

BAFRA OVASI KIZILIRMAK-KARADENİZ BİRLEŞİMİNDEKİ KIYI EROZYONUNUN İNCELENMESİ

Mehmet Ali KÖKPINAR

DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 06100, Ankara

Işıkhan GÜLER

Yüksel Proje A.Ş., Birlik Mah.9. Cad. No:41 Çankaya 06610 Ankara

Yakup DARAMA

DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 06100, Ankara

ÖZET

Kızılırmak Nehrinin sediment bütçesi son 10 yılda nehir üzerindeki regülasyon yapıları neticesinde bozularak çıkış ağzı ve çevresinde kıyı erozyonunun oluşmasına neden olmuştur. Erozyonun bu süre içerisinde etkisiyle Karadeniz, Bafra Ovasına doğru yaklaşık 1.0 km kadar ilerlemiştir. Bu çalışmada söz konusu bölgedeki kıyı erozyonu, fiziksel ve matematiksel modeller kullanılarak incelenmiş ve fiziksel model deneyleri sonucunda Y ve I mahmuzları kombinasyonundan oluşan bir kıyı koruma yapı sistemi geliştirilmiş ve tatbik edilmesi önerilmiştir. Bu yapılar doğada inşa edilmiş ve yapılan gözlemler neticesinde kıyı erozyonunun mahmuzların olduğu bölgelerde tamamen durdurulduğu ve 9 aylık süre sonunda da kıyı çizgisinin bu bölgelerde yer yer 50 m kadar denize doğru ilerlediği tespit edilmiştir. Kıyı koruma yapılarının inşasını takiben kıyı çizgisinde beklenen bazı olumsuz etkilere karşı önlemler olarak erozyon oluşması beklenen bölgelere yapay beslemeyle müdahale edilerek korunması önerilmiştir.

1. GİRİŞ

Nehirlerin üzerine yapılan çeşitli regülasyon yapıları, bu nehirlerin taşıdığı sediment miktarını önlem alınmadığı takdirde olumsuz yönde etkilemektedir. Eğer regülasyon yapılarıyla kontrol edilen nehirler denize deşarj oluyorsa, bu regülasyonun olumsuz etkilerinin en belirgin olarak görüldüğü yer, nehirlerin denize deşarj olduğu deltalardır. Nehirleri %100 kontrol altında bulunan ve denize deşarj olan bütün ülkelerde olduğu gibi, bizim ülkemizde de son yıllarda bu tip problemler özellikle Karadeniz'e deşarj olan Kızılırmak Nehri Deltası'nda (Bafra ovası) başlamıştır.

Kızılırmak Nehri'nin Karadeniz'e deşarj olduğu Bafra Ovası yüzlerce yıl boyunca Kızılırmak'ın taşıdığı sedimentin denize deşarj bölgesinde çökmesiyle oluşmuş, denize doğru konik şekilli bir alüvyon ovadır. Bu ova, topoğrafik yapısı itibariyle Karadeniz dalgalarının kıyıya etkili olmasını sağlamaktadır (Şekil 1 ve 2). Ovanın en uç kısmı dalga odaklaşmasına elverişli yapıya sahip olması itibariyle karmaşık hidrodinamik etkenler altındadır. Ovanın doğu tarafını tabii göller ve geniş bataklıklar oluşturmakla beraber, genel jeolojik yapısı ince ve iri daneli kum olarak tanımlanabilir. Uzun dönemler boyunca Kızılırmak Nehrinin taşıdığı ve çöktettiği sedimentle şekil alan ova nehir akımını %100 kontrol altında tutan Altinkaya ve daha sonrada Derbent barajlarının işletmeye alınmasından kaynaklanan sediment bütçesinin bozulmasıyla ovanın batı ve özellikle doğu kıyıları dalga kaynaklı erozyona maruz kalmıştır. DSİ VII. Bölge Müdürlüğü'nden ve yöre halkından edinilen bilgilere göre son on yılda Bafra Ovasının yaklaşık olarak 1.0 km lik bir kıyı kesimi dalgalar sonucunda erozyona maruz kalarak yok olmuştur.

Bu çalışmanın amacı, söz konusu bölgedeki kıyı erozyonunu incelemek ve bu erozyonu önlemek için çeşitli çözümler geliştirmektir. Bu çözümler, bölgenin fiziksel model model çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular ışığında geliştirilmiş ve prototipe uygulanmıştır. Fiziksel modele ek olarak dalga verilerinin kıyı çizgisi değişimine etkisi de tek çizgi(one-line model) modeli kullanılarak mahmuz seçenekleri denenmektedir.

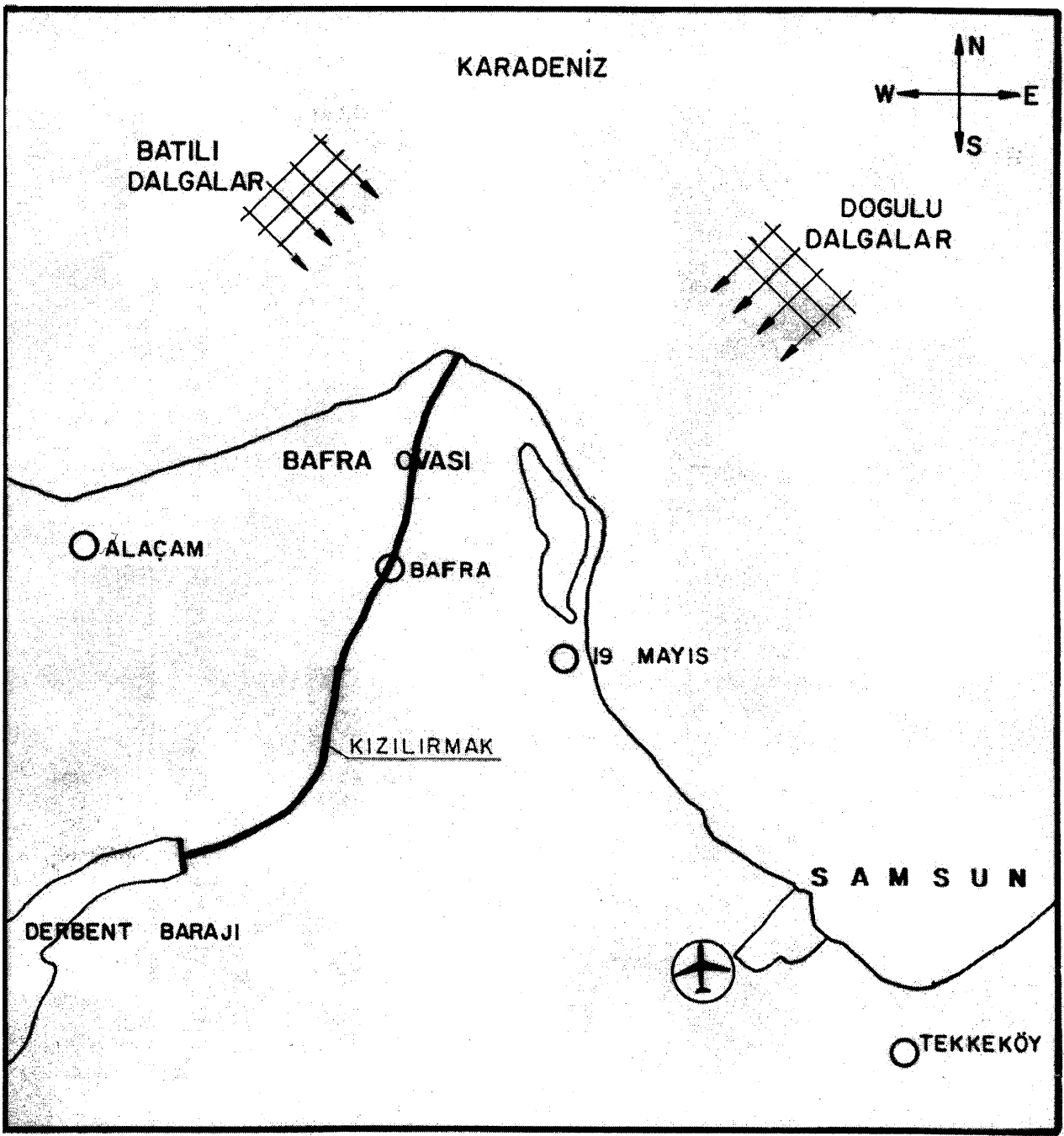
2. BAFRA OVASI KIZILIRMAK - KARADENİZ BİRLEŞİMİ KIYI MODELİ

Bafra Ovası Kızılırmak-Karadeniz birleşiminde oluşan erozyonun boyutu, bölgede, yerinde yapılan gözlemler ve ölçümler sonunda belirlendikten sonra elde edilen bu bulgular yapılacak fiziksel ve matematiksel modele baz olacak şekilde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda ilk olarak DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı bünyesindeki Hidrolik Model Laboratuvarında bir fiziksel model yapılmış ve fiziksel model çalışmaları sonucunda elde edilen bilgilere dayanarak, bölgede lokal olarak oluşan erozyonun önlenmesi için gerekli proje geliştirilmesine yönelik çalışmalar başlatılmıştır. Tek çizgi modelle ise fiziksel model çalışmaları sonucunda geliştirilen mahmuz sisteminin etkisinin uzun dönem projeksiyonunda kullanılması düşünülmüştür.

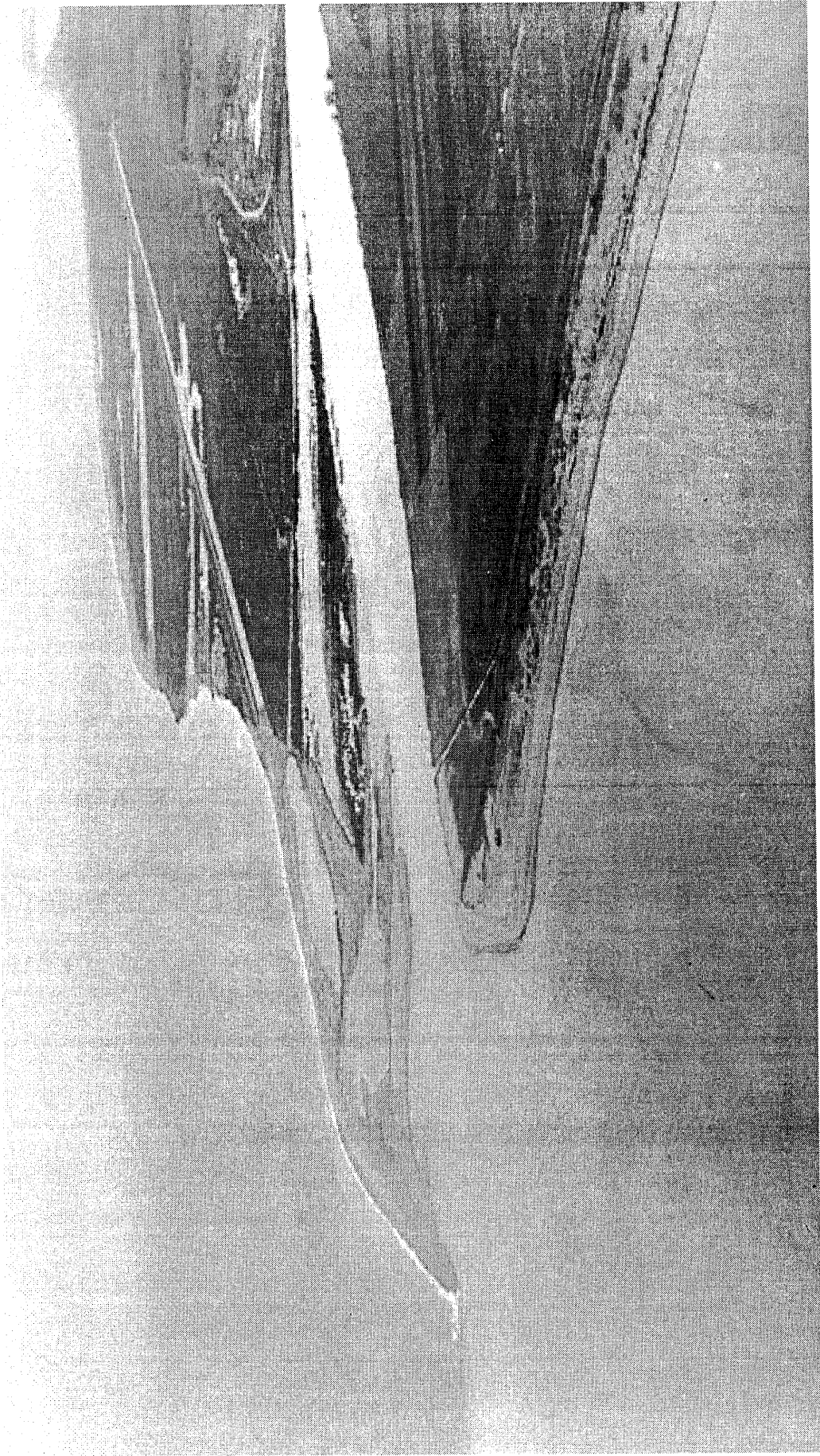
3. MODEL PARAMETRELERİ

3.1 Bafra Kıyıları Dalga İklimi

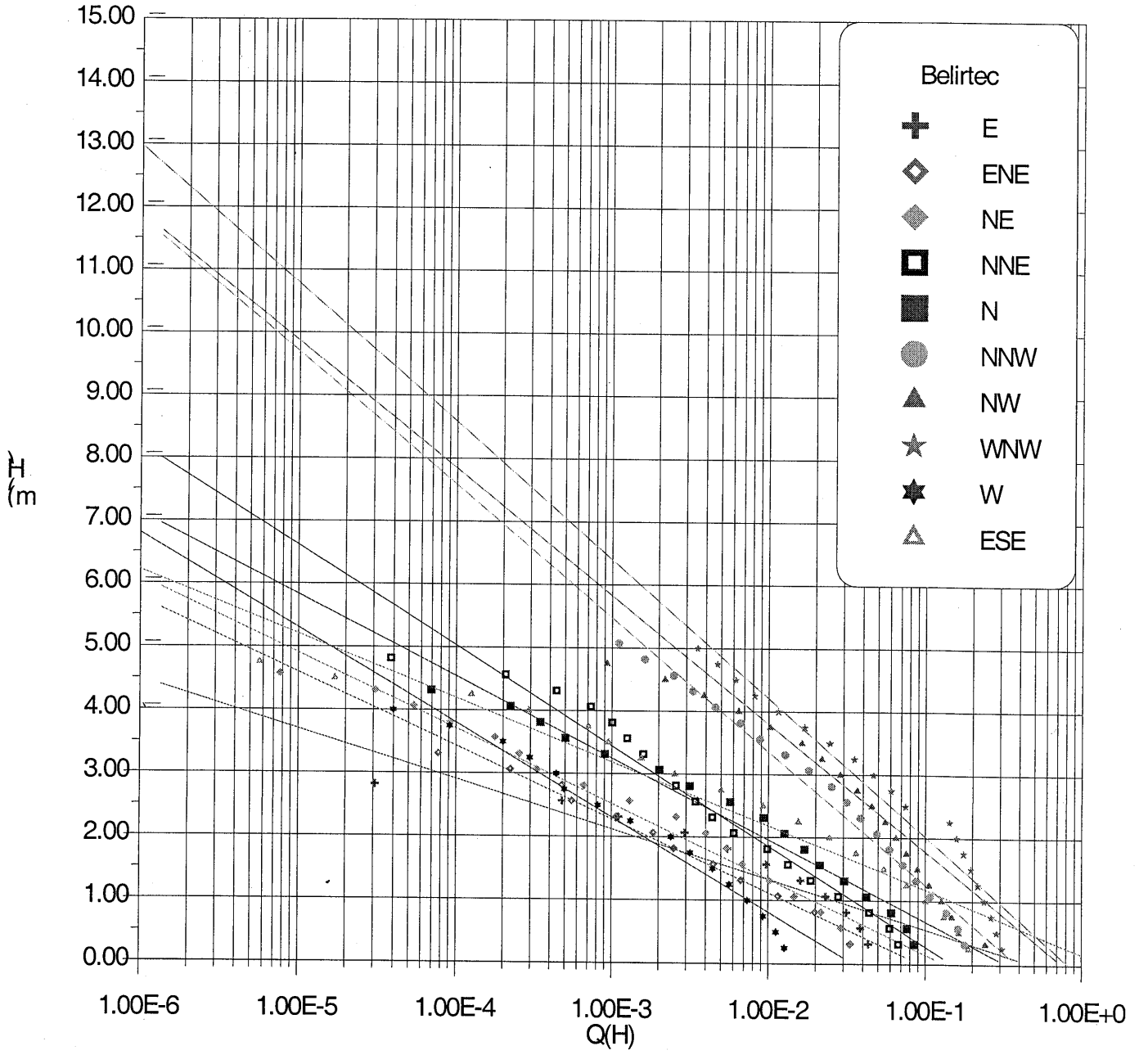
Fiziksel model çalışmalarına başlanabilmesi için erozyonun nedeni olan dalgaların istatistikleri ve özelliklerine ihtiyaç duyulmuştur. Tüm Türkiye kıyılarında olduğu gibi, Bafra Burnu yöresinde de dalga ölçümü yoktur. Dalga tahmini yapabilmek için Sinop Meteoroloji istasyonunun 1966-1985 yılları arasındaki rüzgar cetvelleri kullanılmıştır. Sinop Meteoroloji İstasyonu tarafından hazırlanan saatlik rüzgar cetvelleri kullanılarak dalgaların yaratıldığı fırtınalar belirlenmiştir. SPM(1984) de açıklanan dalga tahmini yöntemi için bir bilgisayar programı yazılmış 20 yıllık fırtınalara ait dalga tahmini yapılmış ve Uzun dönem derin deniz dalga istatistiği Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 1. Bafra Ovasının Genel Görünüşü ve Etkin Dalga Yönleri



Şekil 2. Kızılırmak Nehrinin Karadeniz' e Döküldüğü Yerden Görünüm



Sekil 3. Uzun Donem Derin Deniz Dalga Istatistigi (Tum Yonler)

Şekil 3’de verilen uzun dönem istatistik değerleri tüm yönleri kapsamakta olup, düşey eksen dalga yüksekliklerini ve yatay eksen bu bundan büyük olabilecek dalga yüksekliklerinin olasılıklarını göstermektedir.

Bir yörede oluşan tüm dalgalar, o yörede kum taşınım rejiminde etken olmaktadır. Kıyı çizgisi değişimi benzetiminde her yönden gelecek en büyük dalga yüksekliği değerlerinden çok, ortalama dalga yükseklikleri değerlerinin kullanımı uygun olacaktır. Uzun dönem derin deniz dalga istatistikleri kullanılarak her yönden oluşacak ortalama dalga yüksekliği hesaplanmış, dalga dönemi ve oluşma süreleri Tablo 1’de verilmiştir.

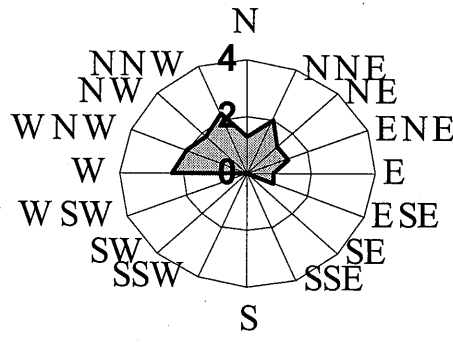
Tablo 1. Kızılırmak –Karadeniz Çıkış Ağzı Ortalama Dalga Yükseklikleri, Dönemleri ve Bir Yıl İçinde Oluşma Süreleri

Yön	Dalga Yüksekliği H (m)	Dalga Periyodu T (s)	Bir Yılda Oluşma Süresi t (saat)
N	1.34	4.50	173.30
NNE	1.98	5.50	49.00
NE	1.39	4.60	51.00
ENE	1.43	4.70	30.59
E	0.82	3.50	236.00
ESE	0.97	3.80	1396.00
W	2.37	6.00	8.00
WNW	1.98	5.50	909.00
NW	1.93	5.40	477.00
NNW	2.20	5.80	213.00

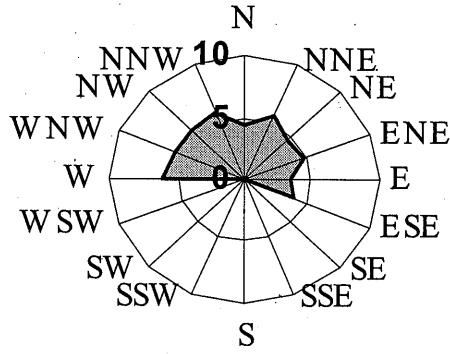
Şekil 4, Tablo 1 den elde edilen değerlerin yönsel olarak gösterimidir. Bu tablo ve istatistik analizler sonucunda NW-NNW-WNW yönlerinden esen rüzgarların oluşturduğu dalgaların Bafra Ovası kıyılarındaki erozyona neden olduğu sonucuna varılmıştır.

3.2 . Bafra Ovası Kızılırmak-Karadeniz Çıkış Ağzı, Kıyı Kesimi ve Deniz Batimetrisi

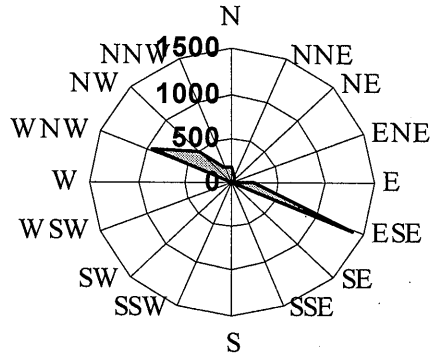
Fiziksel modelin yapılması için gerekli olan geometrik benzeşimin sağlanması için, Kızılırmak Nehri’nin Karadeniz’e deşarj olduğu çıkış ağzındaki kesitleri, ve bölgenin topoğrafik haritasıyla birlikte modeli yapılacak kıyı kesimi ve denizin batimetrisi gereklidir. Yapılan ön çalışmalar sonucunda, nehrin sağ ve sol sahillerinden 500’ er metre olmak üzere toplam 1.0 km lik bir kıyı kesiminin topografyasıyla birlikte, bu genişlikteki kıyı kesiminden, deniz içine doğru -5 m derinliğe kadar olan bölgenin batimetrisinin gereklidir. Bu nedenle; DSİ Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı ve DSİ VII. Bölge Müdürlüğünün işbirliği ile Kızılırmak’ın denize deşarj olduğu bölgenin kesitleri, söz konusu bölgenin topoğrafik haritası ve deniz batimetri ölçümleri alınmış ve Şekil 5’ de verilmiştir.



a) Dalga Yüksekliği (m)

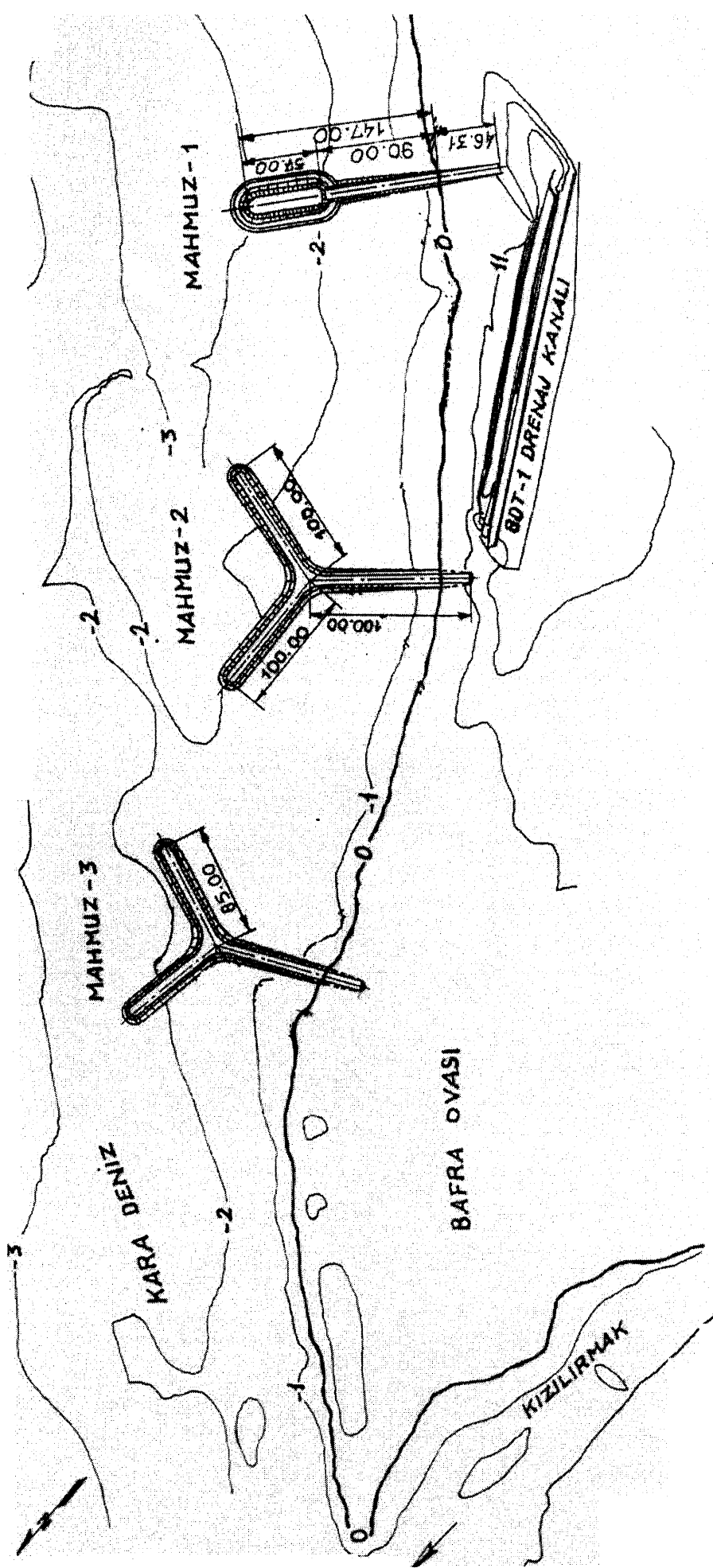


b) Dalga Periyodu (saniye)



c) Dalga Oluşma Süresi (saat)

Şekil 4. Yıllık Ortalama Dalga Yüksekliği , Dönemi ve Oluşma Süresinin Yönlere Göre Dağılımı



Şekil 5. Kızılırmak – Karadeniz Çıkış Ağzı Batimetrisi ve Önerilen Mahmuz Planı

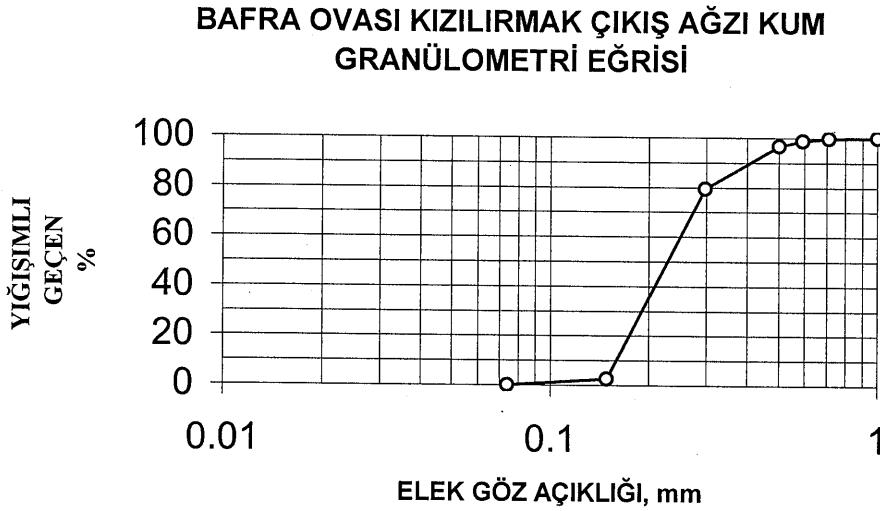
4. FİZİKSEL MODEL

4.1 Kıyı Modelleri Benzeşim Kuralları ve Model Ölçeği

Tabanı hareket edebilen dalga modellerinde model ölçeğinin belirlenmesi için dört temel parametre kullanılır. Bu parametreler yatay uzunluk ölçeği (λ_x), düşey uzunluk ölçeği (λ_y), sediment danesi genişlik ölçeği (λ_{d50}) ve sediment özgül ağırlık ölçeği (λ_{s-1}) dir. Ölçek oranı, (1) numaralı bağıntıda da görüldüğü gibi herhangi bir parametre için model değerinin prototip değerine oranı olarak tanımlanır.

$$(\lambda_{\text{parametre}}) = \frac{[(\text{parametre})_{\text{model}}]}{[(\text{parametre})_{\text{prototip}}]} \quad (1)$$

Model deneylerinde, taban malzemesi olarak kum yerine çok daha hafif başka bir malzemenin kullanılmasından oluşacak bazı belirsizlikler bir çok araştırmacı tarafından günümüzde de tartışılan spekülatif bir konudur (Güler, 1985). Bu nedenle, deneysel çalışma sırasında taban malzemesinin kum olarak kullanılması uygun bulunmuştur. Modelde kullanılan kum, erozyonun meydana geldiği bölgeden temin edilerek, elek analiz ve özgül ağırlık deneyleri DSİ TAKK Dairesi Beton-Malzeme Laboratuvarında yapılmış ve sonuçta modelde kullanılacak taban malzemesi olan kumun dane çapı $d_{50}=0.23$ mm ve özgül ağırlığı $\gamma_s=2690$ kg/m³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Bafra Ovası Kızılırmak Nehri'nin Karadeniz'e Çıkış Ağzına Ait Kum Numunesinin Elek Analiz Sonuçları

Bu durumda, sediment danesi genişlik ölçeği (λ_{d50})=1 ve sediment özgül ağırlık ölçeği (λ_{s-1})=1 değerlerini alırlar. Model alanının sınırları ve modellenmesi düşünülen alanın genişliğine göre yatay uzunluk ölçeği, λ_x , ilk olarak bulunduktan sonra, (2) numaralı bağıntı kullanılarak düşey uzunluk ölçeği, λ_y , bulunmuştur. λ_x ile λ_y arasındaki fonksiyonel ilişki Mehaute (1970) tarafından önerilmiş ve aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\lambda_y^{3/2} = \lambda_{U_f} \lambda_x \quad (2)$$

Bağıntıdaki, λ_{U_f} , sediment danesinin, bir akışkan içindeki sabit düşme hızı ölçeğidir. Sabit düşme hızına ve sediment dane çapına bağlı Reynolds sayısının ($Re=U_f d_{50}/\nu$, ν akışkanın kinematik viskozitesidir) 0.1 den küçük olması durumunda Stokes bağıntısı kullanılarak, sediment düşme hızı (3) numaralı bağıntıdan hesaplanabilir.

$$U_f = \frac{1}{18} \frac{d_{50}^2 g (s-1)}{\nu} \quad (3)$$

Stokes'un bu bağıntısı model ve prototip akışkanlarının aynı olması durumunda $\lambda_v \approx 1$ alınarak sabit düşme hızı ölçeği,

$$\lambda_{U_f} = \lambda_{d_{50}}^2 \lambda_{(s-1)} \quad (4)$$

halini alır.

Reynolds sayısının yüksek olduğu durumlarda ise sediment düşme hızı için Newton'un bağıntısı Dake (1972) tarafından aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır.

$$U_f^2 = \frac{4}{3} \frac{g}{C_D} d_{50} (s-1) \quad (5)$$

Bağıntıdaki C_D sürüklenme katsayısıdır ve Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak değişir. Newton'un bağıntısından hareket ederek sediment danesinin düşme hızı ölçeği, yüksek Reynolds sayıları için;

$$\lambda_{U_f} = \lambda_{C_D}^{-1/2} \lambda_{d_{50}}^{1/2} \lambda_{(s-1)}^{1/2} \quad (6)$$

olarak elde edilir. Bu bağıntı (4) numaralı bağıntı gibi açık (explicit) bir bağıntı olmayıp, λ_{C_D} değerinin hesabı d_{50} 'nin bir fonksiyonu olarak, C_D 'ye bağlı Reynolds sayısının grafiğinden deneme-yanılma metodu kullanarak elde edilir.

Modelimizde kullanılan sedimentin medyan dane çapı ve özgül ağırlığının prototip değerine eşit olması dolayısıyla $\lambda_{C_D} \approx 1$ kabul edildiğinden, büyük mertebedeki Reynolds sayıları için (6) numaralı bağıntı aşağıdaki hali alır.

$$\lambda_{U_f} = \lambda_{d_{50}}^{1/2} \lambda_{(s-1)}^{1/2} \quad (7)$$

Bu durumda, modelimizin düşey ölçeği (2) numaralı bağıntı kullanılarak düşük Reynolds sayıları için,

$$\lambda_y^{3/2} = \lambda_{d_{50}}^2 \lambda_{(s-1)} \lambda_x \quad (8)$$

ve, yüksek Reynolds sayıları için,

$$\lambda_y^{3/2} = \lambda_{d50}^{1/2} \lambda_{(s-1)}^{1/2} \lambda_x \quad (9)$$

olur. Kullanacağımız fiziksel modelde $\lambda_{d50}=\lambda_{(s-1)}=1$ olup, yatay uzunluk ölçeğini de $\lambda_x=1/100$ seçtiğimiz takdirde, (8) veya (9) nolu bağıntılardan $\lambda_y=1/21.5$ olarak bulunur. Bu iki değerden faydalanılarak, pratiklik sağlaması açısından distorsiyon katsayısı $\Omega=5$ alınarak $\lambda_y=1/20$ seçilmiştir. Ancak bu ölçeklerle yapılan bir seri deneyden sonra fiziksel modelle prototip arasındaki benzeşimin tam olarak elde edilemediği görülmüştür. Bunun başlıca nedenleri ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

1. Distorsiyon katsayısının yüksek olmasından kaynaklanan model eğimlerin, gerçekte var olan eğimlerden çok daha fazla olması ve dalga karakteristiğine olan etkisi.
2. Fiziksel modeli yapılan bölgenin çok sığ bir batimetrik yapıya sahip olması nedeniyle benzeşim zorluğu.
3. Kum taşınımının distorsiyondan dolayı etkilenmesi.

Buradan da anlaşıldığı üzere tabanı hareket edebilen kıyı modelleri için benzeşim yapılabilmesi bilimsel olarak henüz tam çözümlenmemekle beraber proje bazında uzun süre prototip gözlemleri yaparak fiziksel modelin kalibrasyonu en gerçekçi çözüme sağlayacaktır; Yalın (1971), Noda (1978), Huges (1983), Sayao (1984) ve Güler (1985).

Yeni model ölçeğimizi belirleyebilmek amacıyla distorsiyon katsayısı Ω , 5 den 2 ye düşürülmüştür. Yatay ölçeğimizi tekrar $\lambda_x=1/100$ olduğu takdirde $\Omega=2$ için $\lambda_y=1/50$ olmuştur. Böylelikle fiziksel modeldeki eğimler prototiptekine yaklaşmış ve fiziksel modeldeki kum taşınımı prototiple kıyaslandığında daha uygun hale gelmiştir.

Modeldeki fiziksel ve dalga parametrelerinin ölçekleri belirlenen yatay ve düşey eksenlerin fonksiyonları olarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Değişik Fiziksel ve Dalga Parametrelerinin Model Ölçekleri

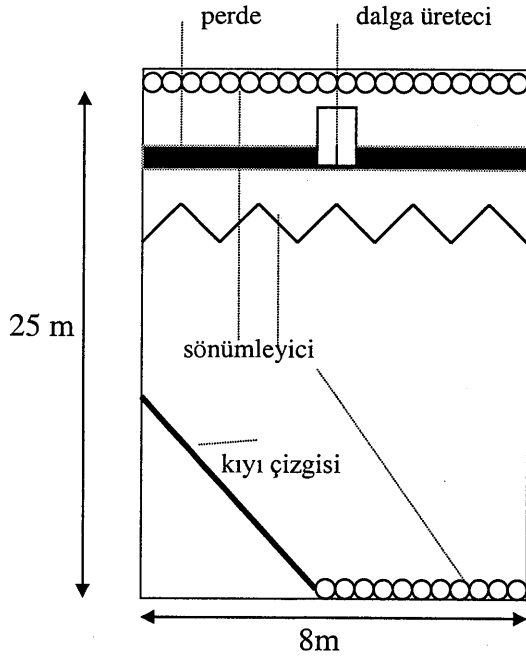
Parametre	Boyut	Ölçek İlişkisi	Model Ölçeği
Düşey Uzunluklar (dalga yüksekliği, su derinliği)	L	λ_y	1:50
Yatay Uzunluklar (dalga boyu hariç)	L	λ_x	1:100
Dalga Periyodu	T	$\lambda_y^{1/2}$	1:7
Dalga Boyu	L	λ_y	1:50
Kum Dane Çapı	L	$\lambda_{d_{50}} = \frac{(d_{50})_m}{(d_{50})_p}$	1
Kum Yoğunluğu	M/L ³	λ_p	1
Kızılırmak Debisi	L ³ /T	$\lambda_Q = \lambda_y^{1.5} \lambda_x$	1:35355

Kıyı erozyonunun oluşmasında yıl içindeki tüm dalga olaylarının etkili olması nedeniyle, fiziksel model çalışmalarının yönsel dalga dağılımı verilerek incelenmesi en doğru yaklaşım olmaktadır. Ancak mevcut laboratuvar düzeneğinde tek yönlü düzenli dalga üreticisine sahip olunması nedeniyle bu dalga dağılımı verilememiştir. Bu nedenle model değerleri olarak 5 cm yüksekliğinde ve 1.5 saniye dönemli dalgalar tek yönlü düzenli dalga üreticiden üretilerek her seri deney için aralıksız 5 saat süreli deney yapılmıştır. Üretilen bu düzenli dalganın tasarlanan kıyı koruma yapısına olan etkisi her seri deney sonunda kıyı çizgisi kontrol edilerek araştırılmıştır.

4.2. Model Düzeneği

Şekil 7’de görülen dalga kanalında bir motor ve 8.0 m genişliğinde bir perde yardımıyla düzenli dalgalar üretilmiştir. Dört vites ve iki reosta yardımıyla motor dönüş sayısı ile modeldeki dalga dönemi, T_m , perdenin yatma açısına bağlı olarak da modeldeki derin deniz dalga yüksekliği, $(H_0)_m$, istenilen değerlere ayarlanabilmektedir. Perdenin önüne perde boyunca susturucu yerleştirilerek perdenin titreşim etkisinin azaltılması ve dalgaların daha düzgün bir şekilde üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca Şekil 5 de görüldüğü gibi modelin üst ve alt sınırları boyunca taşlar döşenerek dalga yansımalarının etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Fiziksel modeldeki dalga yükseklikleri elektriksel gerilim prensibine göre çalışan bir prob ve buna bağlanan amplifikatörden elde edilmiştir. Dalga dönemi ise yine bu prob’dan elde edilen sinyallerin yazıcıda yapmış olduğu zaman eksenli

sinizoydal eğriden elde edilmiştir. Her deneyin sonunda kıyı çizgisi değişimleri modeldeki kıyı çizgisi boyunca mavi ve sarı renkli iplerin döşenerek fotograflanması yoluyla belirlenmiştir. Döşenen mavi renkli ip deneyden önceki, sarı renkli ip ise deneyden sonraki kıyı çizgisini temsil etmektedirler.



Şekil 7. Model Düzeneginin Şematik Görünüşü

Bölüm 3.1 de belirtildiği gibi dalgalar en kritik yönler olan NW-NNW-WNW yönlerinden etkili olarak geleceği tespit edildiği için kurulacak olan fiziksel modelin NW yönü esas alınarak inşa edilmesi yön benzeşimi açısından yeterli bulunmuştur. Çeşitli alternatif mahmuz sistemleri bu yönden gelecek dalgaların etkisi altında denenmiştir. Batimetrik haritanın fiziksel model üzerine uygulaması ise harita üzerinden hazırlanan kesitlerden master çekilmesi yoluyla olmuştur.

4.3 Model Deneyleri

Fiziksel model deneylerinde kullanılacak düzenli dalga parametreleri 3.1 de açıklandığı gibi $(H_0)_m=5.00$ cm ve $T_m=1.5$ saniye olarak belirlenmiştir. Bu dalga parametrelerinin prototipteki karşılıkları ise $(H_0)_p=2.50$ m ve $T_p=10.50$ saniyedir. Deney süresinin ise 5 saat tutulması düşünülerek kıyı çizgisindeki değişiklikler incelenmiştir.

Deneylerde, değişik mahmuz formları üzerinde çalışılmıştır. İlk alternatif de sadece düz mahmuzlarla deneyler yapılmıştır. İkinci ve üçüncü alternatiflerde ise düz ve Y mahmuzların birlikte olduğu bir sistem birlikte tasarlanmıştır.

İlk olarak sadece düz mahmuzlar kullanılarak kıyı erozyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Düz mahmuzlar kıyı çizgisine dik olarak inşa edilen ve boyları dalga kırılma derinliklerine kadar uzanabilen bir çeşit kıyı koruma yapılarıdır.

İki mahmuz arasındaki uzaklık genelde mahmuzun deniz doğrultusundaki boyunun bir veya iki katı olarak değişmektedir. Deneyisel çalışmanın ilk aşamasında 3 adet düz mahmuz Şekil 5 de görülen BDT-1 drenaj kanalı bölgesine tatbik edilmiş, mahmuz boyları dalga kırılma derinlikleri olan -2.5 ve -3 m arasındaki kotlara kadar uzatılmış ve iki mahmuz arasındaki mesafe de mahmuz boyunun yaklaşık iki katı alınarak bir çözüm aranmıştır. Ancak beş saat süren deneyin sonucunda kıyı çizgisinde olumlu bir gelişme elde edilememiştir. Mahmuzların batı tarafında kısmi kumlanma, doğu taraflarında ise erozyon meydana gelmiştir. Bu erozyonun oluşması kıyı boyu kum taşınım sürekliliğinin bozulmasından dolayı beklenen bir mekanizmadır. Mahmuzlar arasındaki ara mesafenin mahmuz boyunun yaklaşık iki katı alınması da bu seçenekte denenilen sistemin yetersiz çalışmasında bir diğer etkidir. Ancak ara mesafelerin iki den daha düşük tutulması durumunda ise mahmuz sayısında artma olacak ve ekonomik olmayan bir çözüme önelinecektir. Bunun yerine ara mesafeler aynı tutularak başka bir alternatifte farklı mahmuz tiplerinin denenmesi daha uygun bir çözüm olarak düşünülmüştür.

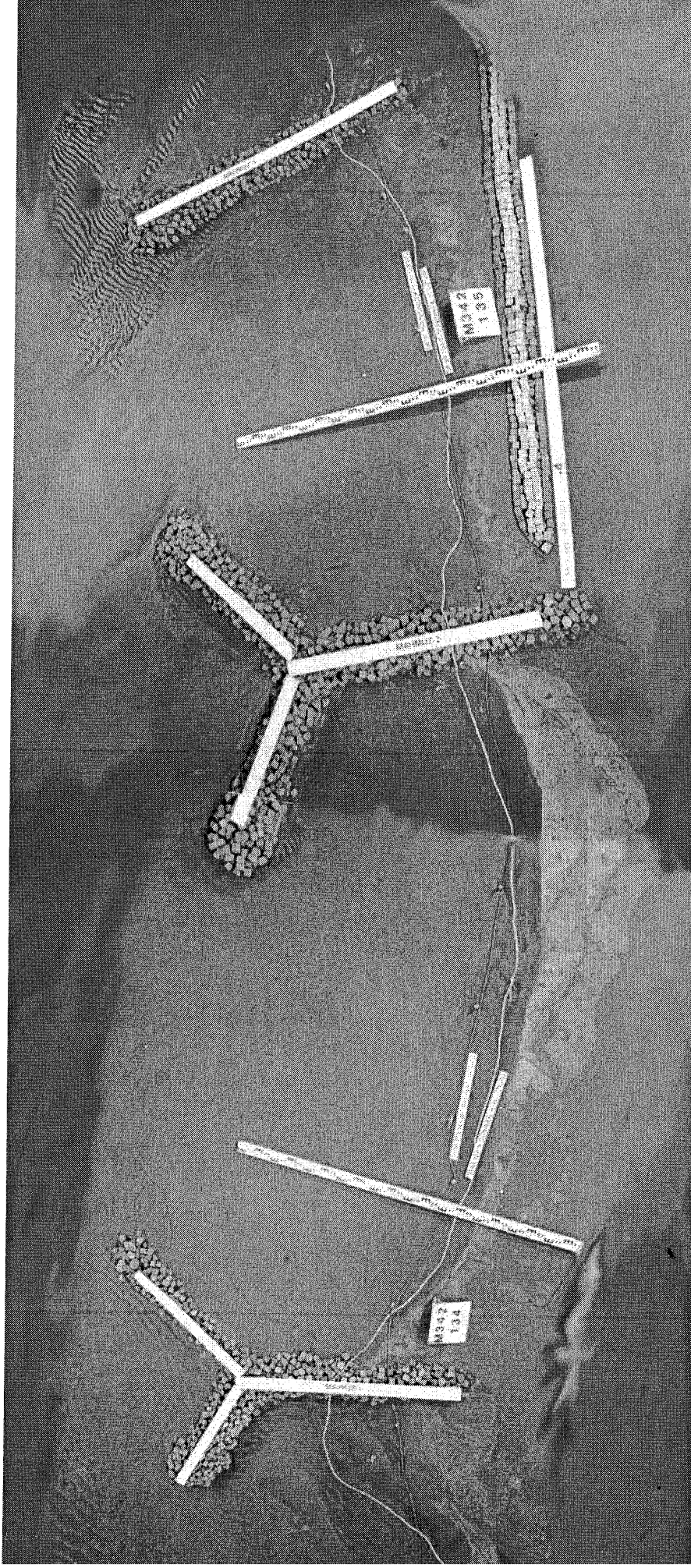
İkinci seçenek olarak iki adet düz ve bir adet Y tipi mahmuz deneye tabi tutulmuştur. Geometrik şekillerinin benzemesi nedeniyle Y ve bazen de T olarak adlandırılan mahmuz tipleri esasen açık deniz mahmuzları ile düz mahmuzların bir kombinasyonu şeklinde değerlendirilebilir (CIRIA Publication No:83, Shore Protection Manual CERC (1984), Özölçer (1998a, 1998b)). Bu kombinasyonla birlikte iki farklı mahmuz birleşerek daha etkin şekilde çalışmasının sağlanması amaçlanmaktadır. Üç numaralı Y tipi mahmuzun arkasında oluşan erozyon oransal olarak bir önceki deneyden farklı olmamıştır. Bu seçenekteki sisteminde yetersiz bir kıyı koruma sağlaması dolayısıyla 2 numaralı düz mahmuzunda Y şeklinde olması ve oluşacak olan bu yeni sistem üzerinde deneyler yapılmasına karar verilmiştir.

Son seçenekte ise 1 adet düz (1. Mahmuz) ve 2 adet Y tipi mahmuz (2. ve 3. Mahmuzlar) Şekil 5.' de görüldüğü gibi yerleştirilerek deneyleri yapılmıştır. Şekil 8' da sunulan fotoğraf deney sonrası kıyı çizgisinde oluşan değişimler verilmiştir. İki Y mahmuzun birlikte çalışma mekanizmasının önceki iki seçeneğe göre çok daha olumlu olduğu gözlenmiş olup, Y mahmuzlar arasında meydana gelen erozyon bu alternatif de minimuma düşmüştür. Y mahmuzların kıyı çizgisiyle bağlandığı noktada birikme meydana gelmiştir. Sonuç olarak son alternatif uygulama açısından diğer iki alternatifte göre tercih edilmesi gereken bir mahmuz sistemi olarak düşünülmüştür.

Önerilen bu sisteme ek olarak doğuya doğru boyları gittikçe küçülen mahmuz sistemi şeklinde inşaa edilmesi önerilmiştir.

5.MODEL VE PROTOTİP ÖLÇÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Önerilen bu 1 adet düz ve 2 adet Y tipi mahmuz sisteminin inşaatı gerçekleşmiştir. İnşaat sonrası 11.01.2000 ve 09.04.2000 tarihinde alınan kıyı çizgisi ölçümleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Model sonuçları (Şekil 8) ve doğa ölçümleri (Şekil 9) karşılaştırıldığında kum taşınma düzeneğinin benzeştiği görülmektedir.



Şekil 8. Model Deneyi Sonucu

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

BDT-1 Drenaj kanalı üzerinde meydana gelen kıyı erozyonu tehdidinin önlenmesi ve yapısal tedbirlerin alınması amacıyla yapılan bu model çalışmasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. İki adet Y ve bir adet düz mahmuzdan oluşan mahmuz sistemiyle önerilen kıyı koruma yapı sistemi, Bafra Ovası Kızılırmak çıkış ağzında oluşan kıyı erozyonun önlenmesi amacıyla yapılan model ve yerinde uygulama sonuçları erozyonun şiddetini büyük oranda ortadan kaldırmıştır. Mahmuz inşaatlarının 3 numaralı mahmuzdan başlaması ve batı yönünde diğerlerinin de sırayla yapılması sistemin verimliliği açısından olumlu olmuştur.
2. Mahmuzların inşasının tamamlanmasının ardından, 1 no'lu mahmuzun doğu kısmında kıyı sediment dengesinin değişmesi nedeniyle erozyon oluşabileceği için bu bölge sürekli gözlem altında tutularak olumsuz etkilere karşı önlem alınması gereklidir. Oluşması beklenen erozyonun şiddeti BDT-1 drenaj kanalı için tehlike oluşturması durumunda periyodik olarak yapay malzeme beslemesi yapılması şekliyle veya doğuya doğru giderek boyları küçülen bir mahmuz sistemi yapılarak kıyı erozyonu kontrol altına alınabilir. Malzeme beslemesi yapılacaksa besleme malzemesinin yerindeki doğal malzemeden daha büyük dane çapında olması durumunda daha başarılı sonuçlar elde etme olasılığı vardır.
3. Kızılırmak çıkış ağzı ve çıkış ağzının batısı gözlemlenerek kum taşınma düzeneğine göre çıkış ağzı yapıları (jetty) ve mahmuz sistemi planlanabilir.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, fiziksel model çalışmaları tamamlanmıştır. Tek çizgi modeli ile yapılan matematiksel model çalışmaları ise devam etmektedir. Çalışmalar tamamlandığında; fiziksel model, matematiksel model ve o ana kadar yapılmış yapılmış doğa ölçümleri karşılaştırılacaktır.

KAYNAK LİSTESİ

- CERC, (1984),” Shore Protection Manual”, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, pp. 6.76-6.84.
- CIRIA, (1991),” Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering”, CIRIA Special Publication 83, CUR Report 154, pp. 395-415.
- DAKE, J.M., (1972), “Essential of Engineering Hydraulics “, McMillan Pres. Ltd., London.
- GÜLER, Işıkhan, (1985), “A Study on Coastal Morphological Models”, Y.Lisans Tezi, İnşaat Müh. Böl., ODTÜ, Ankara.
- HUGES, S.A., (1983),” Movable Bed Modelling for Coastal Dune Erosion”, Reprinted for the U.S. Army Coastal Engineering Research Center, pp. 164-178.
- MEHAUTE, B., (1970), “A Comparison of Fluvial and Coastal Similitude”, Proc. of 12th Conference on Coastal Engineering, ASCE, Vol. 2, Washington pp. 1077-1096.
- ÖZÖLÇER, İ.H., (1998),” Doğu Karadeniz Kıyılarında Mahmuzların Etkisi ve Sayısal Model Yaklaşımı”, 2. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Mersin, pp. 263-279.
- ÖZÖLÇER, İ.H., (1998),” Düz Mahmuz Parametrelerinin Biriktirme Oranlarına Etkileri”, Türkiye’nin Kıyı ve Deniz Alanları II. Ulusal Konferansı, Ankara, pp. 905-914.
- NODA, E.K., (1978),” Scale Relations for Equilibrium Profiles”, Proc. of 16th Coastal Engineering Conference, ASCE, Vol. 2., Washington, pp. 1077-1096.
- SAYAO, S.F.Y., (1984),” Movable Bed Modelling Law for Coastal Dune Erosion”, A Discussion, Journal of Waterways, Harbour and Coastal Engineering Division, pp. 493-494.
- YALIN, S., (1971), “ Theory of Hydraulic Models”, McMillan Pres. Ltd., London, pp. 187-255.