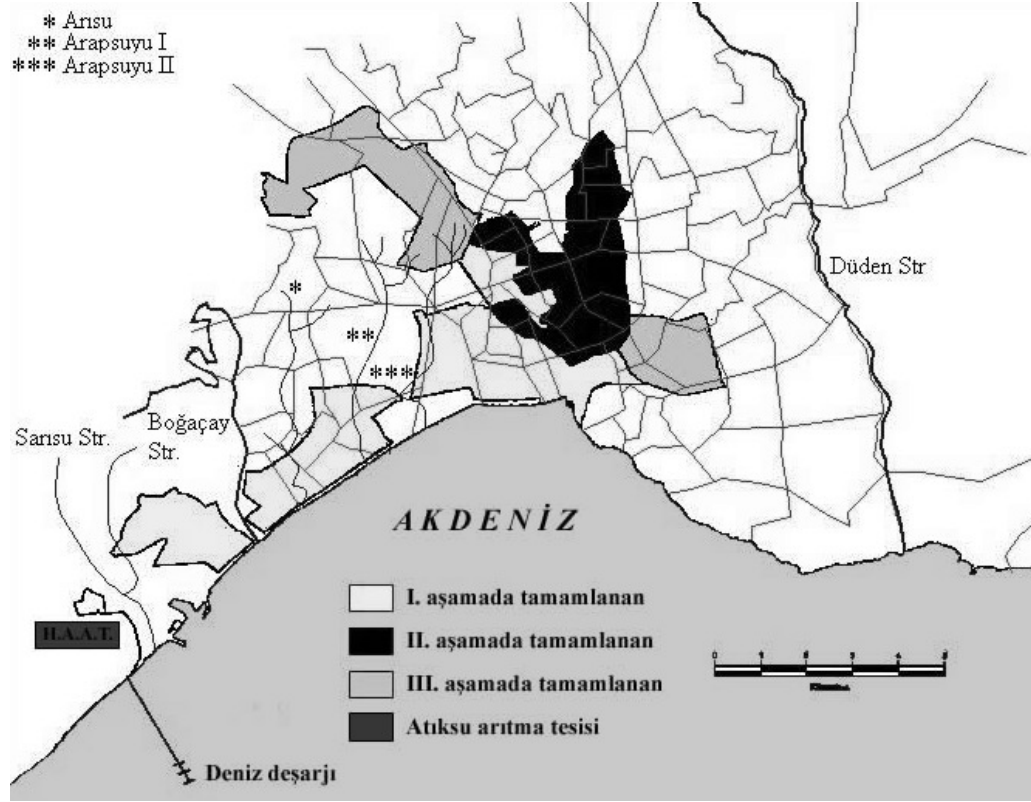
Tablo 2.7 Diğer deniz deşarj yapıları.

DEŞARJ YERİ	ÇAP (mm)	CİNSİ	UZUNLUK (m)	DEŞARJ DERİNLİĞİ
Foça	560	HDPE	3750	50
İzmir Güneybatı	630	HDPE	600	25
Antalya	1600	HDPE	2550	50
Avsallar Alanya	560	HDPE	1260	20
Göynük Antalya	800	HDPE		
Tekirova Antalya	400	HDPE		
Mersin Karaduvar	1800	CTP	2105	
Gemlik			980	40
Yalova Çınarcık	710	HDPE	1484	
Mudanya			500	45
İzmit Plajyolu	1000	CTP	1400	
Tuzla	2200		2203	46
Ahırkapı	1600		1100	37
Üsküdar	1200		300	
Baltalımanı	1727	Çelik	350	70
Küçükçekmece	1600	HDPE	1057	27
Küçüksu	2172		363	67
Kadıköy	2200	Çelik	2208	
Yenikapı	1600	Çelik	1180	64

Ege bölgesinde yapılan deniz deşarjlarından bazılarını Tablo 2.8’de daha detaylı olarak inceleyebiliriz. Tabloda farklı yıllarda yapılan deniz deşarjlarının maliyetlerinin sağlıklı olarak karşılaştırılabilmesi için bütün fiyatlar iller bankası birim fiyat katsayıları kullanılarak 2002 yılı fiyatlarına dönüştürülmüştür. Tablo da deşarj yapıları maliyetleri hakkında genel bir kanı elde edebiliriz. Fakat deniz deşarjları yapılacağı yerin şartlarına da bağlı olarak değişebileceğinden her deniz deşarjını kendi iç etmenlerine göre değerlendirmeliyiz. Teknolojinin ilerlemesiyle beraber maliyetlerin düştüğünü söyleyebiliriz.

Ülkemizde yapılan deniz deşarj yapılarının bazılarını mercek altına alacak olursak:

a) Antalya Batı Atıksu Arıtma Tesisi ve Deniz Deşarjı: 1996 yılında başlatılan Antalya Su Temini ve Atıksu Projesi ile içme suyu kaynaklarının ve deniz suyu kalitesinin korunması hedeflenmiştir. Proje çerçevesinde, Antalya Şehrinin atıksuları toplanıp, arıtıldıktan sonra deniz deşarj sistemiyle uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Proje kapsamında 650 km uzunluğunda atıksu toplama ana boruları ve buna ek olarak 550 km uzunluğunda ev bağlantı boruları söz konusudur. Kullanılan boruların çapları 200 mm’ den 2000 mm’ ye kadardır. Proje, toplanan suların bir ön arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra uzun ve derin bir deniz deşarj sistemiyle uzaklaştırılmasını öngörmektedir.... Şekil 2.5’de 2002 yılı itibariyle proje kapsamında olan yerleşim yerleri, tamamlanan ve planlanan şebeke ağı görülmektedir.... Arıtılan atık su, derin deniz deşarjı ile Antalya Körfezine verilmektedir. Tablo 2.9’da Antalya şehri atık sularının genel karakteristiği, atık su arıtma tesisi giriş ve çıkış sularındaki ortalama kirletici konsantrasyonu ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne göre müsaade edilen sınır değerler verilmiştir.... Antalya deniz deşarj sistemi, denizdeki uzunluğu 2600 m olan bir ana boru ve 315 m’lik difüzör kısımlarından oluşmaktadır. Ortalama deşarj derinliği 48 m’dir. Kullanılan boru tipi HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) olup boru dış ve iç çapları sırasıyla 1600 ve 1477.6 mm’dir. Deşarjın başladığı ilk yıllar için hesaplanan minimum debi 280 l/s’dir. Sistemin deşarj ömrü sonunda hesaplanan maksimum deşarj debisi ise 4040 l/s’dir.



Şekil 2.5 Antalya Su Temini ve Atıksu Projesi kapsamında tamamlanan atıksu şebekesi (Yalçın ve Muhammetoğlu, 2005)

Antalya'nın turistik bir şehir olmasından ileri gelen yaz ve kış nüfusu arasındaki büyük farklılık, debilerin birbirine oranının da oldukça yüksek olmasına sebep olmaktadır. Başlangıç debisinin oldukça küçük bir değere sahip olması birçok işletme problemine sebep olabilecek potansiyele sahiptir. Bunların başında çökeltme gelmektedir. Boru içindeki çökelmeler zamanla boruların tıkanmasına sebep olabilmektedir. Bu tür olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için çeşitli önlemler alınmıştır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Difüzör hattı azalan çaplarla her biri 105 m uzunluğunda olan üç farklı kısımdan oluşturulmuştur. Difüzörün başlangıcından sonuna doğru sırasıyla 1600mm, 1200mm ve 800 mm'lik bu kısımlar hız kaybını engellemek amacıyla tasarlanmıştır ve her kısımda toplam 40 delik vardır.

Tablo 2.8 Ege bölgesi deniz deşarjları maliyet analizleri (İller Bankası, 2002)

Deşarj Yeri, Yılı	Sözleşme Keşfi (milyon TL)	Sözleşme Birim Fiyatı ile Tamamlanma Keşfi (milyon TL)	Tenzilat %	Sözleşme Birim Fiyatı ile Tenzilath Tutar (milyon TL)	Katsayı (2002)	İnşaatın 2002 Birim Fiyatları ile Maliyeti (milyon TL)	Deşarj Boru Cinsi	Deşarj Boru Çapı (mm)	Deşarj Hatlı Uzunluğu (m)	İşin Tamamlanma Tarihi
Fethiye Muğla, 1976	24	60	10.88	53	72,854	3,861,262	CTP	500	274	01.06.1986
İzmir, 1985	456	468	28.76	333	3,646	1,214,118	CTP	630	600	19.07.1990
T.Reis Muğla, 1986	2,000	4,286	17.10	3,553	1,097	3,897,641	CTP	400	1000	25.03.1994
Alaçatı İzmir, 1987	5,500	7,166	23.84	5,458	2,035	11,107,030	CTP CTP	600 800	1342 1342	26.05.1999
Marmaris Muğla, 1989	750	981	25.50	731	821	600,151	CTP	600	707	15.07.1992
Uda İzmir, 1995	60,000	70,753	29.55	49,845	31.52	1,570,118	CTP	700	973	03.05.2001

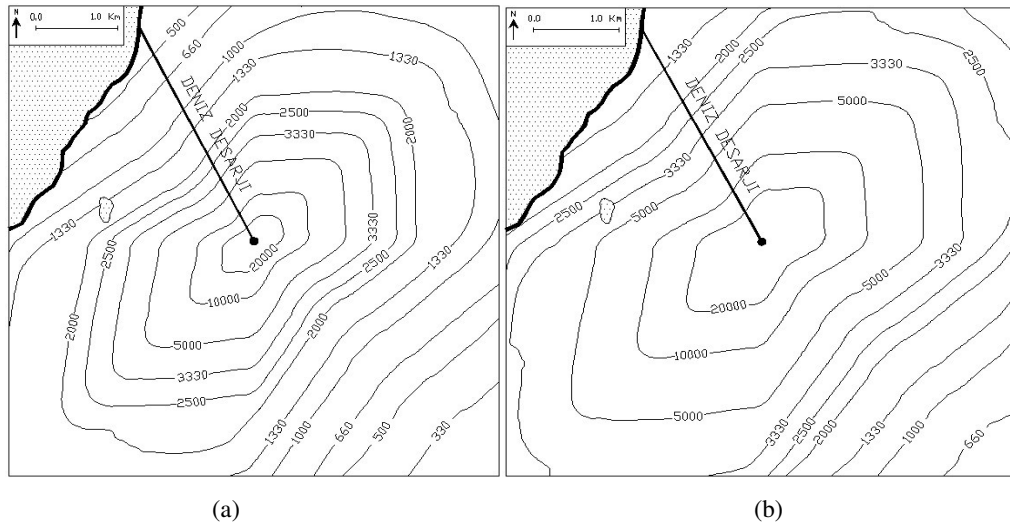
2. Difüzör delikleri zaman içinde debi arttıkça açılacaktır. Sistem işletmeye açıldığı ilk yıllar sadece difüzörün 800 mm çapa sahip olan son kısmındaki 40 delik açılacaktır. Debi 900 l/s değerine ulaştığında 1200 mm'lik kısımdaki 40 delik ve son olarak debi 1700 l/s değerine ulaştığında da kalan 40 delik açılacaktır.
3. İlk yıllar debi oldukça düşük olduğundan bir yıkama tankı tasarlanmıştır. Bu tankın hacmi 500 m³ olarak düşünülmüştür ve bu tank 30 dk' da dolabilmektedir. Yıkama yapıldığında boru içerisindeki debi 1000 l/s değerinin üzerine çıkmakta dolayısıyla hızda kritik hız olan 0.5 m/s değerini aşmaktadır.
4. Difüzör deliklerine, difüzör içine deniz suyu girişini engellemek amacıyla tek yönlü vanalar takılmıştır. Bu vanalar atıksu debisine göre tek yönlü olarak açılıp kapanabilmektedir....

Tablo 2.9 Biyolojik arıtma tesisi çıkışında hedeflenen kirlетici konsantrasyonları ve deşarj standartları (Yalçın ve Muhammetoğlu, 2005).

Parametre	Giriş Ortalama Konsantrasyonu (mg/l)	Çıkış Konsantrasyonu (mg/l)	Müsaade Edilen Konsantrasyon (mg/l)
BOİ5	400	25	250
KOİ	700	125	400
AKM	500	35	350
TKN	600	12	40
Toplam P	12	2	10

Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nde, Su Kalite Kontrol Yönetmeliği ile öngörülen deşarj standartlarının çok ötesinde bir arıtım uygulanmaktadır. Bu sayede deşarj edilen atıksu için azot, fosfor, organik madde ve AKM konsantrasyonları bir sorun teşkil etmemektedir. En önemli parametre olarak toplam ve fekal koliform parametreleri izlenmektedir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda Antalya Deniz Deşarj sistemi ile deniz ortamına deşarj edilen atıksuların, deniz yüzeyine çıkmadan büyük seyrelme oranlarına uğrayacağı söylenebilmektedir. Kirlетicilerin

alansal ve zamana bağılı değişimleri incelenmiş ve atıksuların deniz yüzeyinde bakteriyolojik açıdan büyük kirlilik sorunlarına sebep olmayacağı sonucuna varılmıştır. Model sonuçları Şekil 2.6’da kontör haritaları şeklinde sunulmaktadır. Su Kalite Kontrol Yönetmeliğine göre, rekreasyon amaçlı kullanılan sahil sularında izin verilebilecek maksimum toplam koliform konsantrasyonu 1000 adet/100 ml’dir. Şekillerdeki bakteri konsantrasyonu kontör çizgileri deniz yüzeyinde değil, batmış tarla yüzeyindeki koliform bakteri konsantrasyonlarını ifade etmektedir. Çalışmanın önceki bölümlerinde anlatıldığı gibi atıksu tarlası deniz yüzeyine çıkamayacağı için, atıksu tarlasının yüzme ve su sporları gibi rekreasyon faaliyetlerinin yapıldığı nispeten sığ olan sahil bandına ulaşması mümkün değildir....



Şekil 2.6 Modelleme çalışması sonucu elde edilen bakteri konsantrasyon dağılım haritaları; (a) günümüz kış mevsimi, (b) Günümüz yaz mevsimi (Yalçın ve Muhammetoğlu, 2005).

Yapılan çalışma sonucu, deniz suyu kalitesinde atıksu deşarjından ötürü meydana gelebilecek değişimlerin izlenmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden deniz deşarj sistemi ile deniz ortamına verilen atıksular için, 2002 yılında sona eren izleme programına devam edilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada sadece iki aylık bir periyotta yapılan akıntı ölçümlerine ulaşılabildiğinden, bütün bir yıl bu iki aylık akıntı ölçümleriyle modellenmiştir. Daha kapsamlı bir akıntı örnekleme çalışmasıyla daha gerçekçi sonuçlara varılabileceği beklenmelidir (Yalçın ve Muhammetoğlu, 2005).

b) Küçüksu Atıksu Ön Arıtma Tesisi ve Deniz Deşarjı İnşaatı Projesi: Küçüksu Atıksu Ön Arıtma Tesisi ve Deniz Deşarjı İnşaatı Projesi, İstanbul Kanalizasyon Projesi kapsamında ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSKİ) İşverenliğinde yürütülmüştür. Projenin tasarımı İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından yapılmıştır. Projenin amacı, İstanbul Boğazının Anadolu Yakasında bulunan Göksu, Küçüksu ve Çengelköy havzalarının atık sularının toplanarak arıtılması ve İstanbul Boğazının dip akıntısına deşarj edilmesidir. Proje dört bölümden oluşmaktadır:

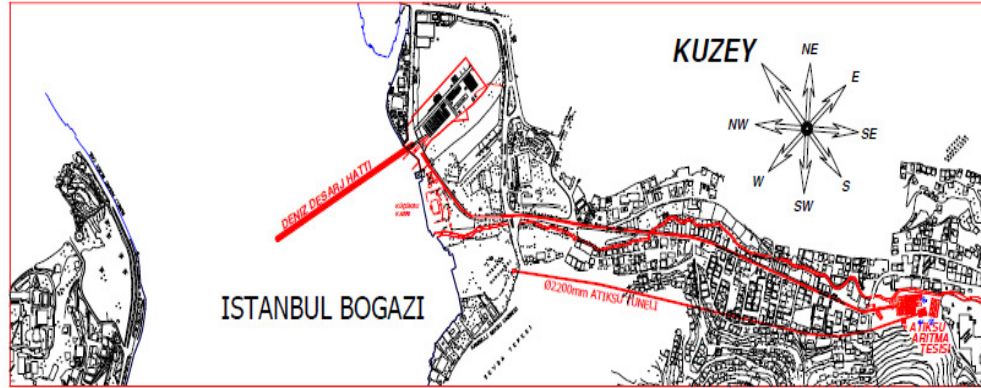
1. Küçüksu Atıksu Ön Arıtma Tesisi kaba ızgara yapıları, pompa istasyonu, dağıtma/toplama kanalları, ince ızgara üniteleri, havalandırma havuzları, bağlantı tüneli (95 m), koku kontrol sistemi ve elektrifikasyon işlerinden oluşmaktadır.
2. Küçüksu Kara Boru Hattı.
3. Küçüksu Deniz Deşarj Hattı.
4. Küçüksu Tüneli (1035 metre)

Hidrografik ölçme işlerinin ifasında RTK GPS kombinasyonlu Ekosounder ve destekleyici paket programların kullanıldığı; deniz deşarj hattı, 363 metre uzunluğunda olup iç çapı 2172 mm dir (Şekil 2.7). Deniz deşarj hattı inşaat aşamaları aşağıda verildiği gibidir:

1. Küçüksu atıksu ön arıtma tesisi kaba ızgara yapıları, pompa istasyonu.
2. Deniz tabanında boru kanal kazısı.
3. Deniz borularının açılan kanala döşenmesi.
4. Döşenen deniz borusunun üzerinin kırma taş ve zırh taşı ile iki ayrı aşamada doldurulması.

Madencilik ve yeraltı ölçmeleri işlerinin ifasında optik ölçme aletlerinin dışında lazerli ölçme ekipmanları ve total station kullanılan; 1035 metre boyundaki Küçüksu Atıksu Tünelinin iç çapı Ø 2200 mm dir. İnşaatı tamamlanan tünelle İstanbul

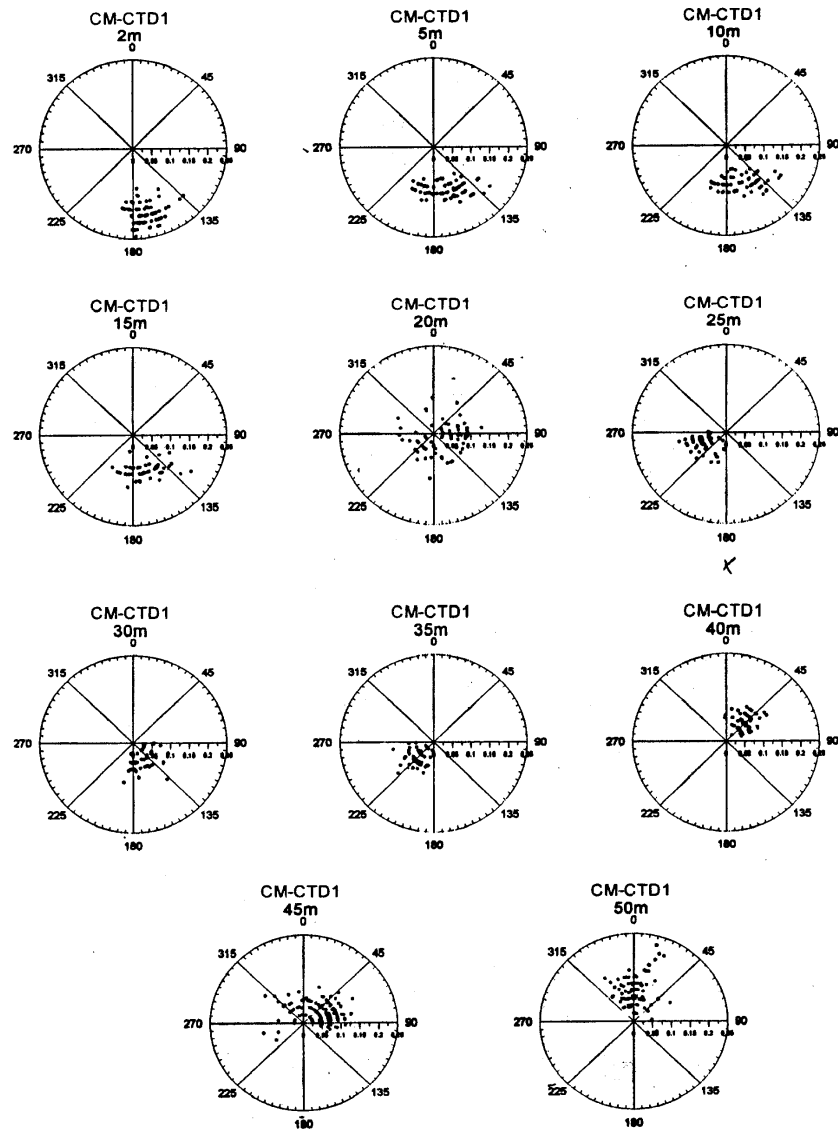
Boğazının Anadolu Yakası Sahil Şeridindeki evsel atıksular toplanarak Küçüküsu Atıksu Ön Arıtma Tesisine oradan da arıtılarak çıkan suların Deniz Deşarj Hattı ile İstanbul Boğazının alt akıntı tabakasına deşarjı sağlanmıştır (Karakaş ve diğerleri, 2005).



Şekil 2.7 Küçüküsu deniz deşarj inşaatı genel yerleşim planı (Karakaş ve diğerleri, 2005).

c) Foça Atık Su Deniz Deşarjı Uygulama Projesi: Foça Deniz Deşarj Hattı Uygulama Projesi ile ilgili olarak, müteahhit ortak girişim grubu'nca, Temmuz-Ağustos 2001 aylarında proje mahallinde detaylı batimetrik, oşinografik ve geoteknik etüdler yaptırılmıştır. Foça Belediyesi teknik ilgilileri gözetiminde yürütülen bu çalışmalar Geomarin A.Ş. (batimetri ve oşinografi) ve Geoyapı Ltd. Şti. - Argeo Ltd. Şti. (geoteknik etüdler) firmalarınca gerçekleştirilmiştir.... Güzergah üzerinde biri sahile 1950 m, diğeri ise 2425 m mesafede iki eşik bulunmaktadır. İlk eşikte deniz tabanı yaklaşık 3.0 m'lik bir yükselti yapmakta ve sonra yeniden alçalmaktadır. Yükselen ve alçalan kısımlardaki deniz tabanı eğimleri sırasıyla %2.7 ve % 0.3 civarındadır. İkinci eşikteki deniz tabanı yükselmesi yaklaşık 5.0 m civarında olup yükselen ve alçalan kısımların eğimleri % 7 ve % 3.5 'dir. Batimetrik çalışmalar sonunda deşarj hattının hidrolik açıdan rahat çalışması bakımından her iki eşğin en yüksek kısımlarında boru üzerinde mutlaka birer hava tahliye deliği açılması gerekecektir. Delik çapları kaba ızgara çubuk aralığı olan 40 mm'den az olmayacaktır. Difüzör dahil toplam boru boyu 3410 m olarak öngörülen deşarj hattı nihayetinde (difüzör ucunda) derinlik -59.3 m'dir...Foça Deniz Deşarjı hattı güzergahının geçtiği Foça

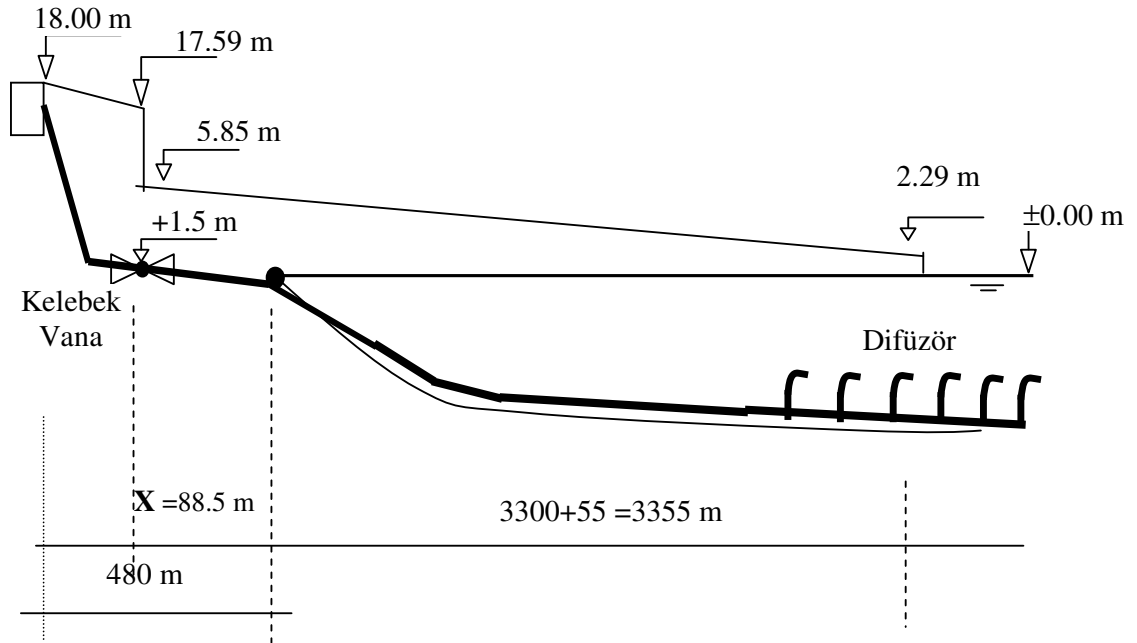
Körfezinde Geomarin A.Ş. tarafından Temmuz-Ağustos 2001 aylarında yapılan akıntı ölçümleri sonucu elde edilen akıntı gülleri Şekil 2.8’de verilmiştir. Buna göre difüzörün yer alacağı CM-CTD1 istasyonunda –25 m derinlikteki hakim akıntı yönü Batı-Güneybatı (WSW) olup ortalama hız emniyetle 0.08 m/s alınabilmektedir. İTÜ tarafından gerçekleştirilen akıntı ölçümü çalışmalarında da hakim yüzey akıntısı yönü W-WSW ve hızı yaklaşık 0.07-0.08 m/s olarak bulunmuştur...



Şekil 2.8 Akıntı gülleri (Öztürk ve diğerleri, 2002).

Atıksu Arıtma Tesisi ile yaklaşık 9.0 m kotu arasındaki kesimde, deniz deşarj hattında serbest yüzeyli akım ve hidrolik sıçrama oluşur. +9 m civarında hidrolik sıçrama dolayısıyla oluşabilecek etkilere karşı boruda koruyucu tedbirler alınmalıdır (örneğin bu kısımda borunun beton gömlek içine alınması veya serbest yüzeyli akımı önlemek üzere özel orifis teşkili gibi). Bu sebeple 2010 yılı kademesinde kullanılmak üzere deşarj bacası-sahil arasında (yoğunluk farkından ileri gelen yük kaybı değerinin tariflendiği +1.64 m kotu altında bir yerde yaklaşık +1.5 m kotlu nokta) teşkil edilecek bir kelebek vana yardımcı ile boruda serbest yüzeyli akım oluşumu engellenecektir (şekil 2.9). Söz konusu kelebek vana açılma oranı deşarj bacasındaki su kotuna bağlı olarak otomatik tarzda da ayarlanabilecektir (Öztürk ve diğerleri, 2002).

Denge Bacasındaki
Su Kotu



Şekil 2.9 Foça deniz deşarjı, deşarj bacası sahil arasında serbest yüzeyli akım kontrolü (Öztürk ve diğerleri, 2002).

d) Samsun Atakum Bölgesi Deniz Deşarjı: Atakum için önerilen proje iki kademeli olarak tasarlanmıştır. İlk kademe yılı 2020, ikinci kademe yılı ise 2040 olarak tasarlanmıştır. Öncelikle Atakum Bölgesi için nüfus hesapları yapılmıştır. 2020 yılı

sonunda 67570, 2040 yılı sonu için ise 98667 kişilik bir nüfus beklenmektedir. Bu nüfuslara göre ilk kademe ve ikinci kademe yılları için debi hesapları yapılmıştır. Tablo 2.10'da debiler günlük debi, proje debisi, maksimum ve minimum debiler olarak hesaplanmıştır. İlk kademe yılı olan 2020 yılı için proje debisi 247.69 l/sn; maksimum debi ise 316.5 l/sn olarak hesaplanmıştır. İkinci kademe yılı olan 2040 yılı için ise proje debisi 388.33 l/sn; maksimum debi ise 501.30 olarak bulunmuştur. Bunun dışında bölgede sanayi kuruluşu vs. olmadığı için sadece evsel kirlilik yükleri de hesaplanmıştır. Kirlilik yükleri her iki kademe yılı içinde günlük BOİ₅ yükü, günlük toplam azot yükü, günlük toplam fosfor yükü ve günlük askıda katı madde yükü olarak hesaplanmış ve Tablo 2.11'de gösterilmiştir. Bu hesapların ardından boru tipi ve tayini yapıldıktan sonra bölgenin oşinografi ve su kalitesi incelenip ardından da derin deniz deşarjı projelendirmesi difüzör hesabı; seyrelme hesapları, kara ünitelerinin boyutlandırılması, terfi merkezi hesabı şeklinde tamamlanmıştır. Önerilen derin deniz deşarjı için yapılan hesaplamalardan sonra ϕ 1000 mm'lik YYPE boru seçilmiştir. Terfi merkezindeki pompa seçimi 3 adet asıl ve 1 adet yedek olarak seçilmiştir....

Tablo 2.10 Kademe yıllarına göre hesaplanan debiler (Yılmaz ve Bakan, 2009)

Debiler	1. Kademe Debileri (lt/sn)	2. Kademe Debileri (lt/sn)
Q_{24}	125.12	205.55
Q_{16}	247.69	388.33
Q_{12}	316.50	501.39
Q_{37}	141.08	213.30

Atakum'a önerilen derin deniz deşarjı sistemi Kürtün çayının denize karıştığı bölge civarındadır. Şu anda bu bölgede Büyükşehir'e ait terfi merkezi bulunmaktadır... Bu bölgeden derin deniz deşarjı önerilmektedir....

Tablo 2.11 Kademe yıllarına göre kirlilik konsantrasyonları ve yükleri (Yılmaz ve diğer, 2009)

Parametre	2020 yılı Kirlilik Yükleri Konsantrasyonları (mg/l)/Yük.(kg/G)		2040 yılı Kirlilik Yükleri Konsantrasyonları (mg/l)/Yük.(kg/G)	
BOI ₅	55.79	3648.78	90.53	5920.02
AZOT	10.33	675.70	15.08	986.67
FOSFOR	3.09	202.71	4.52	296
AKM	92.98	6081	135.8	8880

Sistemde, 500l/sn'lik debi ile kuru tip santrifuj pompa seçilmiştir. Kaba ızgaralar ince ızgaralardan önce 1.20 m'lik açık kanal üzerine yerleştirilmelidir. Kaba ızgaralar 8cm aralıkla ve elle temizlenebilir özellikte olmalıdır. Kaba ızgaraya yerleştirilen çubuk sayısı 12, aralıkları 8-10 cm'dir. İnce ızgaralar ise iki adet ve mekanik temizlemeli olmalıdır. İnce ızgara çubukları 10x50 mm ebatlarında ve aralarındaki mesafe 25 mm olmalıdır. Kum tutucu havalandırmalı kum tutucu olarak tasarlanmaktadır. 2020 ve 2040 yılları için 1 adet, 2 gözlü olarak tasarlanmaktadır. Biriken kumlar dalgıç pompalarla kum toplama haznesine alınmalıdır. Kum haznesinin hacmi 17 m³ olup 6 günde bir temizlemeli olarak hesaplanmıştır. Toplam deşarj hattı uzunluğu 2486m'dir. Bu uzunluğun 86 m'sini difüzör boyu oluşturmaktadır. Difüzör üzerindeki orifis sayısı 28 olup aralarındaki mesafe 3.5 m olarak hesaplanmıştır. Seyrelme hesaplamaları yapılmış ve toplam seyrelmenin 488808 olduğu görülmüştür. Atık sudaki koliform konsantrasyonu 1×10^8 koli/100ml ve olması gereken koliform konsantrasyonu 1000 koli/100 ml'dir. Kıyı koruma bandına koliform miktarı ulaştığında 100 ml'de 204 koli olduğu hesaplanmıştır. Bu da uygun seyrelme olduğunu göstermektedir.... Koruma bölgesi 300 m olup difüzör hariç toplam deşarj uzunluğu 2400 m'dir. Difüzör uzunluğu 86 m olarak hesaplanmış ve tabanla 35 derecelik açı yaparak döşenmesi uygun görülmüştür (Yılmaz ve diğer, 2009).

BÖLÜM ÜÇ

DENİZ DEŞARJLARININ PLANLANMASI, PROJELENDİRİLMESİ VE İNŞAASI

3.1 Planlama Safhası

Planlama, yapılacak deşarj projesi ile ilgili her türlü bilimsel verinin toplandığı ve bu verilerin projelendirme aşamasında tasarımcının kullanacağı şekilde tasniflendiği bir safhadır. Deniz deşarjı projesinin uygulanacağı yerde öncelikli olarak yapılması gereken çalışmalar ve toplanması gereken veriler şunlar olmalıdır:

a) Yerleşim Yerinin Tanıtılması: Beldenin tarihçesi, yerleşimi, ulaşım imkanları, sosyo-ekonomik özellikleri, beldede bulunan okul, hastane, askeri birlik ve endüstrilere ait bilgiler ile ulusal kanun ve uluslar arası anlaşmalarla koruma altına alınmış alanlar hakkındaki bilgiler.

b) İçme Suyu Durumu: Yerleşim yerinin içme suyu kaynakları, yöreye getirilen içme suyu miktarı, isale hatları, depo ve şebeke özellikleri, varsa içme suyu arıtma tesisi sistem özellikleri, şebeke kayıpları, planlanan yeni içme suyu kaynakları.

c) Kanalizasyon Durumu: Yerleşim yerinin kanalizasyon inşaatının durumu, ana toplayıcı, kolektör ve şebeke özellikleri, kolektör ve şebeke uzunlukları, yer altı suyu sızmasına maruz kalabilecek hatların durumu, mevcut ve yapılmakta olan ve ilerde yapılması düşünülen kanalizasyon tesisleri hakkında ve varsa atık su arıtma tesisi hakkında bilgiler.

d) Alıcı Ortam Özellikleri: Alıcı ortamın balıkçılık, rekreasyon, ulaşım gibi ekonomik kullanım amaçları.

e) Endüstriler: Yerleşim yerinde yer alan veya kurulması planlanan endüstrilerin üretim çeşitleri, kullandıkları ham maddeler, kapasiteleri, çalışan işçi sayısı, vardiya sayısı, günlük atık su miktarı, kanalizasyon şebekesine bağlanabilme durumu, kanalizasyona deşarj standartları.

f) Deniz Deşarjı Kara Tesis Alanının Özellikleri: Kara tesisinin kaplayacağı alanın büyüklüğü, mülkiyet durumu, arazi topografyası, tesisin yaklaşık enerji ihtiyacına göre enerji temin noktası ve enerji temin noktasının tesise uzaklığı.

g) Nüfus Tahminleri: Geçmiş yıllardaki nüfus sayımları, imar planı nüfus tahmini, içme suyu ve kanalizasyon projelerindeki nüfus tahminleri esas alınarak, derin deniz deşarjı tesisinin (yazlık beldeler için yazlık ve kışlık olmak üzere ayrı ayrı) kademelendirme yılları ve 35 yıl sonrasının nüfus tahminleri. Ayrıca projeden yararlanması gereken yazlık nüfus, endüstri, askeri birlik gibi özel sarfiyat veren tesislerin mevcut ve gelecekteki durumları belirlenir.

Planlama safhasında bu ön çalışmaların yapılması ile beraber projelendirme aşamasına ışık tutacak analizlerin de yapılması gerekmektedir. Kıyı alanlarında planlama safhasında çeşitli bilim dallarının konularını oluşturan analizler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

3.1.1 Meteorolojik Analiz

Atmosferde meydana gelen bütün meteorolojik olayların sebebi, farklı bölgelerde oluşan farklı karakterlerdeki basınç sistemleridir. Atmosfer basıncı ve rüzgar, deniz yüzeyinde oluşan değişimlerin meydana gelmesinde önemli yer teşkil etmektedir. Kıyı yapılarının planlanmasında; rüzgar, basınç, sis, yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler dikkatle incelenmelidir. Meteorolojik analiz yapılması için aşağıda listelenen yollardan faydalanabilir:

a) Kıyı Alanlarındaki Meteorolojik Rüzgar Ölçüm İstasyonları: Kıyı alanlarında bulunan meteoroloji istasyonlarından, deniz deşarjı projelendirmesinde kullanacağımız uzun süreli rüzgar ölçümleri verilerine ulaşabiliriz. Her fırtınanın en yüksek hız değeri, yönü ve süresi aylık klimatolojik rasat cetvellerinde belirtilir. Bu istasyonlarda saatlik ortalama rüzgar cetvelleri hazırlanmaktadır. Günün her saatinde rüzgar yönü ve hızı kayıt altına alınır. Her 6 saatte bir basınç değerleri ölçülerek sinoptik basınç haritaları oluşturulur.

b) Sinoptik Haritalar: Dalga tahminlerinde kullanılan rüzgar verilerinden birisi de, sinoptik yer basınç haritalarından elde edilmektedir. Sinoptik yer basınç haritaları, yapılan ölçümler sonucu atmosferde aynı hava basıncındaki yerlerin birleştirilmesi ile elde edilen eğrileri (eş basınç eğrilerini) gösteren haritalardır. Eş basınç eğrileri haritaların üzerine genellikle üç veya dört milibarlık basınç farklarıyla çizilmektedir.

c) European Centre for Medium-Range Forecast (ECMWF): Orta ölçekli hava tahmini için ölçümler yapan bu merkez, kıyı mühendisliği uygulamalarında kullanılabilecek 12 saatlik sinoptik basınç haritalarını da hazırlar. Bu haritalarda verilen eşbasınç eğrileri kullanılarak istenilen deniz alanı üzerinde esen rüzgarın hızı ve yönü bulunabilir. Aynı zamanda bu merkez derin deniz dalga tahminini de vermektedir.

d) Yerinde Yapılan Ölçümler: Projelendirilmede kullanılacak tasarım dalgası, düzensiz olan dalga kayıtlarının veya rüzgar verilerinin istatistiksel yöntemler kullanılarak düzenlenmesi ile belirlenir. İstasyonun doğru yere konumlandırılmamış olması, proje yapılacak yere uzak olması veya karaya kurulmuş olması gibi sebeplerden dolayı, bu istasyonlardan elde ettiğimiz veriler, projelendireceğimiz alandaki gerçek değerlerle uyum sağlamayabilir. Yerinde yapılan ölçümler ile istasyondan alınan veriler karşılaştırıldığında, farklılıklar görülebilir. İstasyondan alınan rüzgar verilerini kalibre etmek amacıyla regresyon analizi yapılarak, düzeltme fonksiyonları hazırlanmalıdır.

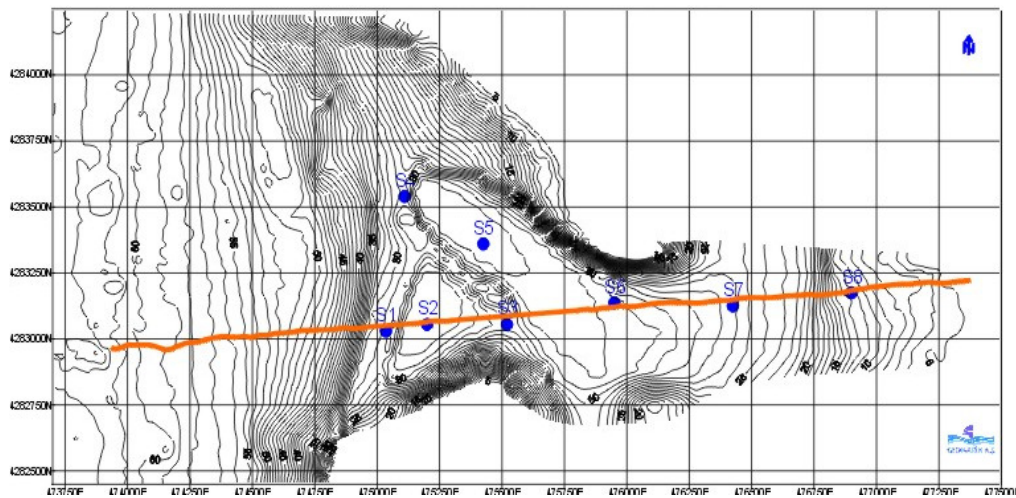
3.1.2 Geoteknik Analiz

Derin deniz deşarjı planlama safhasında yer seçimi ve zemin koşullarının belirlenmesi için, denizde ve karada geoteknik araştırmalar yapılır. Yapılan sondajlar sonucu elde edilen zemin profilinin incelenmesi, arazi deneyleri, alınan örselenmiş ve/veya örselenmemiş zemin ve karot örneklerinin laboratuarda gerekli deneylere tabi tutulması ve geoteknik özelliklerinin belirlenerek projelendirme aşaması için yeterli veri sağlanması amacı ile yapılan çalışmanın sonuçları bir rapor halinde değerlendirilir. Bu değerlendirmeler proje ve inşaa aşamalarına ışık tutacaktır. Bu

raporun içeriği aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmalıdır. Projenin niteliğine veya gerekli görülmesi durumunda ek çalışmalara da yer verilebilir:

a) Projenin Tanıtılması: Bu bölümde geoteknik analiz hakkında genel bilgiler verilmelidir. Etüdün amacı ve kapsamı, inceleme alanının tanıtılması, jeomorfolojik ve çevresel bilgiler, projeye ait bilgiler ve daha önceki bu bölgede yapılan zemin çalışmaları bu bölümde bulunması gereken ana kıstaslardır. Projenin tanımı, fonksiyonu, konumu, koordinatları, saha resimleri ve plan krokisi bu bölümde bulunması gerekenler arasındadır.

b) Jeoloji: Bu bölümü de 2 başlık altında toplayabiliriz. Bunlardan ilki genel jeolojidir. Bu başlık altında, inceleme alanının da içinde yer aldığı bölgenin jeolojisi özet olarak açıklanmalı ve çevrede yer alan kıvrım, kırık, fay(diri-ölü), heyelan kütleleri vb. yapısal özelliklere değinilmelidir. İkinci başlık ise inceleme alanı mühendislik jeolojisidir. İnceleme alanındaki birimlerin yatay ve düşey yönlerdeki değişimi ve bunların jeolojik özellikleri ayrıntılı olarak verilmeli; deniz deşarj alanının jeolojik yapısı eksiksiz olarak tanımlanmalı, özellikle sondaj ve arazi çalışmalarına katılan personelin gözlemlerine yer verilmelidir. Çalışmalarda izlenen süreç ve yöntemler, proje kıyı bandı resimleri, bu bölümünde sunulur. Şekil 3.1’de örnek bir deşarj hattı haritası üzerinde işaretlenmiş sondaj lokasyonları gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Foça deniz deşarjı güzergahı sondaj lokasyonları (Geo Ltd.Şti, 2001)

c) Arazi Çalışmaları ve Deneyler: Yapılan arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarında hangi yöntemlerin kullanıldığı ve nasıl bir çalışma düzeni izlenildiğine değinilmelidir. Çalışmaların yapıldığı tarihler belirtilmelidir. Arazide yapılan çalışmaların en önemlisi sondaj kuyularıdır. Proje alanında bulunan yeraltı tabakalarının yatay ve düşey yönlerdeki değişimlerini belirleyebilecek yeterli sayıda sık ve derin sondaj çalışmaları yapılmalıdır. Sondaj ve arazi çalışmalarından elde edilen veriler tablolar halinde ve yorumlanarak verilmelidir. Ayrıca sondaj yerlerinin koordinatları bir tablo halinde verilmeli ve plankote, vaziyet planı üzerine işlenmelidir. Geoteknik analiz ilgili mühendislik odası onayından geçirileceği için bazı kurallara dikkat etmek gerekir. Ek olarak verilecek sondaj loglarında TSE standartlarında belirlenmiş semboller kullanılmalıdır. Sondaj yerlerinin koordinatları, sondaj makinesinin türü, sondörün adı ve soyadı, sondajın yapıldığı tarihler, hava durumu, yeraltı suyuna ilişkin en az 7 günlük gözlemler, zemin birimlerinin düşey yöndeki değişimleri, zemin tanımlamaları, alınan örselenmiş ve örselenmemiş örneklerin derinlikleri, örselenmemiş örneğin türü, arazide yapılan deneyler logu hazırlayan tarafından imzalı olarak sunulmalıdır. Şekil 3.2’de örnek bir sondaj logu gösterilmiştir.

Sondajlar sonucunda çizilen kesitlerde sondaj noktaları belirtilmeli, jeolojik veriler kesitte farklı renklerde verilmeli, yeraltı suyu seviyesinin en sık ve en derin kotları noktalı çizgi ile gösterilmelidir.

d) Deniz Jeoloji Araştırmaları: Deniz jeolojisi araştırmaları deniz tabanının jeolojik yapısının tespiti amacıyla yürütülmektedir. Bu kapsamda çalışma sahasının sediment örneklemeleri yapılarak bölgenin deniz tabanı zemin cinsi, sediment dağılımı ve zemin sertliği belirlenerek deniz tabanı jeolojik haritaları hazırlanmaktadır. Deniz tabanından sediment örneklerinin alınması, piston kor, orange peel, snapper, laboratuvar çalışmaları ve elek-pipet analizleri deniz jeolojisi araştırmalarının yöntemlerini oluşturmaktadır. Sediment numune mevkileri ve derinlikleri, skeç haritası, numune analiz sonuçları ile zemin/örnek tanımlaması, granülometrisi, 1/2500, 1/5000 veya 1/7500 ölçekli tane boyuna göre sediment dağılım haritası ile yorum ve değerlendirmeler bu bölümde belirtilir (DenizAr Deniz Araştırmalar & Mühendislik ve Danışmanlık, 2009).

Şekil 3.2 Foça deniz deşarjı S1 sondaj logu (Geo Ltd.Şti, 2001)

Şekil 3.2 Foça deniz deşarjı S1 sondaj logu (Geo Ltd.Şti, 2001)

e) Jeofizik Çalışmalar: Jeofizik yöntemleri sondaj çalışmalarına yardımcı unsur olarak katkı sağlarlar. Zemin tabakalarının özelliklerinin belirlenmesi ve sınırlarının anlaşılması için jeofizik yöntemler kullanılır. Jeofizik yöntemler kullanılarak sondaj sayısı azaltılabilir ve elde edilen verilerin niteliği artar.

Yapılacak yerel jeofizik çalışmaların amaçları tam olarak belirlenmeli, alınan tüm kayıtlar ve yapılan hesaplamalar ayrıntılı bir şekilde yorumlanarak verilmelidir. Çalışmaların amacı, yöntemi, kullanılan araçların adı, özellikleri, alınan ölçüm sonuçları, tüm tablo ve grafikler yorumlarıyla birlikte verilmelidir. Jeofizik çalışmalar ayrıca sondaj loglarıyla birlikte yorumlanmalı, ölçüm yerlerinin koordinatları tablo halinde verilmelidir. Jeofizik çalışmaları aşağıdaki yöntemler kullanılarak yapılmaktadır:

1. Sismik Kırılma: Sığ derinlikler için yapılan araştırmalarda kullanılan bir yöntemdir. Yeraltı yapısının (tabaka sayısı, kalınlıkları, boyuna V_p , enine V_s dalga hızları) belirlenmesi, yerin elastik parametrelerinin belirlenmesi (yoğunluk, poisson oranı, elastisite modülü, kayma modülü, zemin hakim titreşim periyodu), elde edilen parametrelere göre zemin sınıfının belirlenmesi, gömülü fay izlerinin araştırılması, varsa zemin içerisindeki boşlukların ve süreksizliklerin bulunması bu yöntem ile elde edilen sonuçlardır. 1-14kHz akustik frekanslarda çalışan çok yüksek ayrımlı sismik sistemler, “Deniz Mühendislik Sismiği (Subbottom Profiller)” olarak bilinir. Bu sistemler sayesinde deniz tabanından ortalama 30m derinliklere kadar üst katmanın sismik görüntüsü elde edilmiş olup deniz tabanı araştırmalarında geniş çapta kullanılırlar.
2. Sismik Yansıma: Daha derin zemin araştırmaları için Sismik Kırılma bölümünde belirtilen amaçlar için kullanılmalıdır.
3. Elektrik Özdirenç: Nemlenme derinliği veya suya doymuş seviyenin belirlenmesi, tabaka sayısı ve derinliklerinin belirlenmesi, sağlam zemin ve temel kaya derinliğinin belirlenmesi, yerin direnç özelliğine göre yeraltı jeofizik yapısının belirlenmesi vb. amaçlarıyla yapılan çalışma yöntemidir.

4. Mikrotremör Çalışmaları: Zemin hakim titreşim periyotlarının belirlenmesi (TA, TB), zeminin büyütme katsayısının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma yöntemleridir.
5. Yanal Taramalı Sonar: Geminin rotasının her iki yanında uzanan deniz tabanından yüksek ayrımlı veri temin eden akustik bir sistemdir. Deniz tabanının akustik bir görüntüsünün elde edilmesinde kullanılan en pratik ve önemli sistem yandan taramalı sonardır. Normal olarak akustik yöntemlerde kullanılan birimler; akustik sinyal üreticisi (kaynak), sinyal algılayıcısı ve bir kayıt cihazından oluşur. Yüksek frekanslı ses sinyalleri gönderip almak sureti ile deniz tabanının haritası görüntülenir.

f) Geoteknik Değerlendirmeler: Bu bölümde; geoteknik modeller ve mühendislik parametreleri, emniyetli zemin taşıma gücü, oturma analizi, kazılabilirlik ve şev stabilitesi gibi konular hem kara, hem sığ deniz, hem de açık deniz bölgelerinde ayrı ayrı incelenirler. Proje ve inşaat için gerekli olan geoteknik veriler bu bölümde detaylı olarak açıklanır.

g) Sonuç ve Öneriler: Sonuç ve öneriler bölümünde raporda yapılan değerlendirmelerin özeti yapılmalı ve proje için öneriler sunulmalıdır.

3.1.3 Deniz Suyu Analizi

Bu konuyla ilgili bilgiler 2.2.1 çevre mühendisliğini ilgilendiren hususlar bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

3.1.4 Batimetrik Analiz

Batimetrik analizlerinin amacı, inceleme alanı deniz kalınlığını ve deniz dibi topografyasını belirlemek, deniz derinlik haritalarını oluşturmaktır. Deşarj hattının etkin dalga yönüne dik olarak döşeneceği göz önüne alınarak, batimetrik haritanın kanalizasyon hattının denize ulaştığı noktanın her iki yanından 150 m olmak üzere, 30°'lik açı ile denize doğru muhtemel deşarj hattı uzunluğunca, boyuna 50 m, enine 50 m aralıklı karelej sistemi üzerinde belirtilen hattı güzergahının belirlenmesinden

sonra, grid noktalarının derinlik ölçümleri yapılarak, 1/1000 ölçekli deniz dibi haritası hazırlanmalıdır. Deniz dibi haritası ve bütün diğer etmenler ışığında deşarj hattı güzergahının belirlenmesinden sonra, 50 m aralıklarla deniz tabanı boyuna profili çıkarılmalıdır. Şekil 3.4’de örnek bir boy profili gösterilmiştir. Batımetrik analizleri iki bölümde inceleyebiliriz:

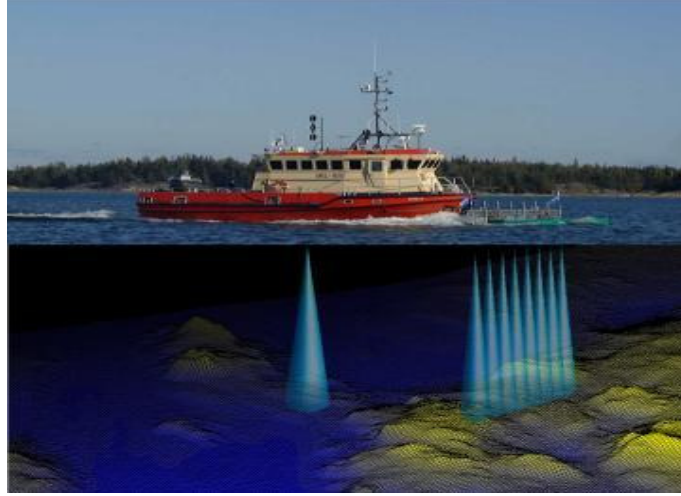
a) İskandille Ölçüm: Derinlik ölçümleri gerçek zamanlı veri toplama sistemleri kullanılarak tek bimli veya çok bimli iskandiller ile yapılmaktadır. Yalpa ve başvurma değişimleri gemilerdeki sensörler yardımı ile belirlenip, gerçek zamanlı olarak ölçüler düzeltilmektedir. Çok bimli akustik iskandiller yardımıyla derinlik profili daha kısa zamanda ve daha hassas olarak elde edilmektedir. İskandille ölçüm şu şartlarda yapılabilir.

1. Ekosounderların kullanılmasının dalgaların yansıması nedeniyle sakıncalı olduğu deniz yapılarının çevresinde.
2. Ekosounderların ölçümlerini kontrol etmek için
3. Özellikle deniz yatağı yumuşak zemin ise, deniz araçlarının kullanılabileceği derinlik tayinlerinde.
4. Ses sonarlarının ölçümlerinin güvenilir olmadığı sığ derinliklerde.

Derinliğin 10 metreyi aştığı, orta veya kuvvetli deniz akıntılarının olduğu durumlarda iskandil kullanılmaması daha doğru olur.

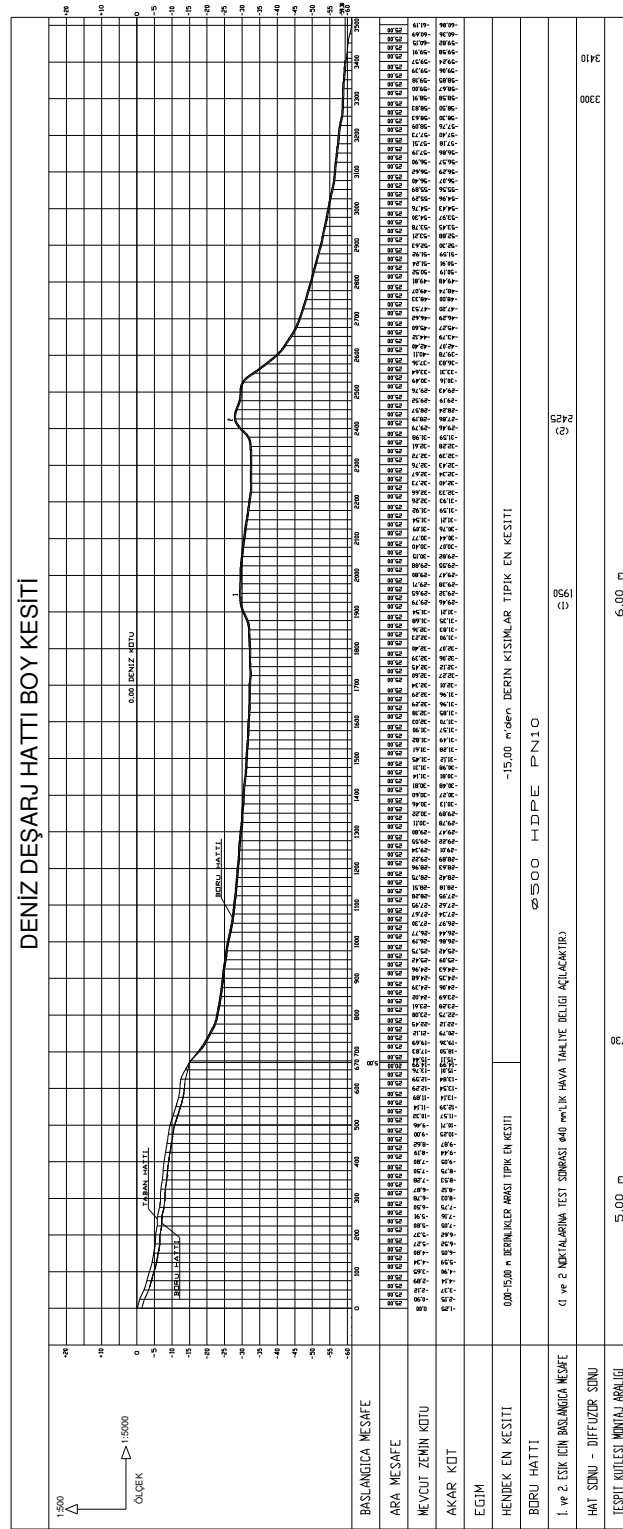
b) Ekosounder ile Ölçüm: Tasarım aşamalarında ve yapım işlerinde kullanılacak deniz dibi haritalarının hazırlanması için kullanılan bir yöntemdir. Echo sounder deniz suyuna 14-200 kHz frekanslı bir enerji gönderir. Geminin omurga hizasından deniz suyuna dik olarak gönderilen hüzmeye şeklindeki bu enerji deniz ortamındaki yansıtıcı hedeflere çarpıp yankı olarak geri döner (Şekil 2.3). Cihaz alıcısı tarafından bu ekolar alınıp genliği yükseltilir ve bir kayıt edicide kaydedilir. Oluşturulacak ağ deniz tabanı malzemesinin özelliğine ve ekosounder’ın sinyal açısına bağlı olarak değişir. Eğer deniz tabanı aşırı düzensizlik gösteriyorsa ölçüm hassaslığının artırılması için ölçüm ağ aralığı azaltılır. Ölçümlerde deniz tabanı düzenli bir yapı gösteriyorsa ağ aralığı artırılır. Ağ aralığının artırıldığı durumlarda taban girinti ve

çıkıntılarının gözden kaçırılmaması için yandan tarayıcı ekosounder'lar kullanılmalıdır.



Şekil 3.3 Ekosounder

Su derinliğinin ölçümünde ekosounder'lar en yaygın kullanılan donanımlardır. Ölçümlerden önce ekosounder aleti suyun tuzluluk oranına ve havanın sıcaklığına göre kalibre edilmelidir. Suyun tuzluluğu ve sıcaklığı her gün değişebileceği için ekosounder kalibrasyonu her işin başlangıcında ve bitişinde yapılmalıdır. Ayrıca el ile yapılan iskandil ölçümleri ile ekosounder ölçümleri kontrol edilmelidir. Sonar yapılmadan önce deniz dibi malzemesinin yüzey ölçümlerinin doğru yapılabilmesi için malzeme çeşidine göre ölçüm frekansının belirlenmesi gerekir. Eğer deniz dibi malzemesi akıcı çamurdan oluşuyorsa yüksek frekanslı sonarlar kullanılmalıdır. Eğer ses sonarının ölçümlerinden şüphe ediliyorsa, genellikle yumuşak veya yosunlu zeminlerde, direk ölçüm yapılmalıdır. Denizin içine daldırılan sonar aleti ile ölçümler yapılır. Ölçüm yapılacak alanda dalgaların hareketliliğinden dolayı oluşabilecek ölçüm hatalarının olmaması için, deniz dalgalarının sakin olduğu günlerde ölçüm yapılması şarttır. Eğer ölçümler düzenli bir deniz yapısını gösteriyorsa, ölçüm aralıkları 50 m ye kadar çıkarılabilir.



Şekil 3.4 Foça deniz deşarj hattı boy kesiti

Düzensiz olan deniz dibi haritası için ölçümler 5 m ye kadar indirilebilir. Ölçüm aracının hızı da deniz dibi topografyasına bağlı olarak artırılıp azaltılabilir. Ölçüm aracının hızı düzensiz deniz tabanı için 1-1.5 m/s, düzenli deniz tabanı için 2.5 m/s olmalıdır. Ölçüm limitlerinin genellikle yapılacak yapının ya da tarama yapılacak bölgenin ana eksenine dik olarak yapılması gerekir. Ölçüm alanı yapı alanını ya da tarama yapılacak bölgeyi kapsayacak şekilde sınırların belli olması için yeterli bir alanı kapsamalıdır. Tarama için tarama malzemesinin döküleceği yer ve boşaltım bölgesi içinde batimetri ölçümleri yapılmalıdır. Her batimetri ölçümü sırasında su seviyesinin 2.5 cm toleransla ölçülüp ortalama deniz suyu seviyesine göre ölçüm sonuçlarının düzeltilmesi şarttır.

3.1.5 Güzergahın Belirlenmesi

Deniz deşarjı projelerinde deşarj borusunun plandaki konumunun belirlenmesinde, diğer bir deyişle boru güzergâhının seçiminde, dikkate alınacak birçok husus bulunmaktadır. Bu hususların tasarıma etkileri farklı yönlerde olabilmektedir. Bu nedenle en uygun güzergâhın belirlenmesi kolaylıkla gerçekleştirilecek bir nitelikte değildir. Burada “en uygun güzergâh” tanımından kasıt, söz konusu deşarj projesini önceki bölümlerde açıklanan çevre ve inşaat mühendisliğini ilgilendiren konular doğrultusunda doğru ve ekonomik olarak planlamaktır. Diğer taraftan, tasarımı doğrudan etkileyen teknik hususlar dışında; turizm tesisi, limanlara ulaşım hatları, demirleme sahaları, doğal sit alanları, hatta politik baskılar gibi bölge için sözkonusu teknik olmayan hususlar da güzergah seçimini etkilemektedir. Deşarj borusuna etkileyen kuvvetler boruya etkileyen dalgaların yükseklikleri, periyotları, dalga geliş açıları, boru ekseninde oluşturdukları salınımların hız ve ivmeleri yanında boru çapı su derinliği gibi çok sayıda unsura bağlı olarak değişmektedir. Kıyıya doğru ilerleyen dalgaların özelliklerinin derinlik değişimi ile değiştiği göz önüne alındığında deşarj borusu tasarımının aslında karmaşık bir optimizasyon problemi olduğu anlaşılmaktadır. Bu tez kapsamında sadece teknik bir hususun tasarımı nasıl etkileyebileceği, dolayısıyla bu husus açısından en uygun güzergâhın belirlenmesi amaçlanmıştır. Sunulan tezin esasını oluşturan ve dalga geliş açısının tasarıma etkisini ele alan çalışmalar tezin 4. bölümünde verilmiştir.

3.2 Projelendirme Safhası

Deniz deşarjları tasarımında, çevresel ve yapısal yükler ile bu yüklerle karşı yapının davranışı incelenmelidir. Bunun için tasarlanacak yapının çevresindeki dalga ve akıntı ikliminin, dalga ve akıntı ölçümlerine veya meteorolojik verilere bağlı olarak tanımlanması, tasarım dalgası ve akıntı özelliklerinin belirlenmesi, yapıya tesir edecek dalga ve akıntıdan kaynaklanan hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanması, yapının davranışının belirlenmesi, taşıma ve batırma sırasında oluşan etkilerin analizi, yapının yorulma analizi, zemin analizi, yapı elemanlarının bağlantı analizi, ayrıca yerel katı madde hareketinin incelenmesi gereklidir.

Projelendirme safhasını seyrelme hesapları ve deşarj hattının uzunluğunun tayini, atık su debilerinin hesaplanması, hidrolik hesaplar, hidrodinamik etkilerin hesaplanması ve işaret şamandıraları hesapları olarak bölümlere ayırabiliriz:

a) Seyrelme Hesapları: Daha önceki konularda da değindiğimiz üzere iki tip deniz deşarjı mümkündür. Bunlar ön arıtma yapılmadan deniz deşarjı ve ön arıtma yapılarak deniz deşarjıdır. Alıcı ortamın seyrelme kapasitesi atık suyu seyreltmeye yetiyorsa, yani atık su özellikleri doğal olarak istenilen seviyelere düşüyorsa, arıtma yapılmadan denize deşarj edilebilir. Deniz ortamı doğal olarak gerekli seyrelmeyi sağlayamıyorsa ön arıtma yapılması gerekli hale gelmektedir. Seyrelme hesapları birinci seyrelme, ikinci seyrelme ve üçüncü seyrelme olarak 3 bölümde hesaplanır. Birinci seyrelme (S1) yakın alan seyrelmesidir. Difüzörden çıkan atık suyun deşarj ağzına yakın bir bölgesinde uğradığı seyrelmedir. Atıksu belirli bir hızla deşarj edildiğinde, hızı sabit kabul edilen deniz ortamında momentumdan dolayı bir seyrelmeye uğrar. S1 seyrelmesi difüzör çıkış ağzından deniz yüzeyine kadar olan mesafede gerçekleştirilir. S1 seyrelmesi hesabında, deniz ortamının homojen yada yoğunluk tabakalaşmasına sahip olması durumuna göre değişik formüllerle hesap yapılır. İlk seyrelmede deşarj noktasının derinliği, deşarj jetinin çapı, atık su jetinin hızı, atık su ile çevreleyen deniz suyu arasındaki yoğunluk farkı gibi parametreler etkilidir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre ilk seyrelme değeri 40'ın altında bulunmamalı, tercihen $S1=100$ olmalıdır. İkinci seyrelme (S2) uzak alan seyrelmesidir. Birinci seyrelmeye uğramış atık suyun birinci seyrelme alanı dışında

uğradığı akıntı ve dispersiyonlar sonucunda oluşan seyrelmedir. Zamana bağlı bir olaydır. Zaman arttıkça seyrelme miktarı artar. Dolayısıyla konsantrasyon azalır. İkinci seyrelme deniz yüzeyinde oluşur. İkinci seyrelme difüzörün uzunluğuna, dip akıntısının hızına ve sahile olan uzaklığa bağlıdır. Üçüncü seyrelme (S3) ortamda, uzak alan dışında kirleticilerin uğradıkları reaksiyonlar sonucunda oluşan konsantrasyon düşüşleridir. Bakterilerin yok olma süresi için bakterilerin %90 oranında azalması için geçen zaman esas alınır (T90). Deniz suyunun sıcaklığı, tuzluluğu ve pH'ının değişmesi nedeniyle bu süre her deniz için aynı değildir. Su Kirliliği Yönetmeliğine göre, yaz aylarında T90 değeri Ege ve Akdeniz'de en az 1.5 saat, Karadeniz'de ise 2 saat alınabilir. Kış aylarında T90 değerlerinin daha yüksek olacağı ve ortalama 3-5 saat civarında bulunacağı göz önünde tutulmalıdır. Tablo 3.1'de Türkiye'nin muhtelif denizlerinde, tablo 3.2'de dünyada muhtelif denizlerde tespit edilen T90 değerleri verilmiştir. S3 aslında bir seyrelme değildir. Çünkü seyrelme fiziksel bir olaydır. Ancak deniz ortamında bir tip seyrelme gibi etki göstermektedir. “Zamanla ayrışıp azalmayan türdeki maddeler (korunan madde) sadece birinci ve ikinci seyrelme tesiri ile seyreltilir. Bu tür maddeler netice olarak S1.S2 defa seyreltilmiş olurlar. Organik madde, bakteri gibi korunamayan maddeler ise ayrıca 3. seyrelmeye uğradıkları için S1.S2.S3 defa seyreltilirler.” (Öztürk, 1996). Tasarımda amaç, atık suyun alıcı ortamda hızlı bir şekilde karışımı ve seyrelmenin mümkün olan en yüksek düzeyde sağlanmasıdır. Birinci seyrelme tasarımcının kontrolü altında, ikinci ve üçüncü seyrelmeler ise tasarımcının kontrolü dışındadır. Deniz ortamına, tabandaki bir boru üzerindeki bir delik (nokta kaynak) veya yarıktan (çizgi kaynak) deşarj edilen atık suların seyrelmesi ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Abraham (1963), Fan ve Brooks (1969), Brooks (1973), Kor (1968), Cederval (1968).... Üç ayrı seyrelme sonucu meydana gelen toplam seyrelme (S_T),

$$S_T = S1.S2.S3 \quad (3.1)$$

Olarak hesaplanır. Deşarj edilen atık suyun başlangıçtaki koliform konsantrasyonu C_0 ise, koruma bölgesi sınırındaki koliform konsantrasyonu (C),

$$C = C_0 / S_T \quad (3.2)$$

olur. Bu şekilde bulunan C konsantrasyonu, koruma bölgesi sınırı için öngörülen standardı aşmayacak şekilde deşarj hattı uzunluğu belirlenir (Öztürk, 1996).

Tablo 3.1 Türkiye'nin muhtelif denizlerinde tespit edilen T90 değeri (Öztürk, 1996)

Yer	Yılı	T90 (saat)
İstanbul	1968	0,8 – 1,7
Bodrum	1977	1.0
Erdek	1977	1.1
Ayvalık	1977	0.5 – 0.8
İskenderun	-	1.1
Karadeniz	1988	2.0 – 2.5
Ege Denizi		

Tablo 3.2 Dünya'da muhtelif denizlerinde tespit edilen T90 değeri (Salas, 1988) .

Yer	T90 (saat)
Honolulu Havai	0.75 veya daha az
Mayaguez Körfezi, Porto Riko	0.7
Rio de Jeneiro, Brezilya	1.0
Nice, Fransa	1.1
Accra, Gana	1.1
Montevideo, Uruguay	1.5
Santos, Brezilya	0.8 – 1.7

b) Atık Su Debilerinin Hesaplanması: Deniz deşarjı sisteminin projelendirilmesinde yerleşim yerine verilen içme ve kullanma sularının belli bir oranının atık su olarak kanalizasyon şebekesine dönmesi beklenir. Bu oran 0.7-0.9 mertebesinde değişmektedir. Ayrıca maksimum ve minimum debilerin hesaplanmasında, şebekedeki kayıplar, endüstriyel atıksu debileri de hesaplara dahil edilmelidir. Atık su ve deniz deşarjı projeleri genelde 20 ile 30 yıl arasında bir proje ömrü ile hazırlanırlar. Bunun için de proje ömrü sonundaki nüfus hesaplanarak projenin tasarımı yapılır. Nüfus hesaplamaları için birçok yöntem kullanılmakta olup her bir yöntem için ayrı ayrı hesaplamalar yapılır, yöntemler arasında karşılaştırma yapılır ve en uygun nüfus projeksiyonu yöntemine göre projenin hesaplanmasına başlanır. Ülkemizde nüfus projeksiyonu için en yaygın olarak kullanılan metot İller Bankası metodudur. Literatürde ayrıca, aritmetik artış metodu, geometrik artış metodu, bileşik faiz metodu, benzer şehirlerle karşılaştırma metodu, lojistik (s) eğrisi metodu ve azalan hızlı artış metodu bulunmaktadır.

c) Hidrolik Hesaplar: “Deniz deşarjı tesisleri, başlıca deşarj terfi merkezi veya cazibeli deşarj halinde, yükleme odası denge bacası, deşarj hattı ve difüzör gibi birimlerden oluşmaktadır. Söz konusu tesisin minimum ve maksimum debiler altındaki davranışları, fevkalade hallerde ortaya çıkabilecek aşırı basınçların kontrolü ve sistemin bir bütün halinde kendinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilmesi için hassas bir hidrolik tasarım yapılmalıdır.” (Öztürk, 1996). Hidrolik hesapları 3 ana bölümde inceleyebiliriz. Bunlar; difüzör hidrolik hesabı, deşarj için gereken hidrolik yükün hesabı ve kara kısmı ile ilgili hidrolik hesaplardır. Hidrolik tasarım için gerekli kriterler ve hesapları aşağıdaki şıklarda belirtilmiştir:

1. Deşarj hattındaki su hızı.
2. Deliklerin çap ve aralık sayıları.
3. Deşarj için gerekli minimum hidrolik yük.
4. Sürekli yük kayıpları.
5. Yoğunluk farkında ileri gelen hidrolik yük.
6. Yersel yük kayıpları.
7. Med-cezirden dolayı gereken yük.
8. Difüzördeki yük kayıpları.
9. Deşarj hatlarında su darbesi ve hava birikmesi kontrolü.
10. Cazibeli deşarj hatlarında serbest yüzeyli akım kontrolü.

d) Hidrodinamik Etkilerin Hesaplanması: Deniz tabanına yerleştirilen deşarj borularına dalgalar ve akıntılar nedeni ile hidrodinamik kuvvetler etkir. Ancak akıntıların yarattığı kuvvetler, normal koşullarda dalgaların oluşturduğu kuvvetler yanında ihmal edilebilecek mertebede kalmaktadır. Bu durumda yapılan tasarımın doğru ve tutarlı olabilmesi için, seçilen bir tasarım dalgası tarafından oluşturulacak olumsuz etkilerin belirlenmesi ve bu koşullar altında borunun kararlılığı ile dayanımını sağlayan önlemlerin önerilmesi gerekir.

Uygun yöntemler kullanılarak dalga tahminlerinde bulunmak mümkündür. Rüzgar Dalgalarının oluşumunda etkin ana parametreler, rüzgar hızı (U), rüzgar süresi (t), kabarma alanı uzunluğu (feç) ve eni, su derinliğidir (d). Dalga oluşumunda ana etken

kabarma alanı uzunluğudur. Genelde kabarma alanı genişliği ihmal edilebilir. Dalga tahminleri, mühendislik uygulamalarında derin deniz için yapılır. Sığ su dalga tahminleri için farklı yöntemler kullanılır.

Derin suda oluşan dalgalar deniz tabanından etkilenene kadar özellikleri değişmeksizin kıyıya doğru hareket ederler. Bu dalgalar kıyıya yaklaştıklarında, azalan derinliğin etkisi ile dalga boyları ve yayılma hızları azalmaya başlar ve yükseklikleri değişir. Buna karşın, dalga periyodu ise derinliğe bağlı olmaksızın dalgalar kıyıya ulaşana kadar aynı değerde kalır. Kıyıya yaklaşan dalgalarda meydana gelen değişimler, dalga sıkışması(wave shoaling), dalga sapması(wave diffraction), dalga dönmesi(wave refraction) ve dalga kırılması(wave breaking) olarak adlandırılır.

Deniz deşarj sistemlerinin projelendirilmesinde tasarım dalgasının saptanması en önemli konulardan birisidir. En büyük dalga yükseklikleri dağılımı olarak anılan olasılık dağılımı ise, referans olarak alınan bir zaman süresi içerisinde oluşan en büyük dalga yükseklikleri veri olarak kullanılır. En büyük dalga yüksekliklerinin oluşma olasılıklarını veren bu dağılım, bir tek dalga olayının (yani en yüksek dalganın) önemli olduğu sorunların incelenmesinde kullanılmaktadır.

Dalgalarla ilgili hesaplarda kullanılan temel tanımlar aşağıda belirtilmiştir:

1. Dalga yüksekliği (H) ve dalga genliği (a)
2. Dalga periyodu (T) ve dalga frekansı (f)
3. Dalga boyu (L)
4. Dalga hızı (C) ve grup hızı (C_g)
5. Dalga basıncı (P) ve dalga enerjisi (E)

d) İşaret Şamandıraları: “İşaret şamandıralarına akıntı kuvvetleri ile dalgaların kaldırma kuvvetleri etkilemektedir. Bu sebeple hesaplar maksimum dalga yüksekliği ve lineer dalga teorisine göre yapılmalıdır” (Öztürk ve diğerleri, 2002). İşaret şamandıraları her yönden etkin olabilecek ve şiddetli fırtınaların denizde yol açacağı

durumlara ve şartlara uygun olmalıdır. Şamandırada su seviyesinden yeterli yükseklikte ve 3 deniz mili mesafeden görülebilecek güçte, batarya ile çalışır flaş (yanar-söner) ışık bulunmalıdır.

3.3 İnşaat Safhası

Projelendirme safhasının tamamlanmasından sonra gelen adım inşaat safhasıdır. Teknik şartların belirlenmesi ile beraber işi yaptıracak olan idareler işi ihaleye çıkarırlar. İhale sonucunda, yeterlilik standartlarını sağlayan ve uygun teklifi veren firma işin yapımını üstlenir. Yapımcı firma ile sözleşme imzalanır. Sözleşme ile beraber veya sözleşme sonrasında yapımcı firma iş programını oluşturur ve idareye onaylatır. Firmaya yer teslimi yapılması ile beraber işin süresi başlamış olur. İnşaat safhasının bölümleri aşağıda açıklanmıştır:

a) İnşaatın Başlangıcı: Yapımcı firma kendi işiyle ilgili sabit tesisleri, gerekli şantiye binası, işçi koğuşları, ambar v.b. yapıları inşa eder. İş süresince kullanacağı elektrik, su dağıtım ve atıksu şebekelerini tesis ve temin eder. Firma şartname ve sözleşmelerde belirtilmiş ekip ve ekipmanların mobilizasyon çalışmalarının tamamlanmasını müteakip deniz borusu ve tespit kütleleri imalat sahasının organizasyonunu tamamlar ve şantiye yerleşim planını oluşturur. Şekil 3.5’de örnek bir şantiye yerleşimi gösterilmiştir.

Firma, işlerin fiilen başlamasından geçici kabule kadar olan sürede işin gereği olan yeteri kadar teknik, idari ve diğer personelden oluşacak teknik personel listesini idareye vermeli ve bu personeli, geçerli bir mazeret dışında, inşaat süresince devamlı olarak iş başında bulundurmalıdır. İş süresince işyerinde idareye bağlı kontrollük birimi veya kontrol elemanı bulundurulmalıdır. Kontrollük birimlerinin standartlara, teknik şartnamelere, sözleşme ve eklerine göre gerekli göreceği hususlar ve yapacağı tebligatlar yapımcı tarafından yerine getirilmelidir. Gerek deniz üstü ve içi, gerekse karadaki çalışmalar için, gerekli aplikasyon ve röleve çalışmaları şartnamelerde öngörülen ekip ve ekipmanlar ile yapılmalıdır. Zorunlu haller dışında yapımcı firma denizdeki çalışmalarını şantiye genel alanına dahil kıyı sularının normal deniz trafiği

amaçlarıyla kullanılması ve bu trafiğin engellenmemesini sağlayacak düzende sürdürecektir. İşin yapımı sırasında, herhangi bir nedenle ve herhangi bir zamanda Silahlı Kuvvetlerin ve Hükümet Temsilcileri'nin civardaki askeri sahalara ve liman tesislerine serbest ve sınırsızca geçmelerine mani olunmamalıdır. Deniz trafiğinin engellenmesinin kaçınılmaz olması halinde, trafiğin engellenme kesimini, şeklini ve süresini zamanında yetkili kurumlara bildirilerek gerekli izinler ve önlemler alınmalıdır.



Şekil 3.5 Deniz deşarjı inşaatında şantiye yerleşimi

b) Deniz İçi Kazı ve Deşarj Boru Montaj Çalışmaları: Teknik şartnamelerde belirtilen hususlara ve projeye göre, deniz içinde hattın gömülü olarak geçileceği bölümde deniz inşaatlarında kullanılan çeşitli iş makineleri ile kazı çalışmaları yapılır. Deniz içi kazı çalışmalarında kullanılan çeşitli iş makineleri bulunmaktadır. Kazı çalışmalarında kullanılan iş makinelerinin seçilmesinde aşağıdaki şartlar göz önüne alınır:

1. Deniz koşulları (Dalgalar, rüzgar yönü, deniz kabarması, su akımları).
2. Kazı yapılacak bölgenin geometrisi, boyutları, kazı derinliği.

3. Kazı yapılacak malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri; boyut ve malzeme dayanımı.
4. Kazıdan çıkan malzemenin boşaltılacağı yer.
5. Deniz trafiği koşulları.

Kazı çalışmaları genellikle sığ kesimlerde duba üzerine yerleştirilmiş yeterli bom uzunluğuna sahip backhoe ekskavatör vasıtasıyla, derin kesimlerde ise duba üzerine yerleştirilmiş ahtapot kazıcı başlığına sahip kafes bomlu bir vinç ile yapılır. Şekil 3.6'de sığ kesimlerde yapılan bir su altı kazı çalışması, Şekil 3.7'da ise derin kesimlerde kullanılan ahtapot kazıcı başlığına sahip kafes bomlu bir vinç görülmektedir. Kazıdan çıkan malzeme, malzemenin geri dolguda kullanma özelliğine göre ya deniz içinde kazılan hendeğin yanına bırakılır ya da alttan açılabilir kapaklı çekilir tip bir dubaya yüklenerek müsadese alınmış açıkta bir bölgeye bırakılır. Tarama kazısının bitirilmesinden sonra ve herhangi taban malzemesinin serilmesinden veya deniz deşarjının montajından önce, yapımçı firma bir nivo/sonar ölçmesi yapmalı ve denizaltı boru hattı ve difüzörü kanalının her kesimini dalgıçla (video survey) kontrol ettirmelidir. Yapımçı firma, bu konuya ilişkin onaylanmak üzere ilgili idareye veya kontrollük birimlerine kanal ekseninin boylama profilini ve kanalın en fazla 25'er metrede bir kesitlerini verir.

İlgili idare veya kontrollük birimleri kanal teşkilinin herhangi bir kısmının uygun nitelikte bulunmadığı kanısına varırsa, yapımçı firma, bu kanal kısmını kabul edilebilir duruma getirmelidir. Yapımçı firma, kabul edilebilir şekilde iyileştirilmesi gereken her kanal kısmı üzerinde belirtildiği gibi yeniden ölçmeler yapar. Yapımçı firma taban malzemesini serdikten sonra tabanın gereken kotlarda bulunduğunu ve düzgün bir profil oluşturduğunu, denizaltı boru hattı ve difüzörü için uygun ve bunların montajına başlanmak üzere hazır olduğunu göstermek amacıyla tarama sonrası ölçüm yapar (post dredging survey). Yapımçı firma, denizdeki doldurma işinin her aşamasında dolgu malzemesinin çizimlerinde gösterilen yatay doğrultulardakine ve kotlardakine uygun olarak serildiğini tesbit amacıyla aşağıda belirtilen ölçmeleri yapmalıdır:



Şekil 3.6 Deniz deşarjı inşaatında kazı çalışması.

1. Deniz deşarjı montajının yapıldığı şekli gösterir ön planlar, profiller (1/1200 yatay, 1/20 düşey ölçekli) ve deşarjın tamamının bir kesiti (1/200 yatay ve 1/100 düşey ölçekli).
2. Kanalin en fazla 30 metrede bir kesitleri. Her kesit kanal sınırlarından itibaren her iki tarafta kanal ekseninden en az 15 m mesafeye kadar olan kısımları kapsayacaktır (1/200 ölçekli).
3. Deniz deşarjı hattının durumunu belirtir dalgıç raporları. Dalgıçları, boru hattının durumunu belirleyecekler ve görülebilir herhangi bir hasar, taban yüzeyinde bulunabilecek boşlukları (köprüleme-brindging) vs bulunup bulunmadığını kontrol edeceklerdir.

Deniz çalışmalarında kullanılacak araçlar denizde bulunurlarken deniz trafiği ekipmanları, sinyalizasyon ve haberleşme sistemleri ile donatılmış olmalı, aracın ve yapılmakta olan çalışmanın tanınması için lüzumlu bayrak ve flamalarla ışıkları ve işaretleri bulundurmalıdır.



Şekil 3.7 Ahtapot kazıcı başlığı

Boru hattının deniz tabanına döşenmesi için yöntem seçimini etkileyen faktörler bölüm 2.2.2 de belirtilmiştir. Deniz deşarjı boru döşeme yöntemi projelendirme esnasında belirlenir, şartnamelerde ve sözleşmelerde yöntem detaylı olarak açıklanır. Seçilen döşeme yöntemine göre şantiye yerleşimi yapılır. Seçilen boru malzemesi satın almacılar tarafından tedarik edilerek şantiyeye sevki gerçekleştirilir.

Öngörülen boru cinsi şantiye sahasında uygun yöntemler kullanılarak birbirine eklenir. Projede belirtilen uzunlukta iki ucu flanşlı anolar haline getirilir. Ano uçlarına ise bağlanabilir uç flanşları takılmalıdır. Bu anolar yerinde (deniz tabanında veya üzerinde) birleştirilmek üzere istiflenir. Şekil 3.8’de şantiye sahasında istiflenen anolar ve uçlarına bağlanan flanşlar görülmektedir.



Şekil 3.8 Anoların şantiyede istiflenmesi

Anoların projesinde belirtildiği şekilde deniz tabanına döşemesi yapılır. Ano uç flanşlarının deniz tabanında veya yüzeyinde bağlanması esnasında ano uçlarının aynı eksende bulunması sağlanarak uç flanşlarının birbirini tam olarak karşılamasına özen gösterilmeli ve böylece uç flanşlarda sızdırmazlık temin edilmelidir.

Seçilen boru malzemesi ve döşeme yöntemine göre montaj işleri şantiyede tekniğine uygun olarak yapılmalıdır. Deniz deşarjı boru hattı ve difüzörü onaylı projedeki güzergahta, kotlarda ve eğimlerde olacak şekilde şantiye montajları ve imalatları yapılmalıdır. Denizaltı boru hattı ve difüzörün hiçbir kısmı, montajı ve tesisatının yapılması esnasında, herhangi bir zamanda aşırı gerilme veya deformasyon etkisine maruz bırakılmamalıdır. Şekil 3.9’de birleştirilmesi tamamlanmış anoların denize indirilmesi, şekil 3.10’da denizde deşarj hattının güzergahına getirilmesi ve batırılması, şekil 3.11’de difüzörün batırılması görülmektedir. Deniz deşarjı montajları aşağıda belirtilen toleranslar içinde kalınarak yapılmalıdır:



Şekil 3.9 Anoların birleştirilerek denize indirilmesi.

1. Güzergah hattından sapma herhangi bir noktada denizde 2 metre, karada ise 25 milimetreden fazla olmamalıdır.
2. Deniz deşarj boru hattı düz çizgiden 200 metre uzunlukta 1 metreden fazla sapmamalıdır.
3. Denizaltı boru hattı hiçbir noktada (difüzör hariç olmak üzere) gerekli profilinden daha yukarı çıkıntı yapmamalıdır.
4. Deniz Deşarjının hiçbir noktası, deşarjın karadaki boru hattına bağlandığı noktadan daha yüksek kotta bulunmamalıdır.
5. En düşük kotun mansabında bulunan deniz deşarjı (difüzör hariç olmak üzere) sürekli artan bir eğime sahip olmalıdır.
6. Difüzör, bütün boyunun her noktasında gereken kotların ± 300 milimetre sınırları içinde hassasiyetle yerleştirilmelidir.



Şekil 3.10 Deniz deşarj hattının güzergahına getirilmesi ve batırılması.

Döşeme işleminin kısmen veya tamamen tamamlanmasından hemen sonra, zaman geçirilmeksizin dolguya geçilmelidir.

Yapımcı firma onaylanmak üzere kanalları ne şekilde dolduracağına ilişkin yöntemi ve kullanacağı tesisat ile ekipmanı belirler ve idareye bildirir. Boru etrafında uygun evsafta malzeme ile yapılacak gömlekleme için döşenmiş boruya zarar vermeyecek tarzda ve her iki tarafın dengeli bir şekilde doldurulmasına dikkat edilmelidir. Gömlekmeye ilave olarak boru üzerinde, projesi gereği muhtelif dolgu tabakaları varsa, zaman geçirilmeksizin bu tabakaların oluşturulmasına geçilmelidir. Dolgusu tamamlanan her tabakanın ardından ölçüm yapılarak projede öngörülen kotlara ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilmelidir. Dolgu çalışmaları, boru üzerinde tahribata ve aşırı yüklemeye yol açmayacak şekilde sürdürülmeli, tercihen 0.50mt.'lik tabakalar halinde yapılmalıdır. Dolgular düzgün şekilde ve boşluklar veya

sağlamlaştırılmamış kısımlar bırakılmaksızın yapılmalıdır. Enleme kuvvetler oluşmasına meydan verilmemek üzere boru hattı çevresinde yapılacak dolgu her iki tarafa aynı anda yapılacaktır.

Denizaltı hendeklerinde gereken dolgu seviyesinden sapma toleransı ± 200 milimetrenin içinde olacaktır. Yapımcı firma, dolgu malzemesi olarak deniz yatağı çökeltilerini kullanmak istediği takdirde, bunların ne şekilde seçileceğini, nerelere konulacağını ve bünye itibarıyla değişkenlik göstermediklerinin nasıl gözleneceğini ve kontrol edileceğini idareye veya kontrollük birimlerine bildirmelidir.



Şekil 3.11 Difüzörün batırılması.

c) Tesbit Kütelleri Döküm Çalışmaları: şantiye sahasında projelere uygun olarak, iş programını aksatmayacak ve işin düzenli gitmesini sağlayacak sayıda kalıp

kullanılarak tesbit kütleleri dökülmelidir. Şantiye sahasında dökülen tesbit kütlelerinin demirleri de şantiye sahasında işlenir. Şartnamelerde de belirtilen bekleme süresinden sonra stoklara alınır. Bunun dışında prefabrik yöntemlerle imal edilmiş ve şantiye sahasına sevkiyatı yapılmış tesbit kütleleri de kullanılabilir. Prefabrik tesbit kütleleri zamandan tasarruf sağlamamızı ve her bakımdan standart malzeme elde etmemizi sağlar. Tesbit kütlelerinin şantiye sahasında yatay ve düşey taşımaları için gereken kaldırma aparatlı vinç şantiye sahasında bulundurulmalıdır.

d) Kara Hendek Kazı ve Geri Dolgu Çalışmaları: Deşarj boru hattının kara kesimindeki güzergahındaki kazı çalışmaları da iş makineleri vasıtasıyla yapılır. Deniz girişi ağzında kuru bir çalışma alanı sağlamak maksadıyla cofferdam yapmak suretiyle veya pulplanj çakma yöntemiyle su girişi engellenir. Kazıdan çıkan malzeme, malzemenin geri dolguya uygunluk derecesine göre hendek yanına veya uygun yerlere stoklanır. Fazla olan malzeme idarenin göstereceği yere sevk edilir. Güzergah zemini projeye ve boru montajına uygun hale getirilir. Boru montajları tamamlandıktan sonra gerekli testler şartnameler doğrultusunda yapılır. İdarenin veya kontrollük birimlerinin onayından sonra uygun malzemeler ile geri dolgu çalışmaları tamamlanır. Şekil 3.12’de kara kesiminde yapılan şantiye çalışmaları görülmektedir.

e) Kara Boru Kaynak ve Montaj Çalışmaları: kara kesimindeki kaynak çalışmaları da anolar halinde yapılır. Çalışma sahasının izin verdiği ölçüde hendek yanında, aksi takdirde hendek içinde ano birleştirilmeleri yapılır.

f) Testler: Deniz deşarjı inşaatında boru montajları tamamlandığında yapımçı firma doldurma işine başlanmadan önce, denizaltı boru hattında ve difüzörde akışın geldiği taraftaki yüksek ucunda ölçülmek kaydıyla, projede veya şartnamede belirtilen basınç değerlerine göre hidrolik test yapılmalıdır. Testten önce yapımçı firma testin yapılması, sonuçlarının kaydına ve kullanacağı ekipmana ilişkin ayrıntıları onaylanmak üzere idareye bildirir. İdare tarafından aksi onaylanmadıkça deniz deşarjı sadece tatlı su kullanılarak test edilir. Yapımçı firma herhangi bir anda deniz suyunun deşarj içine girmemesini sağlamalıdır. Deniz Deşarjının hidrolik testi

sırasında basınç boru hattının akışına göre üst ucunda hattın en yüksek noktasında sürekli kontrol edilmelidir. Test ekipmanlarında şunlar bulunmalıdır:

1. Deniz deşarjına verilecek (enjekte edilecek) su miktarını duyarlılıkla ölçebilecek alet.
2. Test basınç değerine kadar basma yapabilecek pompa.
3. Deşarj içindeki su basıncını ölçmek için 0.5 bar taksimatlı ve ± 0.25 bar hassasiyetinde büyük çaplı manometre.
4. 24 saat sürekli basınç yazıcı aleti.
5. Deşarj içindeki suyun sıcaklığını $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle kaydedebilen yazıcı alete bağlı, uygun tipte, uygun ölçme sınırları bulunan algılayıcı.



Şekil 3.12 Kara kesiminde yapılan şantiye çalışmaları.

Teste başlanması sırasında deşarj su ile dolu olmalı ve atmosferik basınç altında bulunmalıdır. Basınç sürekli ve düzenli olarak idarenin veya kontrollük birimlerinin

belirttiği test basınç değerine kadar yükseltilir ve basınç altında en az 24 saat müddetle ve stabil duruma gelinceye kadar sürdürülür. Bu süre esnasındadeşarj boru hattı, sızıntı bulunup bulunmadığı açısından dalgıçlar tarafından veya uygun görülebilecek diğer bir şekilde kontrol edilir. Yapımcı firma, su enjekte edilirken hatta hava kaçmaması için makul bütün tedbirleri almalıdır. Deşarj boru hattındaki basınç, stabil duruma geldikten sonra 5 saatten daha az olmayacak bir süre içinde sürekli ve düzenli olarak arttırılarak öncekinden daha yüksek bir basınç değerine getirilir ve bu noktada 2 saat bekletilir. Basınç bundan sonra tekrar bir önceki basınç değerine düşürülür. Basınç yükselirken yapımcı firma geçecek zamanı, basınç ve verilen su hacmini sürekli olarak kaydeder. Yapımcı firma basıncın azaltılması işlemi esnasında içeri kaçmış bulunacak havayı, boru hattının yukarı ucundan çıkarılmasını sağlamalıdır. Daha sonra basınç tekrar arttırılır ve sıcaklıklar stabil duruma gelinceye kadar bu düzeyde bırakılır. Bundan sonra boru hattı basınç kaynağından ayrılarak en az 8 saat süreyle basınçlı durumda bekletilir. Sıcaklıklardaki oynamalar nedeniyle gerekebilecek ayarlar hariç olmak üzere, bu 8 saatlik süre içinde ölçülebilir değerde bir basınç düşmesi ve sızıntı görülmemelidir. Denizdeşarjında hidrolik test esnasında tesbit edilen sızıntılar, idarenin ve kontrollük birimlerinin beğenisini sağlamak üzere yapımcı firma tarafından giderilir. Bundan sonra hidrolik test tekrarlanır. Hidrolik testin tatminkar şekilde bitirilmesini takiben basınç giderilir, test ekipmanı sökülüp alınır vedeşarj boru hattı sızdırmaz durumda tatlı su doldurularak bırakılır.

h) Ölçüm ve Kontrol işleri: Gerek deniz gerek kara çalışmaları için yeterli topograf ekibi ve ekipmanı şantiyede hazır bulundurulmalıdır. Bu sayede kazı öncesi ve sonrası, boru montajı öncesi ve sonrası aplikasyon ve röleve işleri şartnamelere ve projeye uygun olarak yapılır. Denizde ölçme yapılmasına, tesisat ve montaj çalışmalarına başlanmadan önce yapımcı firma, eldeki işe uygun ve herhangi yatay yönde ± 300 mm duyarlıkta ölçüm yapabilecek bir yer tesbiti sistemini (position fixing system) temin etmeli ve faaliyete geçirmelidir. Sistem, sabit ve hareket halindeki hedeflerin yerlerini küçük ölçüde gecikme ile tesbit edebilecek kapasitede olmalı ve denizdeki işlerin devamında gereği gibi çalışır durumda bulundurulmalıdır. Ölçümde kullanılan deniz araçlarında yer tesbiti ekipmanı (yukarıdaki ile bağlantı) ve monitor ile sabit ve bilinen noktalara göre rotayı çizebilen ekipman (track plotting

facilities) bulundurulmalıdır. Deniz tabanı profilinin çıkarılması, tarama ve doldurma işinin ölçülmesi için kullanılacak sonar veya diğer ekipman, su derinliğine bağlı olmaksızın ± 100 mm duyarlılıkta olmalı ve her çalışma seansından önce ve sonra kalibrasyon kontrolüne tabi tutulmalıdır.

g) Dalgıç Ekip ve Ekipmanları: Yapımcı firma işlerin yapılması için gerekli bütün dalgıç çalışmalarını işin gereğine ve yönetmelik hükümlerine uygun olarak yürütülmesini sağlamalıdır. Bu çalışmalarda görevlendirilecek dalgıçlar yürürlükteki uygunluk belgesi, dalış eğitim sertifikası, dalış günlükleri ve referansların sahibi olmalıdır ve tam teçhizatla donatılmalıdır. Dalma süreleri ve dekompresyon işlemleri yönetmeliklere uygun olarak belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Şekil 3.13’de deniz deşarjında, su altında montaj işlemi için dalgıç çalışmasına bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.13 Deniz deşarjında şantiyesinde dalgıç çalışması

h) İşlerin Tamamlanması: Yapımcı firma tarafından işin sonunda şantiye sahası her türlü ihzarattan ve çalışma artıklarından çevreyle uyumlu olacak şekilde temizlenir. Bundan başka yapımcı firma tarafından kendi ihtiyaçları için yapılmış olan baraka, ambar, garaj, atölye vb. tesisler, işin sonunda sökülerek götürülür.

Tablo 3.3 Yapım öncesi ve yapım sırasında izlenecek adımlar (T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü[DLH], 2007)

Tasarım çizimleri ve iş şartnamesini anlamak	İş ile ilgili bütün çizimlerin incelenmesi ve şartnamenin okunması.
Yapım alanı etüdü yapılması	Çalışma çizimleri ile sahadaki durumun karşılaştırılması için yapıma başlamadan önce arazinin topoğrafik özelliklerini belirlemek için arazi etüdü yapılması. Hava durumu ve dalga iklimi ile ilgili araştırma yapılması, hava sıcaklığı, yağmur, rüzgar bilgileri, gel-git yükseklikleri ve deniz akıntıları gözlenecek ve yapım aşamasında yapımı etkileyebilecek durumların kaydedilmesi. İşe başlamadan önce yapım alanı çevresinde malzemelerin geçici olarak depolanacağı yerler, ulaşım yolları (elektrik ve su hatlarının getirilmesi için planlar), trafiğin akıcılığının sağlanması ve deniz araçlarının yanaşabileceği yerlerin tespit edilmesi. Malzeme kaynaklarının bulunması (agregalar, kaya ocakları, beton santralleri, hazır beton kaynaklarına yakınlık). Yapım için engel çıkartabilecek durumların belirlenmesi (kablo hatları, su ya da kanalizasyon hatları, yer üstü engeller vb.).
Yapım malzemesi ve miktarlarının hesaplanması	Yapıma başlamadan önce kullanılacak malzemenin miktarının hesaplanması v tasarım miktarları ile kontrol edilmesi.
Yapım tekniklerinin incelenmesi	Benzer yapılarla ilgili uygulanmış olan tekniklerin gözden geçirilmesi.
Planlama	Yapım sırasında kullanılacak olan bütün ekipmanların envanter olarak çıkarılması, her iş kalemi için gerekecek zaman ve iş gücünün hesaplanması, her iş için çalışacak olan ekiplerin çıkarılması.
Geçici yapıların planlanması	Malzeme ve ekipman için yapılacak depolama alanlarının belirlenmesi, şantiye ulaşım yollarının planlanması ve yapılması, beton blokların yapım alanın ve depolanacak alanların hazırlanması, denizden malzeme taşınması durumunda aktarma alanlarının belirlenmesi.
Çevre koruma önlemlerinin alınması	Gürültü, titreşim veya su kirlenmesine karşı önlemlerin alınması, yapım sırasında bölge çevresinde trafiğin akışını bozabilecek durumların gözden geçirilmesi, çevre kirlenmesi malzemelerin kullanılmasında gerekli önlemlerin alınması.
Yapım sonrası elde kalacak olan yan ürünlerin kullanılabilmesi için planların yapılması	Yapım sonrası üretilmiş olan yan ürünlerin hesaplanması, yeniden kullanma, zararlı atık olması durumunda arıtma ya da işletme.
Muhasebe işlemleri	Malzeme, ekipman ve insan gücünün kullanılmasına yönelik planlama yapılması, malzeme taşıma planları, taşeron kullanma planı.
Kalite kontrol planı	Tasarım ve yapım kalitesinin sağlanması için kalite kontrol planı hazırlanması ve gerekli önlemlerin alınması, yapım teknikleri ve sahaya getirilecek malzeme için kalite kontrol belgelerinin hazırlanması, iç ve dış tetkik planlarının yapılması.
İş güvenliği yönetim planı	İş güvenliği kontrol planı hazırlanması, saha iş güvenliği için gerekli önlemlerin alınması ve kontrolü, işin durdurulmasını gerektirecek koşulların belirlenmesi (yağmur, rüzgar ve dalgalar vb.)
Diğer yönetim planları	Saha yönetimi organizasyon şeması, acil durumlarda başvurulacak yöntemler (kazalarda, felaket durumlarında vb.)

Sözleşme konusu işlerin bittiği ve geçici kabule hazır olduğu yapımçı firma tarafından idareye yazı ile bildirir. Yapılan işler, idarece verilecek talimat üzerine yapı denetim görevlisince ön incelemeden geçirilir. Ön inceleme sonucunda işin sözleşme ve eklerine uygun olarak tamamlandığı ve kabul işlemlerinin yapılmasında bir engel bulunmadığı anlaşılırsa idarece geçici kabul komisyonu oluşturulur.

İş kabule hazır değilse, eksik ve kusurlu işleri gösteren tutanak, yapı denetim görevlisinin işin kabule hazır hale gelmesi bakımından yaklaşık bitim tarihini tespit eden düşüncesiyle birlikte idareye gönderilir. Kabul komisyonu tarafından yapılacak incelemelerden sonra işin durumu uygun görüldüğü takdirde bir geçici kabul tutanağı düzenlenir. Kesin kabul için belirlenen tarihte, yapımçı firmanın yazılı müracaatı üzerine, kesin kabul komisyonu oluşturularak geçici kabuldeki esas ve usullerle kesin kabul yapılır. Teminat süresi içinde yapımçı firmanın, bütün yükümlülüklerini yerine getirmiş olduğu ve kendisine yüklenebilecek kesin kabulü engelleyecek bir kusur ve eksiklik görülmediği takdirde kesin kabul tutanağı düzenlenir. Kesin kabul tutanağı sonucunda yapımçı firmanın teminatı geri iade edilir ve böylece iş tamamlanmış olur.

Yapım öncesi ve yapım sırasında izlenecek adımlar tablo 3.3’de gösterilmiştir.

3.4 İşletme Safhası

Kesin kabul işlerinin tamamlanması ve yapımçı firma ile ilişkin kesilmesinden itibaren deniz deşarj hattının tüm sorumluluğu işi yaptıran idareye geçer. İdare artık sistemin düzgün ve verimli şekilde çalışması, meydana gelebilecek aksaklıkların tespiti ve giderilmesi ile ilgili her türlü organizasyonları yapmalı, gerekli tedbirleri almalıdır. Deşarj sistemlerinde işletme aşaması da deniz deşarjının işletmesinden sorumlu kuruluşun da düzenli ve kusursuz işletme yapması da kontrol edilmelidir. İşletme sırasında bakım eskime ve bozulmanın yavaşlatılması veya önlenmesi açısından çok önemlidir. Deniz deşarjı işletmesinin temel hatlarını şu bölümler oluşturur:

a) Deşarj Hattı Bakım Sistemi: Deşarj hattı bakım sisteminin oluşturulması işletme açısından en önemli konulardan birisidir. Deşarj hattı bakım sistemini aşağıdaki bölümlerde inceleyebiliriz:

1. Temel Araştırma: Hem periyodik hem de ekstra araştırmalar “temel araştırma” ile başlar. Bu araştırma yapıların görünüşlerinin gözlenmesi ile yapılır.
2. Detaylı Araştırma: İleri düzeyde bir deformasyon gözlemlendiğinde ve değerlendirme sadece temel araştırma ile yapılamadığında “detaylı araştırma” yapılmalıdır.
3. Sebep Tanımlanması (Sorun Tespiti): Eğer değerlendirme sonucunda deformasyonun tamir edilebileceğine karar verilirse, bu deformasyonun meydana gelmesinin sebebinin de tanımlanması, aynı deformasyonun tekrar meydana gelmesinin önlenmesi açısından gereklidir.
4. Karşı Önlemin Uygulanması: Deformasyonun nedeni detaylıca analiz edilir ve tamir ve/veya güçlendirme olasılığı değerlendirilir. Eğer mümkünse metodlara ve uygulama süresine karar verilir. Sonuç olarak tamir ve / veya güçlendirme yapılır.
5. İleri Seviyede Bozulma Tehlikesindeki Deforme Olmuş Bir Bölüme Yakın Bakış: İnceleme sonucunda bazı bölümler tamir ya da güçlendirmeye ihtiyaç duymamasına rağmen, bazı deforme olmuş elemanlar ileri düzeyde bozulma tehlikesinde olabilir. Bunlara yakın inceleme yapılmalıdır.

b) Hasar İnceleme Yöntemleri: Hasar inceleme, deniz deşarjı işletmesinin en önemli konusunu oluşturmaktadır. Hasar üç ayrı şekilde incelenebilir:

1. Periyodik İncelemeler: Adından da anlaşılacağı gibi, periyodik incelemeler genellikle önceden belirlenen programa bağlı olarak ve tarafsız bir gözlem ile uygulanır. Deniz deşarjı hattının durumu kayıt edilir ve aynı zamanda yenileme veya tamir gerektirecek koşullar belirtilir.
2. Genişletilmiş İncelemeler: Bu incelemeler, periyodik incelemeler sonrasında gerek görüldüğü takdirde yapılır. Aynı zamanda tüm yapısal elemanları içerir.

Deşarj hattının yapıldığı ilk yıllarda bu genişletilmiş incelemeler oldukça seyrek olabilir ancak yaşı ilerledikçe ya da önceki araştırmalar gerektirdikçe artırılır.

3. Özel İncelemeler: Özel incelemeler normalde büyük tamir çalışmalarından önce ve sonra ve anormal hasarlar meydana geldiğinde yapılır (gemi çarpması, fırtınalar, deprem gibi).

c) Tamir Yöntemleri: Deniz yapılarında tamir yöntemlerini şu bölümlerde inceleyebiliriz:

1. Küçük Tamirler: Küçük tamirler, bozulma ilk fark edildiğinde durdurmak için yapılan tamirlerdir. Hasar; birkaç bloğun yer değiştirmesi, bazı çatlakların görülmesi, çıkışlarda pislik birikmesi gibi basit şekilde tamir edilebilecek şekildedir. Şekil 3.14’de küçük tamir gerektiren bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Deniz deşarjında tesbit kitlelerinin yerinden oynaması.

2. Büyük Tamirler: Yapının işletmesini engelleyecek, çevresel etmenleri risk altına alabilecek durumlarda yapılan tamirlerdir. Kapasitesine ve kullanımına bağlı olarak bazı sınırlamalara sahiptir (örneğin, deşarj hattının geri dönülmez deformasyonlara uğraması, boru hattının kopması ve sürüklenmesi). Şekil 3.15’de işletmede bulunan deniz deşarjı hattında büyük tamir örneği görülmektedir. Borunun sürüklenmesini engellemek amacıyla kum ve çimento karışımının çuvalara doldurulup boru hattının üzerine serilmiş ve ayrışmaların önüne geçilmesi için birbirine demirlerle bağlanmıştır.



Şekil 3.15 Deniz deşarjı hattında büyük tamir örneği.

3. Büyük Rehabilitasyon: Büyük rehabilitasyon, ilave yapısal elamanlar eklenmesi ya da yapının yeniden yapılan kısımlarının tamamlanması durumlarını içermektedir. Şekil 3.16’de büyük rehabilitasyon gerektiren bir deniz deşarj sistemi görülmektedir. Deşarj borusu kopmuş tesbit kütleleri sürüklenmiştir.



Şekil 3.16 Deniz deşarjı hattında büyük rehabilitasyon gerektiren hasar.

d) Deniz Deşarjının En Az Masrafla Tamiri: Deşarj hattı, deniz ortamındaki koşullardan dolayı sürekli olarak çeşitli etkilere maruz kalmakta ve bu nedenle fonksiyonlarında yetersizlikler görülebilmektedir. Eğer deşarj hattı üzerindeki deformasyonları kayıp olarak adlandırılırsak, bakımın ekonomik olabilmesi için, hattın ne zaman tamir edileceğine karar vermek oldukça önemlidir. Zamanlama kararı aşağıda listelenen durumların oluşmasına göre verilebilir:

1. Yıkıcı zarar görmüş ya da kopma tehlikesi bulunan deşarj hattının tamiri (deşarj hattının stabilitesinin bozulması).
2. Deşarj hattının kullanımında birtakım yetersizlikler oluşmasından sonra tamiri.
3. Görünüm veya tesislerde bulunan yetersizlikler açısından tamir.

e) İzin Verilebilir Maksimum Deformasyon: Yapıların deformasyonlarının artmasıyla tamir masrafları da çoğalmaktadır. Bu, yıkım durumundan sonra daha da artabilmektedir. Bakım ve tamir harcamalarının en düşük seviyede tutulması görüşünden yola çıkıldığında; yapının kullanım ömrü boyunca toplam bakım ve tamir masraflarının en alt düzeyde tutulabileceği bir deformasyon düzeyi belirlenmelidir. Bu düzeye izin verilebilir maksimum deformasyon denir (DLH, 2007).

BÖLÜM DÖRT

KUSADASI DERİN DEŞARJ PROJESİ KAPSAMINDA EN UYGUN GÜZERGAH BELİRLENMESİ

4.1 Genel

3.1.5 Bölümünde belirtildiği gibi deniz deşarjı projelerinde deşarj borusunun plandaki konumunun belirlenmesinde çok sayıda husus göz önünde bulundurulmaktadır. Bu hususların tasarıma etkileri farklı yönlerde olabilmekte; bu nedenle en uygun güzergâhın kolaylıkla belirlenmesi mümkün olamamaktadır. Tezin önceki bölümlerinde açıklanan tasarımı etkileyen teknik hususların tümünü dikkate alacak şekilde en uygun ve ekonomik geçkinin belirlenmesi aslında oldukça zor ve karmaşık bir optimizasyon problemidir. Uygulamada tasarımı gerçekleştiren mühendis olabildiği ölçüde temel hususları dikkate alarak bir geçki belirlemekte ve bu geçkiye göre hesaplarını tamamlamaktadır.

Sunulan tez çalışmasında, boru güzergahının belirlenmesinde dikkate alınması gereken dalga geliş açısının değişiminin tasarıma etkileri dolayısıyla bu açıdan en uygun güzergah belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada örnek olarak Kuşadası deniz deşarjı ele alındığından öncelikle bu projenin ilgili veri ve hesapları sunulmuş, daha sonra bu veriler çerçevesinde dalga geliş açısının değişiminin tasarıma etkisi irdelenmiştir.

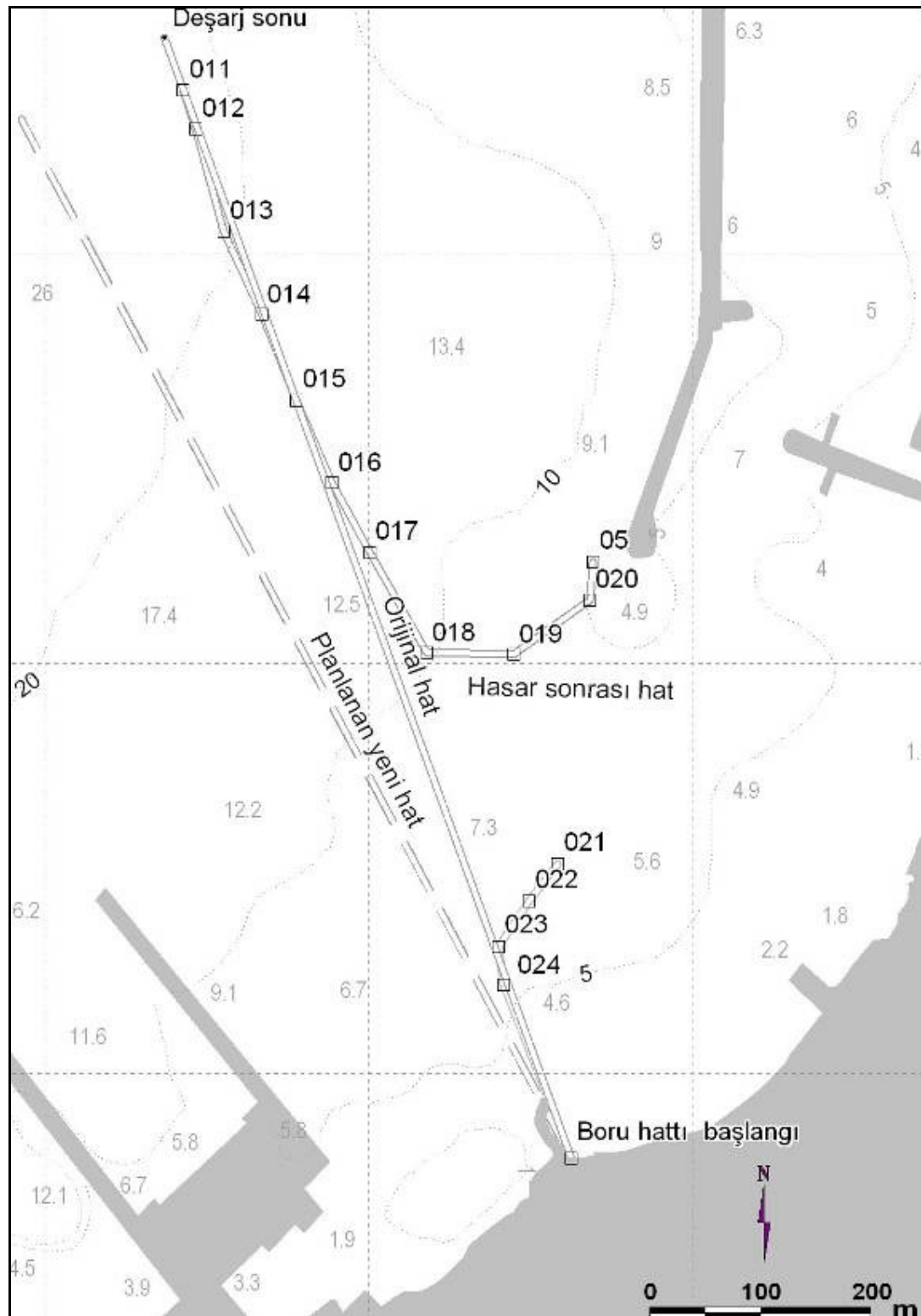
Deşarj borusuna etkileyen dalga kuvvetleri doğal olarak başta boruya etkileyen dalgaların özellikleri (yükseklikleri, periyotları, dalga geliş açıları, boru ekseninde oluşturdukları salınımların hız ve ivmeler) olmak üzere boru çapı, su derinliği, borunun yapıldığı malzeme özellikleri gibi çok sayıda değişkene bağlı değişmektedir. Kıyıya doğru ilerleyen dalgaların derinlik değişimiyle özelliklerini değiştirmesi “boru stabilite hesabını” basit bir hesap olmaktan öteye taşımaktadır. Diğer bir deyişle yapılacak tüm hesapların boru güzergahı boyunca yapılmasını, yada en azından yapılan bir ön kabul ve hesabın tüm boru boyunca tahkikini gerektirmektedir. Bilgisayar kullanımı bu hesapların yapılışını oldukça

kolaylaştırmakla birlikte tüm değişkenleri dikkate alan bir algoritma geliştirmek güçtür. Sunulan bu tez kapsamında sadece teknik bir hususun tasarımı nasıl etkileyebileceği, dolayısıyla bu husus açısından en uygun güzergâhın belirlenmesine yönelik bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü ile İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan Kuşadası Merkez Deniz Deşarjı Tadilat Projesi kapsamında elde edilen veriler esas alınmıştır (Kuşadası Deşarj Projesi, 2008).

Kuşadası merkez deniz deşarjı sisteminde, Kadınlar Denizi ve merkez havzalarının evsel atık sularını bir terfi merkezinde toplanmakta; burada mekanik arıtılması yapıldıktan sonra 630mm dış çaplı bir HDPE boruyla denize deşarj edilmektedir. Derin deniz deşarj hattı, Mart 2008 tarihinde Kuşadası limanına gelen ve karaya oturan Sky Wonder isimli yolcu gemisinin kurtarma çalışmaları sırasında hasara uğratılmış; karadan itibaren yaklaşık 200m mesafede kopan deşarj hattında çeşitli düzeyde hasarlar oluşmuştur. Orijinal güzergâhından çıkan deşarj borusu yer yer ezilmiş, bağlantı noktalarında bozulmalar gözlenmiştir. Deşarj borusunun stabilitesini sağlayan tespit kütlelerinin bir kısmı yerinden oynamış, diğer bir kısmı ise koparak borudan ayrılmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).

Kuşadası merkez derin deşarj hattı Atatürk Bulvarındaki terfi merkezinden başlamakta ve Kuzeyle 24.5° açı yapacak şekilde kuzey batı istikametinde uzanmaktadır. Başlangıç kısmı gömülü olan deşarj hattının kıyı kenar çizgisi ile kesiştiği noktanın koordinatları Memleket (Türkiye) Koordinat sisteminde (UTM 6derece $k=0.9996$, Uluslararası datum ED50, Merkez Meridien 27° Doğu) 522,801.7 ve 4,190,775.9 (27.25873 Doğu ve 37.86261 Kuzey) şeklindedir. Hasar sırasında boru iki parçaya ayrılmış ve orijinal hattından (line) çıkmıştır.



Şekil 4.1 Hasar sonrası deşarj borusunun plandaki konumu



Şekil 4.2 Hasar sonrası deşarj borusu



Şekil 4.3 Hasar sonrası deşarj borusu

Hasar sonrasında boru güzergâhı boyunca yapılan GPS ölçüm sonuçlarına (Tablo 4.1) göre; Deşarj borusunun kıyıya doğru 49 m sürüklendiği, 013 Noktasında boru orijinal hatta göre batı yönünde 8.5 m sehim yaptığı; 015 noktasından itibaren 445 m lik bölümünün Setur Kuşadası Marina ana mendireğine doğru yaklaşık 200 m sürüklendiği ve 05 noktasından koptuğu; Deşarj borusunun kıyı tarafındaki kısmı yaklaşık 5 m derinlikten itibaren deniz tabanı üzerine çıktığı ve bu noktanın biraz ötesinden doğuya doğru bükülerek sürüklendiği; Kopan kısmın serbest kalan diğer ucunun (021 noktası) boru güzergâhının yaklaşık 79 m doğusunda kaldığı görülmüştür.

Tablo 4.1 Deşarj borusunun hasar sonrası koordinatları

Nokta	Koordinatlar				Bir önceki noktaya olan mesafe	Toplam boru boyu
	Coğrafi Koordinat Sistemi		UTM ED50 CM27			
	LONG	LAT	X	Y		
Boru Sonu	27.25454	37.87172	522,433.4	4,191,786.9	---	740 m
011	27.25473	37.87130	522,450.4	4,191,739.9	49 m	
012	27.25486	37.87098	522,461.3	4,191,704.9	36 m	
013	27.25515	37.87015	522,487.2	4,191,612.3	94 m	
014	27.25554	37.86947	522,521.1	4,191,537.3	81 m	
015	27.25589	37.86877	522,552.3	4,191,459.9	82 m	
016	27.25626	37.86811	522,584.5	4,191,386.0	79 m	
017	27.25665	37.86753	522,619.2	4,191,322.2	71 m	
018	27.25724	37.86672	522,671.0	4,191,232.2	102 m	
019	27.25814	37.86671	522,749.6	4,191,230.6	77 m	
020	27.25892	37.86715	522,818.5	4,191,279.7	83 m	
05	27.25895	37.86746	522,821.4	4,191,314.4	34 m	
Boru 05 noktasında kopmuştur.						
021	27.25858	37.86500	522,789.1	4,191,041.4	---	289 m
022	27.25830	37.86470	522,763.7	4,191,007.8	41 m	
023	27.25798	37.86433	522,735.8	4,190,967.2	48 m	
024	27.25803	37.86402	522,740.3	4,190,932.3	35 m	
Boru Başlangıcı	27.25873	37.86261	522,801.7	4,190,775.9	165 m	
Toplam uzunluk:						1,029 m

Deşarj borusunun kopmasından sonra yapılan incelemeler ve deniz altı video kayıtları hem boru elemanlarında hem de boru stabilitesini sağlayan tespit kitlelerinde çeşitli hasarların olduğunu göstermiştir. Boruda oluşan hasarlar: Karaya

oturan geminin kurtarma çalışmaları sırasında doğrudan boruya temas eden gemi, çapa vs dış etmenlerin oluşturduğu hasarlar; Borunun bükülmesinden kaynaklanan hasarlar; Deşarj borusu ile yeterince kenetlenmemiş veya hasar sırasında yerinden oynamış tespit kütlesi olarak kullanılan beton ağırlıkların ve bağlantı zincirlerinin oluşturduğu hasarlar, ve; Borunun bir noktadan boru eksenine normalinde çekilmesi nedeniyle bağlantı elemanlarında (flanşlar, somunlar) oluşan aşırı gerilmeden kaynaklanan hasarlar biçimindedir. Oluşan hasarlar Kuşadası Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri İşletme Müdürlüğü'nün (KASKİ) yaptırdığı ön çalışmalarla belirlenmiş ve geçici olarak onarılmıştır. Ancak bu onarımın acil ve geçici olarak yapılmış olması nedeniyle Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü ile İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan bir tadilat projesi ile sistem yeniden elden geçirilmiş ve ilk onarımda yapılamamış eksiklikler tamamlanmıştır.

Deniz tabanına yerleştirilen deşarj borularına etkiyen hidrodinamik kuvvetler esas itibarıyla bölgede oluşan dalgaların ve akıntıların neden olduğu kuvvetlerdir. Ancak boğazlar ve nehir ağızlarına yakın bölgeler dışındaki kesimlerde akıntıların oluşturduğu kuvvetler dalgaların oluşturduğu kuvvetler yanında ihmal edilebilecek mertebede kalmaktadır. Ayrıca deniz seviye değişimlerinin çok yüksek olmadığı bölgelerde “gelgit” akıntılarının oluşturacağı kuvvetler ikinci mertebede kalmaktadır. Bu nedenle Kuşadası Deşarj borusuna gelecek kuvvetlerin hesabında esas itibarıyla bölgede oluşabilecek rüzgâr dalgaları dikkate alınmıştır. Proje bölgesinde oluşan dalgalarının rüzgâr özelliklerine göre değişkenlik göstermesi nedeniyle yapılacak tasarımın doğru ve güvenilir olabilmesi için tasarım dalgasının seçimi öncelikle önem taşımaktadır. Diğer taraftan, dalga etkilerine açık bir yapı tasarlanırken, belirli bir risk kabul edilerek öngörülen bir tekerrür süresine ait olan dalga karakteristiklerinin esas alınması yoluna gidilir. Örneğin, deniz deşarj borularının 50 yıl yinelenme periyotlu dalgalara göre tasarımı genellikle kabul gören bir yaklaşımdır (Grace, 1978; Massie, 1976; Kuşadası Deşarj Projesi, 2008).

Su derinliğinin d olduğu herhangi bir kıyı kesiminde dalga yüksekliği H' , derin su koşullarındaki dalga yüksekliği H_0 cinsinden (“o” indisi derin deniz koşullarını belirtir);

$$H' = K_s K_r H_0 \quad (4.1)$$

şeklindeki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir. Burada K_s sığlaşma faktörü, K_r ise dönme faktörü olup dalga yüksekliğinin bulunmaya çalışıldığı bölgedeki derinlik değişimi ve dalga geliş açısına göre hesaplanmaktadır. K_s sığlaşma faktörü (2) bağıntısıyla hesaplanabildiği gibi göreceli derinliğe (d/L) ve (d/L_0) oranına göre düzenlenmiş dalga karakteristikleri tablosundan da elde edilebilir.

$$K_s = \left(\frac{I}{\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \cdot \left(I + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)}\right)} \right)^{1/2} \quad (4.2)$$

Periyodu T olan bir dalganın herhangi bir derinlikteki dalga boyu (L) ve derin su koşullarındaki dalga boyu (L_0)

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (4.3)$$

ve

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56T^2 \quad (4.4)$$

bağıntılarıyla hesaplanır. Ancak (4.3) bağıntısının kapalı bir fonksiyon olması nedeniyle nümerik hesap iterasyon gerektirir, bu nedenle genellikle yukarıda sözü edilen dalga karakteristikleri tablosundan elde edilmesi yoluna gidilir.

K_r dönme faktörü ise dalga ortogonalleri arasındaki enerjinin sabit olduğu, dalga ilerleme yönünün dalga tepelerine dik olduğu ve eşderinlik eğrilerinin kıyı çizgisine paralel olduğu kabulleri altında “Snell” yasasından yararlanılarak elde edilir.

$$\frac{c}{c_0} = \frac{\sin \alpha}{\alpha_0} \quad (4.5)$$

Burada c herhangi bir derinlikte (d) (dalga özellikleri aranılan derinlikte) dalga hızı, c_0 derin su dalga hızı, α , α_0 ise sırasıyla derinliğin d olduğu ve derin su sınırında (d_0) eşderinlik eğrileri ile dalga tepeleri arasındaki açıyı ifade etmektedir. Dalga ortogonalleri arasındaki enerji transferinin sabit olduğu kabulüyle derin su sınırı ile d derinliğindeki enerji akısı birbirine eşit kabul edilebilir. Bu durumda;

$$\bar{P}_0 = \bar{P} \quad (4.6)$$

bağıntısı yazılabilir. Buradan da

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}} \cdot \sqrt{\frac{b_0}{b}} \quad (4.7)$$

bağıntısı elde edilir. Burada $\sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}}$ sıkışma katsayısını (K_s), $\sqrt{\frac{b_0}{b}}$ ise dönme katsayısı (K_r) ifade eder.

Sığ suda ilerleyen dalgalarda derinliğin etkisi ile yukarıda açıklanan sıkışma ve dönme olayları yüzünden (periyot değişmeden) dalga ilerleme hızı azalır, dalga tepeleri sıklaşır ve dalga yükseklikleri artar. Dalga maksimum yüksekliğe geldiğinde, dalga tepelerindeki su partikülleri dalga yayılma hızına eşit olur ve dalgalar sinüzoidal formlarını daha fazla koruyamaz ve rüzgârın sürüklemesiyle de dalga öne doğru kırılır. Bir kıyı kesiminde dalga kırılması olayının başladığı derinlik ile yani dalgaların periyodik formlarını kaydederek kıyıya yönelmeye başladıkları kırılma çizgisi ile kıyı arasında kalan bölgede türbülans, taban sürtünmeleri v.b. oluşumlar yüzünden dalga enerjisi büyük bir hızla sönümlenir. Dalgaların enerjisini yitirdiği bu bölge, kaybolan enerjinin ortama (varsa kıyı yapılarına) etkisinin en fazla yoğunlaştığı bölge olmaktadır. Dolayısıyla bu etkilerden korunabilmesi amacıyla kıyı yapılarının bu bölge dışında planlanması, bu mümkün değil ise güçlendirilmesi yoluna gidilir. Örneğin, deşarj borularının kıyıdan itibaren en azından kırılma olayının başladığı kırılma çizgisine kadar yeterli bir derinlikte gömülerek geçirilmesi yoluna gidilmesi önerilmektedir (Grace, 1978). Zemin yapısının gömülme açısından elverişli olmaması halinde borunun beton gömü veya dalga etkilerine dayanacak

nitelikte bir anroşman tabakası içine alınmak suretiyle korunması uygulanan yöntemlerden bazılarıdır.

Yukarıda açıklanan nedenler yüzünden dalga kırılması olayı özellikle deşarj borularının tasarımı açısından önem taşımaktadır. Dalga kırılması ile ilgili ilk bağıntı Munk tarafından verilmiştir (SPM, 1984). Soliter dalga teorisi kabulüyle;

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.78 \quad \text{veya} \quad (d_b = 1.28 H_b) \quad (4.8)$$

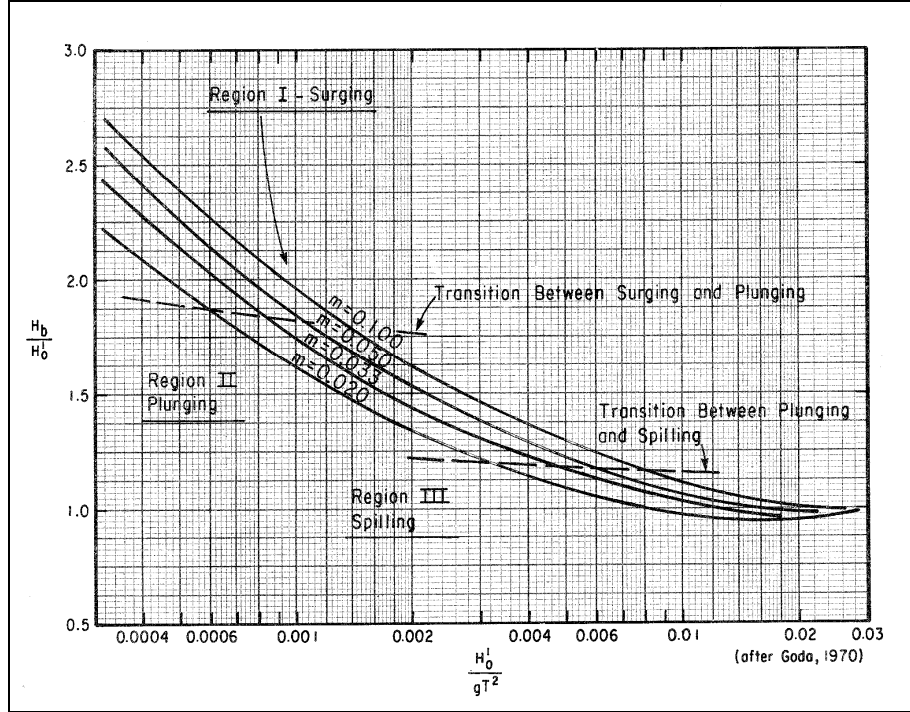
dalga kırılmasının olduğu derinlik ile kırılma anında dalga yüksekliği arasındaki basit ilişki elde edilir (burada “b” indisi kırılmayı gösterir). Bu bağıntı kırılma olayı üzerinde etkin olan deniz tabanı eğimini dikkate almadığı için daha sonra deniz taban eğimini de etkin bir faktör olarak göz önüne alan bağıntı geliştirilmiştir.

$$\frac{H_b}{H_o'} = f \left(\frac{H_o'}{gT^2}, s \right) \quad (4.9)$$

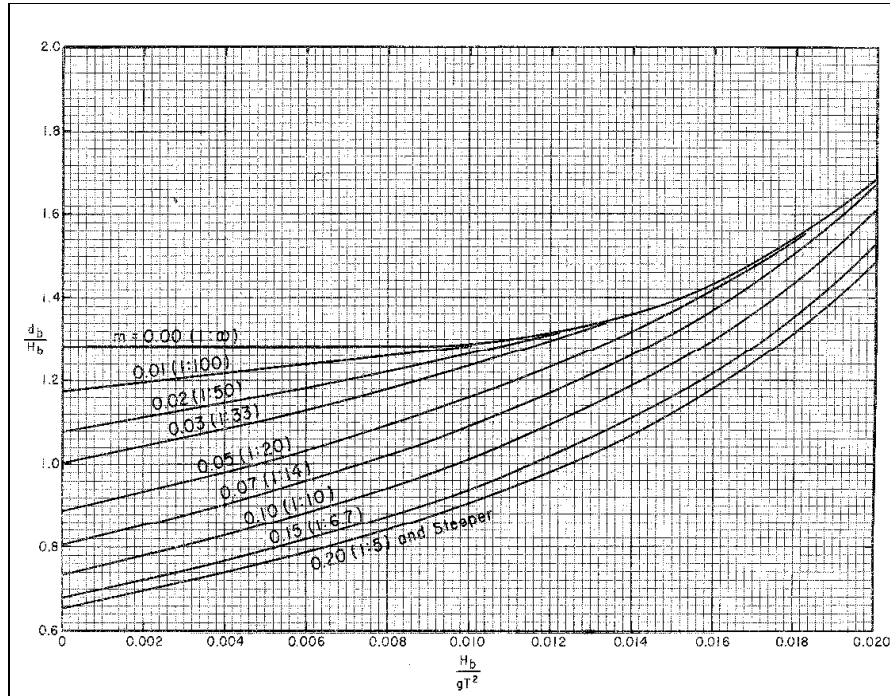
Burada, H_o' derin su dalga yüksekliği, H_b kırılma anındaki dalga yüksekliği, g yerçekimi ivmesi, T periyot ve s deniz tabanı eğimidir. Uygulamada taban eğimini dikkate alan bu bağıntıların grafiklere dönüştürülmüş şekli kullanılmaktadır (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

4.3 Deşarj Borusuna Etkiyen Dalga Kuvvetlerinin Belirlenmesi

Deniz tabanında bulunan borulara hidrostatik kaldırma kuvveti yanında dalgalar ve akıntılar nedeniyle de dış kuvvetler etkimektedir. Ayrıca boru üzerinde dirsek bulunması durumunda veya genişleme veya daralma biçiminde ani çap değişimlerinin bulunması ve boru içindeki akımında yüksek hıza ulaşması durumunda akımın yaratacağı kuvvetler oluşacaktır. Akıntı ve dalga etkisi nedeniyle yaratılan sediment hareketleri sonucunda meydana gelen oyulma ve yığılmalar da boruya ilave yük ve kuvvetlerin oluşmasına sebep olabilmektedir.



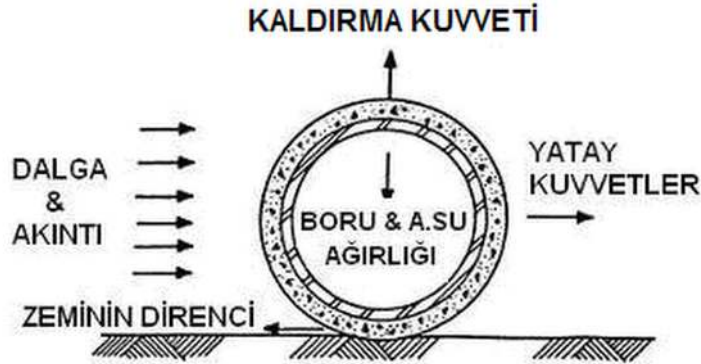
Şekil 4.5 Derin su dalga dikliğine karşı dalga kırılma yüksekliği değişimi



Şekil 4.6 Kırılma dikliği - karşı kırılma derinliği ilişkisi

Ayrıca boruların gömülü olması halinde ise çeşitli nedenlerle yaratılan basınç değişimleri veya akımın cazibe değil de doğrudan pompajla yapıldığı durumda dinamik titreşimlerin etkisinde kalan sistemlerde sıvılaşma etkisiyle boru üzerindeki dolgu malzemesi fonksiyonunu yitirmekte deşarj borusunun kısmen veya tamamen yüzeye çıkması söz konusu olabilmektedir. Uygulamada çoğunlukla, aksine bir durum olmadığı takdirde, yukarıda bahsedilen etkilerden kaldırma kuvveti ve rüzgâr dalgaları tarafından yapılacak sürüklenme etkisi dikkate alınmaktadır.

Deniz tabanına yerleştirilen deşarj borusuna dalga hareketleri nedeniyle etkiyen kuvvetlerin kolayca belirlenebilmesi için etkiyen dalga kuvvetinin düşey ve yatay bileşenlerinin ayrı ayrı belirlenmesi yoluna gidilir.



Şekil 4.7 Deşarj borusuna etki eden kuvvetler

Boru ekseninin dalga ilerleme yönüne dik olması durumunda (dalga sırtlarının boru eksenine paralel olması hali) etkiyen F yatay kuvveti, Morison denklemi uyarınca

$$F = F_D + F_I \quad (4.10)$$

bağıntısından elde edilebilir. Burada F_D sürüklenme kuvveti, F_I ise atalet kuvvetidir. C_D sürüklenme katsayısı, ρ akışkanın yoğunluğu, “A” borunun dalgaya dik yöndeki alanı ve “U” boru eksen seviyesinde akışkan parçacıklarının yatay yöndeki hızları olmak üzere F_D sürüklenme kuvveti

$$F_D = C_D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot U \cdot |U| \quad (4.11)$$

denkleminde hesaplanır. F_I atalet kuvveti ise C_I atalet katsayısı, V boru hacmi ve U boru eksenine seviyesinde akışkan parçacıklarının yatay yöndeki ivmesi cinsinden,

$$F_I = C_I \cdot \rho \cdot V \cdot \ddot{U} \quad (4.12)$$

eşitliği ile hesaplanır (Silvester, 1974; Grace, 1978).

Dalgalar, şekli simetri olmayan veya katı sınırların yakınında bulunan cisimlere hız ve basınç alanlarının bozulması nedeniyle kaldırma kuvveti olarak isimlendirilen düşey kuvvetler uygularlar. Deşarj borusuna etkiyen F_L kaldırma kuvveti için, C_L kaldırma katsayısı olmak üzere Grace (1978)

$$F_L = C_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot U^2 \quad (4.13)$$

denklemini kullanmıştır.

Yukarıda bahsedilen (4.11), (4.11) ve (4.13) bağıntılarındaki C_D , C_I ve C_L katsayıları deneysel olarak belirlenen büyüklüklerdir ve bunların değişiminde rol oynayan etkenlerle, alabilecekleri değerler yine Grace (1978) tarafından belirtilmektedir. Öte yandan birim boydaki boruya etkiyen kuvvetler arandığında, D_d deşarj borusu dış çapı olmak üzere

$$A = D_d \text{ ve } V = \pi D_d^2 / 4$$

alınmalıdır. Ayrıca, sürtünme, atalet ve kaldırma kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için dalga hareketinin yarattığı hız ve ivme büyüklükleri gereklidir. Yatay kuvvetlerin, Morison denklemi ve düşey kuvvetlerinde (4.13) eşitliği uyarınca hesaplanmaları halinde, (4.11), (4.12) ve (4.13) bağıntılarındaki hız ve ivme büyüklükleri için borunun dikkate alınmaması durumunda oluşan değerler kullanılmakta; diğer bir deyişle borunun akım özellikleri üzerindeki muhtemel etkisi ihmal edilmektedir. “Froude-Krylov varsayımı” olarak bilinen bu varsayım, boru çapının dalga yüksekliği ve boyu yanında küçük olduğu hallerde yeterli doğrulukta sonuçlar vermektedir.

Dalganın “H” yüksekliği ve “T” periyodu ile “d” su derinliğinin bilinmesi halinde, bu koşullarda geçerli olan dalga teorisini uygulamak suretiyle, gereken hız ve ivme değerleri hesaplanabilir. Bu amaçla yararlanılabilecek dalga teorileri ve bunların geçerli olduğu aralıklar, dalga mekaniği konusunun ele alındığı çeşitli yayınlarda geniş biçimde açıklanmaktadır.

Genel olarak küçük genlikli ve sonlu genlikli diye ikiye ayrılan bu teorilerden ilki, dalga dikliği diye isimlendirilen H/L oranının $0.002 \leq H/L \leq 0.03$ aralığında kalması ve ayrıca Ursall parametresi diye bilinen L^2H/d^3 boyutsuz sayısının $L^2H/d^3 < (32\pi^2/3)$ olması halinde geçerlidir.

Küçük genlikli dalga teorisi matematiksel ifadelerde önemli basitleştirmeler sağlamakta ve dalga hareketine ilişkin bir çok pratik sorunun çözümünde gerçeğe uygun sonuçlar vermektedir (SPM, 1984).

X ekseninin dalgalanmamış su yüzeyinde ve dalga ilerleme yönünde z ekseninin ise yukarı yönlü düşey olacak biçimde seçilmesi halinde, akışkan parçacıklarının hızları ve ivmeleri, küçük genlikli dalga teorisi uyarınca yazılan

$$u = \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \frac{\cosh[(2\pi(z+d)/L)]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos(2\pi x/L - 2\pi t/T) \quad (4.14)$$

$$a = \frac{\pi g H}{L} \cdot \frac{\cosh[(2\pi(z+d)/L)]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin(2\pi x/L - 2\pi t/T) \quad (4.15)$$

bağıntılarından hesaplanabilir (SPM, 1984, Massie, 1976).

Bu bağıntılar incelenirse, F_D ve F_L ile F_I ile arasında bir faz olacağı görülür. Bu durumda tasarım açısından özellikle önemli olan en büyük bileşke kuvvet ise,

$$\theta = 2\pi x/L - 2\pi t/T \quad (4.16)$$

faz açısının çeşitli değerleri için hesaplanan F_D , F_I ve F_L kuvvetlerinin vektörel toplamı ile belirlenebilir.

Yukarıda açıklanan hususlar, dalga kuvvetlerinin bulunabilmesi için yapılması gereken işlemleri ortaya koymaktadır. Öte yandan bu konuda aynı esasa dayanan, ancak hesaplamaların abaklar ve kısaltılmış formüller yardımıyla kolaylaştırıldığı yöntemler de mevcuttur. Bu projede dalga kuvvetlerinin Grace (1978) tarafından verilen ve esasları aşağıda anlatılan bu tür bir yöntemle belirlenmesi uygun görülmüştür.

Grace (1978), boru ekseninin dalga sırtlarına paralel ve dolayısı ile dalga ilerleme yönünü gösteren ortogonallere dik olması halinde, birim boydaki deşarj borusuna gelen en büyük yatay ve düşey kuvvetler için

$$F_{\text{maks}} = C_{\text{maks}} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot D_d \cdot U_{\text{maks}}^2 \quad (4.17)$$

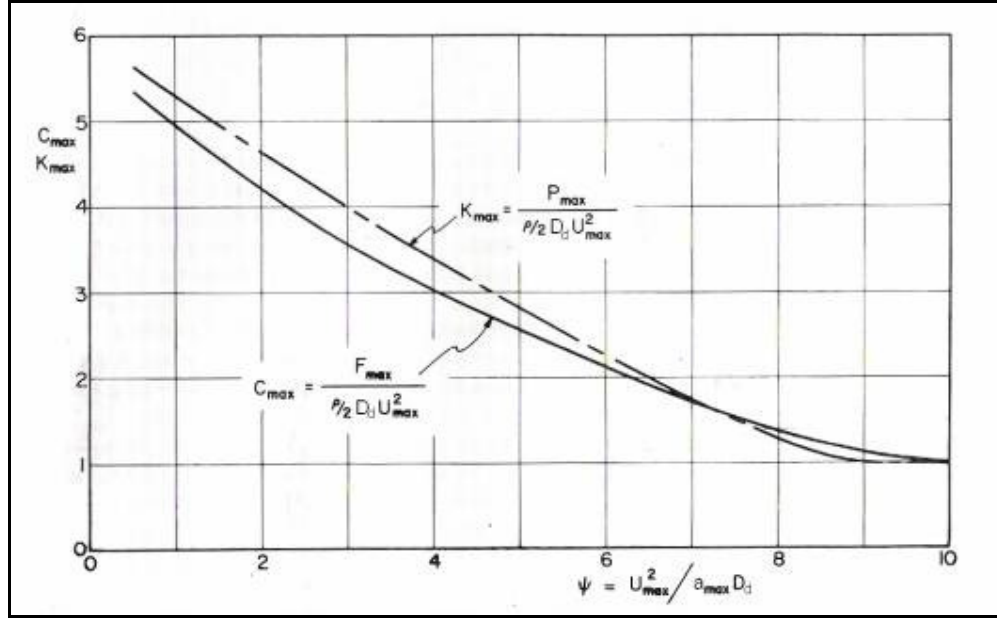
$$P_{\text{maks}} = K_{\text{maks}} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot D_d \cdot U_{\text{maks}}^2 \quad (4.18)$$

denklemini vermiştir. Burada F_{maks} ve P_{maks} birim boru boyuna gelen en büyük yatay ve düşey kuvvetleri, C_{maks} ve K_{maks} yatay ve düşey kuvvet katsayılarını ve U_{maks} ise boru eksen seviyesinde oluşan en büyük yatay hızı göstermektedir.

C_{maks} ve K_{maks} katsayıları, a_{maks} boru eksen seviyesinde oluşan en büyük yatay ivme olmak üzere

$$\psi = U_{\text{maks}}^2 / a_{\text{maks}} D_d \quad (4.19)$$

şeklinde hesaplanan boyutsuz ψ değerine bağlı olarak değişmektedir ve bunlar arasındaki bağıntı Şekil 4.8'da verilmiştir.



Şekil 4.8 Deşarj borusuna etkiyen dalga kuvvetlerinin hesabında C_{maks} ve K_{maks} değerleri

Bu açıklamalar, F_{maks} ve P_{maks} ' in bulunabilmesi için U_{maks} ve a_{maks} değerlerinin bilinmesinin yeterli olduğunu göstermektedir. Bu iki değer, daha önce de belirtildiği gibi, geçerli olan dalga teorisini kullanmak suretiyle hesaplanabilir. Ancak Grace (1978) U_{maks} ve a_{maks} ' ın küçük genlikli dalga teorisi uyarınca yazılan (4.14) ve (4.15) bağıntılarından elde edilen u ve a değişkenlerinin boru ekseninde alacağı maksimum değerler yardımıyla

$$U_{maks} = \beta_1 \cdot u \quad (4.20)$$

$$a_{maks} = \beta_2 \cdot a \quad (4.21)$$

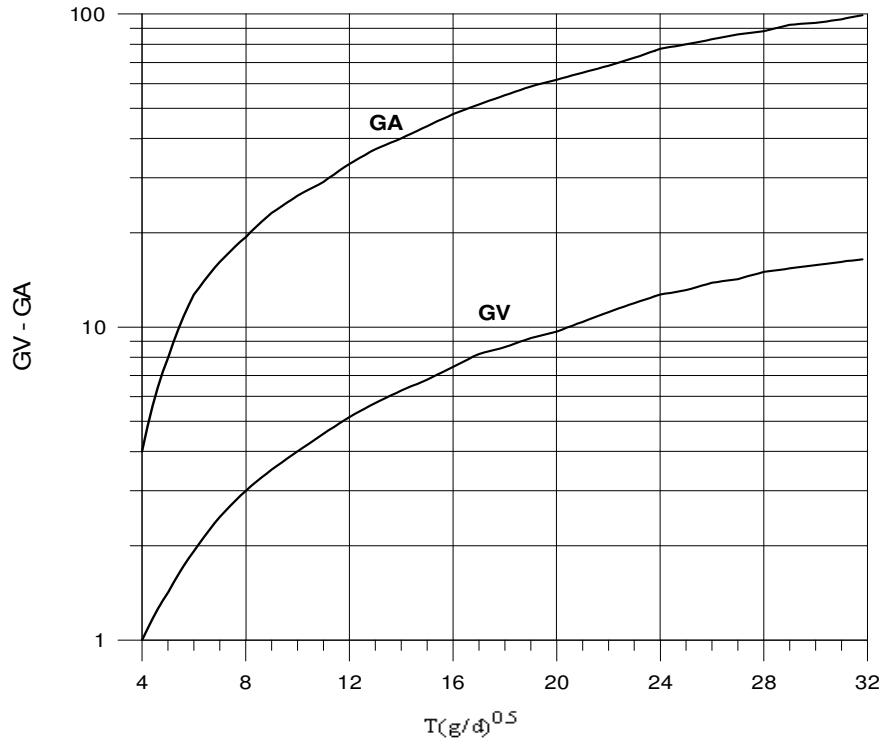
eşitliklerinden elde edilebileceğini belirtmekte ve β_1 ve β_2 için $\beta_1 = 1.08$ ve $\beta_2 = 1.36$ alınmasını önermektedir. Grace (1978) bunların yanı sıra u_{maks} ve a_{maks} değerlerinin, GV ile GA' y1 $T\sqrt{g/d}$ büyüklüğüne karşı gelen değerler olarak Şekil 4.9'dan bulunarak,

$$u_{maks} = GV \cdot H/T \quad (4.22)$$

$$a_{maks} = GA \cdot H/T^2 \quad (4.23)$$

bağıntısından hesaplanabileceği ifade etmektedir. Bu durumda (4.19) eşitliğiyle verilen ψ ise $\beta_3 = 0.86$ olmak üzere

$$\psi = \beta_3 \left(\frac{u_{\text{maks}}^2}{a_{\text{maks}} D_d} \right) \quad (4.24)$$



Şekil 4.9 Küçük genlikli dalga teorisine göre taban yakınındaki en büyük akım hızları ve ivmeleri

Bir kıyı kesiminde oluşan dalgaların değişik yönlerden gelebileceği düşülürse, dalga sırtlarının boru eksenine paralel olması durumunun çok özel bir hal olduğu söylenebilir. Bu nedenle boru eksenini ile dalga ilerleme yönünü tanımlayan ortogonaller arasındaki açının herhangi bir θ değerini alması durumunda da, etkiyen yatay ve düşey hidrodynamic kuvvetlerin bulunabilmesi olanağını veren bağıntılara ihtiyaç olduğu açıktır.

Grace (1978) bu durum için de, birim boydaki deşarj borusuna etkiyen yatay ve düşey kuvvetler olmak üzere,

$$F'_{\text{maks}} = C'_{\text{maks}} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot D_d \cdot U_{\text{maks}}^2 \quad (4.25)$$

$$P'_{\text{maks}} = K'_{\text{maks}} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot D_d \cdot U_{\text{maks}}^2 \quad (4.26)$$

denklemlerini vermiştir. Bu denklemler (4.17) ve (4.18) eşitlikleri ile karşılaştırılırsa, F'_{maks} ve P'_{maks} ile $\theta = 90^\circ$ olması halinde oluşacak F_{maks} ve P_{maks} değerleri arasında,

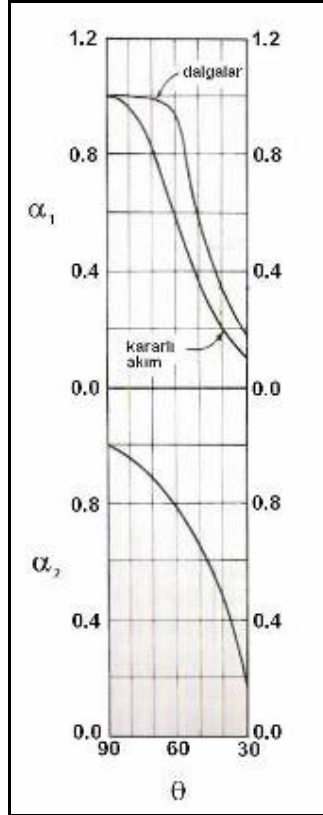
$$F'_{\text{maks}} = (C'_{\text{maks}} / C_{\text{maks}}) \cdot F_{\text{maks}} \quad (4.27)$$

$$P'_{\text{maks}} = (K'_{\text{maks}} / K_{\text{maks}}) \cdot P_{\text{maks}} \quad (4.28)$$

bağıntılarının olduğu görülür. Grace (1978), $(C'_{\text{maks}} / C_{\text{maks}})$ ve $(K'_{\text{maks}} / K_{\text{maks}})$ değerlerinin θ' ya bağlı olarak değiştiğini belirtmekte ve bu değerlerin belirlenmesi için Şekil 4.8 ve Şekil 4.10'da verilen grafikleri önermektedir.

Dalga özellikleri (yükseklik, periyot ve ilerleme yönü) ile su derinliğinin bilinmesi halinde, birim boydaki bir deşarj borusuna etkiyen yatay ve düşey hidrodinamik kuvvetlerin yukarıdaki açıklamalardan yararlanılarak hesaplanabilmesi mümkündür.

Projede öngörülen deşarj borusuna gelmesi muhtemel kuvvetler, bu yöntem uyarınca hesaplanmıştır. Özellikle deşarj borusunun yer aldığı kesimde ortogonaller arasındaki uzaklığın arttığını, dolayısı ile dalga yüksekliklerinin derin su koşullarına kıyasla küçüleceğini ortaya koymaktadır. Dönme etkisi sonucunda eş derinlik eğrileri ile dalga sırtları arasındaki açının da kıyıya yaklaşıldıkça küçüleceği ortadadır. Ayrıca dalga ilerleme yönü ile deşarj borusu arasındaki açı (θ açısı) da (Şekil 4.11), dalga sırtlarının eş derinlik eğrilerine paralel olacak şekilde dönmeleri nedeniyle değişim gösterecektir. Dolayısıyla deşarj borusu boyunca hem derinlik hem de dalga yönü ile dalga karakteristiklerinin değişmesi nedeniyle boru eksenı boyunca boruya etki eden kuvvetler değişecektir.



Şekil 4.10 Deşarj borusuna etkiyen dalga kuvvetlerinin dalga geliş açısına göre α_1 ve α_2 düzeltme değerleri

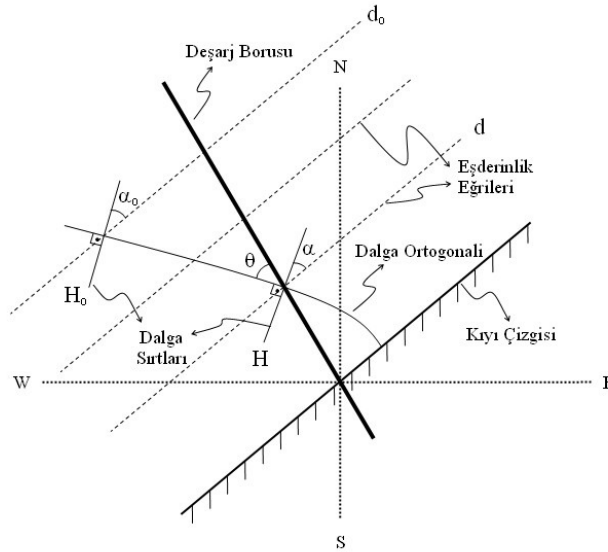
Kıyıya yaklaşıldıkça θ açısının azalması dolayısıyla ($C'_{\text{maks}}/C_{\text{maks}}$) ve ($K'_{\text{maks}}/K_{\text{maks}}$) değerleri düşmekle beraber derinliğin azalması yani boru eksenini yüzeye yaklaşması nedeniyle boru eksenindeki yatay hız bileşenleri artacaktır. Bu nedenle tüm boru güzergâhı boyunca hesap yapıp en kritik kesitin belirlenmesi yoluna gidilmesi uygun olacaktır.

4.4 Deşarj Borusunun Stabilitesi

Deşarj borusunun tasarımı sistemin gelmesi muhtemel dış etkilere karşı yeterli güvenlikte kalması, diğer bir deyişle dış etkiler nedeniyle öngörülen sistemin stabilitesini yitirmeden çalışması anlamındadır. Deşarj sistemi başta dalgalı olmak üzere dış etmenlerin yüzünden oluşan yatay ve düşey dinamik yükleri karşılayabilecek ağırlıkta olmalıdır. Boru ağırlığının yetersiz olduğu durumlarda

beton ağırlık kitleleri yardımıyla bu güvenlik sağlanmalıdır. Ayrıca deniz trafiğinin ve kırılma etkisi nedeniyle taban hareketlerinin yoğun olduğu kıyı kesimlerinde deşarj borusunun gömülü olarak geçirilmesi gereklidir. Borunun korunabilmesi amacıyla gömülü olarak geçirilmesi halinde hangi derinliğe kadar gömülü olacağı, gereken dolgu maddelerinin çapları ile hendek kesitlerinin saptanması gerekir.

Deşarj borusu için birim boy ağırlığının hesabında, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boru dikkate alınmıştır.



Şekil 4.11 Deşarj borusunun plandaki konumu

Kullanılmış su ile dolu olan deşarj borusunun su içindeki ağırlığı (W'_b)

$$W'_b = W_b + W_o - F_k \quad (4.29)$$

eşitliğinden bulunabilir. Bu eşitlikte W_b deşarj borusunun ağırlığını; W_o deşarj boru içindeki kullanılmış suyun ağırlığını; F_k ise boruya etkiyen kaldırma kuvvetini göstermektedir. Deşarj borusunun dış ve iç çapları D_d ve D_i olmak üzere, W_b , W_o ve F_k 'nın (1 m boru boyu için) değerleri, HDPE borunun, kullanılmış (atık) suyun ve

deniz suyunun özgül ağırlıkları sırası ile $\gamma_b=950 \text{ kg/m}^3$, $\gamma_o=1000 \text{ kg/m}^3$ ve $\gamma_w = 1028 \text{ kg/m}^3$ alınarak

$$W_b = \pi.(D_d^2 - D_i^2).\gamma_b / 4 \quad (4.30)$$

$$W_o = (\pi D_i^2 / 4).\gamma_o \quad (4.31)$$

$$F_k = (\pi D_d^2 / 4)\gamma_w \quad (4.32)$$

bağıntılarıyla hesaplanır.

Deşarj borusu dalga hareketleri tarafından yaratılan, yatay ve düşey kuvvetlerin etkisi altındadır. Borunun bu etkileri karşılayamayacağı durumlarda ve aynı zamanda stabilitesinin de sağlanabilmesi için, su içindeki ağırlığının artırılmasının gerektiği görülür. Yüksek yoğunluklu polietilen boru kullanıldığı zaman, deşarj borusu üzerine konan beton ağırlıklı kitleleri yardımıyla istenen ağırlık artımı sağlanabilmektedir. Bu durumda deşarj borusunun birim boyu için gereken beton kitlelerin su içindeki ağırlığı W_t , borunun kaymaya karşı güvenli olabilmesi koşulu uyarınca yazılan;

$$(W_t + W_b' - P') . f > F' \quad (4.33)$$

eşitsizliğinden bulunabilir. Bu ifadedeki f değeri, tespit kitlesi (beton ağırlık) ilaveli deşarj borusu ile deniz tabanı arasındaki sürtünme faktörü olup, borunun yapısal özelliklerine ve boyu geçkisi boyunca görülen zeminin karakterine bağlıdır. Diğer taraftan yatay ve düşey kuvvetlerin azami değerleri dikkate alındığında, beton ağırlık kitlesinin su içindeki ağırlığı (W_t), kaymaya karşı 1.5 emniyet katsayısıyla

$$W_t = \frac{1.5 F'_{\text{maks}}}{f} + P'_{\text{maks}} + F_k - W_b - W_o \quad (4.34)$$

bağıntısı elde edilir. Bu eşitlikteki F'_{maks} ve P'_{maks} değerleri dalgalar tarafından yaratılan en büyük hidrodinamik kuvvetlerin yatay ve düşey bileşenlerdir.

Deşarj borusunun yüzdürme yöntemiyle yerleştirilebilmesi için gerekli minimum beton ağırlık kitlelerinin tayininde ise aşağıdaki bağıntıdan yararlanılır.

$$W_t \leq F_k - W_b \quad (4.35)$$

4.5 Stabilite Hesapları

Deşarj borusuna etkimesi olası dalgalar rüzgâr ve dalga analizleri ile belirlenmiştir (Kuşadası deşarj Projesi, 2008). Söz konusu bu hesaplar sonucu olarak belirlenen 50 yıllık tasarım dalgası karakteristikleri kullanılarak ve yukarıda verilen yöntemler ile deşarj borusuna etkileyen kuvvetler ve bu kuvvetlere karşı boru stabilitesini sağlayacak ilave tespit kütlesi ağırlıkları (birim boya bağlaması gereken ağırlıklar) belirlenmiştir. Hesaplarda kullanılan sabit girdiler (veriler) ile kritik yönler göre değişen veriler aşağıda (Tablo 4.2’de) sunulmuştur.

Deşarj borusuna etkileyen yatay ve düşey kuvvetlerin belirlenmesi yukarıda verilen her iki yönleme göre yapılmıştır.

Tablo 4.2 Stabilite hesaplarında kullanılan yönler göre değişken ve sabit veriler

Yön	F (km)	H _o (m)	T (sn)	α_o (derece)	Θ_o (derece)
WSW	16	1.61	4.4	52.5	79.1
W	168	4.77	9.3	30	56.6
WNW	89	3.32	7.4	7.5	34.1
NW	21	1.78	4.7	15	11.6
NNW	14	1.46	4.1	37.5	10.9
N	9	1.15	3.5	60	33.4
Sabit Veriler					
D _d (Boru dış çapı)				0.63 m	
D _i (Boru iç çapı)				0.55 m	
γ_w (Deniz suyu özgül ağırlığı)				1028 kg/m ³	
γ_{boru} (HDPE boru özgül ağırlığı)				950 kg/m ³	
γ_{beton} (Beton kütle özgül ağırlığı)				2400 kg/m ³	
f (Deniz tabanı ile tespit kütleleri arasındaki sürtünme katsayısı, kısmen killi ve siltli zemin kabulü yapılmıştır)				0.8	
m (Ortalama deniz tabanı eğimi)				~0.0275	

Birim boy ağırlığının hesabında kesit özellikleri $D_d=63\text{cm}$ olan ve $t=4\text{cm}$ (et kalınlığı) olan yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boru dikkate alınmıştır. Deşarj borusunun ağırlığı, kaldırma kuvveti ve kullanılmış su ile dolu olarak deniz içindeki ağırlığı Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Birim boy için $D_d=63\text{cm}$ dış çaplı ($t=4\text{cm}$) HDPE boru ağırlıkları

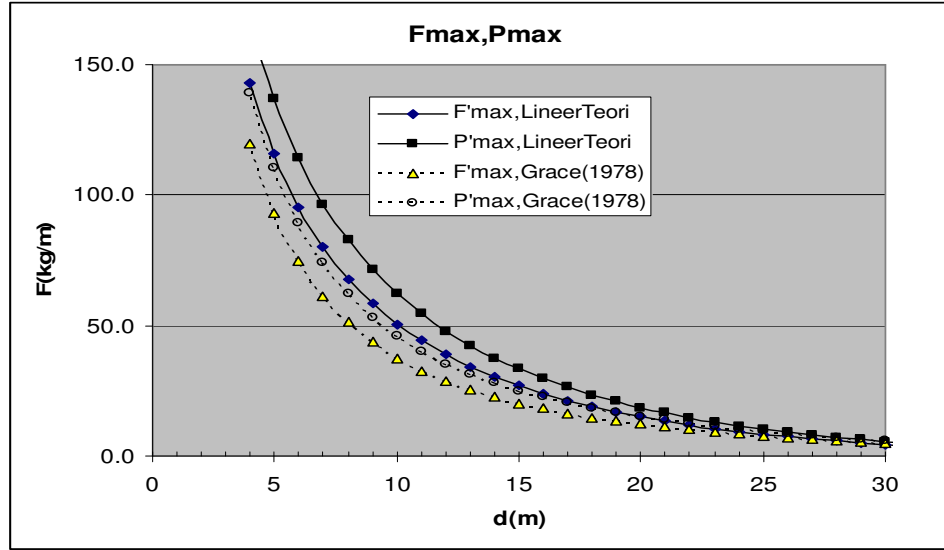
Boru Ağırlığı W_b (kg/m)	Boru içindeki suyun ağırlığı W_o (kg/m)	Kaldırma Kuvveti F_k (kg/m)	Birim boy ağırlığı W'_b (kg/m)
70.43	237.58	320.45	-12.44

4.6 Tespit Kütleleri (Beton Ağırlıkların) Tayini

Boruya etkiyen kuvvetlerin hesabına esas boru eksenindeki yatay hız ve ivme bileşenlerinin gerek küçük genlikli dalga teorisine ve Grace (1978) tarafından önerilen yöntemle göre belirlenmiştir. Her iki yöntemin verdiği sonuçlar kıyaslandığında (Şekil 4.12), Lineer Dalga Teorisine göre hesaplanan hız ve ivmelerin kullanılmasıyla elde edilen yatay itme ve düşey kaldırma kuvvetlerinin Grace yöntemine göre hesaplanan değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Yukarıda detayları verilen yöntemlere göre yapılan tüm hesap sonuçları bir sonraki bölümde irdelenerek tasarıma son şekli verilmiştir.

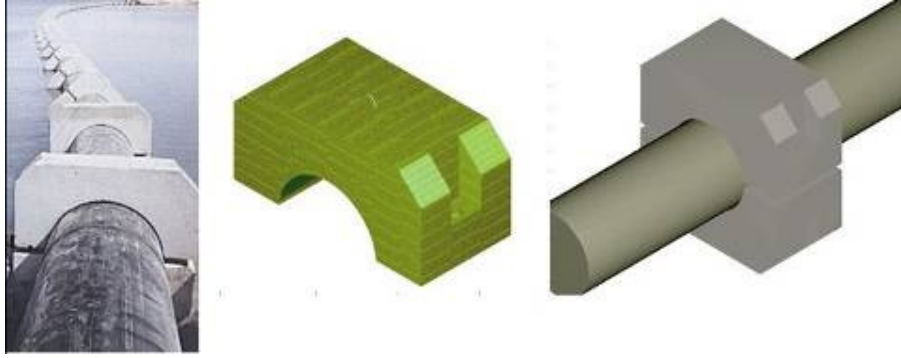
Deşarj borusunun her koşulda konumunu muhafaza etmesi diğer bir deyişle akıntı ve dalga hareketleri yüzünden oluşan yatay ve düşey dinamik yükleri karşılayabilecek şekilde planlanması gerekmektedir. Dalga kırılması nedeniyle taban hareketlerinin ve deniz trafiğinin yoğun olduğu kesimlerde, deşarj borusunun güvenli bir derinlikte gömülü olarak geçirilmesi genellikle izlenen bir yoldur. Gömülü kısmın dışında kalan ve deniz tabanına yerleştirilen borularda ise beton ağırlık kitleleri yardımıyla stabilite sağlanmaktadır. Yukarıda açıklanan ve sonuçları eklerde verilen hesaplar incelendiğinde farklı yönlerde ve farklı derinliklerde gerekli güvenli boru ağırlığı oldukça değişkenlik göstermektedir. Boru çapının sabit olması dolayısıyla boru öz

ağırlığı ve kaldırma kuvvetinin sabit olması nedeniyle değişkenlik dalga geliş yönü ve derinlik değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Boru güzergâhı boyunca her kesitte farklı bir tasarımı gerektiren bu durum uygulama pratiği açısından uygun değildir. Bu nedenle deşarj borusunun nihai tasarımı bu proje kapsamında ele alınan tüm hususlar dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 4.12 Yatay ve düşey dinamik yüklerin derinlikle değişimi

Kullanılacak olan beton ağırlık kitlelerinin tipi seçilirken; sahip olmaları gereken ağırlığın sağlanması, kitleler üzerine etkiyen yatay dalga kuvvetlerinin az olması ve kitlelerle deniz tabanı arasındaki sürtünmenin artırılması gibi hususların yanında, üretim ve yerleştirme açısından uygun olmaları hususu da dikkate alınmıştır. Bu amaçla üretilen beton ağırlık kitlelerinin, yapılan hesaplar sonucunda su altındaki ağırlıklarının 694 kg (Tip - A) ve 462 kg (Tip - B) olması gerektiği bulunmuştur. Beton ağırlık tip seçiminde son yıllarda yapılan uygulamalar da dikkate alınmıştır. Kullanılacak beton ağırlıkların temel yapısal özellikleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14) verilmiştir.



Şekil 4.13 Boru stabilitesi için seçilen tespit kütlesi

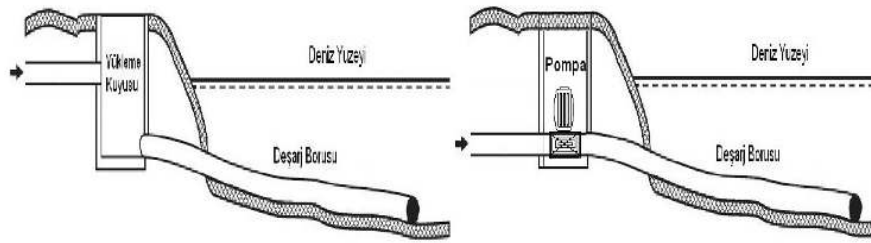
Kıyıya yakın bölgede hidrodinamik kuvvetlerin oldukça büyük olması nedeniyle borunun, 12m derinliğe kadar gömülü geçmesi uygun görülmüştür. Deşarj borusu boyunca birim boy için gerekli tespit kitlesi ağırlıklarından (W_t değerlerinden) ve ilgili boru segmenti (bölümü) için seçilen blok tipinden yararlanılarak beton ağırlık kitlesi aralıkları hesaplanmıştır. Ancak uygulama pratiği ve deşarj borusunun yüzdürülerek ve daha sonra yerinde batırılarak yerleştirilmesi tekniğinin kullanılacak olması nedeniyle 80m uzunluklu her bir boru segmentinde beton ağırlık aralıklarının sabit alınması uygun bulunmuştur.

Tespit Kütlesi Özellikleri					
Tip - A Boyutlar			Tip - B Boyutlar		
X	125 cm	1.25 m	X	125 cm	1.25 m
Y	60 cm	0.60 m	Y	60 cm	0.60 m
T	45 cm	0.45 m	T	30 cm	0.30 m
D	65 cm	0.65 m	D	65 cm	0.65 m
S	5 cm	0.05 m	S	5 cm	0.05 m
V+		0.703 m ³	V+		0.469 m ³
V-		0.198 m ³	V-		0.132 m ³
V		0.506 m ³	V		0.337 m ³
W_{hava}		1213 kg	W_{hava}		808 kg
W_{su}		694 kg	W_{su}		462 kg

Şekil 4.14 Tespit kütlesi boyutları

Önceden yerleştirilebilecek beton bloklarının bir yandan içi boş boru durumunda borunun batmadan yüzeyde kalabilmesi koşulunu, diğer yandan da su ile doldurulması halinde deşarj borusunu batırabilecek ağırlıkta olmaları gerekir. Projede beton ağırlık kütlelerin aynı zamanda batırma bloğu olarak kullanılması esas alındığından ayrıca batırma bloğu tasarımı yapılmamıştır. Ancak, beton batırma bloklarının kullanılmasına ihtiyaç duyulması durumunda (tespit kütlelerinin borunun batırıldıktan sonra deniz içinde yerleştirilmesi durumu), borunun su ile doldurulması halinde deşarj borusunu batırabilecek ağırlıkta olmaları gerekir. Bu amaçla kullanılacak halka biçimindeki beton batırma bloklarının su içindeki ağırlığı 80 kg dır. İlgili paftada detayları verilen batırma blokları her 4 metrede bir yerleştirildiklerinde yukarıdaki bahsedilen kriterleri sağlayacaktır.

Hidrodinamik kuvvetlerin oldukça büyük olması nedeniyle borunun, 480m boyunca (ilk altı segment) gömülü geçmesi uygun görülmüştür. Gömülü kısımda da beton ağırlıkların bulunması hem yukarıda söz edildiği gibi batırma blokları olarak kullanılacak olması, hem de Kuşadası Merkez derin deşarj hattının doğrudan pompajla yükleniyor olması nedeniyle uygun görülmüştür. Yükleme haznesiyle başlamayan boru sistemlerinde pompajla oluşacak vibrasyon yüzünden boru yüzeyi ile zemin arasında sıvılaşma oluşması riski doğmakta, dolayısıyla borunun içinde bulunduğu gömülü kısımdan sıyrılarak yüzeye çıkması söz konusu olabilmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Deşarj borusunun yükleme haznesi veya pompa ile başlaması

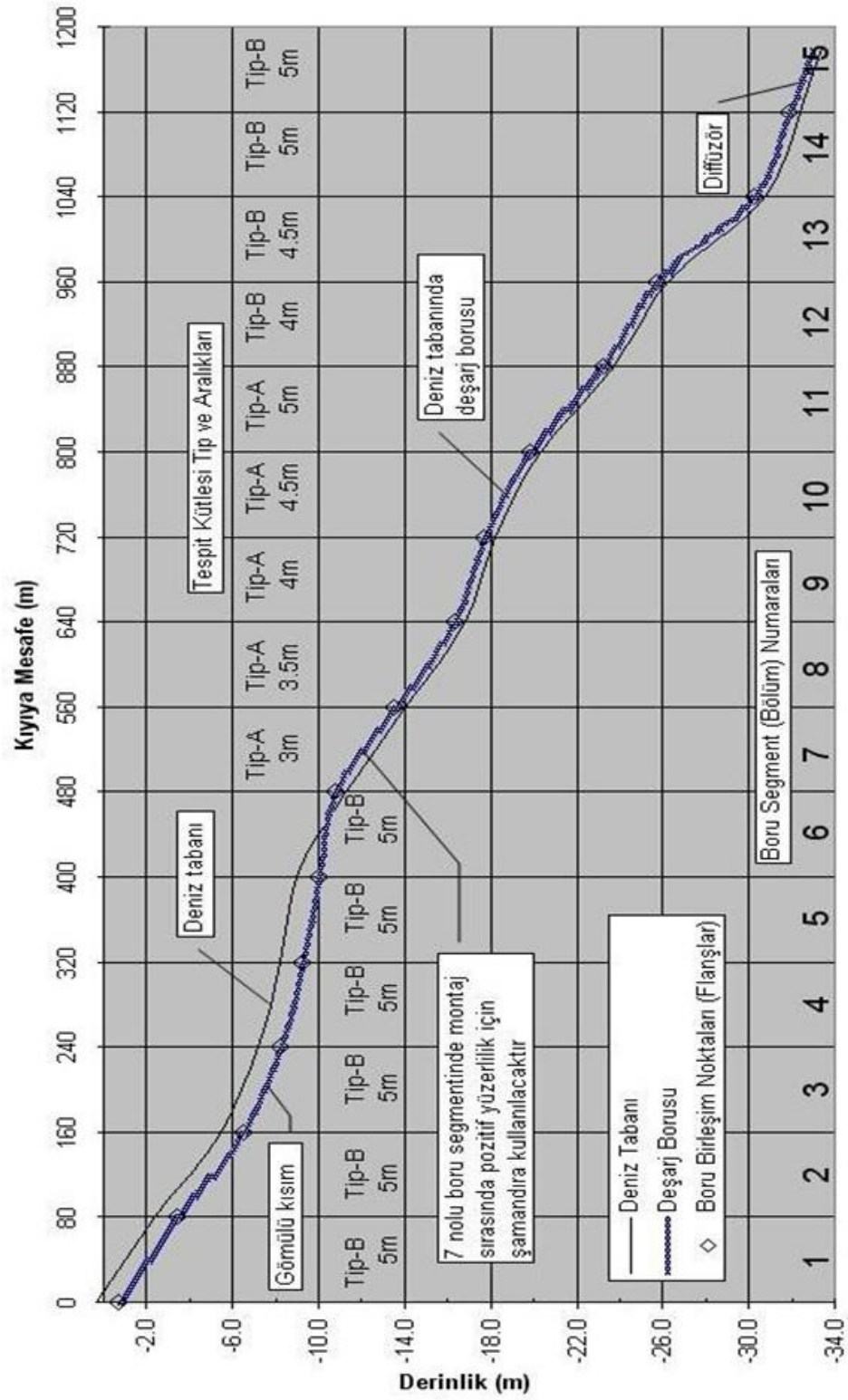
Beton kütleler arasındaki açıklıkların hesabında bir önceki bölümde özellikleri verilen tespit kütlesi ağırlıkları kullanılmıştır. Gömülü bölüm geçildikten sonraki

beton ağırlık kütlesi yerleştirilmesi boruya etkiyen dalga ve akıntı kuvvetlerine karşı konulması için yapılmıştır. Buna göre tespit kütlesi aralıkları Tablo 4.4’de ve Şekil 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.4 Beton ağırlıkların (tespit kütlelerinin) aralıkları

Boru Segmenti	Kıyıya mesafe (m)		Derinlik (m)		Blok Aralığı (m)	Blok Sayısı	Blok Tipi	Konum
	Başlangıç	Bitiş	Başlangıç	Bitiş				
1	0	80	0.0	2.5	5	16	Tip - B	Gömülü
2	80	160	2.5	5.5	5	16	Tip - B	Gömülü
3	160	240	5.5	7.5	5	16	Tip - B	Gömülü
4	240	320	7.5	8.2	5	16	Tip - B	Gömülü
5	320	400	8.2	9.0	5	16	Tip - B	Gömülü
6	400	480	9.0	11.5	5	16	Tip - B	Gömülü
7	480	560	15.0	14.0	3	27	Tip - A	Tabanda
8	560	640	14.0	17.0	3.5	23	Tip - A	Tabanda
9	640	720	17.0	18.3	4	20	Tip - A	Tabanda
10	720	800	18.3	20.5	4.5	18	Tip - A	Tabanda
11	800	880	20.5	24.0	5	16	Tip - A	Tabanda
12	880	960	24.0	26.5	4	20	Tip - B	Tabanda
13	960	1040	26.5	31.0	4.5	18	Tip - B	Tabanda
14	1040	1120	31.0	32.5	5	16	Tip - B	Tabanda
Diffüzör	1120	1180	32.5	33.5	5	12	Tip - B	Tabanda

Tablo 4.4 ve Şekil 4.16’da görüldüğü gibi yedi (7) numaralı boru segmentinde tespit kütlesi olarak, su içindeki ağırlığı 694kg olan Tip-A modeli ağırlık bloklarının 3m arayla yerleştirilmesi öngörülmüştür. Ancak bu bölümdeki blok aralığı yüzdürme yöntemi ile montajda sınırda bir değerdir. Birim boy için Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de verilen boru özellikleri (Boru öz ağırlığı ve kaldırma kuvveti) dikkate alınarak hesap yapıldığında, bu bölümde çok az bir farkla pozitif yüzerlilik sağlanmaktadır. Beton ağırlıkların imalatında veya montaj sırasında yapılacak hatalardan dolayı yüzerlilik kritik bir noktaya gelecektir. Bu nedenle bu bölümün denize indirilmesinde azami özen gösterilmesi gerekmekte, gerekirse ek şamandıralarla yüzerlik sağlanmalıdır. Derinlik arttıkça boruya etkiyen hidrodinamik kuvvetler azalmaktadır. Hidrodinamik hesaplara göre difüzörün bulunduğu son segmentin stabilitesi için B tipi blokların yaklaşık 5.5-6.0m aralıklarla yerleştirilmesi yeterli olmaktadır.

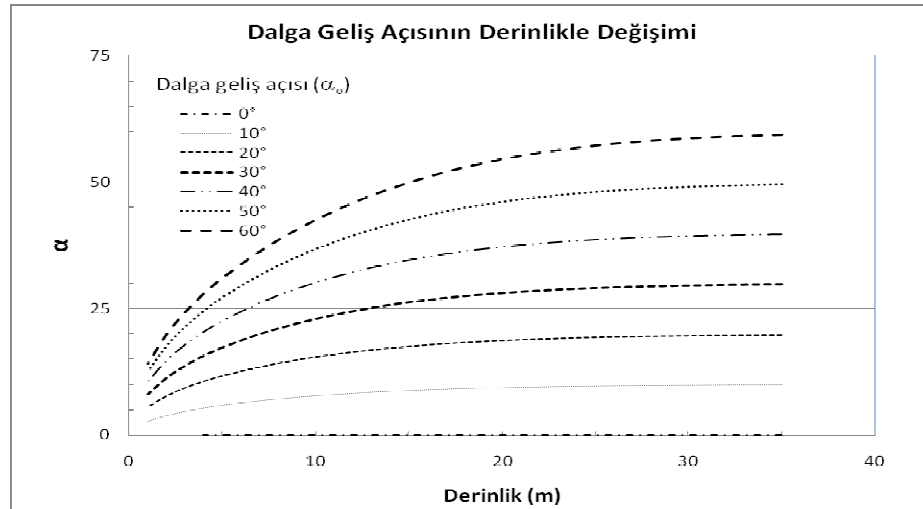


Şekil 4.16 Beton ağırlık kitleleri yerleşim planı

Ancak deşarj borunun yüzdürülerek yerleştirilmesi halinde, içi boş borunun beton ağırlıklar arasındaki kısmında oluşacak eğilmenin kritik değere ulaşmaması için beş (5) metreden daha fazla aralık kullanılmamıştır. Literatürde HDPE borular için kabul edilebilecek minimum eğilme yarıçapları için çeşitli formüller ve yaklaşık değerler verilmektedir. 63 cm çaplı HDPE borular için bu değer (R: en küçük eğilme yarıçapı) yaklaşık 14-15m civarındadır.

4.7 Dalga Geliş Açısının Deşarj Borusu Tasarımına Etkisi

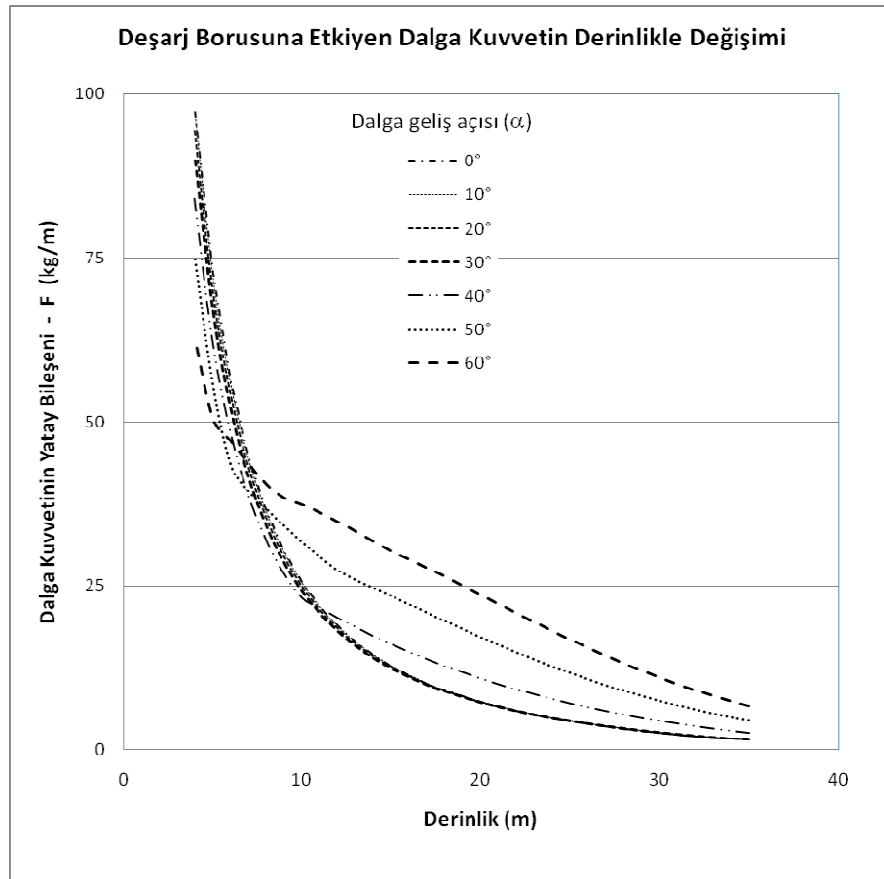
Deniz altı borusuna etkiyen kuvvetler boru eksenine ile dalga yönü ile ilişkilidir. Kıyı kesimlerinde kıyıya dik doğrultuda ilerlemeyen dalgalar kıyıya yaklaştıkça yön değiştirmektedir. Bu nedenle dalga geliş açısının (diğer bir deyişle dalga sırtları ile eşderinlik eğrileri arasındaki açının) derinlikle değişimi deniz tabanına yerleştirilmiş boruya etkiyen kuvvetleri değiştirecektir. Kıyıya doğru belirli açılarla ilerleyen dalgaların değişime uğraması derin su sınırından itibaren başlamaktadır. Derinsu sınırına çeşitli açılarda (α_0) ulaşan dalgaların kıyıya doğru ilerlemelerinde uğrayacakları değişim Şekil 4.17’de verilmiştir.



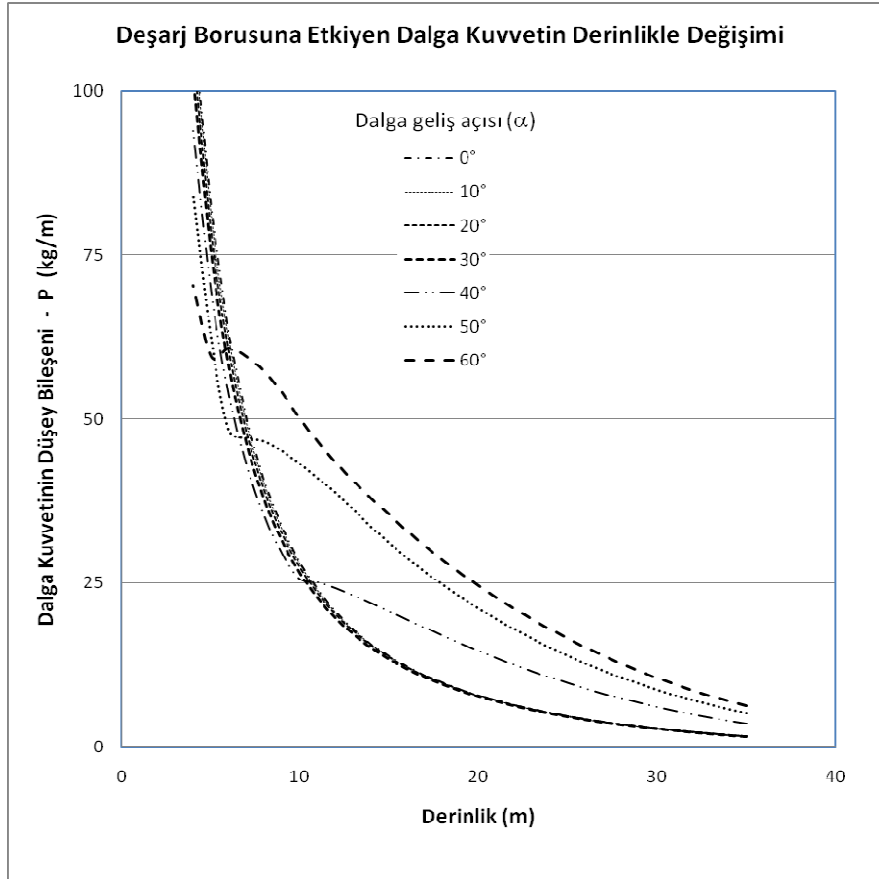
Şekil 4.17 Dalga geliş açısının derinlikle değişimi

Açık denizden kıyıya doğru ilerleyen dalgaların dalga sırtları ile eşderinlik eğrileri arasındaki açılar (α) sığlaşma etkisi (refraction) nedeniyle kıyıya yaklaştıkça azalmaktadır. Derin su sınırında α_0 değerine sahip bu açı Şekil 4.17’de görüldüğü hangi başlangıç değerine sahip olurlarsa olsun kıyıya doğru yaklaştıkça küçülmektedir. Diğer bir deyişle açık denizden kıyıya doğru hangi açıyla gelirse gelsin kıyıya yaklaşan dalgalar yönlerini değiştirmekte ve kıyıya dik doğrultuda kıyıya ulaşmaktadır. Dalgalar kıyıya dik durumda gelmedikleri takdirde, deniz tabanında yer alan bir boru eksenine ile dalga geliş açısı arasındaki açı (θ) boru boyunca değişken olmaktadır.

Benzer şekilde deşarj borusuna etkiyen kuvvetlerin derinlikle değişimi incelendiğinde θ ’ya bağlı olarak değişmektedir (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19).



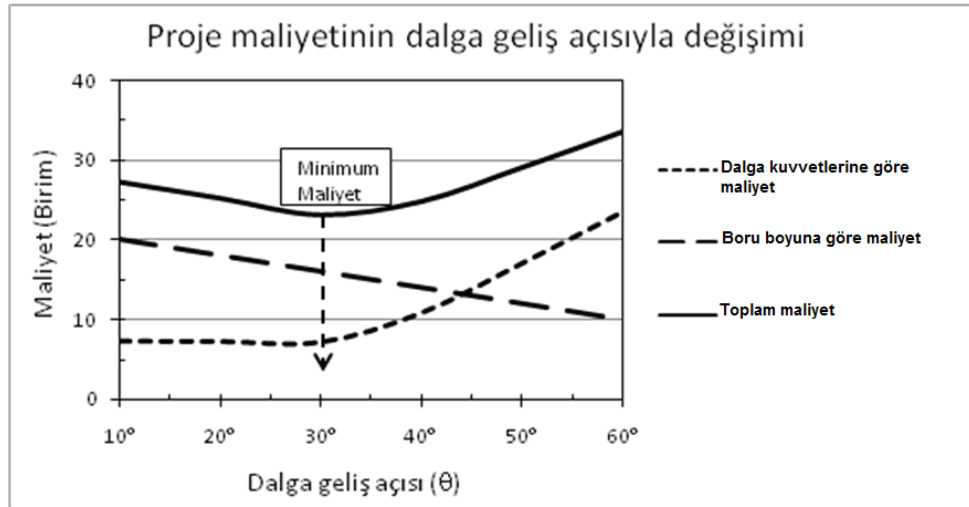
Şekil 4.18 Dalga kuvvetlerinin yatay bileşeni



Şekil 4.19 Dalga kuvvetlerinin düşey bileşeni

Yukarıdaki şekillerde (Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19) görüldüğü gibi deşarj borusuna gelen kuvvetler dalga geliş açısına dolayısıyla deşarj borusu ile dalga geliş yönü arasındaki açığa bağlı olarak değişmekte, dolayısıyla her derinlikte farklı kuvvetlerin boruya etkimesi söz konusu olmaktadır. Diğer taraftan boruya etkileyen dalga kuvvetlerinin kıyıya yaklaşıldıkça arttığı görülmektedir. Deşarj borusunun -10 m derinliklere kadar gömüldüğü dikkate alındığında, 10-35 m derinlik aralığında etkileyen kuvvetlerin kıyaslanması gerekecektir. Örneğin; derinsu sınırında (-35 m) 30° olan dalga geliş açısı (α_0) 20 m derinliklerde 28° 'ye düşmekte ve bu derinlikte etkileyen dalga kuvvetinin yatay bileşeninin değeri 7 kg/m mertebesinde olmaktadır ($\alpha_0=30^\circ$, $\alpha=28.1^\circ$, $d=-20$ m'de $F_{yatay}=7.2$ kg/m). Dalga geliş açısının 60° olması durumunda, bu kuvvetin aynı derinlikte ulaşacağı değer 24 kg/m mertebesinde ($\alpha_0=60^\circ$, $\alpha=54.6^\circ$, $d=-20$ m'de $F_{yatay}=23.6$ kg/m)

Yukarıdaki örnekten anlaşılacağı üzere, dalga ilerleme yönü ile deşarj borusu arasındaki açının 30° den 60° çıkması durumunda etkiyen dalga kuvveti üç kat daha fazla artmaktadır. Bu durumda boru stabilitesi için gerekecek tespit kütlelerinin ağırlıkları dolayısıyla maliyetler artacaktır. Özetle dalga geliş yönünün deşarj borusu doğrultusunda olması durumu en uygun seçenektir. Etkin dalga geliş yönlerinin deşarj borusu doğrultusunun sağından veya solunda olması durumunda boru doğrultusunu etkiyen kuvvetleri azaltacak şekilde değiştirmek mümkündür. Ancak bu durumda önceki bölümlerde açıklandığı üzere deşarj borusunun ulaşması gerekli derinlik şartından dolayı boru boyunu uzatmak gerekecektir. Bu durumda optimum güzergahın belirlenmesi problemi bir maliyet analizine dönüşecektir. Deşarj borusunun maliyeti dolayısıyla proje maliyeti açısından en uygun tasarım probleminin çözümü her alternatif için toplam proje maliyetinin belirlenmesiyle sonuçlanabilecektir. Dalga geliş yönünün etkiyen dalga kuvvetlerini ve boru boyunun değişmesi nedeniyle maliyetleri değiştirmesi aşağıdaki örnek şekilde (Şekil 4.20) daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.20 Dalga geliş yönüyle maliyetlerin değişimi

Kuşadası örneğinde bu durum incelendiğinde, batı yönünden gelen dalgaların deşarj borusuna etkiyen kuvvetleri artıracak anlaşılmaktadır. Nitekim tadilat projesi hazırlanırken bu durum dikkate alınarak yeni güzergahın biraz daha batıya

kaydırılmasına karar verilmiştir (Şekil 4.1). Ancak, Bölüm 3.1.5’de ve 4. Bölümün başında belirtildiği gibi, güzergah seçiminde diğer unsurlarda etkili olmaktadır. Nitekim Kuşadası’nda güzergahın dahada batıya kaydırılması deşarj hattının hemen batısında yeralan Kuşadası Kruvaziyer Limanının bulunması nedeniyle mümkün olmamıştır.

BÖLÜM BEŞ

İRDELEME VE SONUÇ

Deniz deşarjları tasarımında en uygun güzergahın belirlenmesi çok farklı değişkenlere bağlıdır. Planlama ve projelendirilme aşamalarında bu değişkenlerin her biri incelenerek ve güzergah seçiminde ne gibi etkilere sebep olacağı belirlenir. Bu etkiler sadece teknik konularla da sınırlı kalmayabilir. Turizm tesisi, askeri bölgeler, limanlara ulaşım hatları, demirleme sahaları, sit alanları gibi kısıtlayıcı etmenler en uygun güzergah seçimini etkileyebilmektedir. 4. bölümde açıklanan Kuşadası örneğinde olduğu gibi, güzergahın batı kısmında bulunan Kuşadası Kruvaziyer Limanını güzergah seçimini etkilemiştir.

Denizde yapılan inşaatların maliyetleri oldukça yüksektir. Proje üzerinde yapılacak küçük değişiklikler bile maliyet olarak büyük rakamlara tekabül edebilmektedir. İyi bir planlama, gerekli tüm verilerin toplanması ve iyi bir tasarım karşımıza en uygun inşaat ve işletme maliyetlerini getirecektir. Buradaki en uygundan kasıt, en ucuz maliyet değildir. Fen ve bilim kurallarına uygun, tasarım ömrü boyunca işletme anlamında büyük sorunlar çıkarmayacak ve çok özel durumlar dışında yıkılmasına veya bozulmasına sebep olacak etkileri karşılayabilecek tasarım ve inşaat maliyeti, en uygun maliyet anlamına gelmektedir.

Deniz deşarjı sistemlerinde tasarımı etkileyen faktörler tez kapsamında açıklanmıştır. Geçkinin yapılacağı bölgenin batimetrisi, geoteknik özellikleri, dalga yönleri ve özellikleri, varılması gereken derinlik ve kıyıdan uzaklık deşarj hattı tasarımını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bu hususların toplam maliyeti farklı yönlerde etkilemeleri en uygun güzergah seçimini zorlaştırmaktadır. Tezin ana bölümünü oluşturan Kuşadası örneğinde ise uygun güzergah seçimini etkileyen hidrodinamik kuvvetler, mühendislik hesaplarıyla beraber ele alınmıştır. Kuşadası örneğinin yapısal tasarım hesaplarında, gelen kuvvetlere karşı önlemler alınmasına sebep olabilecek akarsu ağzı, boğazlar ve gel-git gibi akıntılar olmaması sebebiyle sadece dalga hareketlerinin meydana getirdiği hidrodinamik kuvvetler dikkate alınmış, akıntılar ihmal edilmiştir. Doğru ve güvenilir bir projelendirme açısından tasarım dalgasının seçimi önem taşımaktadır. Kuşadası deniz deşarjı proje bölgesinde

rüzgarların meydana getirdiği dalgalar esas alınarak, tasarım dalgası hesapları yapılmıştır.

Kıyı kesimlerinde oluşan dalga ortogonalları ile deşarj hattı boru eksenini arasında oluşan açının değişmesinin, boru hattında oluşturduğu yatay ve düşey yükleri hangi mertebeye etkilediği Kuşadası deniz deşarjı projesinde irdelenmiş ve sonuçlar grafik olarak sunulmuştur. Sığlaşma etkisiyle kıyıya yaklaşan dalga sırtlarının eşderinlik eğrileri ile yaptığı açı azalır. Bu da dalga ilerleme yönü ile deşarj borusu arasındaki açının da azalmasına ve boru hattına etki eden kuvvetlerin değişmesine sebep olur. Derin su sınırından itibaren dalga hangi açıyla gelirse gelsin, kıyıya yaklaşmasıyla beraber, kıyı çizgisiyle yaptığı açı azalmakta, boruya etki eden dalga kuvvetleri ise artmaktadır. Dalga ilerleme yönü ve deşarj borusu arasındaki açının artması ise boru üzerine gelen kuvvetlerin artmasına sebep olmaktadır. Örneğin açının 30° den 60° 'ye çıkarılması, boru hattına gelen yatay ve düşey kuvvetleri üç kat arttırmaktadır. Geliş açısının değişmesinin yarattığı kuvvetlere bakarak en uygun durumun dalga geliş açısının deşarj hattı doğrultusunda olması durumu olduğu söylenebilir. Bu durum dalga kuvvetlerine göre en uygun maliyet anlamına da gelmektedir. Açının artmasıyla beraber maliyet de artacaktır. Fakat toplam maliyet sadece dalga kuvvetlerine bağlı değildir. Ayrıca boru hattı uzunluğu da maliyeti etkilemektedir. Boru hattı uzunluğu ile maliyet arasında ters orantı vardır. Dalga geliş açısının deşarj hattı doğrultusu ile yaptığı açının artması, eşderinlik eğrileri sebebiyle boru boyunun azalmasına ve maliyetin düşmesine sebep olmaktadır. En uygun maliyeti anlamak için dalga kuvvetlerine ve boru boyuna göre maliyetlerin beraber incelenmesi gerekir.

Kuşadası deşarj örneğinden yola çıkarak, sadece bir hususun değiştirilmesinin bile meydana gelecek etkileri büyük ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Deşarj borusu tasarımının aslında karmaşık bir optimizasyon problemi olduğu anlaşılmaktadır. Deşarj hattı güzergah seçimini etkileyecek faktörlerin her biri için ayrı maliyet analizleri çıkarılarak karşılaştırılmalıdır. Maliyet analizlerinin karşılaştırılması sonucu en uygun güzergahın belirlenmesi, tasarlanan projenin optimum inşaat maliyeti ile yapılmasını sağlayacaktır. Göz ardı edilmemesi gereken önemli bir konu

da projenin doğru bir şekilde uygulanması ve doğru bir şekilde işletilmesidir. Yapılan tasarım ne kadar iyi olursa olsun, yanlış uygulama ve yanlış işletme bütün emeklerin boşa gitmesine, yüksek rakamlı bakım ve tamir maliyetlerine sebep olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abraham, G.(1963). *Jet diffusion in stagnat ambient fluid*. Delft: Delft Hydraulics Laboratory, Publication No:29
- Berkün, M.(2006). *Atık su arıtma ve deniz deşarjı yapıları*. Ankara: Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş.
- Brooks, N.H.(1973). *Dispersion in hydrological and coastal environments*. Corvallis, OR: U.S. Environment Protection Agency.
- Cederwall, K.(1968). *Hydrols of marine waste water disposal*. Goteborg: Chalmers Inst.Tech.
- CEM. (2000). *Coastal engineering manual*. U.S. Army Coastal Eng. Res. Center.
- Deniz Araştırmaları*, (b.t.). 10 Temmuz 2009, <http://www.denizar.com/>
- Fan, N.L. ve Brooks, N.H.(1969). *Numerical solutions of turbulent buoyant jet problems*. California: California Institute of Technology
- Geo Ltd. Şti. (2001). *Foça deniz deşarjı ve arıtma tesisi geoteknik araştırma raporu*. İstanbul: TML-Cevtaş.
- Goda. (1985). *Design of maritime structures*. Tokyo: University of Tokyo Press.
- Grace.R.A. (1978). *Marine outfall systems, planning design and construction*. New Jersey: Prentice Hall.
- İller Bankası. (2002). *Ege bölgesi deniz deşarjları maliyet analizleri*. İzmir: İller Bankası İzmir Bölge Müdürlüğü.

İTÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarı Temel Parametre Analizleri, (b.t.).

25 Haziran 2009, <http://www.ins.itu.edu.tr/cevre/labor/index.htm>.

Karakaş, A.R., Ergül, E., Karabay, H.E., Aybek, H., Sağlam, M. (2005). *Küçüksu atıksu ön arıtma tesisi ve deniz deşarjı inşaatı*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Koliform Bakteri, (b.t.). 25 Haziran 2009.

http://www.tr.wikipedia.org/wiki/Koliform_bakteri

Kor, N. (1968). *Kullanılmış suların denize verilmesi ve İstanbul şehri için mansap imkanları*. İstanbul: İnşaat Mühendisliği Odası Yayınları.

Kuşadası Derin Deşarj Projesi. (2004), Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü Kuşatak Belediyeler Birliği Derin Deşarjı Projesi.

Kuşadası İlçesi Kadınlar Denizi Merkez Havzalarının Atık Suyu Deşarj Borusundaki Hasar Tespiti. (2008), Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü Hasar Raporu.

Kuşadası Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğü. (2008). *Kuşadası mevcut (merkez) derin deniz deşarj hattı tadilat projesi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

Massie, W. W. (1976). *Coastal engineering, vol, I, II, III*. Delft: The Netherlands Coastal Engineering Group Dept. of Tech.

Öztürk, İ. (1996). *Atıksu ön arıtma ve deniz deşarjı sistemleri*. İstanbul: İTÜ Yayınları.

Öztürk, İ., Yüksel, E. ve Aydın, A.F. (2002). *Foça atık su deniz deşarj hattı uygulama projesi raporu*. TML-Çevtaş Ortak Girişimi.

Resmi Gazete. (2004). *Su kirliliği kontrolü yönetmeliği*. Sayı :25687.

Salas, H.J. (1988). *Submarine outfalls general overview, basic design concepts and data requirements for Latin America and the Caribbean*. Lima: (CEPIS).

Sinai Araştırma A.Ş., (b.t.). 3 Temmuz 2009.

http://www.sinarinstruments.com/ph_olcumu.htm.

SPM(1984), *Shore protection manual Vol I, II*. Washington, DC : US Army Corps. Of Engineers.

TC Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (2007). *Kıyı yapıları ve limanlar malzeme, yapım, kontrol ve bakım onarım teknik esasları*. Ankara: Yüksel Proje.

Yalçın, Ö.B., ve Muhammetoğlu, A. (2005) *Antalya deniz deşarjından kaynaklanan kirleticilerin matematiksel tahmini*. Antalya: Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt 2, s. 654- 665.

Yılmaz, Ö ve Bakan, G. (b.t.). *Samsun-Atakum bölgesinin atık su arıtma stratejileri ve derin deniz deşarjı araştırması*. 2 Şubat 2009. <http://www.e-kutuphane.cmo.org.tr/pdf/958.pdf>