

# DENİZALTI BORU HATLARILARININ TASARIMI

Y. YÜKSEL ve E. ÇEVİK

Yıldız Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi  
80750 Yıldız /İstanbul

## 1. GİRİŞ

Kıyı mühendisliğinin uygulama ve araştırma konularından biri olan denizaltı boru hatları günümüzde yaygın olarak kullanılan önemli bir deniz yapısıdır. Bu yapılar deniz dışarı hatları, soğutma suyu boru hatları, petrol nakil hatları, doğal gaz boruları gibi v.b. amaçlar ile benzer yapıya sahip enerji nakil ve haberleşme amaçlı kablolar olarak inşa edilmektedirler. Kıyı mühendisliğinde denizaltı boru hatları deniz tabanından itibaren değişik konumlarda yerleştirilebilen yatay silindirik yapılar olarak dikkate alınarak incelenirler.

Bu yapıların dizaynında ve uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle halen araştırmacıların üzerinde çalıştıkları güncel bir konu olma özelliğini sürdürmektedir. Ayrıca denizlerde bulunarak çıkarılmaya çalışılan petrol ve doğal gaz kaynakları boru hatlarının her geçen gün daha uzun ve büyük çapta inşa etme zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Bunun dışında deniz aşırı ülkeler arası ticaretin gelişmesiyle birlikte su, petrol, doğal gaz gibi kaynaklardan (su, petrol, doğal gaz gibi) yoksun ülkelerin ucuz bir taşımacılık yöntemi olarak bu tip yapıları nakil aracı olarak seçmelerine neden olmaktadır.

Denizaltına döşenen boru hatları ve kablolar dalga ve akıntı gibi çevresel yüklerin etkisinde stabilitelerini koruyarak proje ömürleri boyunca hizmetlerini sürdürmelidirler. Çünkü hizmetleri süresince kara yapılarına göre çok daha fazla olumsuz çevresel etkinin tesirinde kalabilecek olan bu tip yapıların, inşa edilmelerinde kara yapıları ile mukayese edildiğinde oldukça zahmetli ve pahalıdır.

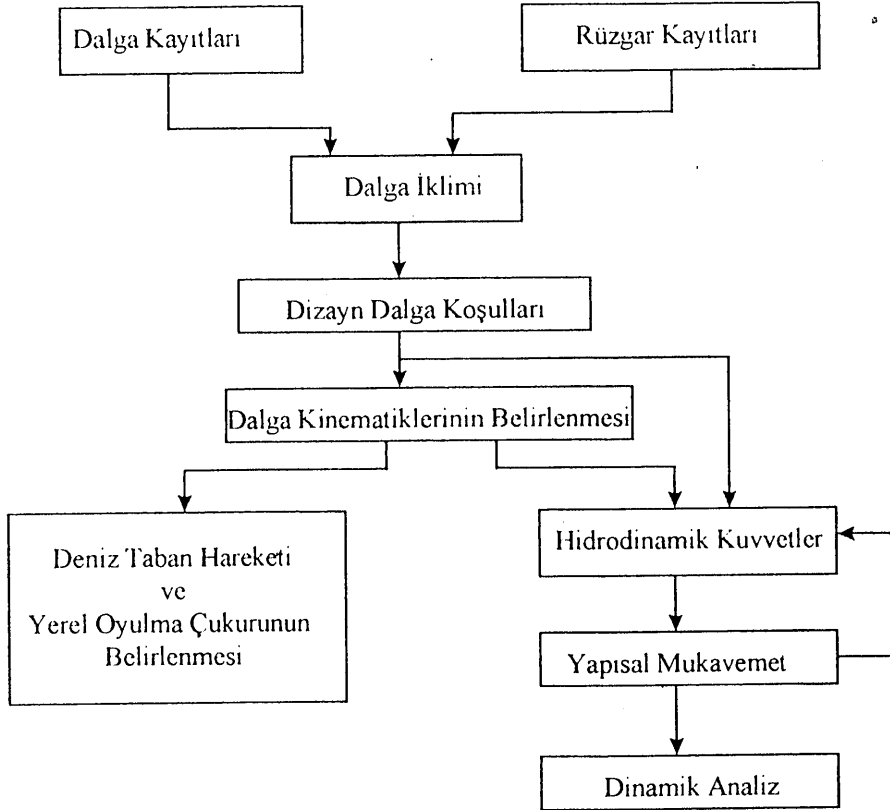
Denizaltı boru hatları çevresel yüklerin haricinde deniz taşımacılığı (deniz araçlarının demirleme etkileri gibi), yapıldıkları malzemenin cinsi (korozyon, kırılma gibi), ve balıkçılık (balık sürülerini tarama nedeniyle ağların takılarak yapının zarar görmesi) türünden istenmeyen kaza yüklerini de maruz kalarak hasar görebilirler. Görüldüğü gibi başarılı bir dizayn ancak çok sayıdaki önemli faktörün birarada düşünülmesiyle gerçekleştirilebilmektedir.

## 2. DİZAYN PARAMETRELERİ

Denizaltı boru hatları genellikle kıyından itibaren kırılan dalgaların neden olduğu aşırı dalga yüklerinden korunmak amacıyla kırılma derinliğine kadar gömülerek geçirilirler, daha sonra tabana serbestçe oturtularak beton bloklar yardımıyla stabiliteyi sağlanmaya çalışılır. Ancak gömme işlemi her zaman mümkün olmayabilir, bu durumda zemin şartlarına bağlı olarak boru hattının stabilitesi farklı yöntemler ile belirlenen dalga yüklerine karşı korunmaya çalışılır.

Dalga-akıntı gibi çevresel yüklerin haricinde deniz taban hareketi de boru hatlarının stabilitesi açısından çözülmesi gereken önemli bir problemidir. Gerek boru hatları etrafında meydana gelen yerel oyuma problemi gerekse özellikle sığlaşma bölgesindeki kıyı boyu ve kıyıya dik taban hareketleri nedeniyle boru-hareketli taban etkileşimi dizayn aşamasında gözönüne alınması gereken stabilite bozucu etkenlerden biridir. Bilindiği gibi yerel oyulma çukurunun oluşmasıyla birlikte borularda sarkma ve kendi kendini gömme işlemi meydana gelmektedir. Ayrıca çeşitli kesitlerden mesnetlenen boru hatlarının bu mesnetlerinde çökmeler meydana gelebilmektedir. Bu yapısal davranışlarda boru hatlarının kırılmalarına neden olmaktadır.

Denizaltı boru hatlarının dizaynı aşağıda gösterilen akış şeması doğrultusunda yapılır ;



Şekil 1-Akış şeması

Şekil 1'den görüldüğü gibi boru hatlarının dizaynı detaylı bir dalga iklimi çalışmasıyla başlamaktadır. Bu işlem gerek hidrodinamik dalga yüklerinin, gerekse deniz taban hareketinin belirlenmesi açısından son derece önemlidir. Dizayn esnasında yapılması gereken diğer bir aşama ise proje sahasındaki ölçümlerdir. Bunlar deniz batimetrisinin belirlenmesi, akıntı ölçümleri ve gerekli ise sıcaklık, tuzluluk gibi parametrelerin tespit edilmesi olarak sıralanabilir. Bu ölçümler ne kadar uzun süreli gözlemlere dayanıyorsa elde edilen veriler okadar sağlıklı olur. Batimetri ölçümlerinin amacı sadece deniz taban topografyasının belirlenmesi değil aynı zamanda kıyı profilinin değişimi hakkında fikir vermesi açısından önemlidir. Akıntı ölçümlerinin farklı derinliklerde yön ve şiddetlerin belirlenmesi ve bunların

mevsimsel değişimlerinin de tespit edilmesi gerekmektedir. Ayrıca proje sahasında daha önce yapılmış diğer deniz yapıları ile ilgili dökümanlardan ve tecrübelerden faydanılmalıdır. Böylece karşılaşılması muhtemel istenmeyen çevresel etkenler varsa belirlenmiş olacaktır.

Dalga iklimi çalışmasıyla belirlenen dizayn dalgası ve varsa akıntı yapısı ile ilgili ölçümlerden elde edilen veriler değerlendirildikten sonra uygun dalga teorileri kullanılarak dalga kinematiklerinin hesabına geçilir. Su partiküllerine ait yörüngesel hız ve ivme değerleri dalganın sığlaşma hesabı yapıldıktan sonra derinlikle değişen dalga özelliklerine bağlı olarak seçilen dalga teorisi yardımıyla bulunmalıdır. Eęer ortamda akıntı varsa vektörel olarak akıntı hızının su partiküllerinin yörüngesel hızına ilave edilmesi, hidrodinamik kuvvetlerin belirlenmesinde yeterli olacaktır.

Hidrodinamik kuvvetlerin bulunmasında kullanılan en yaygın yöntem Morrison denkleminin uygulanmasıdır. Bir boru hattına normal doğrultuda gelen dalga kuvveti Morrison denklemi

$$F = F_D + F_I = \frac{1}{2} C_D \rho |U_m| U_m D + C_m \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (1)$$

ile belirlenmektedir.

Burada ;

$F_D$  = Hidrodinamik direnç kuvveti

$F_I$  = Hidrodinamik atalet kuvveti

$C_D$  = Direnç katsayısı

$C_m$  = Atalet katsayısı

$D$  = Boru çapı

$U_m$  = Maksimum yörüngesel hız

$\frac{\partial U}{\partial t}$  = İvme

$\rho$  = Suyun özgül kütlesi

şekil 2'de görülen yatayla  $\beta$  açısı yapan deniz tabanına serbestçe oturan boru hattına tesir eden hidrodinamik kuvvetler, ortamda boru ile  $\Phi$  açısı yapan kararlı üniform  $V$  hızına sahip bir akıntının mevcut olması durumunda boru ile  $\theta$  açısı yapan dalgaya ait hızı  $U$ , ivmesi  $\frac{\partial U}{\partial t}$  olan su partiküllerinin kinematiklerinin birlikte dikkate alınmasıyla hesaplanırlar. Ayrıca boru hattı üzerine etkili hidrodinamik kaldırma kuvveti

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

ile ifade edilmektedir. Burada;

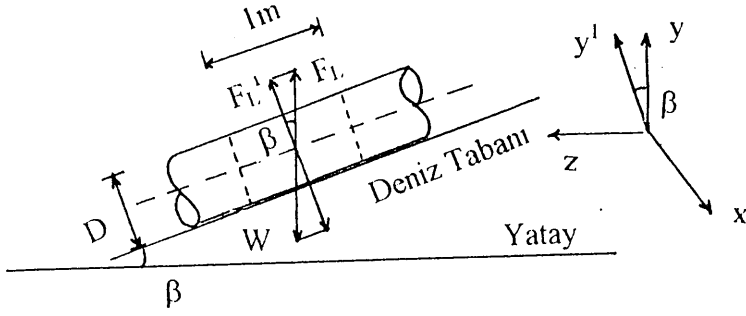
$F_L$  = Hidrodinamik kaldırma kuvveti

$C_L$  = Kaldırma katsayısıdır.

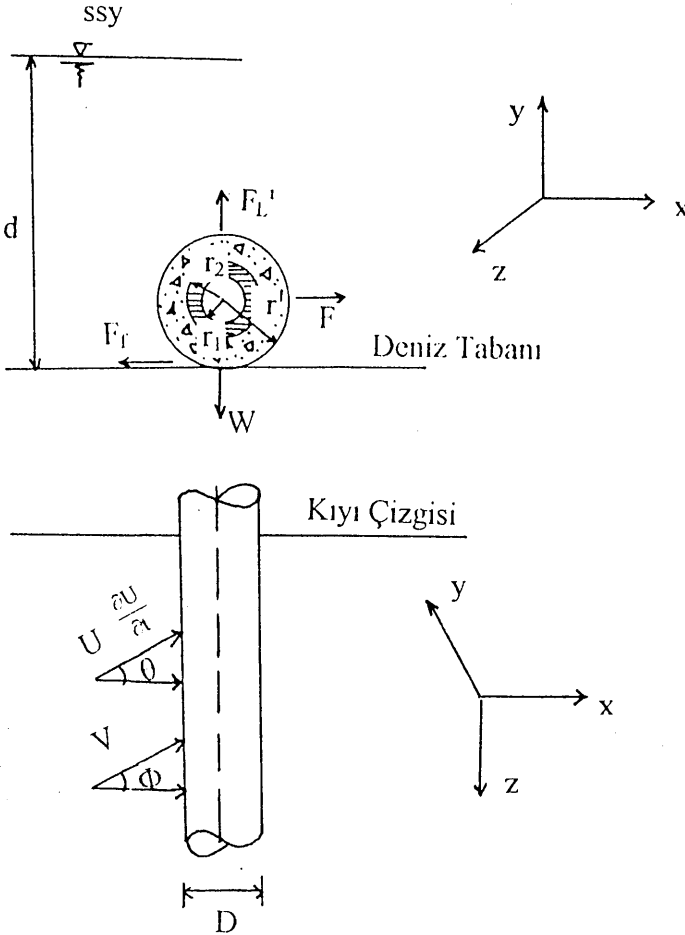
Hidrodinamik katsayılar Keulegan-Carpenter sayısı ( $KC=U_m T/D$ ), Reynolds sayısı ( $Re=U_m D/\nu$ ) ve açıklık oranının ( $G/D$  burada  $G$  boru ile taban arasındaki açıklık miktarıdır) fonksiyonudur. Batmış haldeki ağırlığı  $W$  ile gösterilen borunun yerinde stabil olarak kalabilmesi için

$$F < \mu(W - F_L) \quad (3)$$

şartının sağlanması gerekmektedir, burada  $\mu$  boru ile taban arasındaki sürtünme faktörüdür. Şekil 3'de bir boru hattına etkili olan kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 2- Boru hattının boyuna kesiti.



Şekil 3-a) Boru hattının enine kesiti,  
b) Boru hattının plandaki durumu.

Çevresel yüklerin hesabından sonra boru hattının yapısal mukavemetinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için gerilme ve eğilme momentleri bulunur. Borunun stabilitesi eğilme momentine göre dinamik analiz yardımıyla kontrol edilmelidir.

Ayrıca boru hatlarının serme işlemi sırasında maruz kalacağı yüklerde hesap edilmek zorundadır. Literatürde farklı serme işlemlerinden bahsedilmektedir. Bunlar; çekme metodu, yüzdürme metodu, makaralı sal metodu ve stinger metodu olarak sıralanabilir. Serme sırasında borunun maruz kalacağı eğilme momentinin hesaplanarak borunun buna karşı dayanımında sağlanmalıdır.

Boru hatlarının boyutlandırılması ile ilgili algoritma üç ana kısma ayrılır, bunlar; a) Boru et kalınlığının eğilme burkulma veya iç basınca göre tesbiti, b) Birim ağırlığının tesbiti (Bu aslında borunun stabilitesini sağlayacak beton tabaka kalınlığının bulunması demektir), c) Serme işlemi sırasında eğilme momentinin kabul edilebilen sınırlar içerisinde kalması belirlenmelidir.

Yerine konulan boru hatlarının taban hareketlerinden korunması amacıyla deniz taban stabilitesinin dalga tesirleri altında ve/veya varsa akıntı durumuna karşı stabil malzeme sermek suretiyle sağlanması gerekmektedir. Ayrıca denizaltı boru hatlarının işletmeleri sırasında periyodik bakımlarının yapılması, proje ömürlerinin artırılması açısından son derece önemlidir.

### 3. SONUÇ

Bahsedildiği gibi gelişen deniz yapılarına ait teknolojinin bir parçası olan denizaltı boru hatlarının dizaynı, çok sayıda etkili parametrenin bir arada olduğu oldukça karmaşık bir problemdir. En küçük dizayn hatası bu yapıların inşaatı, ya da yerine yerleştirilmelerinden çok kısa bir zaman içinde kırılmalarına yol açacağı pratikte karşılaşılan tecrübelerden bilinen bir gerçektir. Hemen hemen tüm kıyı mühendisliği uygulamalarının birarada bulunduğu bu deniz yapılarının dizaynı için, konu ile ihtisas sahibi olmuş ve kazanılan tecrübeler ile bilgilerini projeye aktarabilen uzmanların birlikte çalışarak tasarımı titizlikle yapmaları, gerek ekonomik açıdan gerekse çevreye verilebilecek zararlar açısından son derece önemlidir.

