

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 ayrılmalari sırasında yanaşma yapılarının temellerinde yerel oyulma problemine neden olmaktadır ve bu durumda yapıların stabiliteleri 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 peryod 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 stabilitelemlerini 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 belirlemişlerdir. 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.

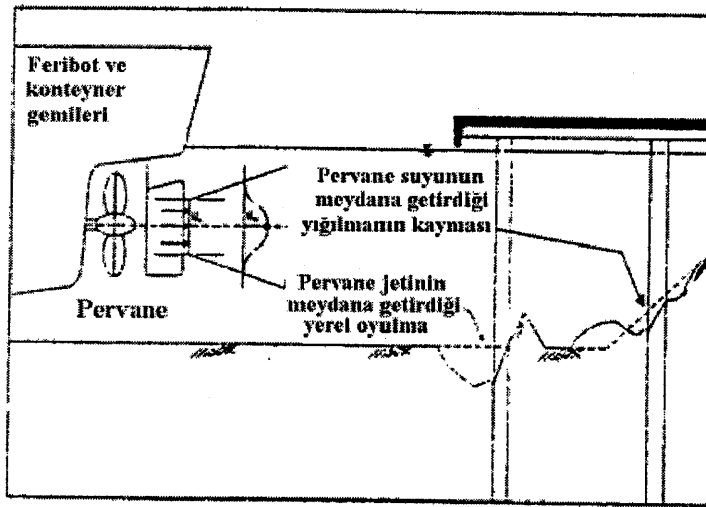
2.RIHTIM YAPI TİPLERİNE GÖRE EROZYON MEKANİZMASI

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, ρ_s taban malzemesinin özgül kütlesi, ρ 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 ρ_s ve σ_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 karşısı ise kazığın durgunluk yüzeyi boyunca yukarıya doğru yönelen 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.

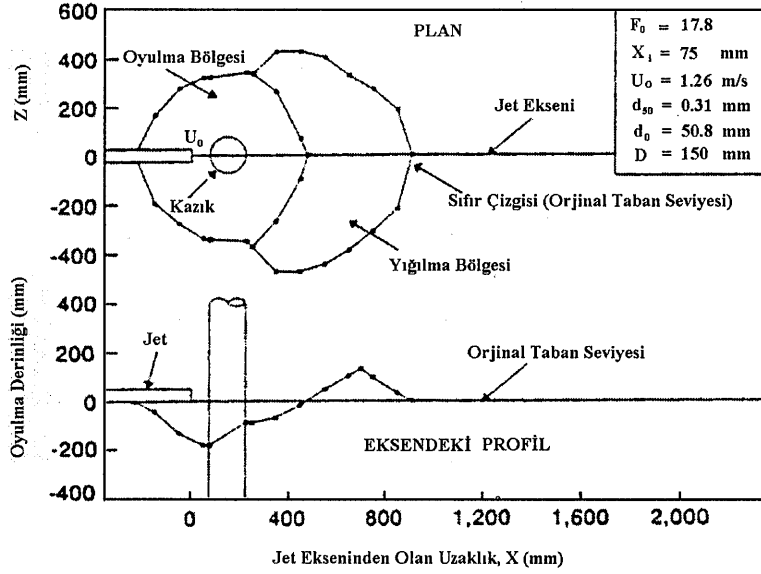
I. Tip oyulma profili: Bu tip oyulmada, büyük Fr sayısı ve küçük rölatif jet uzaklığı (X_i/d_o) dikkate alınmıştır. Oyulmanın gelişimi üzerinde etkin olan büyüklük kazık mekanizmasıdır. Kazık etrafındaki oyulmanın simetrik olduğu gözlemlenmiştir. Kazığın önünde meydana gelen oyulma, orifisin altındaki 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)

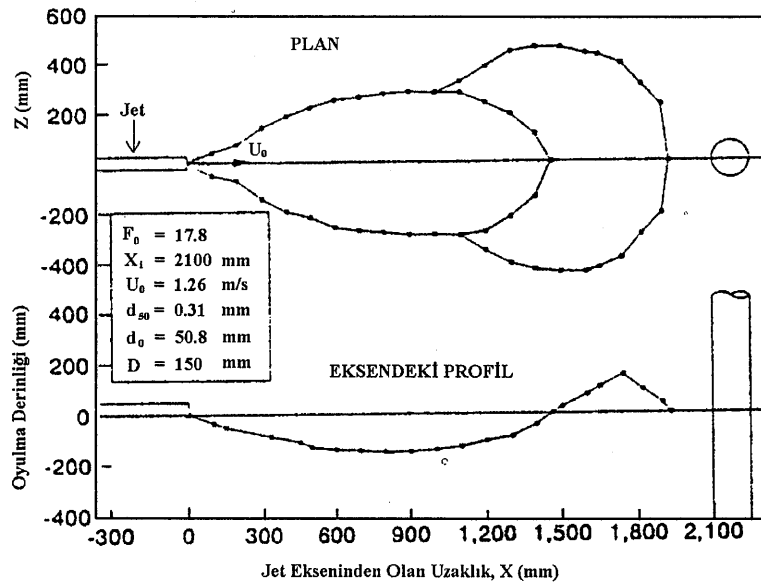
III. Tip oyulma profili: Orta değerde ($Fr = 17.6$) Fr sayısı ve jetin kazığa yaklaştırılması için incelenen profildir. Bu tip oyulmada, oyulma çukurundaki kazığın ön yüzünde iki farklı bölge meydana geldiği görülmüştür. Birinci bölge, jet ekseninde kazığın önündeki belli bir bölgeye kadar yayılmaktadır. 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

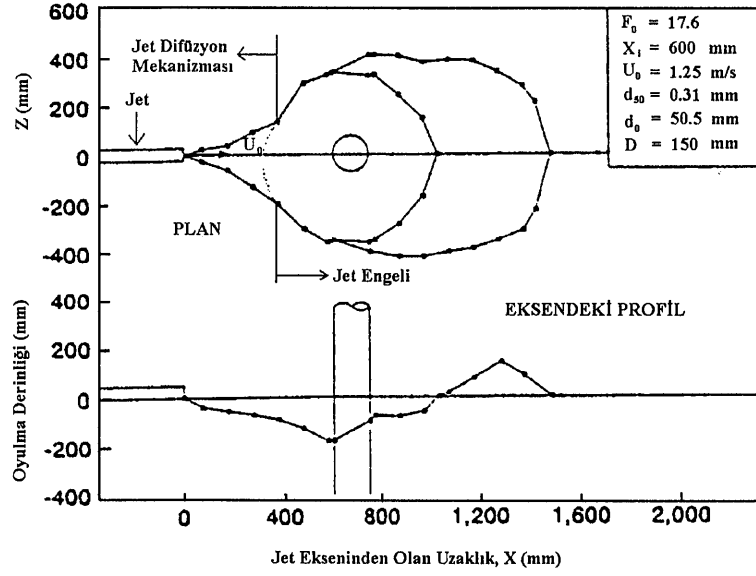
negatif oyulma derinliğine ($S < 0$) neden olan bu yığılmanın rölatif olarak daha zayıf olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 5.)



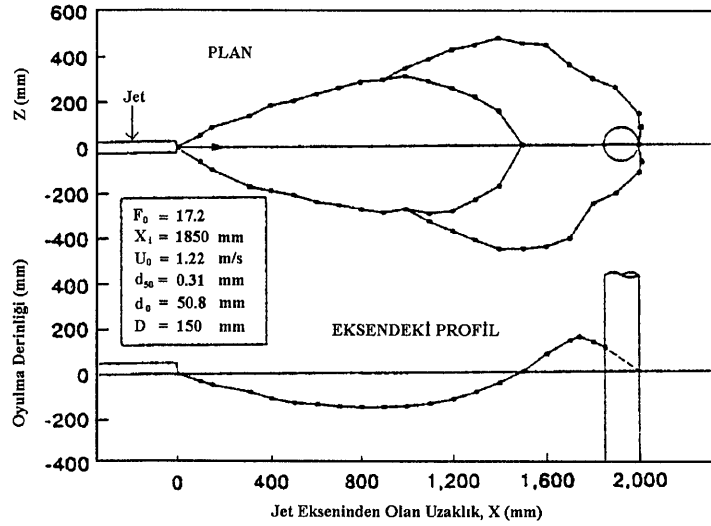
Şekil 2. I. Tip Oyulma Profili (Chin ve diğ., 1996)



Şekil 3. II. Tip Oyulma Profili (Chin ve diğ., 1996)



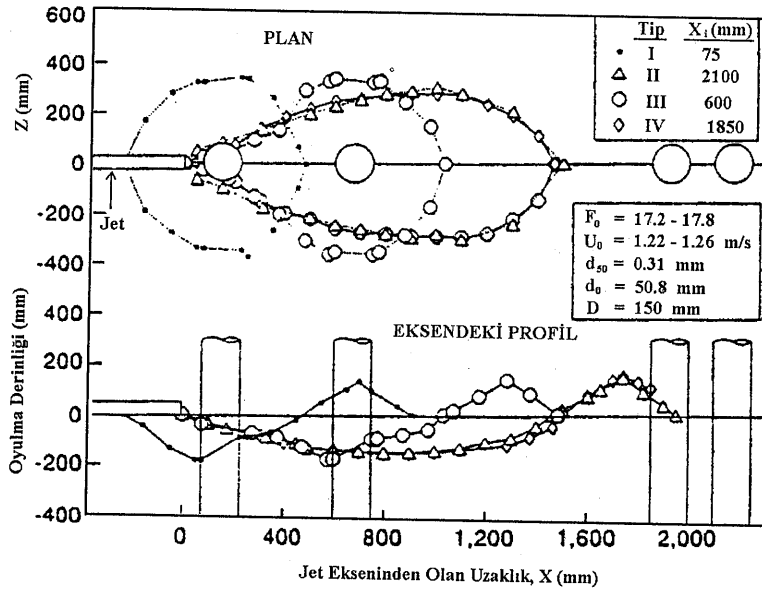
Şekil 4. III. Tip Oyulma Profili (Chin ve diğ., 1996)



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, ρ akışkanın özgül kütlesi, g yerçekimi ivmesi, $\Delta\rho$ akışkan ile taban malzemesinin özgül kütleleri arasındaki fark, ν 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 1.2×10^5 ile 2.3×10^5 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;

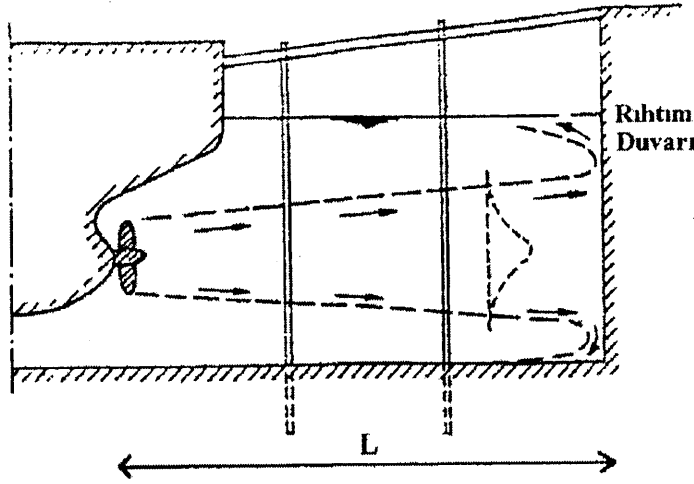
$$\Gamma = 4.113 \left(\frac{C}{d_{50}} \right)^{0.742} \left(\frac{D_0}{d_{50}} \right)^{-0.522} F_0^{-0.682} \quad (9)$$

ve

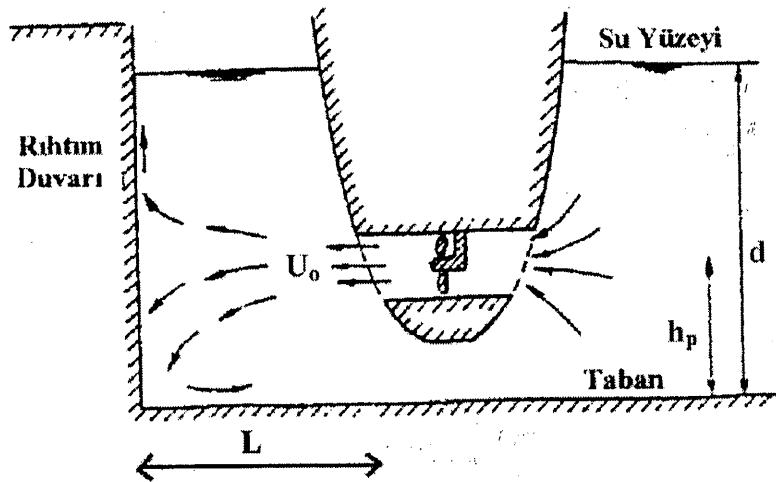
$$\Omega = 6.9 \times 10^{-4} \left(\frac{C}{d_{50}} \right)^{-4.63} \left(\frac{D_p}{d_{50}} \right)^{3.58} F_0^{4.535} \quad (10)$$

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

Bu eşitlikler pratik uygulamalarda da oyulma derinliğini belirlemede kullanılmaktadır. Gemiler rıhtım duvarını yanına ya da ro-ro kapak atma rampası duvarıyla yüz yüze gelecek şekilde demirleyebilmektedir. Bu durumda ana pervanenin oluşturduğu su jeti doğrudan duvara etmektedir. Yanaşma yeri Şekil 7'de görüldüğü gibi bir duvarla birlikte açık kazık olarak ya da palplanş olarak inşa edilebilmektedir. Şekil 7'de ise baş taraftaki pervane suyunun rıhtım duvarından sapması görülmektedir, bu durum da oyulma derinliğinin artmasına neden olmaktadır.



a- Kıç tarafındaki pervane suyunun tabanda ve rıhtım yapısında sapması



b- Baş tarafındaki pervane suyunun sapması

Şekil 7. Rıhtım duvarlarında erozyon

Hamill ve diğ. (1999) 'nin yapmış olduğu çalışmada 9 ve 10 eşitlikleri ile ince ve kaba kumdan oluşan taban üzerinde iki pervanenin kullanıldığı deney programını esas alarak yapmışlardır. Jet Reynolds Sayısı 7.1×10^4 ile 23×10^4 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,

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

ifadesi geçerlidir.

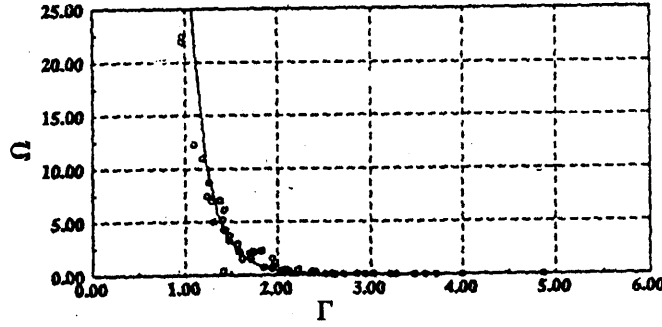
Zamanın fonksiyonu olmasına rağmen oyulma derinliğinin asimptotik konuma ulaştığı bulunmuştur. Oyulma derinliğinin asimptotik konumu, derinlikteki değişimin fark edilmediği durum olarak tanımlanmıştır. Oyulma derinliği %10 ile doğru tahmin edildiğinde iyi bir hesaplamanın yapıldığı düşünülmektedir.

Ω ve Γ arasındaki ilişki şu şekilde verilmiştir;

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

Şekil 8'de Γ ile Ω 'nin değişimi görülmektedir. Sınırlanmamış halde Γ 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. Ω ve Γ 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.

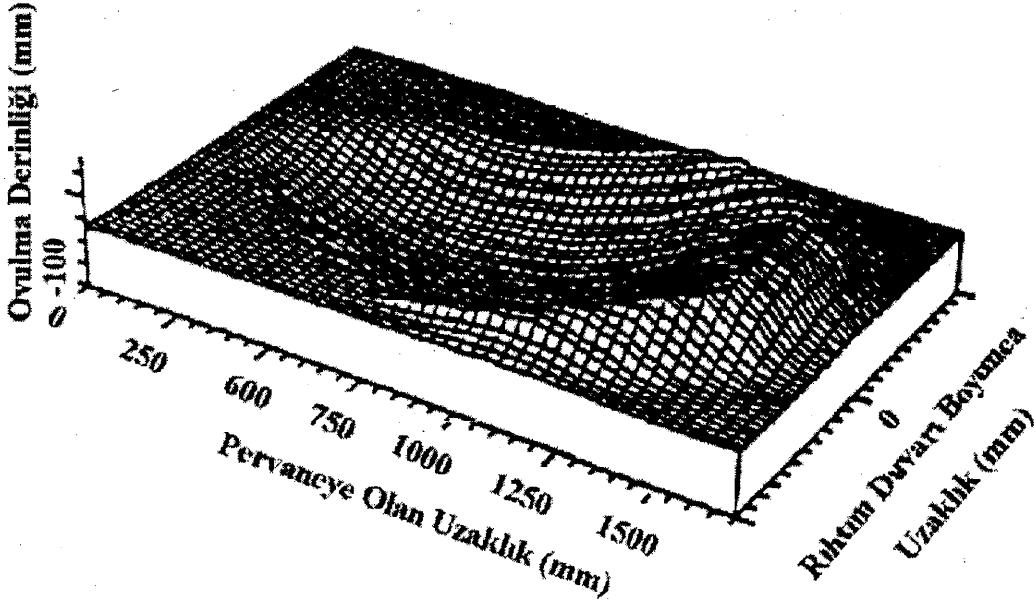
$$X_{mu} = F_0^{0.94} C \quad (14)$$

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

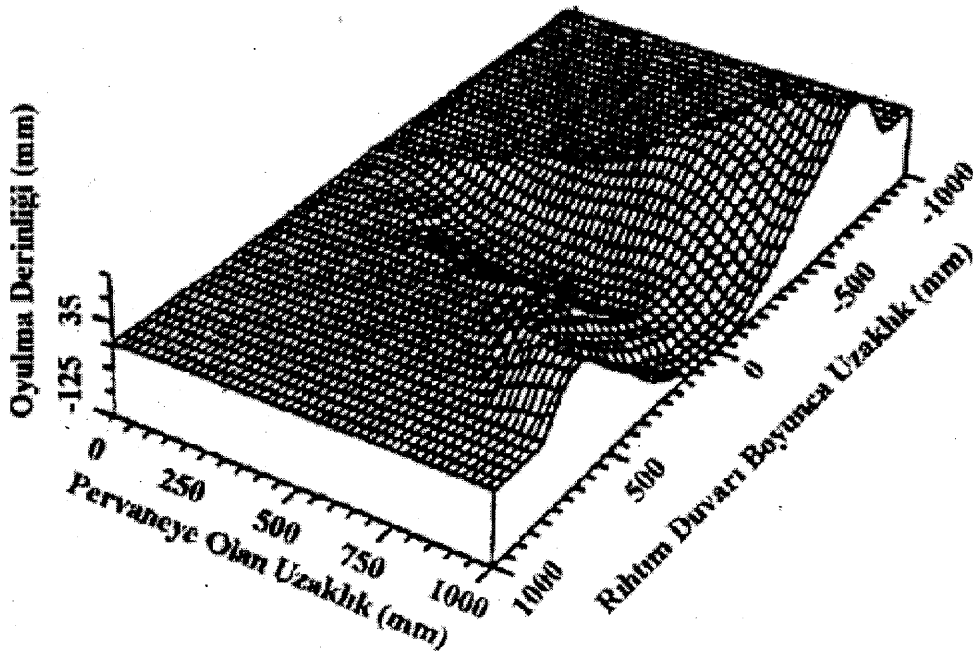
Duvar mekanizması

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 görünüřü



şekil 10. Rıhtım duvarındaki oyulmanın izometrik görünüşü

SONUÇLAR

Gerek açık gerekse kapalı yavaşma yapılarının topuğunda, pervane suyu nedeniyle meydana gelen maksimum denge oyulma çukurunda etkili boyutsuz parametreler yoğunluk Froude sayısı (F_0), rölatif su derinliği (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 yavaşma yerlerinde oluşan oyulma mekanizması, akarsulardaki köprü ayaklarında meydana gelen oyulma olayına benzemektedir. Kazıklar etrafındaki yerel oyulma derinliği 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 prop  ller." 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.

KAZIKLI İSKELELERDE DALGA NEDENİYLE OLUŞAN KUVVETLER ve ETKİLERİ

Y. Doç. Dr. Emel İRTEM

Balıkesir Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
10100 Balıkesir

Arş. Gör. Nuray GEDİK

Balıkesir Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
10100 Balıkesir

ÖZET

Bu çalışmada, Akım Fonksiyonu Teorisi kullanılarak dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin kazıklı iskeleye etkisi bir sayısal örnek üzerinde açıklanmıştır. Dalga nedeniyle kazıklara dalga yönünde etkiyen kuvvetler sürüklenme kuvveti, atalet kuvveti ve akıma dik yönde çevrilere oluşan yanal kuvvettir. Platforma etkiyen kuvvetler ise darbe kuvveti ve kaldırma kuvvetidir.

Kazıklı iskeleye etki eden yük kombinasyonlarına göre SAP2000 Yapı Analiz programı ile çözümler yapılmıştır. Bu çözümler sonucunda en elverişsiz yükleme sabit yük, hareketli yük ve baba çekme kuvvetinden oluşan yükleme olmuştur. Ancak dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin dalga yönündeki yerdeğiştirmeleri artırdığı ve hesaplarda gözönüne alınması gerektiği görülmüştür.

1. GİRİŞ

Dünyada açık deniz faaliyetleri son yıllarda hızla artarak başlı başına bir endüstri oluşturmıştır. Petrol platformlarının yanı sıra denizlerdeki depolama tankları, tanker yükleme platformları, kazıklar üzerinde inşaa edilen deniz yapıları, denizaltı boru hatları ve dolphiner de açık deniz yapıları grubuna girmektedir.

Gemilerin dalga, akıntı, fırtına ve buz gibi dış etkenlere karşı korunduğu, bütün ihtiyaçlarının görüldüğü, yolcu ve yük transferinde gerekli bütün hizmetlerin sağlandığı, inşaa ve tamir edildikleri denizin korunmuş su alanlarına liman denir [17]. Liman yerinde kıyıya paralel olarak yeterli yanaşma yeri uzunluğu sağlanamıyorsa kıyıya dik yönde iskeleler inşa edilir [7]. Günümüzde gemiler giderek artan büyüklüklerde yapıldığından manevra yapabilmeleri için derin sulara ve geniş yerlere gereksinim duyulmaktadır. Gemi

tonajlarının gittikçe artması, iskele sisteminin daha hassas bir şekilde hesaplanmasını gerektirmektedir [11]. İskeleler yüzen tiplerinin dışında büyük limanlarda masif blok ve kazıklı olarak inşa edilirler. Masif iskeleler dalgaları yansıtmamasının yanı sıra büyük derinliklerde inşa edildiklerinde büyük ağırlıkları nedeniyle oturmaları neden olduğundan kazıklı tip tercih edilmektedir [7].

Birçok temel mühendisliği çözümünde yapısal yükler grup halindeki kazıklara taşılır. Zeminle temas halinde veya açık deniz yapılarında olduğu gibi zeminin üzerinde bir kazık başlığı teşkil edilerek kazıkların birlikte yük taşıması sağlanır [16]. Üst yapıya etkileyen rüzgar, deprem kuvvetleri, toprak basıncı, gemi darbe ve baba çekme kuvvetleri, dalga çarpması v.s. nedeniyle temellere de yanıl kuvvetler etki eder. Kazıklı temellerin yatay yükler altında projelendirilmesinde kazık-zemin etkileşimi dikkate alınmalıdır [15].

Dalgaların kıyı yapıları üzerinde önemli etkileri olduğu bilindiği halde genellikle hesaplarda dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin gözönüne alınmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, bu kuvvetlerin düşey kazıklı iskeleye etkisini araştırmaktır.

2. KAZIKLI İSKELELERDE DALGA NEDENİYLE OLUŞAN KUVVETLER

Dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin hesabında akım fonksiyonu teorisi kullanılmıştır. Son yıllarda dalga hareketini tanımlayan hidrodinamik denklemlerin çözümü için nümerik yaklaşımlar önerilmiş ve bu yaklaşımlar Dean (1965, 1967), Monkmeyer (1970) tarafından geliştirilmiştir. Dean'ın yaklaşımı akım fonksiyonu (Stream function) teorisi olarak adlandırılan yüksek mertebeden Stokes teorisine benzeyen bir nonlineer dalga teorisidir.

Akım fonksiyonu teorisi hem laboratuvar dalga çalışmalarında çok uygun olmakta hem de bu teori ile doğal olarak oluşan dalgaları diğer teorilerden daha iyi tanımlamak mümkün olabilmektedir.

Seri açılımlardaki terimlerin değerlendirilmesi uzun hesaplamaları içermektedir. Yüksek mertebeden akım fonksiyonlarının çözümleri Dean tarafından verilen çizelgelerin ve grafik gösterimlerin kullanılmasıyla pratik bir hale getirilmiştir [13].

Bu çalışmada kullanılan (Dean, 1974) grafik ve tablolar Bölüm 3'te sayısal uygulamada verilmiştir.

2.1. Kazıklara Etki Eden Kuvvetler

2.1.1. Atalet kuvveti (Inertia force)

Düşey silindirik kazığın birim uzunluğundaki atalet kuvveti

$$F_i = C_M \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{du}{dt} \quad (1)$$

dir. Burada, C_M atalet katsayısını, ρ akışkanın özgül kütleini, D kazık çapını, du/dt kazık ekseninde toplam yatay su taneciğinin ivmesini göstermektedir [13].

2.1.2. Sürüklenme kuvveti (Drag force)

Düşey silindirik kazığın birim uzunluğundaki sürüklenme kuvveti

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

dir. Burada, C_D sürüklenme katsayısını, u kazık ekseninde yatay su taneciğinin hızını göstermektedir [13].

2.1.3. Çevrilerden oluşan yanal kuvvet (Transverse forces due to eddy shedding)

Bu kuvvetler, vortex veya bir yanal çalkantı kuvvetinin sonucunda kazığın bir tarafından diğerine giden çevrilerden kaynaklanıp dalga doğrultusuna ve kazık eksenine dik olarak etkirler.

Laird ve diğerleri (1960), Laird (1962) rijit ve esnek salınlı silindirlerde enine (çevri) kuvvetleri incelemişler ve genellikle bu kuvvetlerin yapının dinamik reaksiyonuna bağlı olduğunu bulmuşlardır.

Sadece rijit yapılarda çevri kuvvetleri sürüklenme kuvvetine eşit alınabilir ve bu kuvvetlerin hesabı için aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$F_L = F_{LM} \cos 2\theta = C_L \frac{\rho g}{2} D \cdot H^2 K_{Dm} \cos 2\theta \quad (3)$$

Burada,

F_L : çevri kuvveti,

F_{LM} : max. çevri kuvveti,

$$\theta = \left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right)$$

C_L : sürüklenme katsayısına benzer amprik katsayı

dır. Chang, C_L 'nin Keulegan-Carpenter sayısı $\bar{u}_{max} T / D$ 'ye bağlı olduğunu bulmuştur. Burada $\bar{u}_{max}$ derinlik ortalamalı maksimum yatay hızdır. Bu sayı 3'den az olduğunda hiçbir belirgin çevrinti yayılması meydana gelmez ve çevri kuvvetleri oluşmaz. Sadece rijit kazıklar için $\bar{u}_{max} T / D$ artarken C_L yaklaşık olarak C_D 'ye eşit oluncaya kadar artar [13].

x	: yatay koordinatı
z	: düşey koordinatı (pozitif yön yukarı doğru)
P	: basıncı
A	: alanı
M	: çarpma sırasındaki su miktarının kütesini
V _c	: çarpma anındaki m kütesinin düşey doğrultudaki efektif hızı
u ve v	: yüzeydeki su partiküllerinin yatay ve düşey hızları
g	: yerçekimi ivmesini
η	: sakin su seviyesinden serbest su yüzeyinin düşey deplasmanı
SWL	: sakin su seviyesini
H	: dalga yüksekliğini
γ	: suyun özgül ağırlığını
t	: zamanı
a	: SWL'den platformun yüksekliğini

göstermektedir. i ve s indisleri sırasıyla çarpma ve yavaş değişen basınç bileşenlerini gösterir. Birinci denklem, dalganın plakanın altına henüz ulaşmadığı durumu gösterir. İkinci denklem "A" alanı üzerindeki ortalama çarpma basıncını ifade eder. Üçüncü denklem sıkıştırılmayan, viskoz olmayan akışkan için momentumun korunumu denkleminde elde edilir.

Wang (1970) tarafından yavaş değişen kaldırmayı belirlemek için sürekli dalgaların dalga denklemlerinin çözümleri Denklem 5.c'de yerine konularak SWL'in üstündeki a mesafesindeki bir platform için aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir:

$$\frac{P_s}{\gamma} + a = \eta \frac{\cosh \frac{2\pi(h+d)}{L}}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} + H.O.T \quad (6)$$

Burada,

P _s	: yavaş değişen basıncı,
h	: su derinliğini,
L	: h su derinliğindeki dalga uzunluğunu,
H.O.T	: yüksek mertebeden terimleri

göstermektedir.

Eğer yüksek mertebeden terimler ihmal edilemezse denklem (6) denklem (7)'e dönüştürülebilir.

$$\frac{P_s}{\gamma} + a = \beta \eta \quad (7)$$

Burada β, basınç reaksiyon faktörüdür (1.0 ≤ β ≤ 2.0). Denklem (7) ilerleyen, sürekli dalgaların yavaş değişen basıncının hesabı için verilmiştir [10].

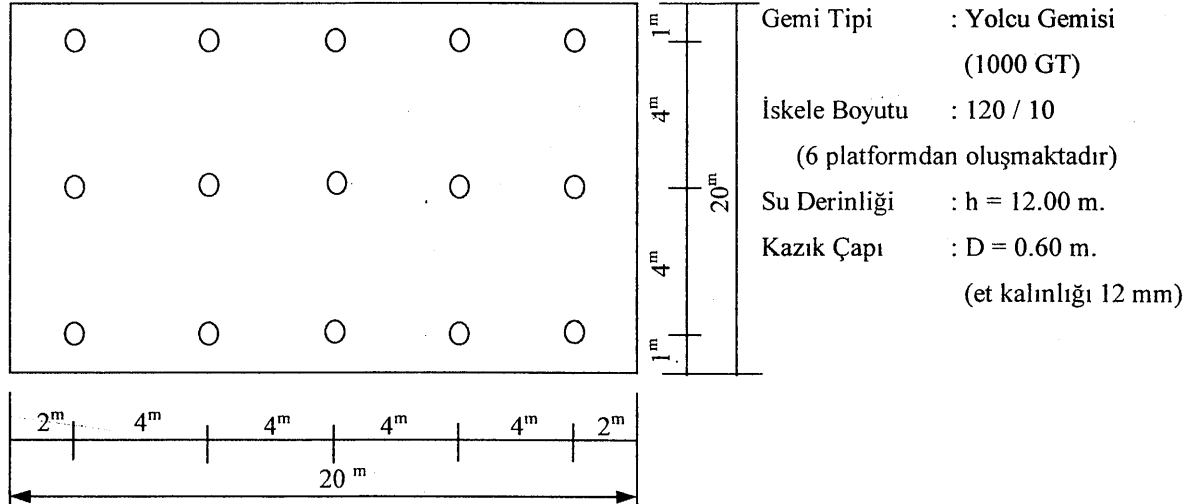
3. SAYISAL ÖRNEK

Ordu'nun Efirli kazasına bir yolcu iskelesinin yapımı düşünülmüştür. Gemi tonajı 1000 GT olarak seçilmiştir. Tablo 3.1'de görüldüğü gibi yanaşacak gemi tonajı 1000 GT olduğunda iskelenin minimum uzunluğu 80 m, minimum genişliği ise 5 m. olmaktadır [14]. Bu çalışmada, iskele boyutu 120/10 m. seçilmiştir. İskele platformlardan meydana geleceği için 20'şer metreden altı platformun inşası uygun görülmüştür.

Tablo 3.1 İskele Boyutları

Tip	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Gemi Hacmi	Tip	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Gemi Hacmi
YOLCU GEMİSİ	80	5.0	GT	YUK GEMİSİ	210	11.0	DW
	125	6.0	1.000		240	12.0	20.000
	155	7.5	3.000		260	13.0	30.000
	180	9.0	5.000		280	14.0	40.000
	225	10.0	10.000				50.000
	250	11.0	20.000	KURU YUK GEMİSİ	165	9.0	DW
YUK GEMİSİ			30.000		185	10.0	10.000
	60	4.5	DW		210	11.0	15.000
	70	5.0	700		240	12.0	20.000
	90	5.5	1.000		270	13.0	30.000
	105	6.5	2.000		290	15.0	50.000
	130	7.5	3.000		300	16.0	70.000
	165	9.0	5.000		330	18.0	90.000
	185	10.0	10.000		370	20.0	100.000
			15.000				150.000

Kazık grubuna etki eden dalga nedeniyle oluşan kuvvetleri hesaplarken aşağıda boyutları verilen platform gözönüne alınmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Platform Boyutları

1975-1994 dönemi rüzgar verileri ile dalga iklim çalışması, dönüş aralığı 5, 10 ve 20 yıl olan olası extrem belirgin dalga yüksekliği ve periyotları [5]'den alınmıştır.

Kazıklı iskelelerde dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin hesabı ve bu kuvvetlerin etki mesafeleri, dalga yükseklikleri ve periyotlarına bağlı olarak üç ayrı hal için yapılmış, $d = 12$ m., $D = 0.60$ m. ve kazıklar arası mesafe her iki doğrultuda da $L = 4$ m alınmıştır.

- I- $H_5 = 5.142 \text{ m}$, $T_5 = 11.7 \text{ s}$
- II- $H_{10} = 6.627 \text{ m}$, $T_{10} = 12.6 \text{ s}$
- III- $H_{20} = 8.111 \text{ m}$, $T_{20} = 13.5 \text{ s}$

Burada sadece I. hal için dalga nedeniyle oluşan kuvvetler ve bu kuvvetlerin etki mesafeleri gösterilecektir. Diğer hesaplamaların sonuçları Tablo 3.10'da verilmiştir.

3.1. Kazıklara Etki Eden Kuvvetler

3.1.1. Dalga kuvveti

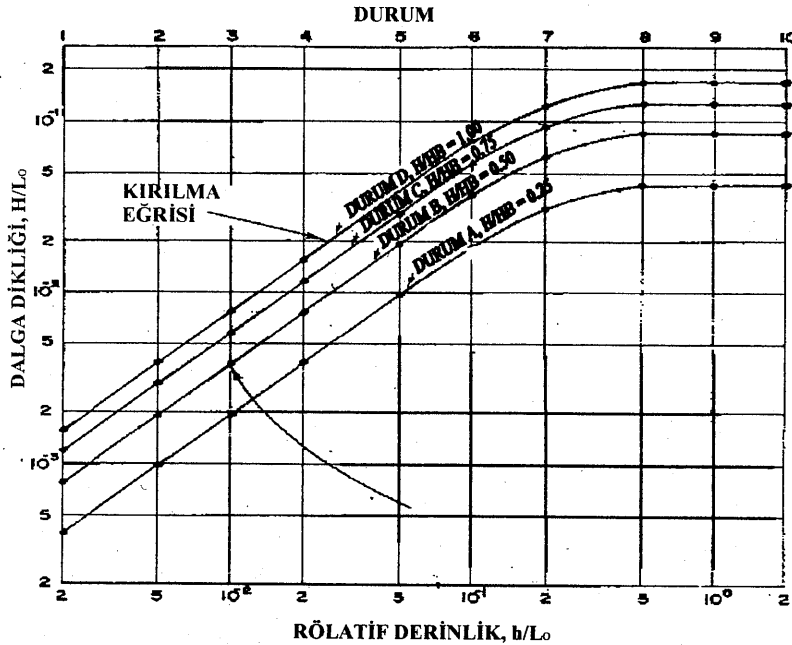
$H_5 = 5.142 \text{ m}$ ve $T_5 = 11.7 \text{ s}$ için dalga boyu

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (8)$$

bağıntısından 213.728 m olarak bulunur. Bu durumda dalga dikliği ve rölatif derinlik,

$$\frac{H}{L_0} = 0.024 \quad , \quad \frac{h}{L_0} = 0.056$$

olmaktadır. Bu değerlerle Şekil 3.2'den 5-B durumu belirlenir.



Şekil 3.2 Dalga Karakterine Göre Durumlar

Sürüklenme, atalet kuvvetleri ve momentlerinin hesabında 5-B durumu için Dean tarafından hazırlanan tablolar kullanılacaktır. Bu tablolardaki boyutsuz sürüklenme kuvveti

$$\frac{C_D \rho D (H/T)^2 h}{2} \quad (9)$$

bağıntısından bulunan 50.912 kg ile, boyutsuz atalet kuvveti

$$\frac{C_M \rho \pi D^2 (H/T^2) h}{4} \quad (10)$$

bağıntısından elde edilen 19.998 kg ile çarpılmıştır [3]. Bu bağıntılardaki C_D sürüklenme katsayısı 0.7 ve C_M atalet katsayısı 1.5 olarak alınmıştır [13]. Bu katsayılar aşağıdaki boyutsuz büyüklüklerin fonksiyonudur:

$$[C_D, C_M] = f(K, Re, k/D)$$

Burada;

- K : Keulegan-Carpenters sayısını,
- Re : Reynolds sayısını,
- k/D : rölatif pürüzlülüğü

göstermektedir [8,12].

Kazığın tabandan itibaren yüksekliğinin su derinliğine oranı (s/derinlik) = 1.167 olarak bulunur. Dean tarafından hazırlanan tablolardan 5-B durumu için bu değere karşılık gelen boyutsuz sürüklenme ve atalet kuvveti bileşenleri (F'_D, F'_I) faz açılarına göre enterpolasyonla hesaplanır (Tablo 3.2-3.3) [4].

Tablo 3.2. Boyutsuz Sürüklenme Kuvveti Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$h + \eta$	59.083	53.096	38.931	23.761	4.510	-2.00	-3.281	-7.341	-8.415
s / derinlik	1.2	52.667	48.594	38.00					
	1.1	45.531	42.127	33.226	22.000				
	1.0	39.284	36.435	28.949	19.414	4.306			
	0.9	33.756	31.373	25.086	17.009	3.936	-1.151	-3.167	
	0.8	28.811	26.825	21.566	14.760	3.541	-1.100	-2.708	-6.504
	0.7	24.338	22.695	18.329	12.644	3.128	-0.065	-2.290	-5.643
	0.6	20.244	18.901	15.324	10.641	2.702	-0.043	-1.905	-4.801
	0.5	16.453	15.377	12.506	8.731	2.264	-0.028	-1.548	-3.976
	0.4	12.898	12.065	9.836	6.897	1.819	-0.018	-1.213	-3.164
	0.3	9.524	8.914	7.281	5.122	1.368	-0.011	-0.895	-2.364
	0.2	6.280	5.880	4.809	3.391	.914	-0.007	-0.590	-1.571
	0.1	3.119	2.921	2.391	1.688	.458	-0.003	-0.293	-0.784
	0.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

Tablo 3.3. Boyutsuz Atalet Kuvveti Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$h + \eta$	.000	19.741	34.375	42.096					
$s / \text{derinlik}$	1.2	.000	18.051	33.466					
	1.1	.000	15.608	29.056	38.608				
	1.0	.000	13.450	25.132	33.602	38.517			
	0.9	.000	11.530	21.620	29.069	33.876	25.693	14.593	
	0.8	.000	9.812	18.455	24.938	29.488	22.842	13.177	3.892
	0.7	.000	8.260	15.580	21.146	25.324	19.977	11.683	3.486
	0.6	.000	6.847	12.945	17.637	21.353	17.109	10.125	3.048
	0.5	.000	5.546	10.507	14.362	17.547	14.242	8.513	2.583
	0.4	.000	4.334	8.226	11.274	13.877	11.382	6.859	2.094
	0.3	.000	3.192	6.066	8.332	10.314	8.528	5.172	1.587
	0.2	.000	2.101	3.996	5.496	6.832	5.681	3.461	1.066
	0.1	.000	1.042	1.983	2.731	3.403	2.839	1.734	.535
	0.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

θ faz açısına göre enterpolasyonla hesaplanan boyutsuz sürüklenme kuvveti bileşeni 50.912 kg ile, boyutsuz atalet kuvveti bileşeni 19.998 kg ile çarpıldığında θ faz açısına göre sürüklenme ve atalet kuvvetleri elde edilir (Tablo 3.4). Bir kazığa gelen maksimum sürüklenme ve atalet kuvveti toplamı 2.710 ton olarak elde edilir.

Tablo 3.4 Bir Kazığa Gelen Yatay Dalga Kuvveti

θ	0	10	20	30
F'_D	50.31212	46.45989	36.42458	7.2600
F_D	2561.642	2365.505	1854.557	369.643
F'_I	0	17.24481	32.01103	12.74064
F_I	0	344.862	640.157	254.787
F_T (kg)	2561.642	2710.367	2494.714	624.43

Tablolardaki boyutsuz sürüklenme momenti

$$\frac{C_D \rho D (H/T)^2 h^2}{2} \quad (11)$$

bağıntısından bulunan 610.978 kgm ile, boyutsuz atalet momenti

$$\frac{C_M \rho \pi D^2 (H/T^2) h^2}{4} \quad (12)$$

bağıntısından elde edilen 239.970 kgm ile çarpılmıştır.

5-B durumu için 1.167 değerine karşılık gelen boyutsuz sürüklenme ve atalet momenti bileşenleri (M'_D, M'_I) faz açılarına göre enterpolasyonla hesaplanır (Tablo 3.5-3.6) [4].

Tablo 3.5 Boyutsuz Sürüklenme Momenti Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$h + \eta$	44.538	39.110	26.979	15.072	2.287	-.147	-1.653	-3.358	-3.782
s / derinlik	1.2	36.581	33.565	25.792					
	1.1	28.367	26.121	20.299	13.078				
	1.0	21.800	20.138	15.802	10.362	2.077			
	0.9	16.543	15.325	12.130	8.076	1.725	-.101	-1.549	
	0.8	12.336	11.455	9.135	6.163	1.390	-.058	-1.159	-2.648
	0.7	8.977	8.354	6.705	4.575	1.081	-.032	-.845	-2.002
	0.6	6.314	5.886	4.750	3.272	.803	-.017	-.594	-1.455
	0.5	4.226	3.946	3.199	2.221	.563	-.009	-.398	-1.001
	0.4	2.625	2.454	1.996	1.395	.363	-.004	-.247	-.636
	0.3	1.443	1.350	1.101	.773	.205	-.002	-.136	-.355
	0.2	.631	.590	.483	.340	.091	-.001	-.059	-.157
	0.1	.156	.146	.120	.084	.023	-.000	-.015	-.039
	0.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

Tablo 3.6. Boyutsuz Atalet Momenti Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$h + \eta$	.000	14.681	24.251	27.651	23.333	13.428	6.621	1.776	
s / derinlik	1.2	.000	12.599	23.152					
	1.1	.000	9.787	18.076	23.701				
	1.0	.000	7.519	13.952	18.440	20.402			
	0.9	.000	5.694	10.613	10.430	15.990	11.579	6.329	
	0.8	.000	4.232	7.920	10.616	12.258	9.156	5.126	1.478
	0.7	.000	3.067	5.761	7.769	9.133	7.007	4.006	1.174
	0.6	.000	2.147	4.047	5.487	6.551	5.143	2.994	.889
	0.5	.000	1.430	2.704	3.683	4.456	3.566	2.107	.634
	0.4	.000	.885	1.676	2.292	2.804	2.279	1.363	.414
	0.3	.000	.484	.920	1.262	1.556	1.280	.773	.236
	0.2	.000	.211	.401	.552	.685	.568	.346	.106
	0.1	.000	.052	.099	.137	.170	.142	.087	.027
	0.0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

Boyutsuz sürüklenme ve atalet momenti çarpanları ile θ faz açısına göre enterpolasyonla hesaplanan sürüklenme ve atalet momenti bileşenleri çarpıldığında sürüklenme ve atalet momenti elde edilir (Tablo 3.7). Kazığa gelen maksimum moment ise sürüklenme ve atalet momenti toplamlarından 21.807 tm elde edilir.

Tablo 3.7 Bir Kazığa Gelen Dalga Momenti

θ	0	10	20	30
M_D'	33.87038	31.10848	23.97865	4.31574
M_D	20694.058	19006.597	14650.428	2636.822
M_I'	0	11.67104	21.47692	7.82133
M_I	0	2800.699	5153.816	1876.885
M_T (kgm)	20694.058	21807.296	19804.244	4513.707

Kuvvetin kazığa etki mesafesi ise kazığa gelen toplam momentin toplam yatay dalga kuvvetine bölünmesiyle 8.047 m bulunur.

3.1.2. Çevrilerden oluşan yanal kuvvet

$H_5 = 5.142$ m ve $T_5 = 11.7$ s iken 5-B durumu için [4]'teki tablolardan tabandaki ve sakin su seviyesindeki maksimum yatay hız bulunarak

$$(\bar{u}_{\max}) = \frac{(u_{\max})_{\text{taban}} + (u_{\max})_{\text{SWL}}}{2} \quad (13)$$

bağıntısından ortalama maksimum yatay hız elde edilir.

$\theta = 0^\circ$ iken Tablo 3.8'den boyutsuz yatay hız bileşeni, $u_{\text{taban}} = 5.579$ ve $u'_{\text{SWL}} = 7.657$ 'dir [4]. Bu noktadaki maksimum yatay hız

$$u_{\max} = u' \frac{H}{T} \quad (14)$$

ifadesinden $(u_{\max})_{\text{taban}} = 2.452$ m/s ve $(u_{\max})_{\text{SWL}} = 3.365$ m/s elde edilir. Bu değerler (13) bağıntısında yerine konularak ortalama yatay hız 2.909 m/s olarak bulunur.

Tablo 3.8 Boyutsuz Yatay Hız Bileşeni (5-B)

θ	0	10	20	30	50	75	100	130	180
$h + \eta$	9.268	8.684	7.192	5.313	1.840	-.894	-2.220	-2.987	-3.142
s / derinlik	1.2	8.744	8.312	7.111					
	1.1	8.161	7.780	6.716	5.181				
	1.0	7.657	7.318	6.369	4.991	1.889			
	0.9	7.222	6.919	6.067	4.820	1.958	-.784	-2.194	
	0.8	6.850	6.576	5.805	4.668	2.011	-.645	-2.091	-2.951
	0.7	6.534	6.285	5.580	4.535	2.051	-.527	-2.001	-2.917
	0.6	6.270	6.040	5.390	4.420	2.080	-.428	-1.923	-2.886
	0.5	6.052	5.839	5.232	4.323	2.102	-.347	-1.858	-2.860
	0.4	5.878	5.678	5.106	4.245	2.117	-.283	-1.804	-2.839
	0.3	5.746	5.555	5.009	4.184	2.128	-.233	-1.763	-2.822
	0.2	5.653	5.468	4.940	4.141	2.135	-.199	-1.733	-2.809
	0.1	5.597	5.416	4.899	4.115	2.138	-.178	-1.716	-2.802
	0.0	5.579	5.399	4.886	4.106	2.140	-.171	-1.710	-2.800

Ortalama maksimum yatay hızın kullanılmasıyla Keulegan-Carpenter sayısı (K) $\bar{u}_{\max} T / D = 56.73$ olarak elde edilir. K, 3'den büyük olduğundan çevri kuvvetleri gözönüne alınmalıdır [13]. Yapı rijit yapı olduğu için çevri kuvveti sürüklenme kuvvetine eşit alınabilir, dolayısıyla çevri kuvveti $F_L = F_D = 2.366$ t olur.

3.2. Platforma Etki Eden Kuvvetler

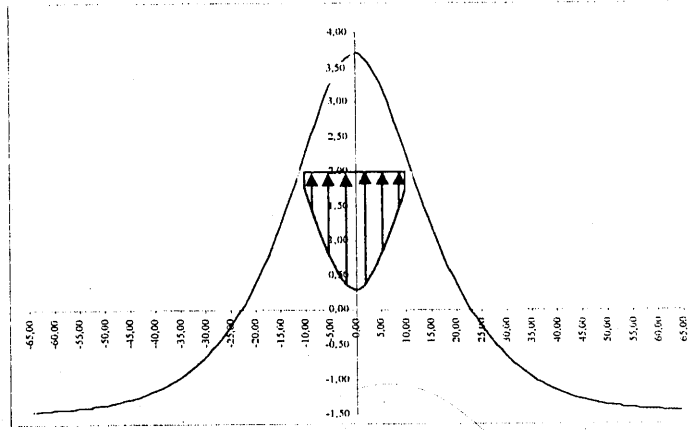
3.2.1. Darbe kuvveti

$H_5 = 5.142$ m ve $T_5 = 11.7$ s iken dalga kretindeki yatay hız 5-B durumu için $\theta = 0^\circ$ iken boyutsuz yatay hız bileşeni $u' = 9.268$ olarak bulunur (Tablo 3.8). Dalga kretindeki

yatay hız (7) bağıntısından 4.073 m/s olarak elde edilir. (4) bağıntısının kullanılmasıyla darbe kuvveti 27.227 t olarak bulunur.

3.2.2. Kaldırma kuvveti

[6]'dan alınan program yardımıyla $H_5 = 5.142$ m ve $T_5 = 11.7$ s için dalga profili elde edilir (Şekil 3.3 – Tablo 3.9).



Şekil 3.3 Dalga Profili

Tablo 3.9 Dalga Profili

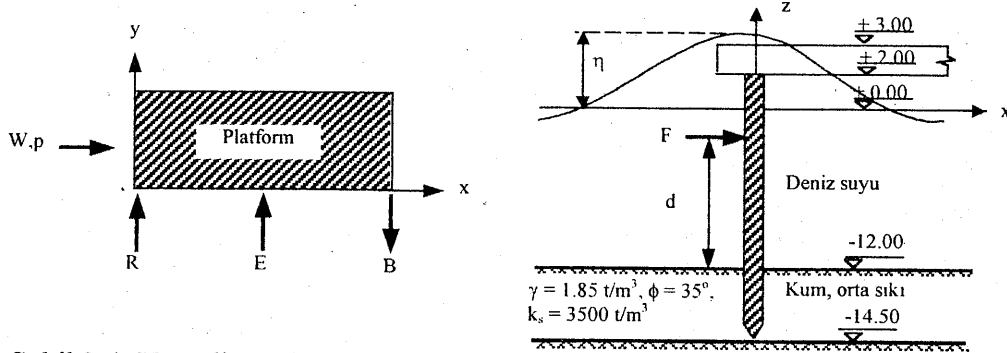
x(m)	Eta(m)	x(m)	Eta(m)	x(m)	Eta(m)	x(m)	Eta(m)
0.0	3.69	16.03	1.05	32.07	-0.80	48.11	-1.34
1.6	3.64	17.64	0.77	33.68	-0.89	49.72	-1.36
3.2	3.50	19.24	0.51	35.28	-0.98	51.32	-1.38
4.81	3.28	20.85	0.28	36.88	-1.05	52.92	-1.40
6.41	3.00	22.45	0.06	38.49	-1.11	54.53	-1.41
8.01	2.68	24.05	-0.12	40.09	-1.16	56.13	-1.42
9.62	2.35	25.66	-0.29	41.70	-1.21	57.73	-1.43
11.22	2.01	27.26	-0.44	43.30	-1.25	59.34	-1.43
12.83	1.67	28.86	-0.58	44.90	-1.28	60.94	-1.44
14.43	1.35	30.47	-0.70	46.51	-1.31	62.55	-1.44
						64.15	-1.44

Şekil 3.3'de SWL'nin 2 m üstüne platformlar yerleştirilerek dalganın platforma etkidiği taralı alan belirlenir. Bu taralı alanda $\Delta x = 0.10$ m aralıklarla her noktadaki η_i değerleri hesaplanıp (7) bağıntısında yerine konursa her η_i 'ye karşı gelen basınç değerleri bulunur. Bu basınç değerleri ($\Delta x \cdot B$) ile çarpıldıktan sonra toplanırsa platforma etki eden toplam kaldırma kuvveti 890.792 t olarak elde edilir.

3.3. Dalga Nedeniyle Oluşan Kuvvetlerin Etkisi Altındaki İskelelerin Çözümü

1000 GT'luk yolcu gemisi için seçilen iskele, 120/10 metre boyutunda olup, 20/10'luk toplam 6 platformdan oluşmaktadır. Deniz tabanındaki zemine gömülü kazık derinliği sertleşmiş kil için 3.5D'den 4.5D'ye kadar, yumuşak kil için 7D'den 8.5D'ye kadar alınır, burada D kazığın çapıdır [9]. Buna göre kazıkların zemine gömülü uzunluğu 2.50 m olarak alınmıştır. Su derinliği 12.00 m, iskelenin SWL'den yüksekliği 2.00 m,

kazık toplam uzunluğu 16.50 m'dir. Kazıklarda çelik, kirişlerde ve döşemelerde beton malzemenin kullanıldığı varsayılmıştır. Dalga nedeniyle oluşan kuvvetler hesaplandıktan sonra iskeleye etki eden yük kombinasyonlarına bağlı olarak SAP2000 Yapı Analiz programı ile çözümler yapılmıştır. Kirişler ve kazıklar programda çubuk eleman olarak, döşemeler ise kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Prekast ve yerinde dökme döşeme, enleme kirişi, boylama kirişi ve kazık ağırlıkları program tarafından hesaplanmaktadır. SAP2000 Yapı Analiz programında koordinat sistemi, platforma etkiyen yüklerin yönleri ve zemin profili Şekil 3.4'de verilmiştir. Kazığın zemin içindeki 2.50 m'lik bölümü yaylarla tanımlanmış, yay sabitlerinin hesabında Bowles (1988) tarafından yazılan BEF adlı bilgisayar programından yararlanılmıştır [2].



Şekil 3.4. Koordinat eksenleri, platforma etkiyen yüklerin yönleri ve zemin profili

Her hal için dalga nedeniyle oluşan kuvvetler ve bu kuvvetlerin etki mesafeleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10 Kuvvetler ve etki mesafeleri

Kuvvetler		F (ton)	d (m)
I H = 5.142 m T = 11.7 s	Kazığa gelen kuvvetler	Atalet	0.344
		Sürüklenme	2.366
		Çevri	2.366
	Platforma gelen kuvvetler	Darbe	27.227
		Kaldırma	890.792
II H = 6.627 m T = 12.6 s	Kazığa gelen kuvvetler	Atalet	0.467
		Sürüklenme	2.929
		Çevri	2.929
	Platforma gelen kuvvetler	Darbe	55.612
		Kaldırma	1318.912
III H = 8.111 m T = 13.5 s	Kazığa gelen kuvvetler	Atalet	0.557
		Sürüklenme	2.688
		Çevri	2.688
	Platforma gelen kuvvetler	Darbe	117.272
		Kaldırma	1659.542

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Akım Fonksiyonu Teorisi kullanılarak dalga nedeniyle oluşan kuvvetler hesaplanmıştır. Bu kuvvetlerin hesabı ve etki mesafeleri dönüş aralığı 5, 10 ve 20 yıl olan olası extrem belirgin dalga yüksekliği ve periyotları esas alınarak üç ayrı durum için yapılmıştır.

Sayısal örnek olarak 120/10 m boyutunda 20/10'luk 6 paltformdan oluşan bir kazıklı iskele sistemi ele alınmıştır. Kazıklarda çelik, kirişlerde ve döşemeler de beton malzeme kullanılmıştır. Kazıklar 0.60 m çapında, 16.50 m uzunluğundadır. Su derinliği 12.00m, kazıkların zemine gömülü uzunluğu 2.50 m'dir. Bu 2.50 m'lik bölüm yaylarla tanımlanmış, yay sabitlerinin hesabında Bowles (1988) tarafından yazılan BEF adlı bilgisayar programından yararlanılmıştır.

Kazıklı iskeleye etki eden 'sabit yük, hareketli yük, baba çekme kuvveti, gemi yavaşma basıncı, rüzgar kuvveti, deprem kuvveti ve dalga nedeniyle oluşan kuvvetler hesaplandıktan sonra bu yapıya etkiyen yük kombinasyonlarına göre SAP2000 Yapı analiz programı ile çözümler yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda iskele sistemindeki maksimum yerdeğiştirmeler Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü gibi sabit yük(G), hareketli yük (P) ve baba çekme kuvvetinin (B)($\alpha=90^\circ$) birlikte etkimesi halinde en elverişsiz yükleme oluşmaktadır. Bu yüklemede sistem, dalga yönüne dik yönde (δ_y) maksimum yerdeğiştirme yapmaktadır.

Sadece sabit yük, hareketli yük ve rüzgar kuvvetinin etkisi altındaki sistemin çözümünden δ_x değeri 0.00627 m olarak bulunmaktadır. Bu kuvvetlere, kazıklara dalga yönünde etkiyen, sürüklenme ve atalet kuvveti, akıma dik yönde çevrilerden oluşan yanıl kuvvetle birlikte platforma etkiyen, kaldırma ve darbe kuvvetleri ilave edilip hesaplar tekrarlanırsa $H_5 = 5.142$ m iken dalga yönünde meydana gelen yerdeğiştirme $\delta_x=0.05341$ m olmaktadır. Dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin dalga yönündeki yerdeğiştirmeleri 8.518 kat artırdığı görülmektedir. Dalga yüksekliği arttıkça dalga nedeniyle oluşan kuvvetlerin dalga yönündeki yerdeğiştirmeleri artırdığı ve hesaplarda gözönüne alınması gerektiği görülmüştür. Ayrıca, kaldırma kuvvetinin etkisi gözönüne alındığında düşey yöndeki yerdeğiştirmelerin arttığı Tablo 4.1'den görülmektedir.

Tablo 4.1. Yük Kombinasyonlarına Göre Maksimum Yerdeğiştirmeler

Yük Kombinasyonları		Maksimum Yerdeğiştirmeler (m)		
		δ_x	δ_y	δ_z
1	G+P+R	0.00855	0.04301	-0.00138
2	G+P+B($\alpha=90^\circ$)	-0.02416	-0.12148	-0.00171
3	G+P+B($\alpha=30^\circ$)	-0.07189	-0.08173	0.00122
4	G+P/2+E+B/2($\alpha=90^\circ$)	-0.01203	0.03515	-0.00110
5	G+P/2+E+B/2($\alpha=30^\circ$)	-0.03582	0.05183	-0.00198
6	G+P/2+E+R/2	0.00425	0.06913	-0.00134
7	G+P+W+p (H=5.142 m)	0.05341	-0.02646	0.00260
8	G+W+p (H=5.142 m)	0.05341	-0.02646	0.00268
9	G+P+W+p (H=6.627 m)	0.07189	-0.03312	0.00416
10	G+W+p (H=6.627 m)	0.07189	-0.03312	0.00423
11	G+P+W+p (H=8.111 m)	0.11392	-0.03063	0.00539
12	G+W+p (H=8.111 m)	0.11392	-0.03063	0.00547
13	G+P+W	0.00627	0	-6.301E-4
14	G+W	0.00627	0	-5.536E-4

KAYNAKLAR

[1] BEA, R.G., FELLOW, ASCE, T.Xu, STEAR, J., RAMOS, R., (1999), Wave Forces on Decks of Offshore Platforms, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 125, No.3, s.138.

- [2] BOWLES, J.E., (1988), *Foundation Analysis and Design*, McGraw Hill, 5.th Ed., New York, s. 951-953.
- [3] DEAN, R.G., (1974), *Evaluation and Development of Water Wave Theories for Engineering Application*, U.S. Army, Coastal Engineering Research Center, Special Report No:1, s. 39-68.
- [4] DEAN, R.G., (1974), *Evaluation and Development of Water Wave Theories for Engineering Application*, U.S. Army, Coastal Engineering Research Center, Special Report No:2, s. 237-244.
- [5] ERTARHANACI, M., (1995), Çakma Kazıklı İskelelerin Projelendirilmesi, Bitirme Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, s. 19.
- [6] <http://rad.coastal.udel.edu/faculty/rad/streamless.html>
- [7] KAPDAŞLI, S., (1994), *Kıyı Mühendisliği*, İTÜ Yayını, No: 1054, İstanbul, s. 110-112.
- [8] MOE, G., (1990), Morison Type Wave Loading, *Water Wave Kinematics*, Kluwer Academic, Publishers, Netherland, s.652.
- [9] NOVAK, P., MOFFAT, A.B., NALLURI, C., NARAYANAN, R., (1990), *Hydraulic Structures*, Unwin Hyman Ltd., London, s. 504.
- [10] ÖZGEN, Y., (1986), *Wave Forces Under Horizontal Platforms at the Splash Zone*, MSC., Thesis, Middle East Tech. Univ., Civil Eng. Dept., Ankara, s.4-9.
- [11] ÖZKAN, M.T., TOĞROL, E., BAKİOĞLU, M., (1990), *İskelelere Etkiyen Darbeler*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, 3. Ulusal Kongresi, Boğaziçi, İstanbul, s. 269
- [12] SARP KAYA, T., and ISAACSON, M., (1981), *Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, s. 298.
- [13] CERC, (1984), *Shore Protection Manual*, Vol. 2., 4th Ed., Coast. Engrg. Res. Ctr., US Army Corps Engrs., Washington, s.132-144.
- [14] Shibata Industrial Co. Ltd., *Shibata Marine Fender Design Manual*, Tokyo, Japonya, s. 39.
- [15] TOĞROL, E., (1970), *Kazıklı Temeller*, Temel Araştırma A.Ş. Yayınları, No:1, İstanbul, s. 106.
- [16] YILDIRIM, S., ÖZAYDIN, İ.K., (1994), *Derin Temeller*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, 5. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara, s.716.
- [17] YÜKSEL, Y., ÇEVİK, E., ÇELİKOĞLU, Y., (1998), *Kıyı ve Liman Mühendisliği*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi. s.287.

ABSTRACT

The Forces Due to Waves and Their Effects at Piled Piers

In this study, at piled piers the effects of forces due to waves by Stream Function Wave Theory have been explained on one numerical example. On the pile, the forces due to waves are drag force, inertia force and transverse forces due to eddy shedding. On the deck, the forces due to waves are slamming force and uplift force.

The solutions were made according to load combinations by SAP2000 (Structural Analysis Programme). The result of these solutions is that the most unsuitable loading is the total load of the constant load (G), live load (P) and bollard pulling force (B). However, it is observed that the force due to waves increase the displacements in the direction of the waves and therefore they should be taken into consideration in calculations.

İZMİT KÖRFEZİ AKINTI MODELLEMESİ

Zeynep ÇEHRELİ

Osman S. BÖREKÇİ

Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80815 Bebek, İstanbul

ÖZET

İzmit Körfezi'nin rüzgar tarafından sürülen akıntılarının modellenmesi için derinlik üzerinde ortalananmış iki boyutlu bir sonlu hacimler modeli geliştirilmiştir. Öncelikle modelin çeşitli sınır geometrilerine ve rüzgar durumlarına tepkisi denenmiş ve doğrulanmıştır. Elde edilen ortalama akıntı hızları, rüzgar tarafından sürülen yüzey akıntı hızlarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Modelin İzmit Körfezi için kalibrasyonu, Dengili (1999) tarafından bildirilen ve Nisan 1999'da İzmit Körfezi'nde yapılmış akıntı ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelin uygulanmasında 1929-1990 yılları arasında yapılmış rüzgar ölçümleri kullanılmıştır.

1. GİRİŞ

Hızlı, plansız endüstrileşme ve nüfus artışı sonucunda ülkemizin su kaynakları ve karasuları kirlenme tehdidiyle karşı karşıyadır. Ülkemizi çevreleyen denizlerin büyük okyanuslarla su değişimi ancak Cebeli Tarık Boğazı kanalıyla olmaktadır. Bu su değişimi, Karadenizle başlayan iç deniz ve boğazlar sistemi için yeterli değildir. Bu çalışmaya konu olan İzmit Körfezi'nin kıyıları da hem nüfus hem de endüstrileşme bakımından ülkemizin en yoğun bölgelerinden biridir. İzmit Körfezi'nin yapısı bakımından yarı kapalı bir sistem olması ve akıntılarının nispeten zayıf olması, körfezin daha da kirlenmesi halinde oldukça ciddi çevresel sorunlar doğuracaktır. Problemin olası boyutları İzmit Körfezi için bir iyileştirme sürecinin başlatılmasına neden olmuştur. Yerel ve uluslararası fonlarla desteklenen ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) tarafından yürütülen "İzmit Körfezi'nin İyileştirilmesi" projesi bu sürecin bir parçasını oluşturmaktadır. Bu proje kapsamında başlatılan ölçüm ve modelleme çalışmalarına katkıda bulunmak amacıyla Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde modelleme çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmaların üç aşamada gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. Tamamlanan birinci aşamada, kullanılması düşünülen modelleme tekniği ve çeşitli model parametreleri denenmiş, rüzgar tarafından sürülen tek katmanlı bir akıntı modeli elde edilmiştir. İkinci aşamada, İzmit Körfezi su katmanlarını daha gerçekçi olarak temsil edecek üç katmanlı bir akıntı ve kirlilik taşınım modeli geliştirilecektir. Üçüncü aşamada ise paralel bilgisayar sistemleri için üç boyutlu bir akıntı ve kirlilik taşınım modeli planlanmıştır. Yapılan ön görüşmelerde, ikinci aşama ve sonrasında MAM'ın ve ABD'den West Virginia

Üniversitesi'nin de modelleme çalışmalarına katılmaları ve projenin desteklenmesi için ulusal ve uluslararası fonlara başvurulması planlanmıştır.

Birinci aşamada Sonlu Hacim Metodu (SHM) kullanılarak kararlı akım için tek katmanlı, iki boyutlu (derinlik üzerinde ortalananmış) bir akıntı modeli geliştirilmiştir. Model değişik sınır şartları, batimetrlere, rüzgar dağılımları, taban sürtünmeleri ve difüzyon katsayıları kullanılarak denemiş ve akıntıların beklenen yönlerde ve büyüklüklerde oldukları gözlemlenmiştir. Modelin İzmit Körfezi için kalibrasyonu, Dengili (1999) tarafından bildirilen ve Nisan 1999'da İzmit Körfezi'nde yapılmış akıntı ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelin uygulanmasında Göztepe Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanan 1929-1990 yılları arasında yapılmış rüzgar ölçümleri kullanılmıştır.

2. HİDRODİNAMİK DENKLEMLER

Modele esas olan hidrodinamik denklemler yatay düzlemde iki momentum denklemi ile süreklilik denkleminin oluşmaktadır. Sonlu Hacimler Metodu'nun dayandığı korunum ilkeleri göz önüne alınarak bu denklemler

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho uv) = -\gamma \frac{\partial \eta}{\partial x} + \rho f v + \frac{1}{h+\eta}(\tau_x^s - \tau_x^b) + \rho N_h \nabla^2 u \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uv) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vv) = -\gamma \frac{\partial \eta}{\partial y} - \rho f u + \frac{1}{h+\eta}(\tau_y^s - \tau_y^b) + \rho N_h \nabla^2 v \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}[u(h+\eta)] + \frac{\partial}{\partial y}[v(h+\eta)] = 0 \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Bu denklemlerde, u ile v , sırasıyla, x ve y yönlerindeki ortalananmış akıntı hızlarını, η su yüzeyinin durgun su yüzeyine göre yüksekliğini, h derinliği, ρ ve γ , sırasıyla, suyun yoğunluğunu ve özgül ağırlığını, N_h ise yatay düzlemdeki kinematik eddi vizkozitesini göstermektedir. Rüzgardan suya momentum transferi bu iki akışkanın ara yüzeyinde oluşan kayma gerilmeleri ile olmaktadır, τ_x^s ve τ_y^s yüzeydeki kayma gerilmelerinin x ve y yönlerindeki bileşenlerini göstermektedir. Hareket halinde bulunan bir su kütlesi, Coriolis kuvveti tarafından kuzey yarı kürede hareket yönünün sağına doğru çekilir. Dünyanın kendi eksenini etrafında dönüşünün etkisini yansıtan bu kuvvetin x ve y yönlerindeki bileşenleri, momentum denklemlerinde $-\rho f v$ ve $\rho f u$ olarak görülmektedir. Burada, dünyanın kendi eksenini etrafındaki açısal dönme hızı Ω ile su kütlesinin bulunduğu enlem ϕ 'ye bağlı olarak Coriolis parametresi $f=2\Omega \sin \phi$ ifadesinden bulunabilir. Su kütlesinin hareketine deniz tabanının direnci ise su-taban ara yüzeyinde oluşan kayma gerilmeleri ile ifade edilebilir. Bu gerilmelerinin x ve y yönlerindeki bileşenleri, momentum denklemlerinde τ_x^b ve τ_y^b olarak görülmektedir.

Model denklemlerinde geçen kayma gerilmesi terimleri için akışkan hızının karesine bağlı ifadeler seçilmiştir. Yüzeydeki kayma gerilmeleri için

$$\tau_x^s = C_{10} \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad \tau_y^s = C_{10} \rho_a W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4)$$

ifadelri kullanılmıştır. Burada, W_x ve W_y rüzgar hızının bileşenleri, ρ_a havanın yoğunluğu, C_{10} ise yüzeyden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı temel alınarak elde edilmiş bir sürtünme katsayısıdır. Kaynaklarda C_{10} için verilen çeşitli sabitlere veya rüzgar hızına bağlı çeşitli ifadelere rastlamak mümkündür. Örnek olarak, C_{10} için Palmen ve Laurila (1938) 0.0024, Hela (1948) 0.0019, Neumann (1948) 0.9, Ekman (1952) 2.6 ve Pond (1971) 1.5 önermektedir. Rüzgar hızına bağlı ifadelere de Heaps (1965)

$$C_{10} = \begin{cases} 0.000565 & W < 5 \text{ m/s} \\ (-0.12 + 0.137 W) \times 10^{-3} & 5 < W < 19.22 \text{ m/s} \\ 0.002513 & W > 19.22 \text{ m/s} \end{cases} \quad (5)$$

ve Garrat(1977)

$$C_{10} = (0.75 + 0.067 W) \times 10^{-3} \quad (6)$$

örnek olarak gösterilebilir. Körfez tabanındaki kayma gerilmeleri de

$$\tau_x^b = r \rho u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \tau_y^b = r \rho v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (7)$$

veya

$$\tau_x^b = \frac{\rho g}{C^2} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \tau_y^b = \frac{\rho g}{C^2} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (8)$$

şeklinde ifade etmek mümkündür. Bu ifadelerde, r tabanın pürüzlülüğüne ve taban sınır tabakası özelliklerine bağlı bir sürtünme katsayısını, C Chezy katsayısını, g ise yer çekimi ivmesini göstermektedir. Komar (1976) r katsayısının 0.002-0.004 aralığında alınmasını önermektedir. Chezy katsayısı için taban özelliklerine bağlı bir sabit seçilebileceği gibi Gerritsen ve Biljsma'nın (1988) önerdiği gibi derinliğe bağlı

$$C = \begin{cases} 65 & h < 40 \text{ m} \\ h+25 & 40 \text{ m} < h < 65 \text{ m} \\ 90 & h > 65 \text{ m} \end{cases} \quad (9)$$

ifadesi de kullanılabilir.

Momentum denklemlerinde, (1) ve (2), geçen yatay düzlemdeki kinematik eddi vizkozitesi N_h 'nin değeri hakkında literatürde bir fikir birliği mevcut değildir (Pedlosky, 1979). Ancak yapılan çalışmalardan bu parametrenin rüzgar hızı W 'nin artışı ile arttığı görülmektedir. Bu konuda 1966 yılına kadar yapılan çalışmaların bir kısmı Neumann ve Pierson'da (1966) özetlenmiştir. Örnek olarak, burada Schmidt'e (1917) göre N_h $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ($W=1 \text{ m/s}$ için) ile

0.172 m²/s ($W=20$ m/s için) arasında değerler alırken Neumann'a (1952) göre N_h 0.0058 m²/s ($W=4$ m/s için) ile 0.252 m²/s ($W=18$ m/s için) arasında değişmektedir. Pedlosky (1979) N_h 'nin değeri hakkında bir belirsizlik olduğunu ve literatürde 10 m²/s ile 10⁴ m²/s arasında değerlere rastlandığını söylemektedir.

Burada sunulan modelde N_h 'nin değerini herhangi bir çalışmadan almak yerine hesaplanmış veya ölçülmüş bir yüzey akıntısına göre belirlemek yoluna gidilmiştir. Rüzgar tarafından sağlanan momentumun düşeyde taşınımının derinlik ne olursa olsun tabana kadar devam ederek aradaki bütün su kolonunu harekete geçirmesi beklenemez. Ekman'a (1905) göre W hızında esen bir rüzgar, yüzeyden

$$D_f = \pi \sqrt{\frac{N_v}{\Omega \sin \phi}} \quad (10)$$

derinliğine kadar etkili olacak ve yüzeyde

$$V_o = \frac{\pi \tau^s}{\sqrt{2 D_f \rho \Omega \sin \phi}} \quad (11)$$

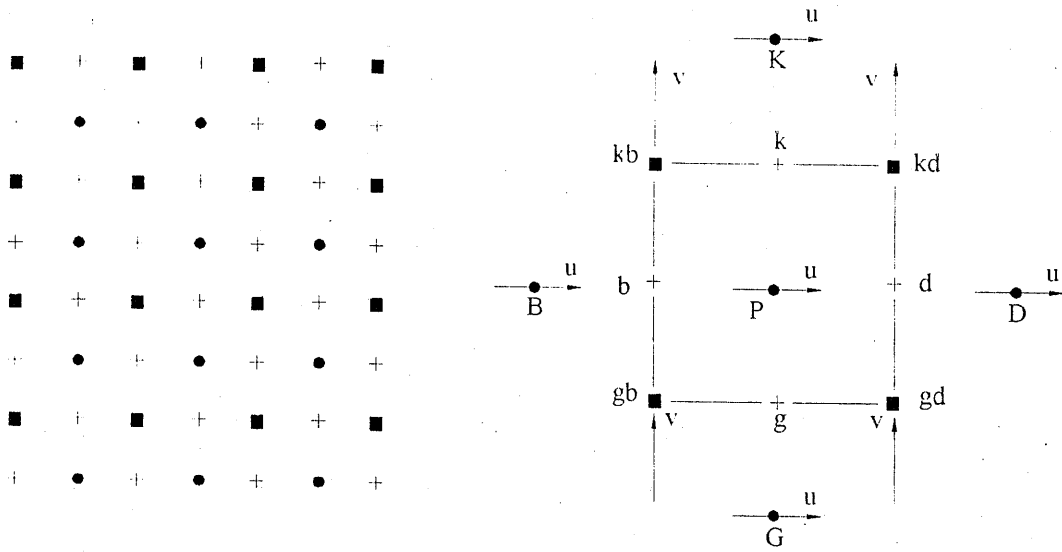
büyükliğünde bir akıntıyı sürecektir. Burada N_v düşey düzlemdeki kinematik eddi vizkozitesini göstermektedir. Yapılan ölçümler, ortalama $N_v = 0.01$ m²/s için, Ekman'ın denklemlerinin genelde iyi sonuç verdiğini göstermektedir (Pierson ve Neumann, 1966). Akıntı ölçümlerinin bulunmadığı durumlarda, N_h (11)'den hesaplanan V_o 'ın model sonuçlarıyla karşılaştırılmasıyla belirlenebilir. Dengili'nin (1999) İzmit Körfezi için verdiği Nisan ayında yapılmış akıntı ölçümleri ve Göztepe Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilen Nisan ayı ortalama rüzgar verileri kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda model batimetrisinin 50 m ile sınırlanabileceği ve $N_h = 110$ m²/s kullanılabileceği görülmüştür.

4. SONLU HACİM FORMULASYONU

Momentum ve süreklilik denklemlerinin sonlu hacim formülasyonu, bu denklemlerin boyutları $\delta x \times \delta y \times \delta z$ olan bir kontrol hacmi (CV) üzerinde integralinin alınması esasına dayanmaktadır. Buradaki iki boyutlu problem için δz boyutunu birim uzunlukta alarak ve kare şeklinde kontrol hacimleri için x -yönündeki momentum denkleminin integrali

$$\begin{aligned} \int_{CV} \left[\frac{\partial}{\partial x} (\rho u u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho u v) \right] dV &= \int_{CV} \left[-\gamma \frac{\partial \eta}{\partial x} + \rho f v + \frac{1}{h + \eta} (\tau_x^s - \tau_x^b) + \rho N_h \nabla^2 u \right] dV \\ \int \rho u u dy + \int \rho u v dx &= -\int \gamma \eta dx dy + \int \rho f v dx dy + \frac{1}{h + \eta} \int (\tau_x^s - \tau_x^b) dx dy + \int \rho N_h \frac{\partial u}{\partial x} dy \\ &+ \int \rho N_h \frac{\partial u}{\partial y} dx \end{aligned} \quad (12)$$

olarak yazılabilir. Bu integralin alınabilmesi için modelde Şekil 1'de gösterilen kaydırılmış ağ ve u - kontrol hacmi kullanılmıştır. Şekilde kontrol hacminin merkezi P ile belirtilirken, köşeleri ve



Şekil 1 Kaydırılmış ağı hesaplama noktaları : u (●), v (■), η(+) ve u-kontrol hacmi. Hesaplama noktaları aralığı $l = dx = dy$.

kenar orta noktalarının belirtilmesi için pusula yönlerinden yararlanılmıştır. Denklem (12)'de verilen integralin alınması sonucunda

$$a_p^u u_p = \sum (a^u u)^* - \gamma (\eta_d - \eta_b) l + b^u \quad (13)$$

bulunabilir. Bu denklemdeki a^u katsayıları

$$a_d^u = l \left(\delta + \frac{F_d}{2} \right) \quad a_b^u = l \left(\delta - \frac{F_b}{2} \right) \quad a_k^u = l \left(\delta + \frac{F_k}{2} \right) \quad a_g^u = l \left(\delta - \frac{F_g}{2} \right) \quad (14)$$

$$a_p^u = a_d^u + a_b^u + a_k^u + a_g^u$$

olarak verilebilir. Burada, $\delta = \rho N_h / l$ ve kontrol yüzeylerindeki F momentumu

$$F_d = \rho \frac{u_p + u_D}{2} \quad F_b = \rho \frac{u_p + u_B}{2} \quad F_k = \rho \frac{v_{kd} + v_{kb}}{2} \quad F_g = \rho \frac{v_{gd} + v_{gb}}{2} \quad (15)$$

kullanılmıştır. Denklem (13)'ün sağ tarafındaki ilk terim

$$\sum (au)^* = a_d^u u_d + a_b^u u_b + a_k^u u_k + a_g^u u_g = a_d^u \frac{u_D + u_P}{2} + a_b^u \frac{u_B + u_P}{2} + a_k^u \frac{u_K + u_P}{2} + a_g^u \frac{u_G + u_P}{2} \quad (16)$$

olarak açılabilir. Aynı denklemin son terimi ise Coriolis kuvveti ve sürtünmelerden gelen terimleri içermektedir. Bu terim de

$$b^u = l^2 \left[\frac{\tau_x^s - \tau_x^b}{h + \eta} + \rho \sqrt{v} \right] \quad (17)$$

olarak ifade edilebilir. $\bar{v}$, kontrol hacminin köşelerindeki v hızlarının ortalamasını göstermektedir. Bu ortalama, kontrol hacminin sınırlarında akışkan veya duvar bulunması göz önüne alarak değişik ifadelerden hesaplanmıştır. Deniz yüzeyindeki kayma gerilmelerinin hesabında, kontrol hacminin P noktasındaki rüzgar bileşenleri ve denklem (4) kullanılabilir. Tabandaki kayma gerilmesi ise denklem (7)'den yararlanarak elde edilen

$$\tau_x^h = r \rho u_p \sqrt{u_p^2 + \bar{v}^2} \quad (18)$$

ifadesinden hesaplanabilir.

y- momentum denkleminin ve süreklilik denkleminin de yukarıda özetlenen şekilde sonlu hacimler formulasyonu yapılabilir. Burada bu formulasyonun detaylarına yer verilmeyecektir. Gereken detaylar Çehrelî'de (2000) verilmiştir. Hidrodinamik denklemlerin sonlu hacim formulasyonları aşağıda özetlenmiştir.

$$x\text{-momentum} \quad a_p^u u_p = \sum (a^u u)^* - \gamma (\eta_d - \eta_b) l + b^u$$

$$y\text{-momentum} \quad a_p^v v_p = \sum (a^v v)^* - \gamma (\eta_k - \eta_g) l + b^v \quad (19)$$

$$süreklilik \quad a_p^\eta \eta_p = \sum (a^\eta \eta)^* + b^\eta$$

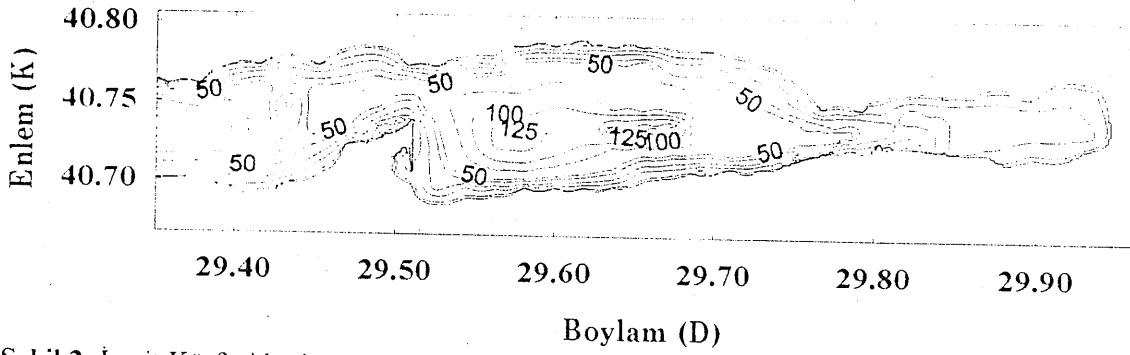
Süreklilik denkleminin deniz yüzeyinin konumu elde edildiğinden bu denklem serbest yüzey düzeltme denklemi olarak da yorumlanabilir.

4. SINIR ŞARTLARI VE ÇÖZÜM ALGORİTMASI

Hidrodinamik denklemlerin özelliklerine uygun olarak deniz-kara ara yüzeyinde akışkan hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Belirlenmesi nispeten zor olan sınır şartı körfez-deniz ara yüzeyinde olanıdır. Bu sınır şartı serbest yüzey kotları veya akıntı hızları olabilir. Ancak, genelde ölçümler bulunmadığından uygun bir sınır şartı için yaklaşımlar kullanılmaktadır. Modelde, körfez-deniz ara yüzeyinden akıntıların engellenmeksizin geçebilmeleri esasına uygun olan ve uzun dalga teorisine dayanan (Reid ve Bodine, 1968) aşağıdaki ifade kullanılmıştır.

$$u = \eta \sqrt{\frac{g}{h + \eta}} \quad (20)$$

Bu sınır şartı ve benzerleri Kowalik ve Murty'de (1993) verilmiş ve tartışılmıştır. Uygulamada körfez-deniz ara yüzeyinde η -kontrol hacimleri yerleştirilmiştir. Bu kontrol hacimlerinin batı (İzmit Körfezi için) kenar ortalarında bulunan ve sınır değeri olan u hız bileşenini kontrol hacminin merkezindeki η değerini (bir önceki iterasyondan gelen) kullanarak denklem (20)'den bulmak mümkündür. Dolayısıyla; iteratif çözümün her döngüsünde denklem (19)'da verilen ifadeler sırasıyla çözülürken deniz-kara ara yüzeyindeki sınır şartları değişmeyecek ancak



Şekil 2 İzmit Körfezi batimetrisi. Derinlikler metre olarak verilmiştir.

körfez-deniz ara yüzeyindeki sınır şartı bir önceki döngü sonucunda elde edilen serbest yüzey konumuna göre değişecektir. Kullanılan bu sınır şartının sonucu olarak hesaplama sonunda elde edilen serbest yüzey yükseklikleri göreceli olarak doğru olacaktır.

Denklemlerin çözümü için Versteeg ve Malalasekera'da (1995) verilen SIMPLE, SIMPLER, SIMPLEC ve PISO gibi çözüm algoritmaları vardır. Bunlar içinden modelde güçlü yakınsama özellikleri olan SIMPLEC algoritması seçilmiştir. Algoritmanın yukarıda verilen denklemlere uygulaması Çehreli'de (2000) verilmiştir.

4. MODELİN İZMİT KÖRFEZİNE UYGULANMASI

İzmit Körfezi rüzgar verileri Göztepe Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir. Veriler, Kocaeli'nde 40° 46' K enlemi ve 29° 50' D boylamında ölçülmüş, 1929-1990 yıllarını kapsayan, 16 yöndeki ortalama değerlerdir. Model her yönden esen maksimum ve en sık rastlanan (modal) rüzgarlar için çalıştırılmıştır. Modelde kullanılan batimetri verileri ODTÜ'den Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçın tarafından, Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi'nin hazırladığı İzmit Körfezi batimetri haritasından sayısallaştırılmıştır. Bu batimetri Şekil 2'de verilmiştir. Ancak, yukarıda izah edilen nedenlerle model tabanı 50 m derinlikle sınırlanmıştır.

Model denklemlerinin geliştirilmesinde kontrol hacminin yüzeylerindeki momentumlar denklem (15)'den de görülebileceği gibi ortalama değerler olarak alınmıştır. Bu yaklaşımla kararlı bir nümerik algoritma elde edebilmek için hücre Peclet sayısını (Pe) sınırlanmak gerekmektedir. Denklem (13)'ün temsil ettiği denklem takımının bilinmeyen u değerleri için kararlı bir nümerik çözümünün olabilmesi için a katsayılarının hepsinin işaretlerinin aynı olması gerekmektedir. Bu kriterin denklem (14)'te verilen katsayılara uygulanması ile

$$-2 < Pe = \frac{\rho u}{\rho N_h} < 2 \quad (21)$$

kriteri bulunabilir. Dengili'nin (1999) verdiği Nisan ayı akıntı ölçümlerinden akıntı hızlarının 10^{-2} m/s büyüklüğünde olduğu görülmektedir. Bu büyüklükteki hızlar ve modelde kullanılan $l = 800$ m, $N_h = 110$ m²/s yukarıdaki kritere uygundur. Nisan ayı rüzgar verileri maksimum rüzgarın aynı zamanda modal rüzgar olduğunu ve DGD yönünden 4.1 m/s süratinde estiğini göstermektedir. Tablo 1'de verilen model sonuçları ve ölçümlerin karşılaştırması model sonuçlarının doğru yönde ve mertebede olduğunu göstermektedir. Ancak bunun sadece üç

Tablo 1 Nisan ayı için hesaplanan akıntıların ölçümlerle (Dengili ,1999) karşılaştırması..

No.	Boylam (derece D)	Enlem (derece K)	Hesaplanan Akıntı		Ölçülen Akıntı	
			u (m/s)	v (m/s)	u (m/s)	v (m/s)
1	29.4035	40.8098	-0.0899	- 0.00059	- 0.1100	0.0000
2	29.8140	40.7944	-0.0653	0.14200	- 0.0200	0.1400
3	29.6555	40.8164	-0.0831	- 0.00134	- 0.1500	0.0000

noktada yapılan bir karşılaştırma olduğu unutulmamalıdır. Nisan ayı için elde edilen akıntılar Şekil 2'de gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 3'te de Mayıs ayında modal rüzgarın sürdüğü akıntılar verilmiştir. Diğer aylar için hesaplanan akıntılar ve göreceli serbest yüzey konumları Çehreli'de (2000) verilmiştir.

6. SONUÇ

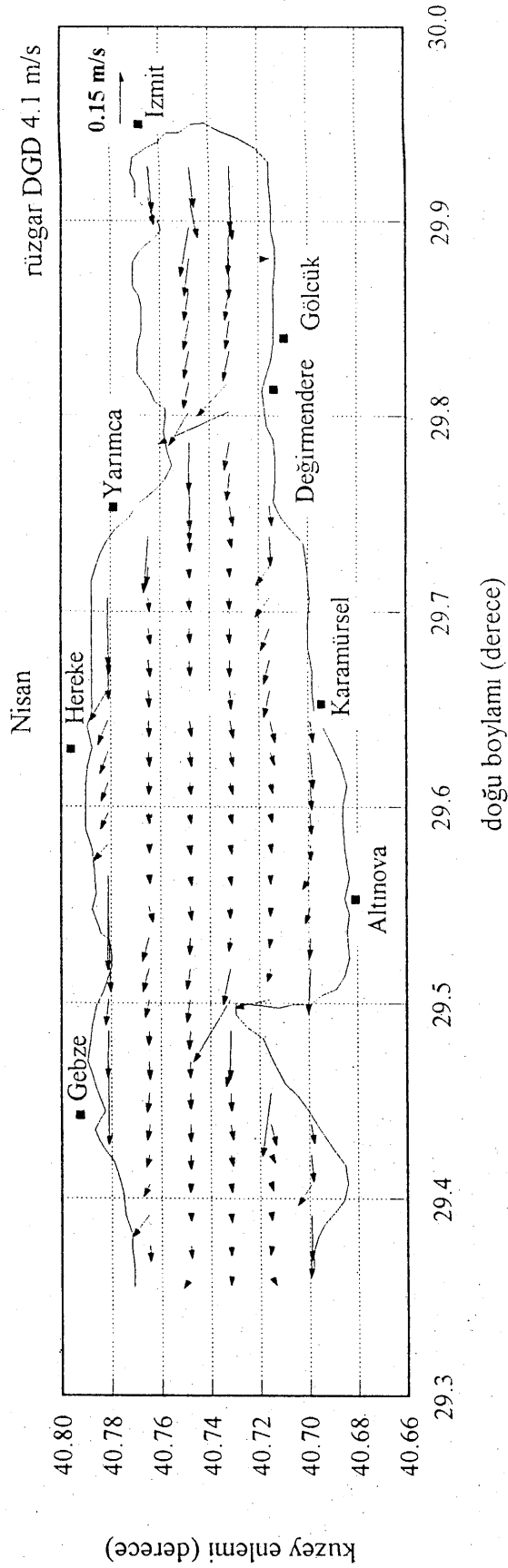
İzmit Körfezi'nin incelenmesi için başlatılan modelleme çalışmalarının ilk etabını teşkil eden bu çalışmada rüzgar tarafından sürülen akıntıların hesaplanabilmesi için derinlik üzerinde ortalanmış iki boyutlu bir sonlu hacimler modeli geliştirilmiştir. Modelin eldeki kısıtlı ölçümlerle kalibrasyonu yapılarak İzmit Körfezine uygulanmıştır. Bu haliyle modelin sadece yüzey akıntıları için beklenen yön ve büyüklükte sonuçlar verdiği söylenebilir. Daha gerçekçi sonuçlar için en azından, körfez sularının yapısına uygun olan üç katmanlı bir modele ihtiyaç vardır.

Şekil 2 ve 3'te verilen akıntı hızlarından bazılarının çevrelerindeki hızlardan çok daha büyük olduğu görülmektedir. Ölçümler bulunmadığı için bunlardan hangilerinin gerçekte var oldukları bilinmemektedir. Ancak, nümerik modellerde kısa mesafeler üzerinde ani derinlik farklarının olduğu noktalarda veya akımın büyük miktarda yön değiştirmeye zorlandığı yerlerde bu gibi sonuçlara rastlamak mümkündür. Modelde kullanılan $800\text{ m} \times 800\text{ m}$ boyutlarındaki kaydırılmış hesaplama ağı hızların hesaplandığı noktaların arasını 1600 m yapmaktadır. Dolayısıyla, akıntıların gösterildiği şekillerde bu buyuttan küçük çevrıntilere rastlanmamıştır.

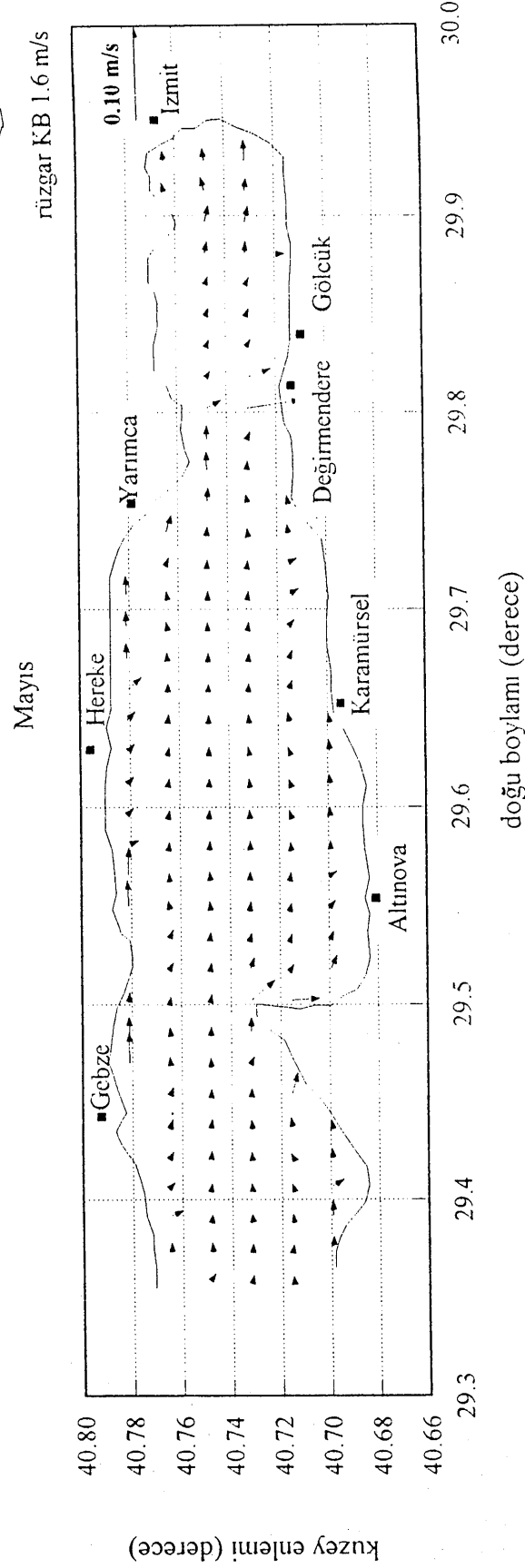
Modelin geliştirilmesinde kullanılan SIMPLEC algoritmasının güçlü yakınsama özellikleri bakımından projenin gelecekteki çalışmalarında da kullanılmasına karar verilmiştir. Burada yapılan uygulamalarda yakınsama kriteri olarak hesaplanan hızların ve serbest yüzey yüksekliğinin en fazla 0.001 değişimleri esas alınmış ve en fazla 50 iterasyonda yakınsama sağlanmıştır. Uygulamada momentum denklemlerinin sırasıyla ve birbirlerinin sonuçları kullanılmaksızın çözümleri ileride yazılması düşünülen üç boyutlu paralel algoritmalar için önem taşımaktadır. Paralel algoritmalarda her bir momentum denkleminin çözümünü farklı bir işlemciye atayarak çözüm süresini düşürmek mümkün olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmada kullanılan İzmit Körfezi batimetrisini sağlayan ve değerli görüşlerini esirgemeyen Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçiner'e teşekkürlerini sunarlar.



Şekil 2. Nisan ayında maksimum (aynı zamanda en sık rastlanan) rüzgar tarafından sürülen İzmit Körfezi akıntıları.



Şekil 3. Mayıs ayında en sık rastlanan rüzgar tarafından sürülen İzmit Körfezi akıntıları.

KAYNAKLAR

- ÇEHRELİ, Z.N., (2000), A Depth Averaged Hydrodynamic Model for İzmit Bay, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DENGİLİ, K., (1999), Water Quality Assesment of İzmit Bay by Two Dimensional Modeling, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- EKMAN, V.W., (1905), On the Influence of Earth's Rotation on Ocean Currents, *Astronomy and Physics*, c.2, no.11, s.1-53.
- GARRAT, J.R., (1977), Review of Drag Coefficients Over Oceans and Continents, *Monthly Weather Review*, c.7, no.105, s.915-929.
- GERRITSEN, H., BILJSM, A.C., (1988), Modeling of Tidal and Win-Driven Flow,; The Dutch Continental Shelf Model, *Computer Modeling in Ocean Engineering*, Schrefler ve Zienkiewicz (ed.), no.398, s.331-338.
- HELA, I., (1948), On the Stress of the Wind on the Water Surface, *Geophysica*, no.3, Geophys. Soc. Finland.
- KOMAR, P.D., (1976), Boundary Layer Flow under Steady Unidirectional Currents, *Marine Sediment Transport*, Wiley, s.91-106.
- KOWALIK, Z., MURTY, T.S., (1993), *Numerical Modeling of Ocean Dynamics*, World Scientific.
- NUEMANN, G., (1952), On the Complex Nature of Ocean Waves and the Growth of the Sea Under the Action of Wind, *Gravity Waves*, NBS Circular 521.
- NEUMANN, G., PIERSON, W.J., (1969), *Principles of Physical Oceanography*, Prentice-Hall.
- PALMEN, E., LAURILA, E., (1938) Über die Einwirkung eines Sturmes auf den hydrographischen Zustand im nördlichen Ostseegebiet, *Soc. Sci. Fenn. Comm. Phys.-Math.*, c.10, no. 1.
- PEDLOSKY, J., (1979), *Geophysical Fluid Dynamics*, Springer Verlag.
- REID, R.O., BODINE, R.O., (1968), Numerical Model for Storm Surges in Galveston Bay, *J. Waterway and Harbor Div.*, no.94(WW1), s.33-57.
- SCHMIDT, W., (1917), Wirkungen der ungeordneten Bewegungen in Wasser der Meere und Seen, *Ann. d. Hyd. U. Marit. Meteorology*, c.45, s.367-382,431-445.
- VERSTEEG, H.K., MALALASEKERA, M., (1995), *An Introduction to Computational Fluid Dynamics : The Finite Volume Method*, Longman.

ABSTRACT

A wind driven, depth averaged two-dimensional circulation model was developed using the finite volume method. The model was tested for different boundary geometries and wind patterns. The resulting currents were compared to those obtained from wind drift current computations and found to be in accordance with expectations. The model was calibrated using the İzmit Bay current measurements reported by Dengili (1999) for the month of April. Wind data comprising the years 1929-1999 was used to run the model.

KARADENİZ DUBLE OTOYOLU KAPSAMINDA RİZE'DE İyidere-Çayeli ARASINDA SAHİLDE YAPIMI DEVAM EDEN KARAYOLU KÖPRÜLERİNİN KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİNE ETKİLERİ

Dr. Veli SÜME

K.T.Ü., Rize Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü Öğretim Üyesi
Tel: 0-464- 213 0432, Fax: 0-464-213 0511, Telefax: 0-464-2142237
e-mail : rmyo1@superonline.com
vsume@softhome.net

Öğr. Gör. Mehmet Selçuk GÜNER

K.T.Ü., Rize Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü Öğretim Elemanı
Tel: 0-464- 213 0432, Fax: 0-464-213 0511, Telefax: 0-464-2142237
e-mail : rmyo1@superonline.com

Yrd. Doç.Dr. Mehmet Ufuk TURAN

O.G.Ü. Mühendislik Mimarlık Fak. İnş. Müh. Böl. Öğretim Üyesi
Tel: 0-222-239 28 40 / 211, Fax: 0-222- 229 05 35
e-mail : muturan@ogu.edu.tr

Yrd. Doç. Dr. Reşat ACAR

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fak. İnş. Müh. Böl. Öğretim Üyesi
Tel: 0-442-2311439

ÖZET

Yapımına 1998 yılında başlanan Karadeniz Duble Otoyolu, Samsundan başlayarak Doğu Karadeniz'in Sarp sınır kapısına kadar uzanmaktadır. Bu güzergah, sahilten geçmekte olup, bazı yerlerde eski yol ile birleşerek ve deniz dolgusu yapılarak gerçekleştirilmektedir.

Güzergah boyunca mevcut olan eski köprüler yetersiz olduğundan bu köprülere ilave olarak yeni hidrolik köprüler inşaa edilmektedir.

Sahile sıfır olan, eski köprülere ilave olarak yapılan, yeni hidrolik köprülerde genellikle mevcut köprülere bitişik olarak ve mansap tarafına yapılmaktadır. Böylelikle denize daha da yaklaşmaktadır. Böylelikle dolgu ile stabilitesi bozulan kıyı çizgisi daha da bozulmaktadır.

Henüz inşaat safhasında olan bu ilave hidrolik karayolu köprülerinin de bazı kıyı sorunlarını beraberinde getireceği kaçınılmazdır.

Bu makalede; yeni köprü ayaklarından, özellikle; dolmadan kaynaklanan oyulma ve dolma problemlerinin **kıyı profilini nasıl etkileyeceği** incelenmiş, öneriler sunularak alınması gereken çevresel tedbirler belirlenmiştir.

1. GİRİŞ.

Yapımı 1998 yılında başlamış olan Karadeniz Double otoyolu çalışmaları krediden kaynaklanan kısa aralıklarla durmalara rağmen son hızla devam etmektedir. Çalışmalar zaman zaman çevresel faktörlerden kaynaklanan bazı problemler nedeniyle de hız kesmektedir. Şöyle ki böyle büyük kapsamlı bir projenin hayata geçirilmesinde idari, mali ve çevresel zorlukların olması da kaçınılmazdır.

Bu karayolunun double otoyolu olarak yapımı esnasında yerleşim birimlerinden geçiyor olması ile ilgili sorunlar ve bunlara bağlı olarak kamulaştırmadan doğan sorunlar, maliyetin düşürülmesi için kısmi güzergah değişimleri (köprülü kovsak, tünel yada kamulaştırma tercihi gibi) sahilden geçmesi nedeniyle kıyı tahribatının azaltılması, balıkçı barınakları ve liman geçişlerine en az zararın verilmesi, insanların deniz ile olan irtibatının kesilmemesi gibi hedeflerin amaçlandığı da aşikârdır.

Çevreci bazı sivil toplum örgütlerinin bu konu da sesiz kalmaları da başka alternatifinin olmaması ve bu yolun yapımının bir zorunluluk olduğundan hatta geç kalınmış bir proje olduğundan kaynaklanmış olsa gerektir.

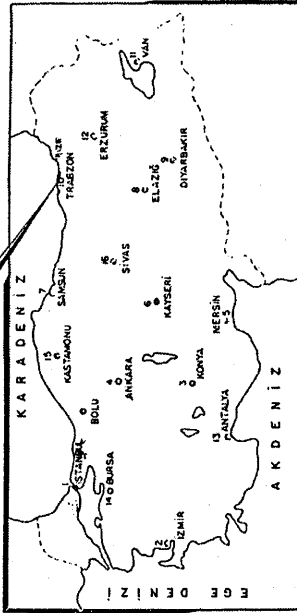
Ayrıca kıyı ve liman mühendisleri ile bu konuda çalışan akademisyen araştırmacılar da konuyu yakından takip etmektedirler. Zaman zaman kontrol şeflikleri ve yüklenici firmalarla konular bilimsel olarak tartışılarak fikir alışverişinde bulunmaktadır (Şekil 1).

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada double otoyolun yapımı esnasında mevcut köprülere ilave olarak yapılan hidrolik köprüler incelenmiştir. Bunlardan İyidere-Çayeli arasında bulunan 6 adet köprü seçilmiş ve özellikle de İyidere, Çayeli Büyükdere köprüsü ve Çayeli Aşıklar hidrolik köprüsü denize yakınlığı nedeniyle önem arz etmektedir.

Bunun nedeni bu köprülerin akarsu rejimi yüksek olan İyidere ve Büyükdere akarsularının üzerinde olmalarıdır. Bu iki akarsuyun taşkın debilerinin çok yüksek olması ve ani feyezanlar sonucu zaman zaman sel rejimine maruz kalmaları ve bazı felaketlere neden olmalarıdır.

PROJESİ YAPILAN KISIM



PROJE BAŞI=107+135.00

K A R A D E N İ Z

RİZE GİRİŞ
KM.122+555.16

RİZE ÇIKIŞ
KM.130+484.00

PROJE SONU=140+150.00

YOLUN NET UZUNLUĞU : 25 085,88

Şekil 1. Duple Otoyol Güzergahı

Ayrıca bu hidrolik köprüler kıyı çizgisi ile akarsuyun birleştiği yerde olup dalga etkilerine de açıktırlar.

Bu nedenle zaman zaman sel rejimi ve zaman zaman da fırtına dalgalarına maruz kalacak olan bu köprüler kıyı etkileşimi sonucu kıyı çizgisi değişiminde etken rol oynayacaklardır.

Bu nedenle de bu etkilerin nasıl olacağı alınmış veya alınacak tedbirlerin neler olacağı ve neler yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur.

1.2. Rize'nin Tanıtımı ve Sahilin Genel Durumu

Rize ilinin yeni nüfusu 74 bin olup toplam kıyı uzunluğu 171 km civarındadır. Bu kıyı boyunca irili ufaklı 12 adet dere mevcuttur. Bu dereler içinde debisi yüksek olan İyidere, Çayeli Büyükdere ve Ardeşendeki Fırtına dereleridir. İncelemeye esas olan hidrolik köprüler İyidere-Çayeli arasındaki 43 km lik sahil şeridi üzerindedir. Ayrıca bu güzergâhta 9 adet balıkçı barınağı , Rize ve Çayeli limanı ile Ünye Çimento paketleme tesisi barınağı ve yapılması düşünülen 12'ye yakın mahmuz bulunmaktadır.

Yine eğlence tesisleri, fabrikalar ve bazı eğitim kurumları ve resmi binalar gibi (belediyeler, DLH, Jandarma Alayı, Otel v.b.) yapılar da sahilindedir.

1.3. İyidere-Çayeli Arasındaki Köprülerin Yeri ve Konumu.

a- İyidere Köprüsü

Rize-Trabzon il sınırında Of-İyidere ilçelerini ayıran İyidere akarsuyu üzerinde olup fore kazıklar üzerine inşaa edilmiş olup mevcut köprünün mansap tarafında ve adeta denize sıfırdır. Bu güzergâhta uzunluğu en çok olan köprüdür. İyidere suyunun denizle birleştiği yerde olup fırtına dalgalarına bariz bir şekilde açıktır (Şekil 2).

b- Derepazarı Köprüsü

Derepazarı ilçesinin merkezindedir. 11.25 m.lik fore kazıklar üzerine inşaa edilmiş olup 28,60 m. uzunluğundadır. 1 orta 2 kenar ayak üzerine oturmakta olup 15,75 m. genişliğindedir. Tabliye kotu 6 m. dir. Balıkçı barınağı içinde olup fırtına dalgalarına karşı ana mendirekle korunmaktadır (Şekil 3).

c- Taşlıdere Köprüsü

Rize'nin doğu çıkışında Engindere mahallesinde 9 adet masif ayak üzerine 8 açıklıklı olarak inşaa edilmiş olup, tabliye kotu 11 m.dir. Uzunluğu 191 m., genişliği 14,25 m.dir. Mevcut köprünün mansabında yani deniz tarafındadır (Şekil 4).

d- Gündoğdu Köprüsü

Rize'nin Gündoğdu ilçesinin doğu çıkışında fore kazıklar üzerine inşaa edilmiştir. 28,60 m boyunda ve 14,25 m genişliğindedir. Tabliye kotu 6 metredir. Denize sıfır olup fırtına dalgalarına açıktır (Şekil 5).

e- Çayeli Büyükdere Köprüsü

Çayeli girişinde fore kazıklar üzerine 6 açıklıklı olarak inşaa edilmiş olup 200 m. boyunda, yaklaşık olarak 43 m. genişliğindedir. Üzerinde bulunduğu akarsuyun rejimi yüksektir. Ani feyezanlar nedeniyle bu akarsuda taşkınlar yaşanmaktadır. Köprü mevcut köprünün açığına mansab tarafına denize sıfır olarak inşaa edilmiştir. Fırtına dalgalarına çok açıktır (Şekil 6).

f- Çayeli Aşıklar Köprüsü

Çayeli'nin doğu çıkışında 2 açıklıklı olarak fore kazıklar üzerine inşaa edilmiştir. Genişliği 31,5 m. ve boyu yaklaşık 44 m. dir. (2 şerit gidiş, 2 şerit geliş olarak) denize adeta sıfır olup dalga etkisine tamamen açıktır. Ancak üzerinde bulunduğu derenin akarsu rejimi düşüktür. Mevcut köprünün oldukça uzağındadır. Tabliye katı 6 m. dir. Fırtına dalgalarına çok açıktır (Şekil 7).

2. KIYI-KÖPRÜ ETKİLEŞİMİ

2.1. Kıyı Problemleri ve Köprülerin Korunması.

Sahilde yapılaşmanın mevcut olması eğlence yerlerinin ve resmi kurumların sahilde olması ve gerekse yeni yapılan duble otoyolun sahilden geçmesi ister istemez bazı kıyı problemlerini beraberinde getirecektir.

Bu problemlere bazı evsel atıkların ve derelerden gelen sürüntü maddelerinin de eklenmesiyle birlikte kıyı problemlerinin artacağı aşikârdır.

Zaman zaman Karadeniz'de yaşanan fırtınalar, denize dökülen akarsulardaki sel debileride kıyıda oluşan problemleri hızlandırmaktadır.

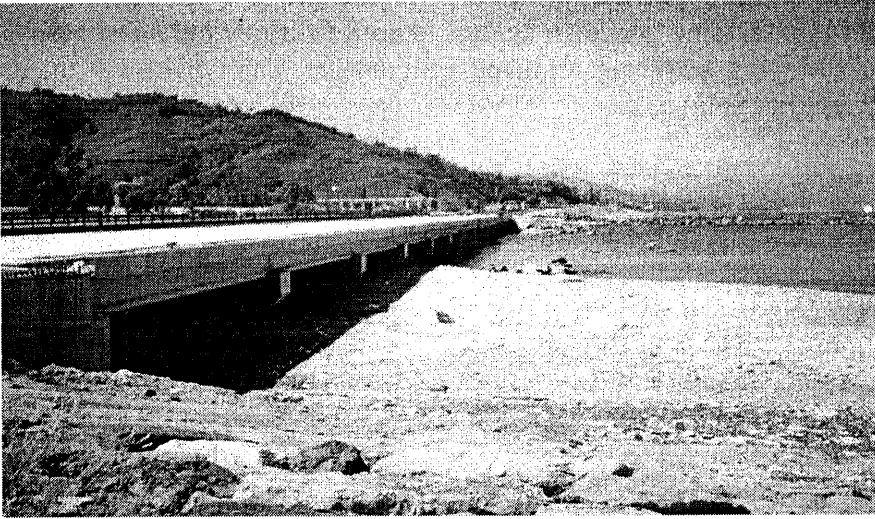
Yukarıda ki problemlere son olarak duble otoyol projesi kapsamında yapılan hidrolik köprülerden (özellikle denize sıfır yapılar da) oluşabilecek etkileşimler de eklenince problemler oldukça yoğunlaşmaktadır.

1.1. İlave Köprülerin Kıyı Değişimine Etkileri

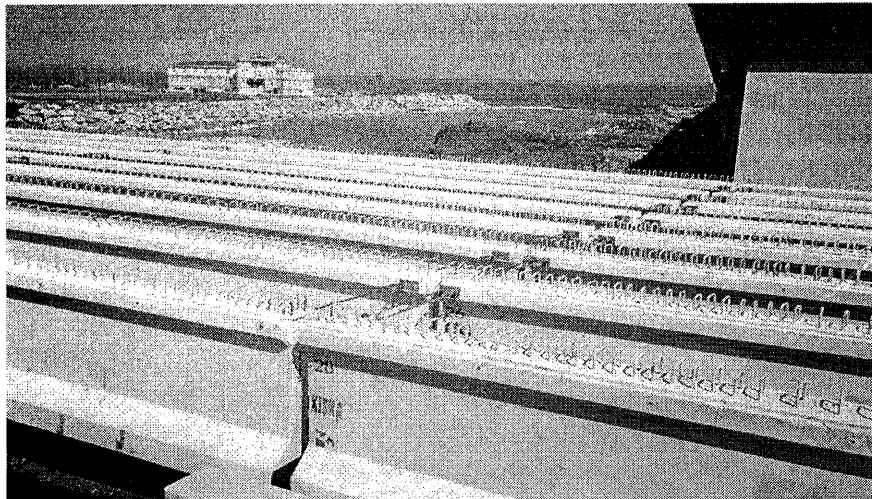
Karadeniz duble otoyolunun geçtiği sahil şeridinin dar olması nedeniyle güzergâh genel olarak deniz dolgusu yapılarak, sahilden geçmekte olup mevcut yolun deniz tarafında inşaa edilmektedir. Güzergâh boyunca dereler hidrolik köprülerle geçilmektedir. Yapılan hidrolik köprülerde genellikle mevcut köprülerin mansabında yani deniz tarafındadır. İncelenen güzergâhtaki (İyidere-Çayeli arasında) ilave köprülerin tamamı deniz tarafındadır. Özellikle de İyidere, Derepazarı, Gündoğdu, Çayeli Büyükdere ve Çayeli aşıklar köprüleri denize sıfır konumundadır.



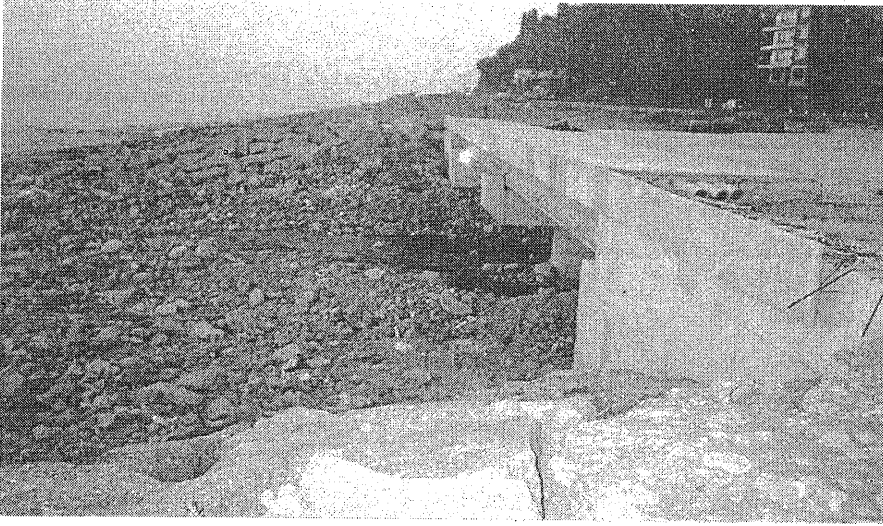
Şekil 2. İyidere Köprüsü



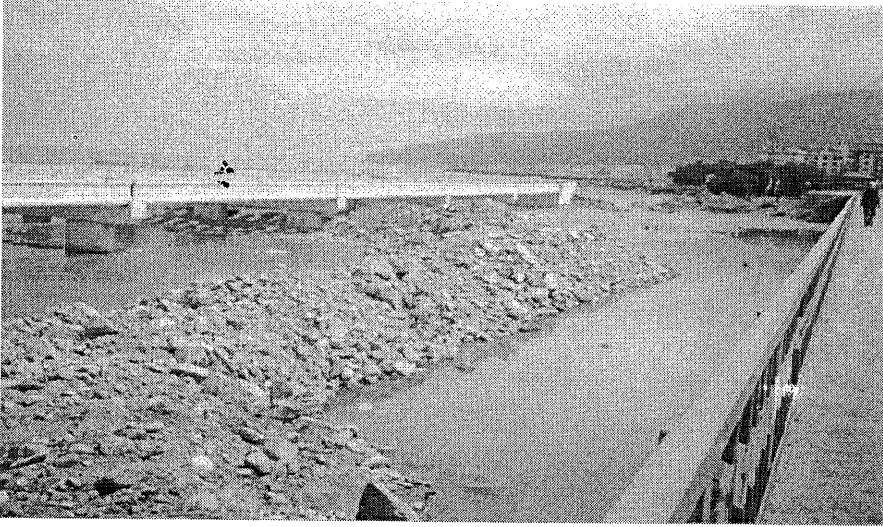
Şekil 3. Der pazarı Köprüsü



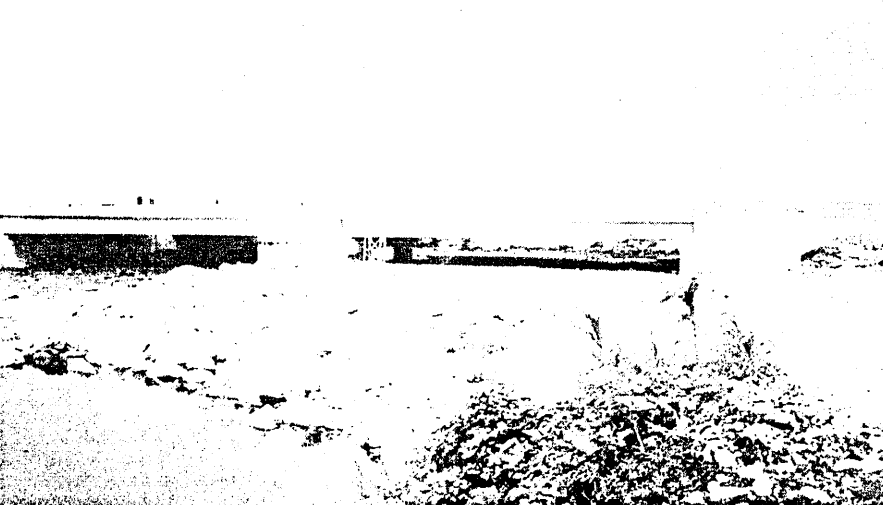
Şekil 4. Taşlıdere Köprüsü



Şekil 5. Gündoğdu Köprüsü



Şekil 6. Çayeli Büyükdere Köprüsü



Şekil 7. Çayeli Aşıklar Köprüsü

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Zaten mevcut olan hidrolik köprü ayaklarına ek olarak yeni yapılan hidrolik köprülerin ayaklarının da eklenmesi ister istemez akarsu rejimini de etkileyecektir. Bu etkileşim ayak civarlarında membada su hızının düşmesi sonucu sürüntü maddesi yığılmaları (dolma) az da olsa mansapta oyulmaların meydana gelmesi şeklinde olacaktır. Dolmalar zamanla sediment depolanmasını artıracak gabariyi azaltacaktır. Ani feyzanlar sonucu oluşan sel rejiminde taşkınlar oluşmasına neden olacaktır.

Zaten sahilde ve dere yatağında olan yapılaşmalar bundan zarar görecektir. Yine mansapta adeta denize sıfır gibi inşaa edilen hidrolik köprüler açık olarak dalga etkisi altındadır. Karadenizde olası fırtınalarda ayakların hasar görmesi, mansapta dolmaların olması zate alçak olan gabari yüksekliğinin daha da azalması, bundan dolayı duble otoyolun bile hasar görmesi muhtemeldir.

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında başta TCK kontrol şeflikleri ile diyalog kurularak şu aşamada neler yapıldığı, ileride neler yapılacağı ve ne gibi tedbirler alınacağı konuları tartışılmıştır.

Zaman zaman uygulamalar yerinde incelenmiş ve kıyı çizgisini etkileyen faktörlerin yanında ilave köprülerden kaynaklanan etkileşimler incelenmiş ve öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Köprülerin mansabında sağ ve sol sahiller taş perelerle dolgu yapılarak koruma altına alınmalıdır.
2. Akarsuyun denize açıldığı yerlerdeki sahil koruyucu mahmuzlarla dalga etkisiinden korunmalıdır.
3. Fırtınalardan sonra köprü mansabının sağ ve sol sahilleri kontrol edilmeli hasar varsa tekrar onarılmalıdır.
4. Gerekirse hangi mevsimde nereden ve ne miktarda malzeme (kaya, kum, çakıl vb. sürüntü maddeleri) alınacağı araştırıldıktan sonra membada oluşabilecek olan sediment depolanmasının önüne geçilmeli ve düzenli olarak biriken malzeme alınmalıdır.
5. Eski köprüye bitişik olarak yapılmayan yeni köprülerle mevcut köprü arası yaklaşım kanalı şeklinde düzenlenmelidir.

KAYNAKLAR

1. İyidere, Der pazarı, Rize, Gündoğdu, Çayeli belediyeleri Fen İşleri Müdürlüğü
2. TCK Kontrol Şeflikleri Rize, 2000
3. ÖNSOY, Hızır, Kıyı ve Liman Müh. Dersi Notları, 1993, 55 Sh.

4. SÜME, Veli, Deniz Yapılarının Dinamik Projelendirilmesi ve Stabilite Etüdü
Yük.Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bil.Enst., Trabzon,1992
5. SÜME, Veli, Köprü Ayakları Civarındaki Değişimlerin Etüdü, KTÜ, Fen
Bil.Ens. Trabzon,1995
6. SÜME, Veli, Ölçme Bilgisi (Topografya) Akademi Yayınevi, Rize,1998,
378sh.
7. SÜME, Veli, Genel İstatistik, Birsan Yayınevi, İstanbul,1999

ABSTRACT

The Black Sea double motorway which began to build in 1998 is beginning from Samsun and stretching out to Sarp customs office in the East Black Sea.

This route is going through the shore, in same places meeting the old motorway and has been made real by filling the sea.

Some new bridges have been building to add to the old bridges which are not enough along this route.

The new bridges have generally been building next to the old bridges whose level is zero to the shore and to the side of the sea. For that reason it has been come closer to the sea. The shore line whose filling and stability is bad is going worse.

These new bridges which have newly been building will bring some shore problems which are inevitable.

In this article, the new bridge piers, especially scoring effected effected by deposition problems have been examined how to effect the shore profile, and the suggestions are presented and the environmental precautions which must be taken are designated.

YAPIMI TAMAMLANDIKTAN SONRA KARADENİZ OTOYOLUNUN, KIYI BOYUNCA AKARSULARIN TAŞIDIĞI KATI MADDE DAĞILIMINA ETKİSİ

Dr.İbrahim YÜKSEL¹ Prof. Dr. Hızır ÖNSOY² Doç. Dr. Ömer YÜKSEK³

¹KTÜ - Rize Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü - 53100 Rize/Türkiye

Tel: (0464) 213 18 86 veya 0533 356 73 15

²⁻³KTÜ - MMF İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Lab.- 61080 Trabzon/Türkiye

Tel ve Fax: (0462) 325 66 82

ÖZET

Bir ülkenin kalkınması, o ülkenin teknolojik yönden ilerlemesine bağlıdır. Bu ilerlemeye ise o ülkenin, ulaşım ağının büyük katkısı vardır. Gelişmiş ülkelerde karayolu hava, deniz ve demir yolu ulaşımına göre daha az tercih edilirken, Türkiye’de durum bunun tam tersidir. Dolayısıyla, Türkiye’de karayolu yapımı büyük önem kazanmaktadır.

Bütün bu gerekçelerle, Karadeniz Sahil Otoyolu’nun yapımına 1998 yılında başlanmıştır. Çoğu yerde kıyıya paralel geçecek olan bu yolu denizin etkisinden korumak için bir çok yerde kıyıya paralel veya dik yapılar yapılmaktadır. Diğer yandan bu tip kıyı yapılarının, akarsuların sürükleyerek denize taşıdığı katı maddenin kıyı boyu dağılımına olumlu ya da olumsuz etkisinin olduğu da bilinen bir gerçektir.

Bu çalışmada, yapımı tamamlandıktan sonra Karadeniz Sahil Otoyolu’nun, akarsuların getirdiği ve kıyı boyunca taşınan katı madde dağılımına etkisi araştırılmaktadır.

1. GİRİŞ

Günümüzde “Karadeniz Sahil Yolu” olarak bilinen, Samsun ile Sarp Sınır Kapısı arasında halen işletilen ve toplam uzunluğu 541 km olan ve inşaatı, Ülkemiz’in uyguladığı yol yapım standart ve politikalarıyla 1960’lı yıllarda tamamlanmış olan ve hali hazırda hizmet veren yol yapımından sonra 10 -15 yıl ihtiyaçları rahatlıkla karşılamıştır. Ancak, gelişen endüstriyle birlikte 1970’li yılların ortalarında Ülkemizde motorlu taşıt sanayinin kurulması ve buna bağlı bir çok yan sanayinin işletilebilir duruma getirilmesi sonucunda mevcut olan bu yol, 1980’li yılların başından itibaren ihtiyaca cevap veremez duruma gelmiştir. Özellikle, Sarp Sınır Kapısı’nın açılmasıyla bu yol üzerindeki günlük ortalama trafik yoğunluğu da artmış ve zaman zaman yol trafiğe cevap veremez hale gelmiştir.

1970’li yılların ortasından itibaren hızla artan trafik değerleri, 1980’li yılların başında Karadeniz Sahil Yolu’nun kısım kısım iyileştirilmesini gündeme getirmiştir. Bu sebeple, Karadeniz Sahil Yolu’nu iyileştirmeye yönelik proje çalışmalarına başlanılmış ve bu yol 1983 yılında “Karadeniz Sahil Yolu İyileştirme Projesi” adı altında yatırım programına alınmıştır. Bu yatırım programı çerçevesinde, 1983 - 1987 yılları arasında yolu korumaya yönelik küçük çapta tahkimat ve sanat yapıları yapılmışsa da, Karadeniz Sahil Yolu’nu iyileştirmeye yönelik ilk olarak 1987 yılında ve daha sonrada sırasıyla 1991 ve 1994 yıllarında olmak üzere çeşitli ihaleler yapılmıştır.

Fakat bütün bu ihalelerle 1997 yılına kadar mevcut yolun iyileştirilmesine yönelik yapılan planların ancak %50’si gerçekleştirilebilmiştir. Halbuki, Sarp Sınır Kapısı’nun da açılmasıyla Karadeniz Sahil Yolu uluslararası bir yol özelliği kazanmıştır. Dolayısıyla, bu yolun uzun bir süre daha bu şekilde bekletilmesinin ülke ekonomisi açısından daha kötü sonuçlar doğurabileceği düşüncesiyle, bu yolun en kısa sürede tümüyle bölünmüş otoyol olarak yeniden yapılmasına karar verilmiştir. Bunun üzerine Karadeniz Sahil Yolu’nun daha önceki ihalelerle yapılmamış kesimleri (yaklaşık 310 km) dolar bazında dış kredi temin etmek şartıyla ihale edilmiştir. İhaleyi kazanan firmalar Karadeniz Sahil Otoyolu’nun inşaatına ilişkin gerekli olan inceleme, araştırma ve ön hazırlıkları tamamladıktan sonra 1998 yılında otoyolun inşaatına fiilen başlamışlar ve inşaat halen devam etmektedir. Karadeniz Sahil Otoyolu’nun yapım aşamasında, kıyı boyunca yol yapımı için gerekli olan gerek alt yapı ve gerekse üst yapı elemanları için hazırlanan projelere ve bu projelere göre yapımı sürdürülen elemanların gerekli olan esaslara göre inşa edilmesine büyük özen

gösterilmektedir. Bu projelerden biri de; yapım sırasında ve yapımı bittikten sonra otoyolun ve bu yolun yer aldığı kıyının korunmasına yönelik yapılan kıyı koruma yapılarıdır.

Bu çalışmada, birinci amaç olarak otoyolun deniz dalgalarının etkisinden, ikinci amaç olarak da otoyolun bulunduğu kıyıyı korumak için yapılan kıyı koruma yapılarıyla yol güzergahı boyunca zorunlu olan kesimlerde yapılan yol sanat yapılarının, otoyolun yapımı tamamlandıktan sonra kaynağını akarsuların oluşturduğu katı madde taşınımının kıyı boyu dağılımına etkisinin neler olacağı araştırılarak incelenmiştir.

2.YOLU KORUMA AMACIYLA YAPILAN KIYI YAPILARININ AKARSULARIN TAŞIDIĞI KATI MADDE DAĞILIMINA ETKİSİ

Doğu Karadeniz Bölgesi jeolojik yapı itibarıyla, engebeli ve yamaçları dik eğimli bir arazi yapısına sahip olup, diğer yandan akarsu bakımından da Türkiye'nin en zengin bölgelerinden biridir. Bölgede akarsuların fazla, arazinin de dik eğimli olması sebebiyle akarsuların sürükleyerek denize taşıdığı katı madde miktarı da oldukça fazladır. Büyük bir bölümünü kum ve çakılın oluşturduğu bu katı maddenin miktarı özellikle sel rejminin meydana geldiği ilkbahar ve sonbaharda daha da artmaktadır. Bu miktarın yaklaşık olarak yılda $3.5 \cdot 10^6$ ton olduğu daha önce yapılan bir çalışmada tespit edilmiştir (Yüksel, İ., 1995).

Kıyının hidrodinamik dengesini koruyabilmesi için; akarsuların sürükleyerek denize taşıdığı katı maddenin kıyı boyu dengeli bir dağılım göstermesi gerekir. Katı maddenin bu dengeli dağılımı gösterebilmesi için de kıyıların ya tamamen doğal şekliyle korunmuş olması yani çeşitli yapı veya yapılarla kıyıya herhangi bir şekilde müdahale edilmemiş olması ya da eğer kıyının doğal yapısına herhangi bir şekilde müdahale edilmişse, bu kıyının dengesini çeşitli koruma yapılarıyla (tahkimat, mahmuz, dalgakıran vs.) korunması gerekir.

Yapımı devam etmekte olan Karadeniz Sahil Otoyolu'nu kıyı boyunca denizin ve akarsuların olumsuz etkilerinden korumak amacıyla kıyı yapıları projelendirilirken seçilecek olan kıyı yapısının türü, tipi ve seçilen bu yapının proje esasları öyle seçilmelidir ki, otoyolun yapımı süresince kıyıda mevcut olan kumsallar ile korunması gereken diğer bazı alanlar korunurken, otoyolun yapımı tamamlandıktan sonra da yeni kumsalların oluşmasını, akarsuların getirdiği katı maddenin kıyı boyunca dengeli bir şekilde dağılımını, yol ile deniz

arasında kalan sahilde yapılaşmanın önüne geçilmesini dolayısıyla kıyının hidrodinamik dengesinin korunmasını sağlamalıdır. Bu amaçla, hem Karadeniz Sahil Otoyolu'nu hem de bu yolun irtibatlı olduğu kıyıyı korumaya yönelik olmak üzere kıyı boyunca:

- Yola ve dolayısıyla kıyıya paralel taş tahkimatlar,
- Yola ve kıyıya dik deniz içerisinde mahmuzlar,
- Açık deniz mendirekleri,
- Yola ve kıyıya paralel kıyı duvarları ve
- Akış haline geçen yüzeysel sular ile yol güzergahını kesen akarsuların yola zarar vermeden geçişini sağlamak için büz ve menfez gibi bazı yol sanat yapıları inşa edilmektedir.

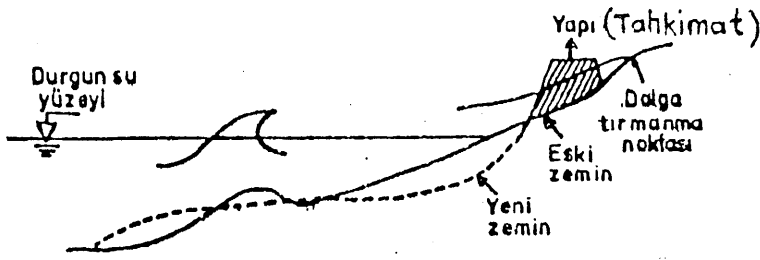
Ancak bu yapılardan bazıları Karadeniz Sahil Otoyolu'nun yapımı tamamlandıktan sonra, akarsuların getirdiği katı maddenin kıyı boyu dağılımını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Dolayısıyla bu bildiride, bu etkiler herbir yapı için (tahkimat, mahmuz, açık deniz mendireği, kıyı duvarı vs.) ayrı ayrı araştırılarak incelenmiştir.

2.1 Tahkimatların Kıyı Boyu Katı Madde Dağılımına Etkisi

Yolun kıyıya paralel geçen kısımlarında inşa edilen ve bazı profillerde inşasına devam edilen tahkimatlar, tamamen yolu korumak amacıyla yapılmıştır. Tahkimatlar yolun denizden daha yüksek bir kotta yapılmasına olanak tanıyarak, yolun dalga etkisinden korunmasını sağlarlar.

Ancak bu yapılar kıyıya paralel olarak yapıldıklarından hemen arka tarafında kalan bölgedeki yapıyı (bu bölgedeki yapı burada yoldur) korusalar bile kıyıyı korudukları tam olarak söylenemez. Çünkü; yol yapımı öncesinde yatık bir sahil üzerinde sönmülmüş bir halde sıfır enerjiyle kıyıya vuran deniz dalgaları, yol yapımı sonrasında dik eğimli yol dolgusuna ve tahkimatına mevcut enerjisi ile çarparak yansımaktadır (Yüksel, İ., 1995). Böylece enerjisi daha da büyüyen dalga, kıyıda ki katı maddeyi alarak ya çoğu zaman açık denize taşır ya da hakim dalgaın yönüne göre kıyıda bir başka alana taşır.

Her iki durumda da kıyının bu bölgesinde, kimi yerlerde oyulma kimi yerlerde ise yığılma meydana geleceğinden kıyının doğal dengesi diğer bir tanımla kıyı hidrodinamik dengesi bozulur ve sonuçta kıyı boyu katı madde dağılımı olumsuz yönde etkilenir (şekil 1).

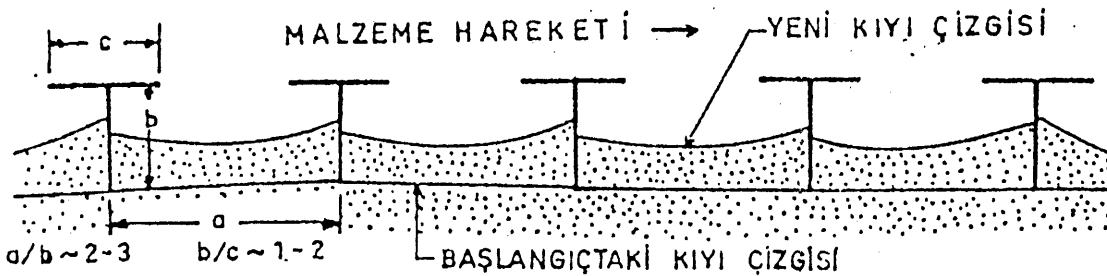


Şekil 1. Kıyıda Yapılan Bir Tahkimatın Katı Madde Dağılımına Etkisi

2.2 Mahmuzların Kıyı Boyu Katı Madde Dağılımına Etkisi

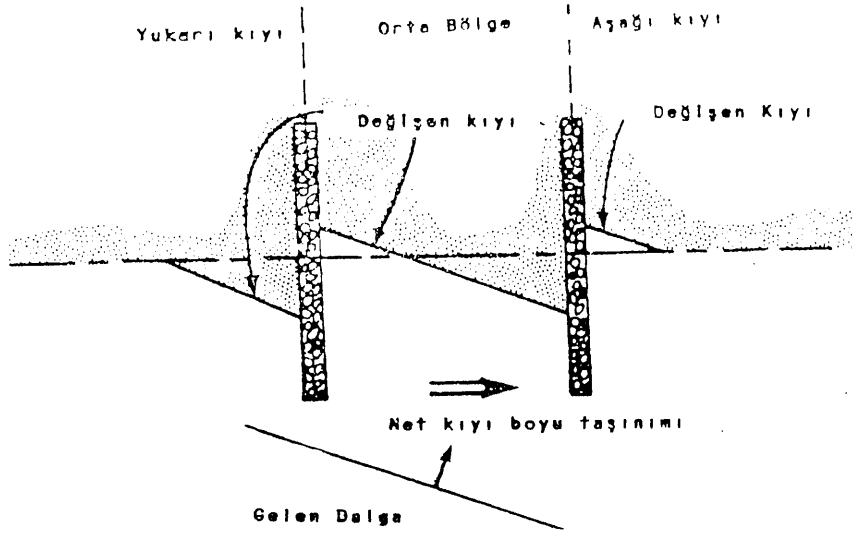
Büyük bir bölümü denize dolgu yapılmak suretiyle kıyıya paralel olarak yapılan Karadeniz Sahil Otoyolu'nu ve dolayısıyla yolun geçtiği kıyıyı korumak amacıyla, kıyı boyunca proje esaslarına göre gerekli görülen yerlerde "T" tipi mahmuzlar inşa edilmektedir. Gelişmiş bir çok ülkede (ABD, Japonya, İsrail, İtalya, İngiltere vb) başarıyla uygulanmakta olan T mahmuzlar, özellikle sıralı olarak bir sistem içerisinde inşa edildiklerinde; normal düz mahmuzların aksine, akarsuların getirdiği ve kıyı boyu taşınan katı maddeyi her iki tarafında tutarlar ve zamanla da bırakmazlar.

Kıyı boyu taşınmakta olan ve çoğunluğunu kum çakılın oluşturduğu katı maddenin, sıralı olarak yapılan T mahmuzlar tarafından tutulması sonucunda; kıyıda büyük bir oranda kumlanma olayı meydana gelir. Meydana gelen bu yeni kumlanma olayı ise, yeni bir kıyı çizgisi oluşturarak, daha geniş kumsalların oluşmasına, kıyı turizminin gelişmesine ve kamunun kıyılardan maksimum derecede faydalanmasına olanak tanır (Önsoy, H., 1991). T mahmuzlar sayesinde oluşan bu kumlanma ve dolayısıyla kıyı çizgisi sirkülasyonu devam ederek hem daha geniş bir sahil elde etme olanağı sağlar hem de kıyı boyu katı madde taşınımının dengeli bir biçimde dağılımını temin ederek, kıyı hidrodinamik dengesinin ve aynı zamanda da yolun dalga etkilerinden korunmasını sağlar (şekil 2).



Şekil 2. Sistematik Olarak Yapılan Sıralı T Mahmuzların Katı Madde Dağılımına Etkisi

Diğer taraftan belli bir sistem içerisinde sıralı olarak projelendirilmeyen T mahmuzlar ile normal (düz) mahmuzlar, belli bir sistem içerisinde sıralı olarak yapılan T mahmuzların aksine, istenmeden kıyıya zarar verebilirler. Çünkü; proje esaslarına göre yapılmayan T veya düz mahmuzlar bir taraftan katı maddeyi (kum-çakıl) tutarak kıyıyı doldurma işlevini yaparken, diğer taraftan da daha çok aşınmaya (oyulmaya) sebep olmaktadır (şekil 3).



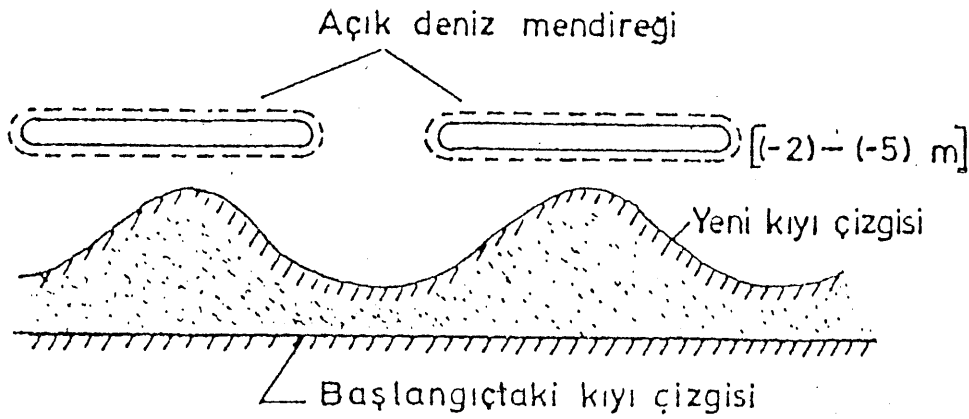
Şekil 3. Normal (Düz) Mahmuzların Kıyıdaki Katı Madde Dağılımına Etkisi

Eğer plaj oluşumu veya diğer amaçlar için mutlaka bu tip mahmuzların yapılmasına karar verilmişse, mahmuzun oyulmaya maruz kalan tarafı ya suni kum beslenmesi ile dengede tutulmalı ya da diğer koruyucu tedbirlerle korunmalıdır.

Doğu Karadeniz’de hakim dalga yönü kuzey-batı doğrultusunda olduğundan; yıllık net katı madde taşınım yönünün de batıdan doğuya doğru olduğu varsayılırsa, Doğu Karadeniz kıyılarında yer alan bir yapı katı madde taşınımına engel olacağından; yapının batı kısmında yığılma, malzeme akımı kesileceğinden doğu kısmında ise oyulma meydana gelir (Yüksek, Ö., 1992). Dolayısıyla, Doğu Karadeniz kıyılarında, bir sistem içerisinde sıralı olmayan T mahmuzlar veya düz mahmuzların yapını kaçırılmaz sebeplerle gerçekleştirilmişse, bu Bölge kıyılarında yer alan bu tip mahmuzların oyulmaya maruz kalan doğu tarafları bir başka yöntemle (sunî kum beslenmesi vb) dengede tutulmalıdır.

2.3 Açık Deniz Mendireklerinin Kıyı Boyu Katı Madde Dağılımına Etkisi

Açık deniz mendirekleri, doğal korunma imkanlarının bulunmadığı kıyı bölgelerinde yer alan balıkçı barınakları, yanaşma yerleri liman alanları gibi diğer kıyı yapılarını korumak amacıyla yapılan kıyı koruma yapılarıdır. Doğu Karadeniz kıyılarında projelendirilen açık deniz mendirekleri bu işlevlerini yerine getirirken aynı zamanda Karadeniz Sahil Otoyolu'nu da korumuş olacaktır. Çünkü bu yapılar yaptıkları görev itibarıyla T mahmuzlara çok benzerler. Açık deniz mendireklerinin T mahmuzlardan tek farkı; bu yapılar kıyıdan bağımsız olarak açık denizde inşa edilirken (şekil 4), T mahmuzların kıyı ile irtibatlandırılmış olmasıdır. Açık deniz mendirekleri özellikle son on yılda ABD, Japonya, İtalya gibi ileri ülkelerde başarı ile uygulanmaktadır.



Şekil 4. Açık Deniz Mendireklerinin Kıyıda Katı Madde Dağılımına Etkisi

Açık deniz mendirekleri herne kadar da ilk başta akarsuların taşıdığı katı maddenin kıyı boyu birikimine ve dengeli dağılımına bir katkı sağlanıyormuş gibi görünseler de, uzun vadede bunun tersini söylemek mümkündür. Çünkü; açık deniz mendireğinin olmadığı bir bölgedeki kıyı, dalgaların etkisine daha çok maruz kalarak erozyona uğrar ve sonuçta kıyı boyu katı madde dağılım dengesi ve kıyı hidrodinamik dengesi bozulur (Yüksel, İ., 1997).

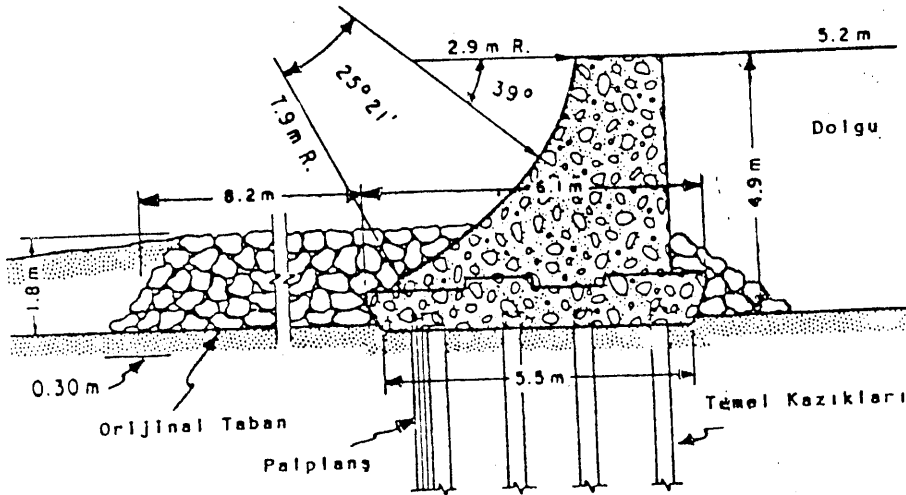
İşte bütün bu olaylar dikkate alındığında, Doğu Karadeniz sahillerinde inşa edilmiş ve edilecek olan açık deniz mendirekleri, hem Karadeniz Sahil Otoyolu'nu hem de bu yolun irtibatlı olduğu kıyıyı koruyarak, akarsuların taşıdığı katı maddenin kıyı boyu dengeli dağılımını sağlamış olacaktır.

2.4 Kıyı Duvarlarının Kıyı Boyu Katı Madde Dağılımına Etkisi

Karadeniz Sahil Otoyolu'nun kıyıya paralel geçmesi sebebiyle, yol güzergahının geçtiği kıyı boyunca; zorunlu görülen kesimlerde ya da arazinin çok kıymetli olduğu kıyı yerleşim alanlarında; birinci derecede yolu, kısmen de kıyıyı korumak amacıyla değişik tiplerde kıyı duvarlarının yapımı planlanmaktadır.

Ancak, kıyı duvarları yapısal özellikleri gereği sadece arkasındaki bölgeleri koruduklarından dolayı, bitişik bölgeler için de mutlaka bazı koruyucu önlemlerin alınması gerekir. Çünkü; kıyı duvarları kıyı boyu katı madde taşınımının dengesini bozduğu için, korunmuş olan bölgenin dışında kalan bölgelerde aşırı derecede oyulmaların meydana gelmesine sebep olurlar. Bu nedenle bu tip yapılar projelendirilirken akarsuların taşıdığı katı maddenin kıyı boyu hareketi dikkate alınarak, o bölgedeki oyulma ve yığılma durumlarına göre gerekirse diğer bazı yapılarla esas yapı korunmalıdır.

Son yıllarda ileri ülkelerin hemen hemen hepsinde; gerek dik yüzeyli, gerek yatık yüzeyli ve gerekse basamaklı kıyı duvarlarının yapımına son verilmiştir. Ancak, ekstrem dalga koşullarına son derece dayanıklı olduğu için, yapımı zor ve pahalı olmasına rağmen dairesal yüzeyli kıyı duvarları (şekil 5) İngiltere başta olmak üzere bir çok Avrupa ülkesinde sıkça tercih edilmektedirler.



Şekil 5. Ekstrem Dalga Değerlerine Dayanıklı Olan Dairesel Yüzeyli Kıyı Duvarı

3. BAZI YOL SANAT YAPILARININ KIYI BOYU KATI MADDE DAĞILIMINA ETKİSİ

Yapımı devam etmekte olan Karadeniz Sahil Otoyolu'nun güzergahını keserek denize ulaşan akarsuların yolu tahrip etmemesi için, bu akarsular üzerine yolu kestikleri noktalarda köprü, büz ve menfez gibi yol sanat yapısı olarak isimlendirilen küçük hidrolik yapılar inşa edilmektedir.

Ancak bu yapılar projelendirilirken; akarsuların taşıdığı katı maddenin denize ulaşması ve denize ulaştıktan sonra da kıyı boyu dağılım dengesinin sağlanması için gerekli olan esas ve kriterlerin çok iyi incelenerek analiz edilmesi gerekir. Buna bir örnek olarak; Karadeniz Sahil Otoyolu'nu kesen ve açıklığı 6 m'ye kadar olan ve köprü yapımını gerektirmeyen bazı akarsular üzerine yapılan tabliyeli menfezler ile tabliyeli menfez yapımını gerektirmeyen bazı akarsular üzerine yapılan kutu menfezler verilebilir. Bu tipte seçilen menfezler yolu koruma işlevlerini büyük ölçüde yerine getirirken, özellikle kutu menfezlerin cidar kalınlıkları ince olduğundan, katı madde sürükleyen sular için pek olumlu sonuç vermezler. Çünkü; özellikle ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde yüksek debide akan akarsular, hem çok fazla hem de iri daneli sürüntü maddesi taşırlar. Dolayısıyla bu iri daneli sürüntü maddesi ince olan menfez cidarına çarparak, menfez cidarında aşınma ve tahribatlara neden olur. Bunun sonucunda ise, menfezde daha sık aralıklarla bir takım tamir, onarım ve bakım işleri zorunlu hale gelerek olayın ekonomik boyutunu etkiler.

Diğer taraftan akımın düşük olduğu yaz aylarında ise, bu akarsular akımın gücü oranında çoğunluğunu ince danelerin oluşturduğu daha az miktarda sürüntü maddesi taşırlar. Akımın debisinin ve dolayısıyla hızının düşük olması sebebiyle, menfez tabanındaki su yüksekliği düşeceğinden, akarsuyun sürüklediği katı maddelerin bir kısmı menfez tabanına çökecektir. Böylece hem menfez kesiti değişime uğrayacak hem de arkadan gelen sürüntü maddesinin, menfez tabanına çökelen katı maddeler tarafından tutularak denize ulaşması engellenmiş olacaktır. Bunun sonucu olarak da, hem akarsuların taşıdığı katı maddenin kıyı boyu dağılım dengesi olumsuz yönde etkilenecek hem de menfez tabanının temizlenmesi, menfezin tamir, bakım ve onarım işlemlerinin projenin gerektirdiği peryotlar dışında çok daha sık aralıklarla yapılması zorunluluğu ortaya çıkacaktır. Bu durum ise, bu yol sanat yapısının projede belirtilen ekonomik boyutunu değiştirecektir.

4. SONUÇ

Halen hizmet vermekte olan Karadeniz Sahil Yolu'nun 1980'li yılların başlarından itibaren Bölge için gerekli ihtiyaçlara cevap veremez hale geldiği, dolayısıyla mevcut yolun ileri düzeyde iyileştirilmesinin ya da yeni bir yolun yapılmasının zorunlu hale geldiği, özellikle Sarp Sınır Kapısı'nun açılmasıyla bu yolun uluslararası bir yol niteliği kazanması sebebiyle bu zorunluluğun artık kaçınılmaz hale geldiği bu çalışmanın başında belirtilmişti.

Fakat bu yol güzergahının, Karadeniz Bölgesi'nin jeolojik yapısı ve diğer etkenler sebebiyle yerleşim bölgelerinin arkasındaki dağlık veya dağ dibi bölgelerinden değilde, çoğu kesimlerde denize dolgu yapılmak suretiyle kıyıdan geçirilmesine karar verilmiştir. İşte sorun da bu noktadan kaynaklanmaktadır. Çünkü; bir tarafta Bölge'de olmayan demir yolu, verimli çalışmayan deniz yolu ve yetersiz kalan hava yolu ulaşımı sebebiyle karayoluna duyulan aşırı ihtiyaç ve zorunluluk, diğer tarafta yeşil ile mavinin kesiştiği, kıyı ve doğa turizmine son derece elverişli olan Doğu Karadeniz Bölgesi'nin doğası ve kıyıları. Bütün bu koşullar altında tüm değerlendirmeler yapılarak, Karadeniz Sahil Yolu'nun bölünmüş otoyol olarak yeniden yapılmasına karar verilmiştir.

Dolayısıyla bir yandan Bölge'yi ihtiyacı olan bu yola kavuştururken, diğer yandan da çoğu kesimlerde denize dolgu yapılmak suretiyle kıyıya paralel geçen yolu ve aynı zamanda da bu yolun irtibatlı olduğu kıyıyı korumak esas hedef olarak seçilmelidir. Bu hedefin gerçekleşmesi ise yapılacak olan yolun ve bu yolun irtibatlı olduğu kıyının; doğru olarak ve zamanında yapılacak olan kıyı ve yol sanat yapıları sayesinde korunması ile mümkündür.

5. ÖNERİLER

Yapımı tamamlandıktan sonra Karadeniz Sahil Otoyolu'nun, akarsuların taşıdığı katı maddenin kıyı boyu dağılım dengesini olumsuz yönde etkilememesi için aşağıda sunulan önerilerin dikkate alınmasında büyük yarar görülmektedir.

-Kamunun kıyılardan daha çok faydalanmasını, yeni kumsalların oluşmasını, kıyı turizminin gelişmesini ve kıyı hidrodinamik dengesinin korunmasını sağlamak için yol

güzergahı boyunca, yolun kıyı ile irtibatlı olduğu bir çok kesimde inşa edilen sıralı “T” tipi mahmuzların sayısı gerekirse yol tamamlandıktan sonra da arttırılmalıdır.

- Kıyıya paralel kıyı koruma yapıları, bu çalışmada anlatıldığı gibi; yapısal özellikleri sebebiyle dalga enerjisini tam olarak sönmüleyemediklerinden kıyıya dik yapılara göre daha dezavantajlıdır. Bu nedenle kıyı boyunca zorunlu haller dışında; kıyıya paralel yapılar yerine, optimum projelendirilmiş kıyıya dik kıyı koruma yapılarına daha çok yer verilmelidir.

Bir yandan yeni kıyı alanları oluşturulması ile diğer yandan yapılan yeni otoyol ile kamuya hizmet götürülürken, kıyı boyunca yer alan balıkçı barınakları, liman ve çekek yerleri gibi diğer kıyı yapılarının da kamuya benzer hizmeti sunduğunu düşünerek, bu tür yapıların da korunması ve çalışma alanlarının daraltılmaması veya engellenmemesi gerekir.

Hem yolun hem de bu yolun irtibatlı olduğu kıyıların korunması için yol ve kıyı boyunca yapılan; gerek kıyı koruma yapıları ve gerekse yol sanat yapılarının proje esaslarında belirtilen peryotlardaki tamir, bakım ve onarım işlemlerinin yapılması ve bu işlemlerin tam ve doğru olarak yapılıp yapılmadığının da mutlaka kontrol edilmesi gerekir.

6. TEŞEKKÜR

Günümüzde bilim ve teknolojinin ilerlemesi, Dünya’daki bilimsel çalışmaların sayısının her geçen gün daha da arttırılmasına bağlıdır. İşte bu bilinç içerisinde olan ve 5-6-7 Ekim 2000 tarihlerinde Çanakkale’de “III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu” adıyla üçüncüsünü gerçekleştirecek olan T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi’ne ve ona yardımcı olan tüm kurum, kuruluş ve şahıslara teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı yaparken, benden yardım ve katkılarını esirgemeyen Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü’ne, DLH 1. Bölge Müdürlüğü’ne, Karadeniz Sahil Otoyolu’nu ihale ile alan ve yapımına devam eden Bayındır-Limak, Doğuş-Polat ve Cengiz İnşaat firma ve kuruluşlarına tüm yardım ve katkıları için şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bizleri bilimsel çalışmalara sevk ederek her türlü imkan ve ortamı sağlayan ve yaptığımız çalışmalarla bizleri ödüllendiren Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü’ne ve KTÜ Rize Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü’ne teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

7. KAYNAKLAR

ÖNSOY, H., (1991), Batı Akdeniz'de Cezayir Kıyılarında Deniz Erozyonuna Karşı Korunma ve Yapay Plaj İçin Bir Etüd, *DLH Bülteni, Ocak Sayısı, Yıl: 2, Sayı: 5*.

YÜKSEK, Ö., (1992), Balıkçı Barınaklarının Dolma Sürecinin Araştırılması ve Uygun Proje Ölçütlerinin Geliştirilmesi, *Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Ens., Trabzon*.

YÜKSEL, İ., (1995), Doğu Karadeniz Bölgesi Kum-Çakıl İhtiyaç ve Potansiyel Dengesinin Etüdü, *Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Ens., Trabzon*.

YÜKSEL, İ., ÖNSOY, H., YÜKSEK, Ö., SÜME, V., (1995), Hidrodinamik Denge Bozulmasının Çevre Üzerindeki Olumsuz Etkileri, Atatürk Ün. Müh. Fak. Çevre Müh. Böl., *Çevre Sempozyumu Bildirile Kitabı, 18-19-20 Eylül 1995, Sayfa: 325-331, Erzurum*.

YÜKSEL, İ., ÖNSOY, H., (1997), Doğu Karadeniz Bölgesi Kıyılarında Yer Alan Kıyı Yapıları ile Bazı Sanat Yapılarının Kum-Çakıl Birikimine Etkisi, *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları I. Ulusal Konferansı, Türkiye Kıyıları 97 Konferansı Bildiriler Kitabı, 24-27 Haziran 1997, Sayfa: 559-565, Ankara*.

8. ABSTRACT

Due to some causes, highway transport is more important than the other transports in Turkey. Therefore, to build a highway is very important in this country. On the other hand highway transport is not sufficient in Turkey, especially in the Eastern Black Sea Region.

In this reason the government decided to build a new highway, called The Black Sea Highway, in the region. As we know, there is not large enough land in the Eastern Black Sea Region. The region has been located between sea and mountains. Consequently, the highway has been planed parallel to the Eastern Black Sea Coasts and it will be built through the coasts. On the other hand to protect this highway some buildings such as breakwater, spur and fortification are built. But it is known that these buildings effect both sediment transport and coastal hydrodynamic balance.

In this study, the effect of the buildings has been investigated in the Eastern Black Sea Region coasts and some suggestions are given.