

## **GEMİ USKURLARININ OLUŞTURDUĞU JETİN RIHTIMLARDA NEDEN OLDUĞU YEREL EROZYON**

**Araş.Gör. Yüksel, A., Prof.Dr.Yüksel, Y., Y.Doç.Dr. Çelikoğlu, Y.,  
Y.Doç.Dr. Çevik, E.**

Yıldız Teknik Üniv., İnşaat Müh. Böl., 80750 Yıldız, Beşiktaş, İSTANBUL

### **ÖZET**

Son yıllarda taşımacılık hacminin artması daha güçlü daha büyük gemilerin inşasına neden olmuştur. Limanlarda yanaşma yerleri açık (kazıklı rıhtımlar gibi) ve kapalı (ağırlıklı blok rıhtımlar gibi) yapılar halinde inşa edilmektedir. Limanlarda son yıllarda işletme açısından gerçekleştirilen önemli gelişmeler, limanların bugüne kadar ciddi olarak karşılaşmadıkları problemlerle karşılaşmalarına neden olmuştur. Yapılan istatistiklerden, gemilerin gerek ana pervanelerinden gerekse bodoslama pervanelerinden çıkan jet akımının taban erozyonuna neden olduğu belirlenmiştir. Gemilerin yanaşma ve ayrılmaları sırasında yanaşma yapılarının temellerinde yerel oyulma problemine neden olmaktadır ve bu durumda yapıların stabiliteyi bozulabilmektedir. Bu amaçla bugüne kadar yapılan çalışmaların dışında PIANC(1997)'in hazırlamış olduğu bir tasarım kitabı mevcuttur. Ancak yapılan literatür çalışmaları, bu konuda yeterli araştırmanın mevcut olmadığı yönündedir. Bu çalışmada,gerek

açık gerekse kapalı yapılarda yapılan çalışmalar özetlenerek, olayın mekanizması izah edilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Hidrolik yapıların mansap bölgelerinde, örneğin menfez çıkışlarında, kapak altlarında veya dolu savaklarda meydana gelen yerel oyulmalara su jetleri neden olmaktadır. Oyulmanın bu çeşidi gemilerin pervanelerinden çıkan su jetinin etkisi altında, rıhtım duvarlarında ve kazıklar etrafında meydana gelen erozyon ile benzeşmektedir. Manevra yapan gemilerin pervane suyu navigasyon kanallarında veya limanlarda ciddi erozyon problemlerine neden olmaktadır. Deniz yatağı ve navigasyon kanallarının şevleri, limanların eğimli kıyıları, rıhtım duvarları ve kazıklı yapılar bu problemin meydana gelebileceği bazı bölgelerdir. Eğer, gemiler manevralarını bu yapılardan uzakta yapıyorsa deniz yatağındaki ve kanalların şevlerindeki erozyon liman yapılarının temellerinde etkili olmamaktadır. Bununla birlikte erozyona uğrayan malzeme limanların belli bölgesinde yığılarak kanalın su kesimini azalmasına ve böylece navigasyonu etkilemektedir. Liman yapısının yakınında, gemi yanaşma ve ayrılma faaliyetleri eğimli anroşman kıyılarda, rıhtım duvarlarında ve kazıkların etrafında ciddi bir erozyon meydana getirmektedir. Sığ su derinliğinde pervaneden kaynaklanan su jeti erozyonun miktarını çoğaltmaktadır. Projelendirme sırasında erozyon problemlerinin yaratacağı elverişsiz şartlar dikkate alınmadığında liman yapılarının temellerinde oyulmalar oluşabilmektedir.

Son yıllarda limanların bakımı ve projelendirilmesinde pervanelerin meydana getirdiği oyulma problemleri önemli miktarda artmıştır. Genellikle modern gemilerin seyir hızlarını daha hızlı yapmak için yüksek güçte makineler ve kolay manevra yapmak için de yan pervaneler teçhiz edilmektedir. İşletme ve ekonomik nedenler yüzünden şimdi birçok modern gemi kendi güçlerinin altında, römorkörlerin yardımı olmaksızın kısa bir zamanda yanaşmayı başarabilmektedirler. Bu faktörler, gemi pervanelerinin meydana getirdiği zararların daha sık meydana gelmesine neden olmaktadır. Bergh ve Cederwall'in (1981) İsveç limanlarında,

pervanelerin meydana getirdiği zararlar üzerine yürüttüğü bir araştırmada, incelenen 53 rıhtımdan 18'inin zarar görmüş olduğu ve bunlardan 16'sının 10 yıllık periyot boyunca (1969-1978) meydana geldiği bulunmuştur. McKillen (1985), İrlanda'daki birçok rıhtımın pervane jetleri nedeniyle olumsuz bir şekilde zarar gördüğünü ifade etmiştir. Singapur'da 1970'den önce inşa edilen birçok rıhtım, pervane oyulmaları nedeniyle zarar görmüştür ve tamir edilmeleri birkaç milyona mal olmuştur. Pervanelerin neden olduğu oyulma problemlerinden bazıları bu limanların fiziksel modelleri kullanılarak deneysel bir şekilde incelenmiştir.

Ro-ro gemileri yüklerini yanaşma yerinde kapak atma rampa sistemine yanaşarak boşaltmaları esnasında ve bazı gemilerin de manevra işlemi sırasında bodoslama pervanelerini kullanmaları nedeniyle rıhtım yapıları pervanelerin su jetlerinin etkisinde kalmaktadırlar. Gemilerin demirlemeleri ve demir almaları sırasında pervane suyu ile oluşan katı madde hareketi oyulmayla birlikte yığılmaya da neden olabilmektedir ve bu da yanaşma yerlerinin stabilitelelerini etkilemektedir. Pervanelerin meydana getirdiği bu oyulma problemlerinin artması artık uluslararası bir sorun haline gelmiştir.

Birçok çalışmada rıhtım yapılarında pervane suyunun oluşturduğu zararların yarattığı problemler sınıflandırılmıştır. Bütün bu çalışmalarda problemlerin, rıhtım duvarına tesir eden ana pervanelerin veya bodoslama pervanelerinin neden olduğu su jetinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu iki durum, geminin direk kıç tarafından rıhtıma yanaşmasını ve rıhtıma paralel manevra yaparken bodoslama pervaneleri kullanılmasını içermektedir.

Bergh ve Cederwall'in (1981) İsveç limanlarında, pervanelerin meydana getirdiği zararlar üzerine yürüttüğü bir araştırmada, incelenen 53 rıhtımdan 18'inin zarar gördüğünü ve bunlardan 16'sının 10 yıllık periyot boyunca (1969-1978) meydana geldiği belirlenmiştir. Bu araştırmada, Stockholm Limanı'nda ahşap palplanş rıhtımın arkasında toprak kaymasının meydana geldiği de belirtilmiştir. Singapur'da 1970'den önce inşa edilen birçok rıhtım, pervane oyulmaları nedeniyle zarar görmüştür ve tamir edilmeleri birkaç milyon dolara mal olmuştur. Pervanelerin neden olduğu oyulma problemlerinden bazıları bu limanların fiziksel modelleri kullanılarak deneysel bir şekilde incelenmiştir.

Mc Killen (1985) Kuzey İrlanda'daki Larne Limanı'nda yaptığı araştırmada su jetinin neden olduğu erozyon sonucu palplanşların stabilitelerinin bozulduğu ve bu nedenle ro-ro'nun yanaşması sırasında problemlerle karşılaştığını belirtmiştir.

Chait (1987) Güney Afrika limanlarında yaptığı çalışmada, en büyük zararın Elizabeth Limanı'nda meydana geldiğini belirlemiştir. Elizabeth Limanı'ndaki oluşan bu zarar nedeniyle manevra sırasında bodoslama pervanelerinin kullanılmasına sınırlama getirilmiştir. Lange (1987)'nin yürütücülüğünde Fransa limanlarında yapılan çalışmalarda, erozyon problemlerinin manevra sırasında bodoslama pervanelerinin veya ana pervanelerin çalışmasına bağlı olduğu belirlenmiş ve erozyon problemi olan 29 iskele teşhis edilmiştir.

Quarrain (1994) pervanelerin İngiliz limanlarında neden olduğu hasarı araştırmıştır. Bu araştırmada, büyük limanların %42'sinde hasar olduğunu, bunlardan %29'unun onarım gerektiren ciddi hasarlar olduğunu belirlemiştir.

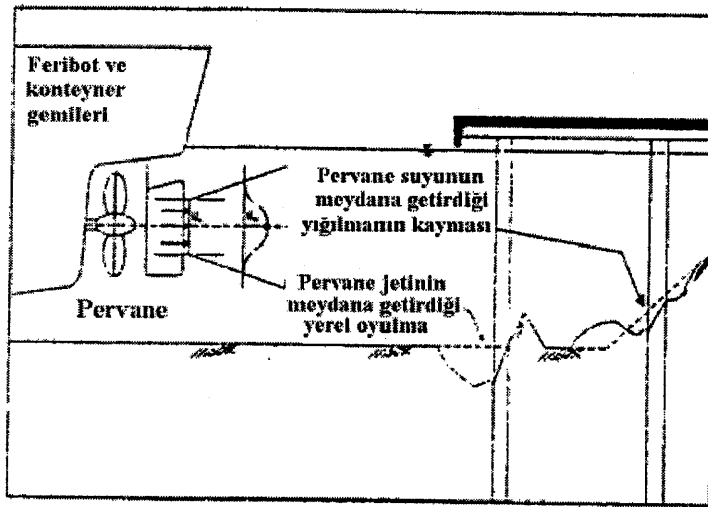
## **2.RIHTIM YAPI TİPLERİNE GÖRE EROZYON MEKANİZMASI**

### **2.1 Açık Yapılarda Erozyon Mekanizması**

Şekil 1'de görüldüğü gibi kazıklı olarak tasarlanan yanaşma yapılarında, gemi pervanelerinin yarattığı su jeti, bu kazık ya da kazık grupları etrafında erozyona neden olmaktadır.

Chin ve diğ. (1996) yaptıkları çalışmada üç farklı boyutta tank ve yine üç farklı granülometriye sahip taban malzemesi kullanmıştır. Tankın içinde, taban malzemesinin bulunduğu kısım her iki taraftan bir rijit taban ile desteklenmiştir. Böylece oluşturulan deney sistemine yerleştirilen bir orifis yardımıyla duvar jeti modeli oluşturulmuştur. Deneyler iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada su jetinin kazık olmadan yarattığı değişimler incelenmiştir. Tabanda dengenin ortalama 36-48 saatte oluştuğu belirlenmiştir. İkinci aşamada

ise kazık kum tabana ve tam jet eksenine yerleştirilmiştir. Jet ise hareketli bir platformun ucuna yerleştirilmiştir. Böylece jet ile kazık arasındaki uzaklık ayarlanabilmektedir. Deneyler boyunca pompa zaman zaman durdurularak oyulmadaki değişimler de ölçülmüştür. Kuyruk suyu rölatif olarak daha derin olması nedeniyle pompanın tekrar tekrar çalışıp durması, oyulma çukurunun boyutlarında bir değişim yaratmadığı belirlenmiştir. Kazık halinde oyulma derinliğinde dengeye dört saat sonra ulaşılmıştır.



Şekil 1. Pervane jetinin deniz tabanında meydana getirdiği oyulma (Chin ve diğ., 1996)

Olaya etkin büyüklükler arasında yapılan boyut analizi sonucunda iki farklı oyulma derinliği tanımlanmıştır. Bunlardan birincisi, kazığın memba kısmında meydana gelen maksimum oyulma derinliği ( $S_s$ ), ikincisi ise kazığın hemen önündeki maksimum oyulma ( $S$ ) derinliğidir.

Denge durumu aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\frac{S_s}{d_0} \text{ veya } \frac{S}{d_0} = f \left( F_0, \frac{X_i}{d}, \frac{D}{d_0} \right) \quad (1)$$

Burada,  $D$  kazık çapı,  $d_0$  duvar jetinin çapı,  $d$  su derinliği,  $Fr_0$  yoğunluk Froude sayısı,  $Fr_0 = U_0 / \sqrt{gd_{50}(\rho_s - \rho/\rho)}$ ,  $U_0$  duvar jetinin ortalama çıkış hızı,  $\rho_s$  taban malzemesinin özgül kütlesi,  $\rho$  akışkanın özgül kütlesi,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $X_i$  etki mesafesi (Duvar jetinin çıkış noktası ile kazık arasındaki yatay mesafe) ile ifade edilmiştir.

Rajaratnam ve Berry (1977) ve Lim (1995b) yaptıkları çalışmada,  $(d_{50}/d_0)$  oranının maksimum oyulma derinliğinin denge hali üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceğini bulmuşlardır. Tam türbülanslı akımlar için Reynolds sayısının etkisi ihmal edilmektedir. Bunların yanı sıra, bu çalışmalarda sadece batık jet hali göz önüne alınmış ve sabit  $\rho_s$  ve  $\sigma_g$  'ye sahip üniform taban malzemeleri kullanılmıştır.

Düşey bir kazık etrafında gelişen oyulma Chin ve diğ.(1996) tarafından etkili iki temel mekanizma ile belirlenmiştir. Bunlar, kazık ve jetin difüzyon mekanizmasıdır.

### **Kazık mekanizması**

Kazık nedeniyle jet akımının taşımsal akım ivmesinde meydana gelen değişim ve kazığın durgunluk yüzeyi boyunca yapılanan düşey akım kazık mekanizmasını oluşturmaktadır. Bu mekanizma, köprü ayaklarında oluşan yerel oyulma mekanizmasına oldukça benzemektedir. Kazık etrafındaki oyulma çukuru geliştikçe jetin düşey bileşeni dolayısıyla negatif düşey akım hızının artmasından dolayı daha fazla akımın oyulma çukuruna doğru yöneldiği belirlenmiştir. Bu olayın tam karşıtı ise kazığın durgunluk yüzeyi boyunca yukarıya doğru yönlene pozitif düşey akım hızıdır.

İlk aşamada, kazık etrafındaki erozyon gelişiminde yerel ivme etkili iken, daha sonra negatif akım hızının ve onun neden olduğu atnalı vorteksin daha etkili olduğu görülmüştür. Oyulma çukuru geliştikçe, taban malzemesi vorteks mekanizması ile meydana gelen çevrintili akım yapısı nedeniyle oyulma çukurunun mansabında kum eşiğine benzeyen bir yığılma meydana getirmektedir. Denge durumuna ulaşıldığında eşik şev açısının, taban malzemesinin sakin durumundaki içsel sürtünme açısı ile aynı olduğu kabul edilmektedir.

## Jet difüzyon mekanizması

Oyulmaya neden olan başlıca etkenin jet hızı olduğu bilinmektedir. Dairesel türbülanslı jetin neden olduğu taban erozyonunun bir duvar jetinin kazık olmadan meydana getirdiği oyulma ile benzer olduğu belirlenmiştir. Oyulma çukurunun mansabında erozyona uğrayan katı maddenin davranışı kazık mekanizmasında tanımlanan başlangıç aşamasına benzerdir. Oyulma çukurunun denge konumuna taban kayma gerilmesinin ve türbülans çalkantılarının artık taban malzemesini hareket ettiremediği durumda ulaşılmaktadır. Bu durumda, katı madde çukurun art-iz bölgesinde artık daha fazla mansaba taşınmamaktadır.

Chin ve diğ.(1996)'nin çalışmasından oyulma derinliğinin ilk bir saat içinde maksimum denge derinliğinin % 80'ine ulaştığı tespit edilmiştir.

Düşük değerdeki Froude sayılarında ( $Fr_0=9.87$ ), başlangıçta kazık önünde oyulmanın sıfır olduğu ve zaman geçtikçe erozyona uğramış taban malzemesinin kazığın mansabına geçerek yığıldığı ve çok küçük oyulmanın meydana geldiği görülmüştür. Düşük ve orta değerdeki Froude sayılarında ( $Fr_0=9.87-17.5$ ) oyulma derinliğinin kazıktan belli bir uzaklıkta pozitif bir değer aldığı belirlenmiştir. Daha yüksek Froude sayılarında ise kazığın önünde hiç yığılma meydana gelmeksizin hızlı bir oyulma çukurunun geliştiği gözlemlenmiştir.

Büyük Froude sayısında ( $Fr_0=62.3$ ) jet uzaklığı,  $X_i$  ve kazık önündeki oyulma derinliği, S arasındaki ilişki belirlenmiştir. Başlangıçta S'in hızla arttığı ve daha sonra zamanla bu artış oranının azaldığı görülmüştür.  $X_i$ 'nin değeri arttıkça S üzerindeki etkisinin azaldığı tespit edilmiştir. Oyulma derinliği geliştikçe,  $X_i$ 'nin S üzerindeki etkisi yaklaşık 20 dakikadan sonra ihmal edilebilir hale gelmektedir.

Denge halindeki bir oyulma çukuru, oyulma bölgesi ve yığılma bölgesi olarak ikiye ayrılmıştır. Oyulma mekanizması, rölatif jet uzaklığı ( $X_i/d_o$ ) temel alınarak dört farklı şekilde belirlenmiştir.

**I. Tip oyulma profili:** Bu tip oyulmada, büyük Fr sayısı ve küçük rölatif jet uzaklığı ( $X_i/d_o$ ) dikkate alınmıştır. Oyulmanın gelişimi üzerinde etkin olan büyüklük kazık mekanizmasıdır. Kazık etrafındaki oyulmanın simetrik olduğu gözlemlenmiştir. Kazığın önünde meydana gelen oyulma, orifisin altındaki taban malzemesinin oyulmasına ve orifisin sarkmasına neden olmuştur. Kazığın arkasında meydana gelen yığılma ise ikizkenar üçgen bir kesit ve yarım daire şeklini almaktadır. Maksimum oyulma daima kazığın önünde meydana gelmektedir ( $S = S_s$ ). (Şekil 2.)

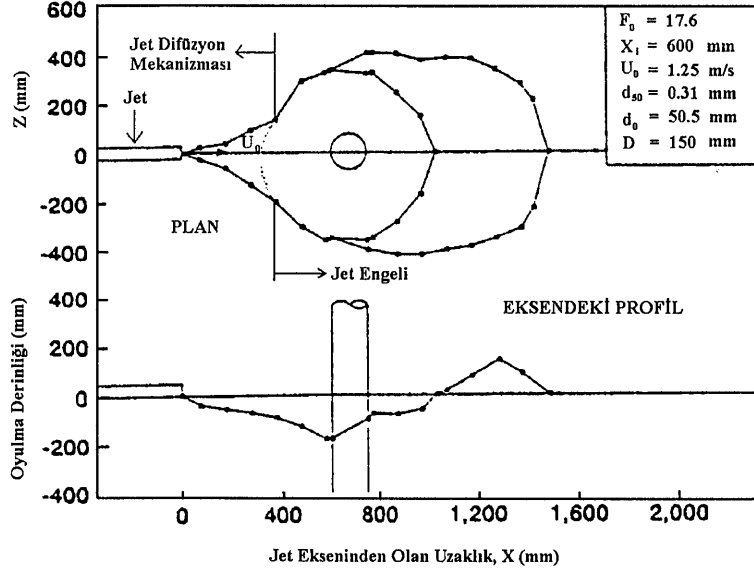
**II. Tip oyulma profili:** Bu tip oyulmada, çok büyük rölatif jet uzaklığı ( $X_i/d_o$ ) ve/veya küçük Fr sayısı dikkate alınmıştır. Oyulmanın gelişimi üzerinde etkin olan büyüklük jet difüzyonudur. Kazık oyulmanın gelişimini etkilemeyecek kadar uzağa konmuştur. Böylece, oluşan profilin duvar jetinin kazık olmadan meydana getirdiği profille aynı olduğu ve yığılma bölgesinin birinci tip oyulma profili ile aynı şekli aldığı gözlemlenmiştir. Kazık önünde ise oyulma meydana gelmemiştir ( $S = 0$ ). (Şekil 3)

**III. Tip oyulma profili:** Orta değerde ( $Fr = 17.6$ ) Fr sayısı ve jetin kazığa yaklaştırılması için incelenen profildir. Bu tip oyulmada, oyulma çukurundaki kazığın ön yüzünde iki farklı bölge meydana geldiği görülmüştür. Birinci bölge, jet ekseninde kazığın önündeki belli bir bölgeye kadar yayılmaktadır. Bu bölgede erozyonun gelişimi üzerindeki en önemli etken jet difüzyon mekanizmasıdır. İkinci bölge ise kazık etrafındaki oyulma çukurudur. Burada erozyonun gelişimi üzerindeki en önemli etken ise kazık mekanizmasıdır. Maksimum denge oyulma derinliği ya kazığın memba yüzünde ( $S = S_s$ ) ya da biraz önünde ( $S < S_s$ ) meydana gelmiştir. (Şekil 4.)

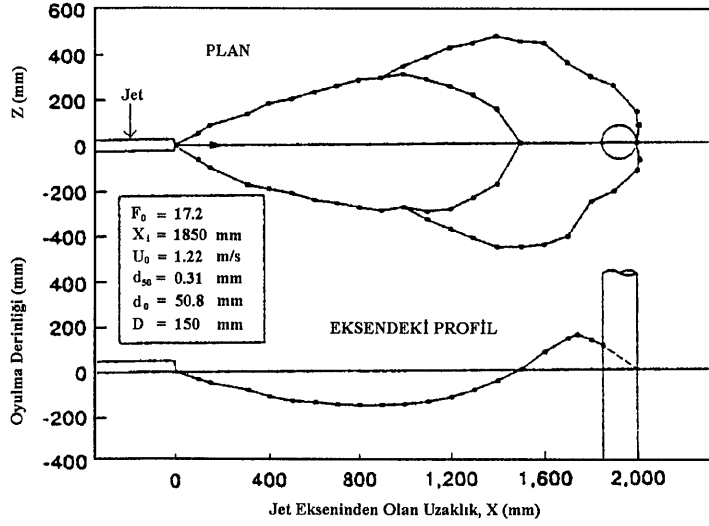
**IV. Tip Oyulma Profili:** Orta büyüklükte ( $Fr = 17.2$ ) Fr sayısı ve jetin kazıktan uzaklaştırılması için incelenen profildir. Bu tip bir oyulma, yığılma bölgesine yerleştirilmiş bir kazık ile ifade edilmiştir. Oyulma bölgesi profilinin hemen hemen ikinci tip oyulma profili ile aynı olduğu ve maksimum oyulma derinliğinin oyulma bölgesinde meydana geldiği görülmüştür. Oyulma bölgesinden aşınan taban malzemesi kazığın etrafında yığılmış ve







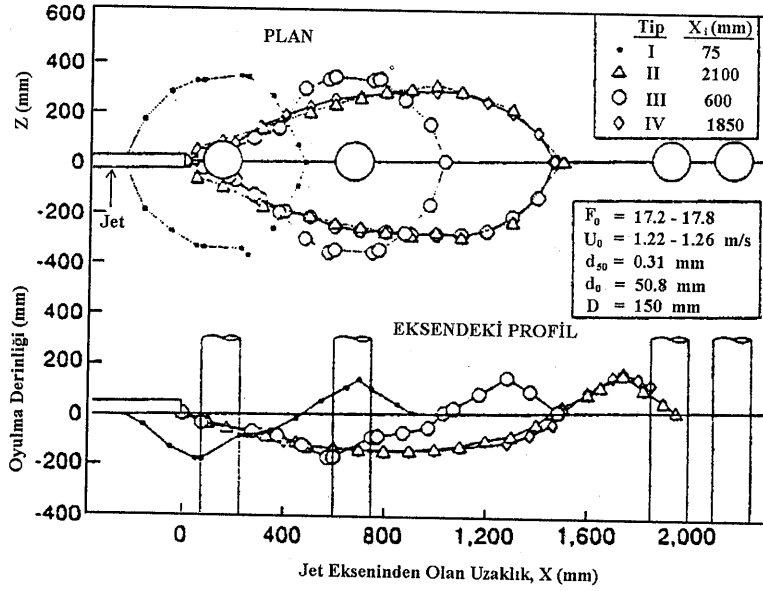
Şekil 4. III. Tip Oyulma Profili (Chin ve diğ., 1996)



Şekil 5. IV. Tip Oyulma Profili (Chin ve diğ., 1996)

Yukarıdaki dört profil karşılaştırıldığında, II. ve IV. profillerin benzer olduğu ve her ikisinin de jet difüzyonu sonucu meydana geldiği görülmüştür. Üçüncü tip oyulmada, ilk olarak kazığın ön yüzünde jet çıkışında meydana gelen oyulma derinliğinin ikinci ve dördüncü tip oyulma ile aynı olduğu, ikinci olarak ise kazık etrafındaki gelişimin birinci tip oyulma ile

aynı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen profiller incelendiğinde, maksimum denge oyulma derinliğinin ( $S_s$ ) jet uzaklığı göz ardı edildiğinde bütün profiller için aynı olduğu görülmüştür. Bütün tip oyulma profillerinin bir arada değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Bütün Tip Oyulma Profillerinin Bir Arada Gösterilmesi (Chin ve diğ., 1996)

## 2.2 Kapalı Yapılarda Erozyon Mekanizması

Gemi pervanelerinin rıhtım duvarları önünde neden olduğu oyulma ilk olarak Romisch (1975) tarafından araştırılmış. Hamill (1988)'in yaptığı kapsamlı çalışmada ise maksimum oyulma derinliğini belirlemiştir. Araştırmada, probleme etkili değişkenleri

$$S = f(U_0, D_p, d_{50}, C, \rho, g, \Delta\rho, \nu) \quad (2)$$

ile vermiştir. Burada,  $U_0$  su jetinin çıkış hızı,  $D_p$  pervane çapı,  $d_{50}$  taban malzemesinin medyanı,  $C$  pervane ile deniz tabanı arasındaki mesafe,  $\rho$  akışkanın özgül kütlesi,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $\Delta\rho$  akışkan ile taban malzemesinin özgül kütleleri arasındaki fark,  $\nu$  kinematik viskozite ile ifade edilmiştir.

Blaaw (1978), su jeti hızının,

$$U_0 = nD_p \sqrt{C_t} \quad (3)$$

eşitliğinden bulunabileceğini öne sürmüştür. Burada, n pervanenin bir dakikadaki dönüş sayısı (dev/dak),  $C_t$  pervane güç katsayısıdır.

Etkili değişkenler arasında boyut analizi uygulandığında aşağıdaki boyutsuzlar elde edilmiştir;

$$\frac{S}{D_p} = f_1 \left[ \frac{U_0}{\sqrt{gd_{50} \frac{\Delta\rho}{\rho}}}, \frac{V_0 D_p}{\nu}, \frac{D_p}{d_{50}}, \frac{C}{d_{50}} \right] \quad (4)$$

Burada,

$$F_0 = \frac{U_0}{\sqrt{gd_{50} \frac{\Delta\rho}{\rho}}} \quad ; \quad \text{Yoğunluk Froude Sayısı} \quad (5)$$

$$R_j = \frac{U_0 D_p}{\nu} \quad ; \quad \text{Su jetinin Reynolds Sayısı} \quad (6)$$

olarak tariflenmiştir. Rajaratnam (1981)  $Re > 10^4$  için ve Hamill (1988) Reynolds Sayısının  $1.2 \times 10^5$  ile  $2.3 \times 10^5$  arasında olduğu değerler için yaptıkları çalışmada viskozitenin etkisini araştırmışlar ve her durumda ihmal edilebileceğini belirlemişlerdir. Böylece maksimum oyulma derinliğini aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

$$\frac{S}{D_p} = f_2 \left[ F_0, \frac{D_p}{d_{50}}, \frac{C}{d_{50}} \right] \quad (7)$$

Oyulma derinliğinin şu değişkenlere bağlı olduğu belirlenmiştir;

1. Yoğunluk Froude Sayısı'na
2. Pervane çapının taban malzemesi boyutuna oranına
3. Pervane ile deniz yatağı arasındaki açıklığın taban malzemesi boyutuna oranına

Hamill (1988), S'i zamanın logaritmik bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir;

$$S = \Omega [\ln(t)]^\Gamma \quad (8)$$

Burada t, saniye biriminde zamanı göstermektedir.

Oyulma derinliği, yukarıdaki ifadeden aşağıdaki eşitliklerde birimler mm olarak dikkate alınmak suretiyle hesaplanmaktadır;

$$\Gamma = 4.113 \left( \frac{C}{d_{50}} \right)^{0.742} \left( \frac{D_0}{d_{50}} \right)^{-0.522} F_0^{-0.682} \quad (9)$$

ve

$$\Omega = 6.9 \times 10^{-4} \left( \frac{C}{d_{50}} \right)^{-4.63} \left( \frac{D_p}{d_{50}} \right)^{3.58} F_0^{4.535} \quad (10)$$

Bu ifadelerde,  $U_0$  (mm/s) ve buna karşın  $D_p$ ,  $d_{50}$ ,  $C$  (m) olarak dikkate alınmıştır.



Hamill ve diğ. (1999) 'nin yapmış olduğu çalışmada 9 ve 10 eşitlikleri ile ince ve kaba kumdan oluşan taban üzerinde iki pervanesinin kullanıldığı deney programını esas alarak yapmışlardır. Jet Reynolds Sayısı  $7.1 \times 10^4$  ile  $23 \times 10^4$  arasında hesapladığından viskozitenin etkileri ihmal edilmiştir.

### Jet difüzyon mekanizması

Gemi pervanesinin neden olduğu su jeti tabanı etkilemektedir ve rıhtım duvarı olmaksızın da erozyona neden olmaktadır. Rajaratnam (1981) ve Hamill (1988)'in araştırmaları esas alındığında, oyulmanın gelişiminin zamanla orantılı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, deniz tabanında meydana gelen oyulma için,

$$S = k\Omega [\ln(t)]^\Gamma \quad (11)$$

ifadesi geçerlidir.

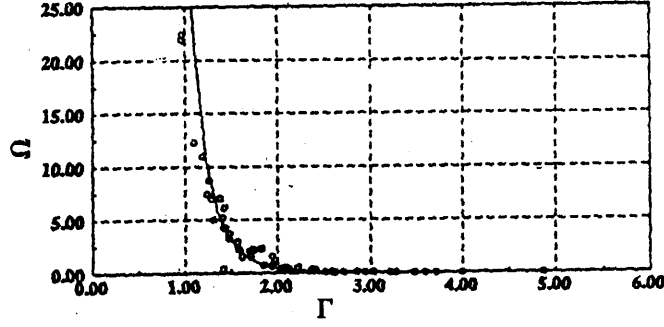
Zamanın fonksiyonu olmasına rağmen oyulma derinliğinin asimptotik konuma ulaştığı bulunmuştur. Oyulma derinliğinin asimptotik konumu, derinlikteki değişimin fark edilmediği durum olarak tanımlanmıştır. Oyulma derinliği %10 ile doğru tahmin edildiğinde iyi bir hesaplamanın yapıldığı düşünülmektedir.

$\Omega$  ve  $\Gamma$  arasındaki ilişki şu şekilde verilmiştir;

$$\Omega = \Gamma^{-6.38} \quad (12)$$

Şekil 8'de  $\Gamma$  ile  $\Omega$  'nin değişimi görülmektedir. Sınırlanmamış halde  $\Gamma$  aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir;

$$\Gamma = \left( \frac{C}{d_{50}} \right)^{0.94} \left( \frac{D_p}{d_{50}} \right)^{-0.48} F_0^{-0.53} \quad (13)$$



Şekil 8.  $\Omega$  ve  $\Gamma$  Değerlerinin Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması

Pratik nedenlerden dolayı bu eşitliklerin, pervanenin deniz tabanına olan uzaklığının pervane çapının 0.5-2.5 katı olduğu aralıkta kullanılması kabul edilmiştir.

Sınırlanmamış erozyonun dengeye ulaşmış profilindeki maksimum oyulma noktasının pervaneye olan uzaklığı birçok faktöre bağlı olduğu belirtilmiştir. Bunlar içinde en önemli olanları, su jetinin çıkış hızı, taban malzemesinin büyüklüğü ve pervane ile taban arasındaki mesafedir. Her bir deney için dengeye ulaşmış profildeki maksimum oyulma noktası ile pervane arasındaki mesafe  $X_{mu}$  (m) ile ifade edilmektedir.

$$X_{mu} = F_0^{0.94} C \quad (14)$$

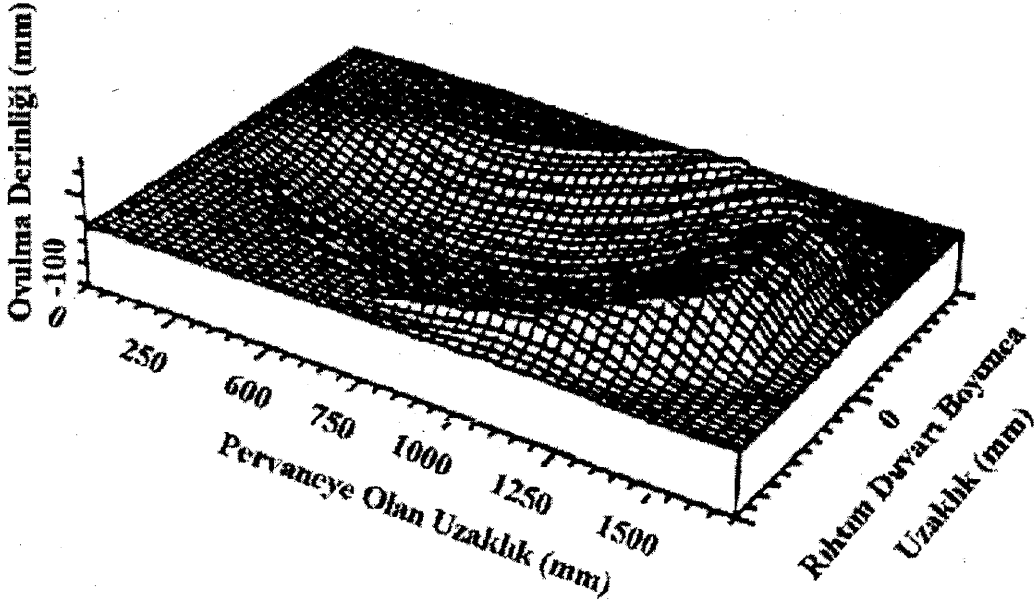
Burada;  $F_0$  yoğunluk Froude sayısı,  $C$  pervanenin açıklık mesafesidir.

### Duvar mekanizması

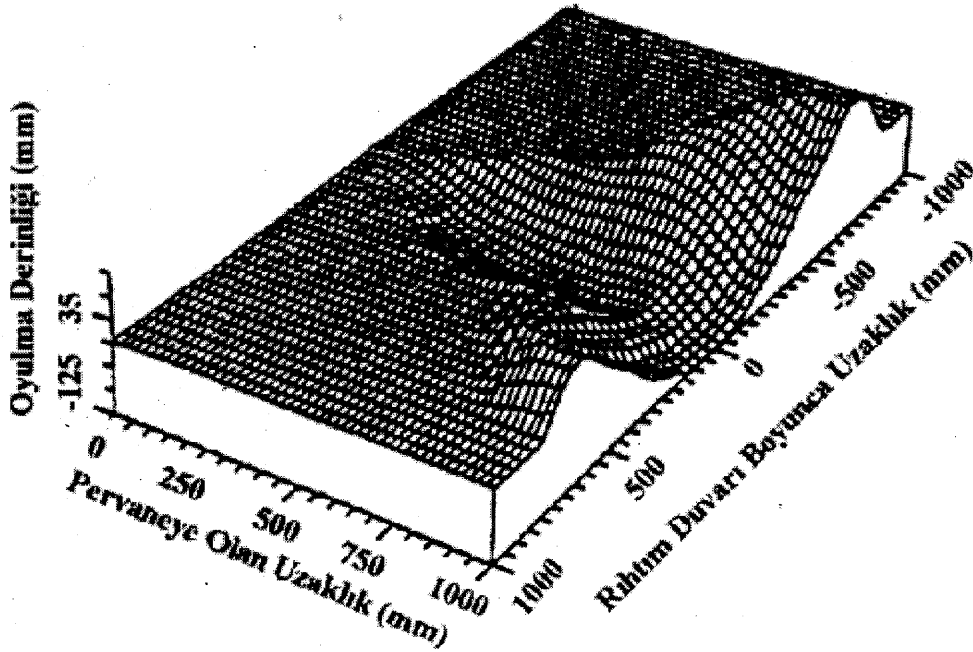
Su jetinin sınırlanması ve sınırlanmaması sonucu oluşan oyulma şekilleri farklı olmaktadır. Rıhtım duvarının mevcut olmadığı sınırlanmamış oyulmada, pervane eksenine göre bir simetrisinin olduğu ve pervanenin başlangıç erozyonunun oyulma çukurunun sonunda yığılmaya neden olarak bir tepe oluşturduğu görülmüştür (Şekil 9). Düşey rıhtım duvarı ile sınırlanmış oyulmada ise başlangıç aşamasında oyulma profili sınırlanmamış durum için



benzer olmaktadır. Daha sonra oyulma çukuru duvarın önünde genişlemiş, jet merkezinin her iki tarafında aşınmış taban malzemesi yanlarda birikerek tepe oluşturmuştur (Şekil 10). Bütün deneylerde maksimum oyulma derinliği jet ekseninde meydana gelmiştir.



Şekil 9. Pervane suyunun taban üzerinde meydana getirdiği oyulma profilinin izometrik görünüşü



Şekil 10. Rıhtım duvarındaki oyulmanın izometrik görünüşü

## SONUÇLAR

Gerek açık gerekse kapalı yanaşma yapılarının topoğunda, pervane suyu nedeniyle meydana gelen maksimum denge oyulma çukurunda etkili boyutsuz parametreler yoğunluk Froude sayısı ( $F_0$ ), rölatif su derinliğı ( $D/d$ ), rölatif jet çapı ( $D_p/d$ ) ve rölatif omurga açıklık oranı ( $C/d_{50}$ ) dir. Oyulma çukurunun gelişmesinde zaman önemli bir faktördür. Kazıklı yanaşma yerlerinde oluşan oyulma mekanizması, akarsulardaki köprü ayaklarında meydana gelen oyulma olayına benzemektedir. Kazıklar etrafındaki yerel oyulma derinliğı için fonksiyonel bağıntı  $S/d=0.21F_0$  olarak elde edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi, Araştırma Fonu tarafından desteklenmektedir.

## KAYNAKLAR

BERGH, H., and CEDERWALL, K. (1981). "Propeller erosion in harbours." Bull. No. TRITA-VBI-107, Hydr. Lab., Royal Inst. of Technol., Stockholm, Sweden.

BI AAUW, H. G., and KAA, E.J. VAN DE (1978). "Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of the manoeuvring ships." Publ. No. 202, Delft Hydraulics Laboratory, Delft, The Netherlands.

CHAIT, S. (1987). "Undermining of quay walls at South African ports due to the use of bow thrusters and other propeller units." PIANC, Bull. No. 58, 107-110.

CHIEW, Y. M., MEMBER ASCE, and LIM, S. Y., (1996), "Local Scour by a Deeply Submerged Horizontal Circular Jet", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 122, No:9, pp. 529-532

CHIN, C. O., CHIEW, Y. M., LIM, S. Y., and LIM, F. H., (1996), "Jet Scour Around Vertical Pile", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 122, No:2, pp. 59-67

HAMILL, G. A. (1988). "The scouring action of the propeller jet produced by a slowly manoeuvring ship." Bull. No. 62, Permanent International Association of Navigation Congresses, 85-110.

LIM, S. Y. (1995b). "Scour below unsubmerged full-flowing culvert outlets." Proc., Instn. Civ. Engrs. Water, Maritime & Energy, Institution of Civil Engineers, London, England, 112, 136-149.

LONGE, J. P., HERBERT, P., and BYL, R. (1987). "Problemes d'erosion aux ouvrages de quai existants causes par le propulseurs d'etrave et le helices principales de navires lors de leurs accostages ou appareillage." PIANC, Bull. No. 58, 16-43 (in french).

MCKILLEN, G. (1985). "A model and field study of ship propulsion induced bed movement at berths." MSc thesis, Queen University of Belfast, Ireland.

QUARRIN, R. (1994). "Influence of the sea bed geometry any berth geometry on the hydrodynamics of the wash form a ships propéller." PhD thesis, Queens University of Belfast.

RAJARATNAM, N. (1981). "Erosion by plain turbulent jets." J. Hydr. Res., Delft, The Netherlands, 19(2)

RAJARATNAM, N., and BERRY, B. (1997). "Erosion by circular wall jets." J. Hydr. Res., 15(3), 277-289.

