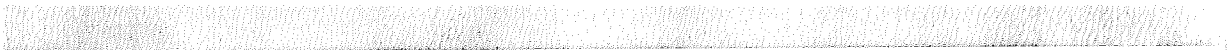


XIV. OTURUM



NEHİR AĞIZLARININ REHABİLİTASYONUNA BİR ÖRNEK: RİVA DERESİ

Yakup Darama
DSİ
Ankara

Sedat Kabdaşlı
İTÜ
İstanbul

Dursun Z. Şeker
İTÜ
İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada doğal denge karakteristikleri açısından son derece hassas yapıya sahip nehir ağızlarında baraj yapılarının etkisi sonucunda ortaya çıkan değişimler fiziksel model ve yersel çalışma uygulamaları ile ele alınmıştır. Çalışma alanı olarak İstanbul'un Karadeniz kıyısında yer alan Riva Deresi ağızı seçilmiştir. 1975-2001 yılları arasında önemli farklılıkların meydana geldiği gösterilmiş ve ağzın açık tutulabilmesi için gerekli önlemler irdelenmiştir.

GİRİŞ

Kıta içi su kaynakları ile kıyısız su kaynaklarının arakesitini oluşturan nehir ağızları, sahip oldukları son derece hassas doğal dengeleri nedeniyle korunmaları en zor olan doğa parçalarındandır. Kıyı bölgesine ait dalga, akıntı ve gel-git gibi hidrodinamik etkilerin yanısıra akarsudan kaynaklanan hidrodinamik özelliklerde nehir ağızlarının karmaşık hidrodinamik yapısını oluşturmaktadır.

Kumsal kıyılara dökülen akarsular taşıdıkları sediment ile nehir ağızlarının önünde ve bitişik kıyılardaki morfolojik yapının temel etkenini oluşturmaktadırlar. Bu nedenle akarsuyun sediment yükünde meydana gelebilecek değişiklikler doğrudan nehir ağızlarının yapısında çok belirgin değişimlere yol açmaktadırlar. Günümüzde denize bitişik akarsu havzalarında inşa edilen barajların yol açtığı etkiler kıyı bölgeleri için kronik problemler halinde görülmektedir. Bu problemin kökten çözümü mümkün değildir. Ancak ortaya çıkmadan alınacak kararlarla önlenmesi veya minimize edilmesi söz konusu olabilmektedir (Kökpınar ve diğ., 2000).

Kıyı alanlarının özellikle hidrodinamik ve morfolojik karakteristikleri sahip oldukları akarsuların tatlı su ve sediment debilerine büyük ölçüde bağımlılık göstermektedir. Özellikle kumsal kıyıların sediment bütçeleri doğrudan akarsuların sediment yükü tarafından kontrol edilmektedir. Diğer taraftan kıyı çizgisinin ve taban batimetrisinin dinamik doğal dengesi bir taraftan dalga etkileri diğer yandan da akarsuyun hidrolik ve hidrolojik özelliklerinin karşılıklı etkileşimi ile ortaya çıkmaktadır. Bu kompleks etkileşim içinde etken parametrelerden herhangi birinin doğal veya yapay nedenlerle değişime uğraması kıyının doğal dengesinde değişime yol açmaktadır.

Global ölçekte ortaya çıkan doğal denge bozukluklarının genel değerlendirmesi yapıldığında değişime uğrayan etken parametrelerin akarsuyun havzasındaki faaliyetleri nedeniyle hidrolik ve hidrolojik parametreler olduğu görülmektedir. Akarsuların sahip oldukları suların bazı bölgelerde neredeyse tamamına yakınına havza içinde sulama başta olmak üzere kullanıldığı görülmektedir.

Özellikle kıyı çizgisine çok yakın bir noktada inşa edilen barajların akarsudaki akım rejimini dolayısıyla sediment yükünü tamamen değiştirerek kıyı çizgisinin doğal dengesini altüst ettiği genel kabul gören bir gerçektir. Bu nokta kıyı alanlarının yönetimi ile havza yönetiminin bir bakış açısına göre çatışma noktasını diğerine göre ise ara kesitini oluşturmaktadır. Her iki yaklaşımında temel amacı doğal dengeyi gözetmek ve kalkınmayı sağlamak yani sürdürülebilir kalkınma olması durumunda problemin kolaylıkla çözülebileceği anlaşılmaktadır. Ortak yönetime ulaşılabilmesi için iyi bir izleme çalışmasının yapılarak sağlıklı verilerin elde edilmesinin gereği açıktır.

Bu çalışmada, nehir ağızlarındaki morfolojik değişimin çarpıcı örneklerinden birini oluşturan İstanbul yakınlarında Karadeniz kıyısındaki Riva Deresi ağzında ortaya çıkan morfolojik değişim problemi ele alınarak rehabilitasyon çalışmaları sırasında elde edilen bilgiler verilmiştir. Riva Deresi ağzının rehabilitasyon çalışmalarında araştırmalar İTÜ İnşaat Fakültesi ve DSI Araştırma Dairesi tarafından ortak yürütülmüştür. Bu kapsamda;

- a) Derenin hidrolojik özellikleri belirlenmiş,
- b) Bölgenin dalga iklimi çıkartılmış,
- c) Yersel ölçümlerle akıntı ölümleri yapılmış ve sediment örnekleri alınmıştır,
- d) Bölgenin batimetrik haritaları ile arazinin topografik haritaları birleştirilerek arazinin üç boyutlu modelleri oluşturularak bu modeller üzerinde çeşitli analizler yapılmış, sonuçları irdelenmiştir. Bu işlem için bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan ArcView kullanılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) bütünsel bir teknolojidir ve diğer CAD sistemlerinden en büyük üstünlüğü çok basit olduğu kadar karmaşık analizlerinde yapılabilmesine olanak sağlamasıdır. Bunları yaparken de çok farklı kaynaklardan aldığı verileri kullanabilmektedir.
- e) DSI laboratuvarında fiziksel model inşa edilmiştir. Bugün belli oranda yerinde gerçekleştirilmiş olan bu modelle ilgili detaylı bilgi daha sonraki bölümlerde verilecektir

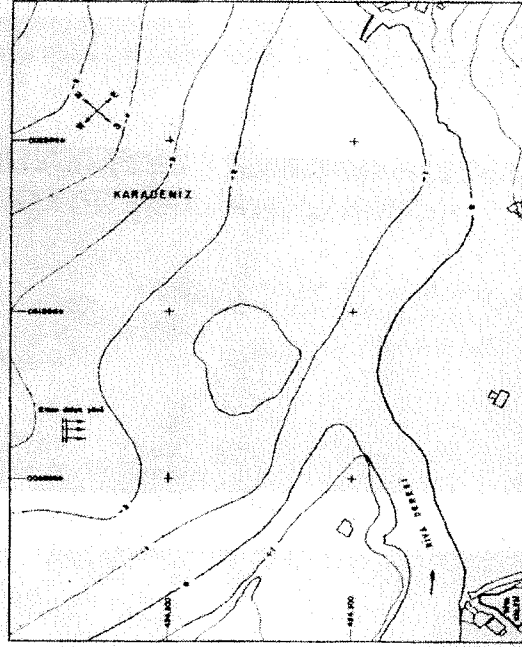
Çalışmaların sonucunda farklı önlemlerin içerebileceği kıyı yapılarının olumlu ve olumsuz etkileri belirlenerek doğal dengeyle en iyi uyumu sağlayan rehabilitasyon planı ortaya konulmuştur.

ÇALIŞMA ALANI

Riva deresi, İstanbul'a içme suyu sağlamak amacıyla inşa edilen Ömerli barajı tarafından regüle edilmektedir. Bu baraj üst havzadan gelen sedimenti tutmaktadır. Doğal dengeyi bozan bu olumsuz etkiye ek olarak son yıllarda meydana gelen kuraklıklar nedeniyle barajın dipsavaklarından ve dolusavaklarından mansaba herhangi bir su bırakılmamaktadır. Bu olumsuz etkilerden dolayı derenin denize deşarj olduğu kıyı kesiminin dinamik denge durumu bozulmaktadır. Karşı yönden gelen rüzgarın etkisi ile oluşan dalgalar nedeniyle ve dere ağzının kıyıdaki kum hareketi nedeniyle tamamen kapanması söz konusudur (Özhan ve Abdallah, 1999). Şekil 1 de çalışma alanı ve derenin denize deşarj olduğu yerdeki batimetrisi verilmiştir.

Dere ağzında açıkça görülen bu tehlike karşısında DSI, Riva deresi ile bunun Karadeniz arasındaki yaklaşık 300 metrelik bölümün islah edileceğini öngörmüştür. Bu öngöründe, islah projesinin amacına ulaşılabilmesi için derenin denize çıkış ağzının dalgalar tarafından oluşturulan kıyıdaki kum hareketi nedeniyle kapanmasının önlenmesi ve dere ile deniz arasının sürekli açık kalmasının sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Bu arada yerinde yapılan ölçme kontrollerde derenin çıkış ağzının kuzey batı yönünden gelen dalgalar tarafından taşınan kumla tamamen kapatıldığı tespit edilmiştir. Nisan 2001 tarihinde derenin denize döküldüğü ve kapanan kısmını gösteren resim şekil 2 de verilmiştir. Gözlemler yapılan batimetri ölçmeleri ve İBŞ Belediye Başkanlığı'ndan sağlanan haritalarla da doğrulanmıştır.

Riva deresinin denize açılan ağzının kumlanmaması için gerekli olan çözüme ilişkin yapısal tedbirlerin fiziksel bir modelle araştırılması gerekmektedir. Bu yapısal tedbirler derelerin denize çıkışında dalga hareketiyle taşınan kumlanmadan dolayı oluşan tıkanmaları önlemek amacıyla bir çift mahmuz sisteminin tasarlanması şeklinde olup, sistemi oluşturan bu mahmuzların formlar yapıları deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir.



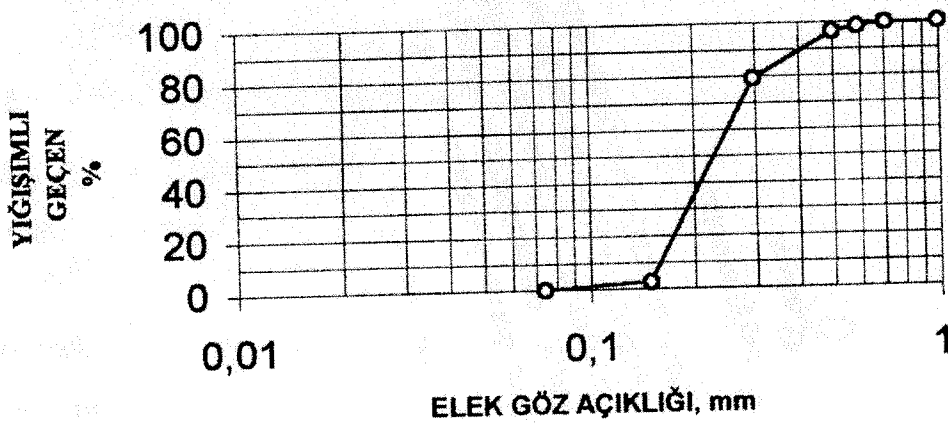
Şekil 1. Çalışma alanının ve batimetrisi

Bu çalışmada taban malzemesi olarak kum kullanılmıştır. Kullanılan kum elek analiz ve özgül ağırlık deneylerine tabi tutulmuştur. Elek analizi sonuçları Şekil 3 te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modelde kullanılan kumun ortalama dane çapı 0.25 mm ve özgül ağırlığı ise 2740 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Riva Deresinin denize çıkış ağzının dalgalar tarafından kumlanmış görüntüsü.

RİVA DERESİ KARADENİZ'E ÇIKIŞ AĞZI MODELİNDEKİ KUMUN GRANÜLOMETRİ EĞRİSİ



Şekil 3. Riva Deresinin Karadeniz'e çıkış ağzı modelinde kullanılan Kum numunesinin granülometrik eğrisi

MODEL DÜZENEGİ

Laboratuar ortamında uygun koşulda dalgaların üretilmesi sağlanmıştır ve dalga yansımalarının etkisi modelin üst ve alt sınırları boyunca taş döşenerek dalga yansımalarının etkisi enerjisinin bu taşlar yardımıyla sönmülenerek giderilmeye

çalışmıştır. Dalga yükseklikleri elektriksel gerilim prensibine göre çalışan bir prob ve buna bağlanan amplifikatörden elde edilmiştir. Deneyden önce ve sonra oluşan değişimler fotoğraflanarak bilgiler toplanmıştır.

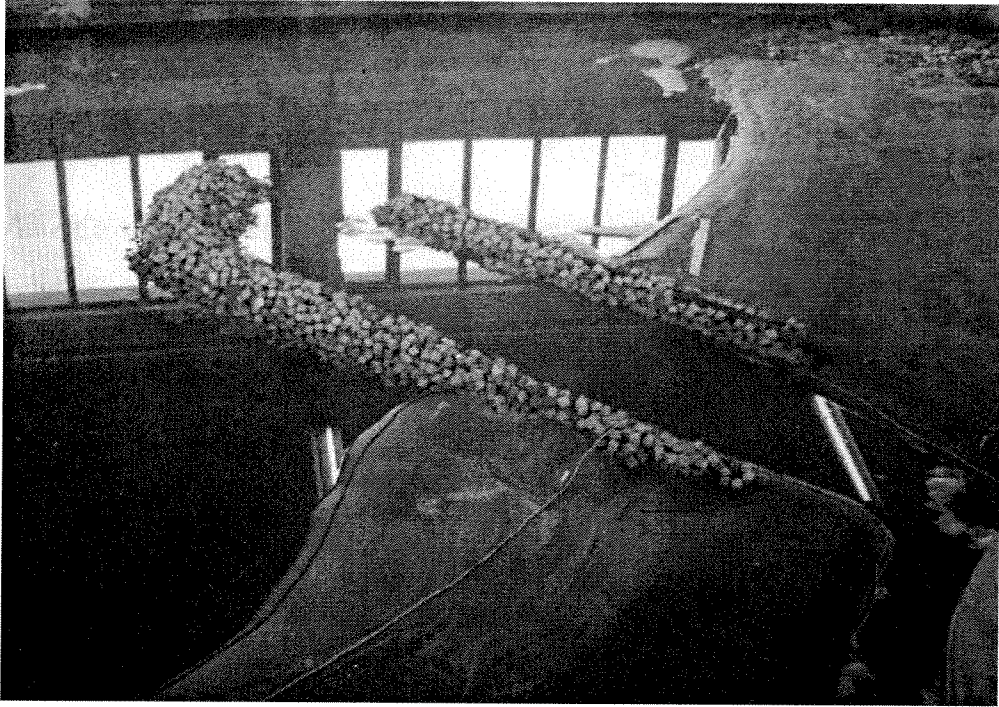
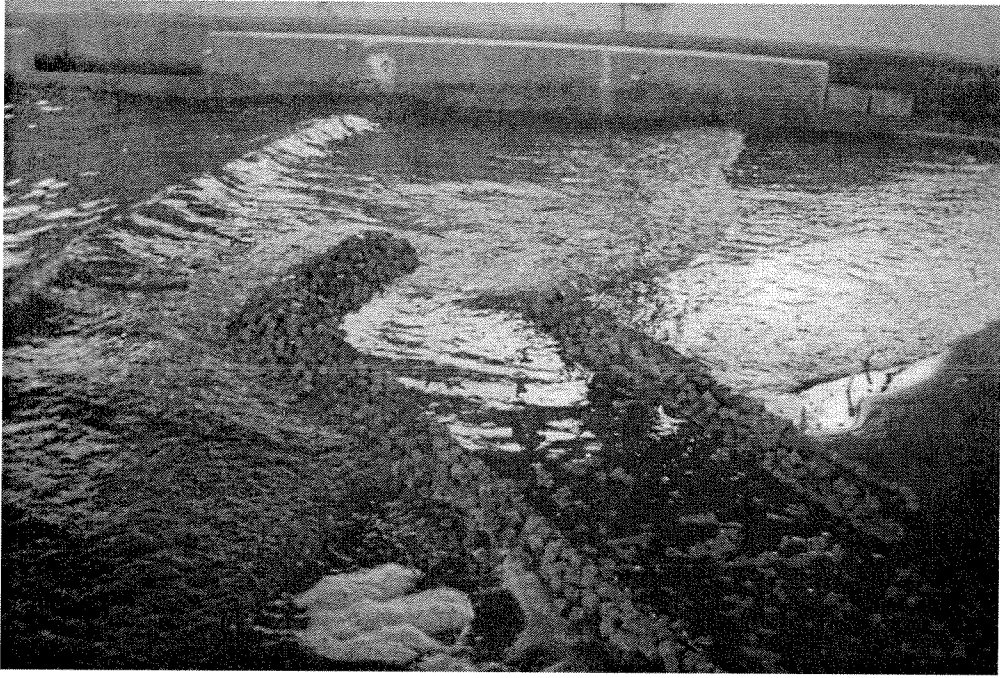
Orijinal durumda yapılan deney çalışmaları aşamasında yapılan deneylerde proje yerinde yapılan gözlemlerin benzeşimini sağlamak amacıyla kıyı çizgisinde ve Riva deresinin Karadeniz'e çıkış ağzında meydana gelen değişiklikler orijinal durumda tespit edilmiştir. Bu amaçla dalganın etkisiyle tıkanmamış olan derenin çıkış ağzı düzenlenmiş ve prototipte 3 m yüksekliğe karşı gelen dalgalar 6 saat süreyle oluşturularak kıyı çizgisinde ve özellikle çıkış ağzındaki değişimler tespit edilmiştir. Deney sonrasında NNW yönünden gelen dalgaların kıyıya yatay bileşeninin taşıdığı kum derenin ağzını tamamen tıkanmıştır. Bu oluşum aynı zamanda proje yerine yapılan gözlemler sırasında da aynen tespit edilmiştir. Bu olumsuzluğu gidermek için kıyı ağzına iki tip mahmuz alternatifi tasarlanmış ve modelde denenmiştir.

Bu iki farklı alternatiften ilkinde çıkış ağzının sol tarafında kıyı çizgisine dik 150 m uzunluğunda ve sağ tarafta ise 90 m uzunluğunda ve denizde -2.5 m derinliğe kadar uzanan iki adet düz mahmuz tasarlanarak model inşa edilmiş, ve bu mahmuzların Riva deresinin denize çıkış ağzında ve bu çıkış ağzının bulunduğu bölgedeki kıyı çizgisindeki değişimler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Düz mahmuzlar kıyı çizgisine dik olarak inşa edilen ve boyları dalga kırılma derinliklerine kadar uzanabilen bir çeşit kıyı koruma yapılarıdır. Bölgedeki batimetrisinin oldukça sığ olmasından dolayı -3 m civarında olan dalga kırılma derinliklerine kadar bu mahmuzların uzatılması ekonomik olmayacağından mahmuz boyları -2.5 m derinliğe kadar uzatılmıştır. Laboratuardaki modelde 6 saat süreyle gerçekleştirilen simülasyon sonrasında düşünülen mahmuzların dalgaların derenin çıkış ağzına girmesini engellemedikleri görülmüştür.

İlk belirlenen mahmuzlu modelin isteneni vermemesi nedeniyle ikinci durum ele alınmıştır. Daha önceki tecrübelerle dayanarak mahmuzların boyları 80 ve 120 m ye düşürülmüşlerdir. Uzun mahmuz 120 m den sonra orijinal doğrultusundan 45° lik açıyla kuzeydoğu yönünde 50 m daha uzatılarak dalgaların çıkış ağzındaki olumsuz etkileri gidereceği düşünülmüştür. Şekil 4 te bu modelin detayları verilmiştir. 2.5 m yüksekliğe denk gelecek dalgalar modelde 6 saat süreyle oluşturulmuş ve sürenin sonunda Riva deresinin deniz çıkış ağzında oluşan kıyı çizgisi değişimleri irdelenmiştir. Burada oluşturulan dalgaların çıkış ağzında hiç bir olumsuz etkiye neden olmadığı görülmüştür.

Ayrıca bölgede oluşabilecek daha büyük dalgalara göre bu mahmuz sisteminin etkisini araştırmak için dalga yüksekliği 3 m için oluşturulan modelde deneyler tekrarlanmıştır. 6 saat süreyle yapılan deney sonunda meydana gelen değişimler gözlenmiştir. Deney sonucunda görüldüğü gibi bu şekilde oluşturulacak bir sistemin kumlanmayı önleyeceği görülmüş ve bu model nihai çözüm olarak belirlenmiştir. Bu sistemin laboratuarda oluşturulan modeli şekil 5 te görülmektedir.



Şekil 5.İkinci alternatifin laboratuarda oluşturulan modeli

Barajların kıyı alanlarına dolaylı etkilerinden biride toplumun akarsuya ve kıyıya bakışında yarattığı çarpıcı değişikliklerdir. Akarsu ağzının geçmişe göre daha az değişken hale gelmesi sonucunda toplumda kıyı alanlarında kıyı çizgisine ve akarsuya yakın

alanlarda arazi kullanımı talebi artmaktadır. Uydu görüntülerinde akarsuyun sağ sahilinde sağ sahilinde kıyı çizgisinin hemen gerisinde başlayan sazlık alanlar görölmektedir. Bu alanların toplum tarafından dolgu yapılarak kullanılabilir arazi haline getirilmeye başlanmış olması uzun dönemde akarsuyun baraj dolusavağından çıkması muhtemel 500 m³/sn debiyi iletmesini imkansız hale getirecek bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Akarsuyun bu tip bir akım durumunda taşarak sol sahildeki son derece kıymetli kıyı kumlarını yok etmesi büyük olasılıktır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen belli başlı bazı sonuçlar aşağıda sıralanmışlardır.

1. Uydu görüntüleri yardımıyla akarsu havzasında ve kıyı alanlarındaki değişimleri geçmişten başlayarak günümüze kadar görsel halde ortaya koymak ve sayısal değerlerle ifade edebilmek mümkündür.
2. Kıyı alanlarının yönetiminde en önemli sorunlardan biri geçmişteki doğal koşulların nasıl olduğunun tanımlanmasıdır. Bu tam sağlıklı olarak cevaplandırılmaksızın sürdürülebilir kalkınmanın ele alınan bölge için tam ve kesin tanımını yapmak mümkün değildir. Uydu görüntüleri bu sorunun cevabının bulunmasına büyük ölçüde yardımcı olmaktadır.
3. Uydu teknolojisi kullanıldığında barajların kıyı alanlarına etkisinin gelişimi ortaya konulabilmektedir. Bunun için uzaktan algılama ile birlikte klasik veri toplama sistemleri ile birlikte çağdaş veri değerlendirme sistemlerinin de kullanılmasının gerektiğı ve bu yolla belirgin sonuçlara varılabileceğı gösterilmiştir.
4. Riva kıyı alanında yapılan uygulama ile bölgenin 1975 ten günümüze değişimi bu çalışmada belirdin özellikleriyle ortaya konulmuştur.
5. Riva Deresi ağızındaki mevcut durumun yapısal önlemlerle kısmen iyileştirilebileceğı ve deredeki akım koşullarının sağlanabileceğı deneysel çalışma ile belirlenmiştir.
6. Buna karşılık sözkonusu önlemlerin ve dere ağızında barajdan kaynaklanan problemlerinde etkisiyle bölge halkının kıyı alanlarını kullanım isteğini artırdığı, ayrıca tespit edilmiştir.
7. Yerli turizmin oldukça yoğun yaşandığı bölgede sorunların çözümü için daha farklı parametrelerinde ele alınması gerekmekte, bunu sağlayabilmek için de özellikle kıyıdaki değişimin uzaktan algılama verileri, Coğrafi Bilgi Sistemleri gibi daha modern tekniklerle izlenmesi ve, sonuçların ciddiyetle ele alınması ve en uygun çözümlerin üretilerek hayata geçirilmesi gerekmektedir.
8. Bölgedeki çözümün daha kalıcı olabilmesi için ilgili kamu kurum ve kuruluşları arasındaki yetki ve çıkar tartışmalarına son verilmeli ve üretilen çözümlerin gerçekleştirilebilmesi için birlikte hareket edilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Özhan, E., Abdalla, S. (1999) "Türkiye Kıyıları için Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası", ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara.

2. Kökpınar, M.A., Güler, I., Darama, Y. (2000), “Bafra Ovası Kızılırmak-Karadeniz Birleşimindeki Kıyı Erozyonu Modeli”, 3. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Sh. 507-524, Çanakkale.
3. Şeker, D.Z., Göksel, C., Kabdaşlı, S., Musaoğlu, N., Kaya, Ş. (2002), Investigation of Coastal Morphological Changes Due to River Basin Characteristics by Means of Remote Sensing and GIS Techniques, 9th International Conference – Watershed and River Basin Management, 11-14 Eylül 2002, Edinburg.

KIZILIRMAK AĞZI KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİ

Işıkhan GÜLER

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

Yakup DARAMA

DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 06100, Ankara

Mehmet Ali KÖKPINAR

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 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 bir yıl süre sonunda da kıyı çizgisinin bu bölgelerde yer yer 50 m kadar denize doğru ilerlediği tespit edilmiştir. Bu çalışmada fiziksel model deneylerinin yanı sıra Matematiksel Model kullanılarak Fiziksel Model ve Doğa Ölçümleriyle karşılaştırılarak Matematiksel Modelin uygunluğu tartışılmıştır.

1. GİRİŞ

Bafra ovası uzun yıllar sonunda Kızılırmak nehrinin getirdiği alüvyonlarla oluşmuş ve Karadeniz'e doğru konik bir topografik yapıda ilerlemiştir. Ovanın Kızılırmak nehrinin Karadenize deşarj olduğu bölgesi topografik özelliklerinden dolayı NW ve NE yönlü dalgaların sıklıkla etkili olduğu karmaşık hidrodinamik kuvvetlerin etkisi altındadır (Şekil 1). Kızılırmak nehrinin doğusunda bataklıklar bulunmakta ve taban yapısı kum olarak tanımlanmaktadır. Uzun yıllar boyunca Kızılırmak nehrinin taşıdığı malzeme ile nehir ağzı ve çevresi oluşmuştur. Sediment taşınım dengesi Kızılırmak nehri üzerine inşaa edilen barajlar ile bozulmuş ve bunun sonucunda Bafra deltasının doğu yakasında dalgalarla kaynaklanan kıyı erozyonu başlamıştır. Bu bölge için daha önce yapılan çalışmalardan ve yöre halkında elde edilen bilgilere göre kıyı çizgisi bir yıl içerisinde yaklaşık 30 m. mertebesinde ovanın içerisine çekilerek erozyona uğramıştır.

Bu çalışmanın amacı, söz konusu bölgedeki kıyı erozyonunun nedenlerini incelemek ve bu erozyonu önlemek için çeşitli çözümler geliştirmektir. Bu çözümler, fiziksel 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 uygulanan mahmuz seçeneklerinin kıyıya etkisini matematik modelle karşılaştırılmıştır.

2. BAFRA OVASI KIZILIRMAK - KARADENİZ BİRLEŞİMİ KİYI MODELİ

Bafra Ovası Kızılırmak-Karadeniz birleşiminde oluşan erozyonun boyutu, bölgede, yerinde yapılan gözlemler ve ölçümler sonunda belirlendikten sonra elde edilen bu bulgular yapılan fiziksel ve matematiksel modeller 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 yapılmış ve mahmuz sistemi inşaatı yapılmıştır(Kökpınar ve arkadaşları, 2000). Tek çizgi modeliyle de fiziksel model çalışmaları sonucunda geliştirilen mahmuz sisteminin matematiksel modelle karşılaştırılması yapılmıştır.

3.BAFRA KIYILARI DALGA İKLİMİ

Bafra burnu, Sinop'un doğusunda Samsun'un batısında yer almaktadır. Bölgeyi etkileyebilir dalga yönleri; Doğu(E), Doğu-KuzeyDoğu (ENE), Kuzey Doğu (NE), Kuzey Kuzey Doğu (NNE), Kuzey(N), Kuzey-KuzeyBatı(NNW), Kuzey Batı (NW) ve Batı - Kuzey Batı (WNW) yönleridir. Bu yönler Bafra burnu'nu ve kızılırmak ağzını doğrudan etkileyen yönlerdir. W, ESE ve WSW yönünden gelen dalgalar ise ikincil olarak Kızılırmak ağzını etkileyen yönlerdir.

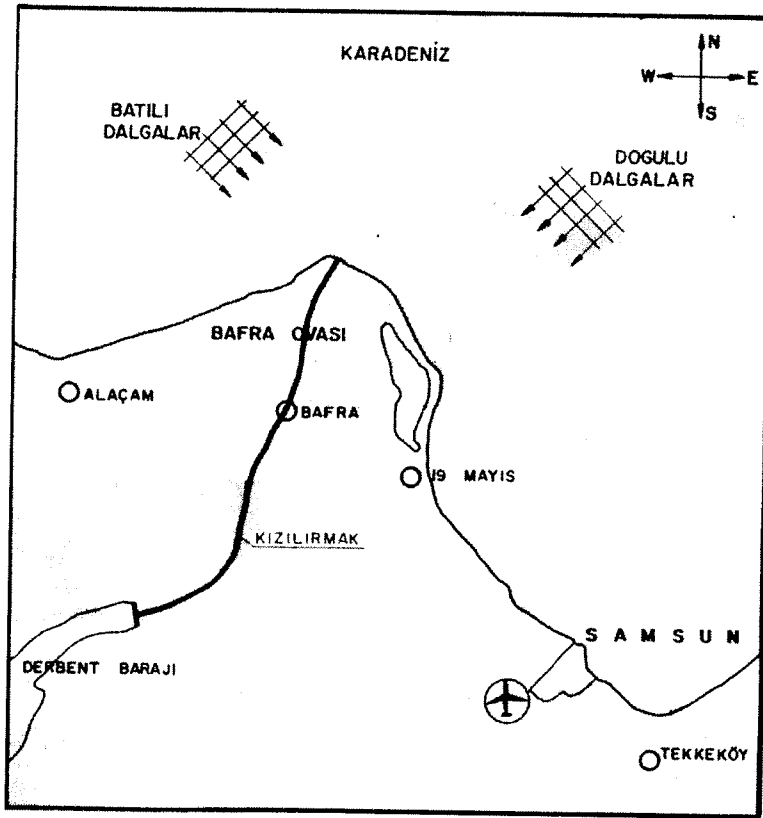
Yöreyi etkileyebilir dalgalar için ortalama kabarma alanı uzunlukları, SPM (1975) de açıklanan yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 1.' de verilmiştir. Kabarma alanı hesaplanırken, söz konusu bölgenin gerçek yeri gözetilmeyip, daha güvenceli olması için burnun açıkları temel alınmıştır. Dolayısıyla tahmin edilecek dalgalar bu noktaya gelen dalgalardır.

Tablo.1 Kabarma Alanı Uzunlukları

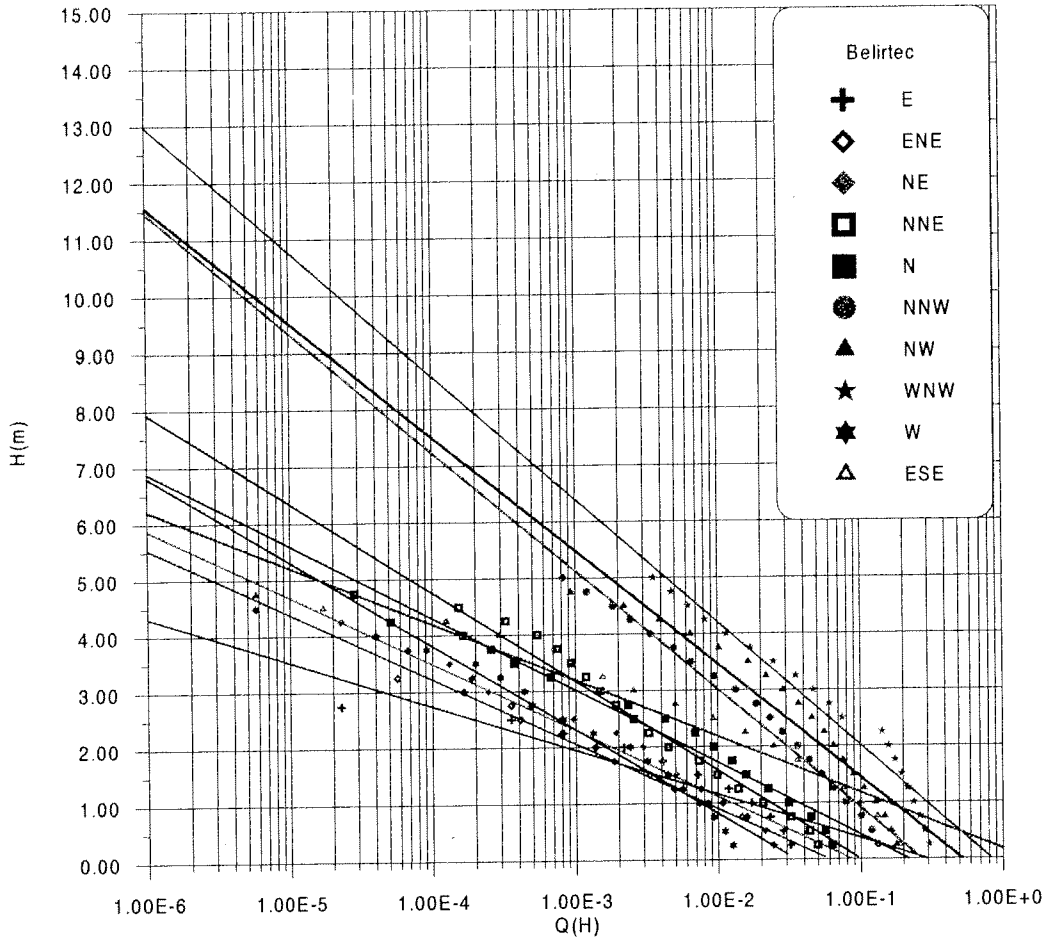
Yön	Kabarma Alanı Uzunlukları (km)
E	349
ENE	382
NE	333
NNE	331
N	330
NNW	373
NW	502
WNW	617

Yöreyi doğrudan etkileyecek yönler sırasıyla WNW, NW, ENE, NNW, NE, NNE ve N olarak bulunur. Bu yönlerden gelen dalgalar kıyı çizgisi ile açı yaparak geldiğinden, kıyı kesiminde denizin sığlaşmasından önemli ölçüde etkilenmekte ve dalgaların yönleri ve yükseklikleri değişmektedir.

Tek çizgi model çalışmaları 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 İstasyonunun 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 kullanılarak 20 yıllık fırtınalara ait dalga tahmini yapılmıştır. Uzun dönem derin deniz dalga istatistiği tüm dalga yönleri için Şekil 2'de denklemleri ise Tablo 2 'de verilmiştir.



Şekil 1. Bafra Ovasının Genel Görünüşü ve Etkin Dalga Yönleri



Şekil 2 Uzun Dönem Derin Deniz Belirgin Dalga Yüksekliği Olasılık Dağılımları

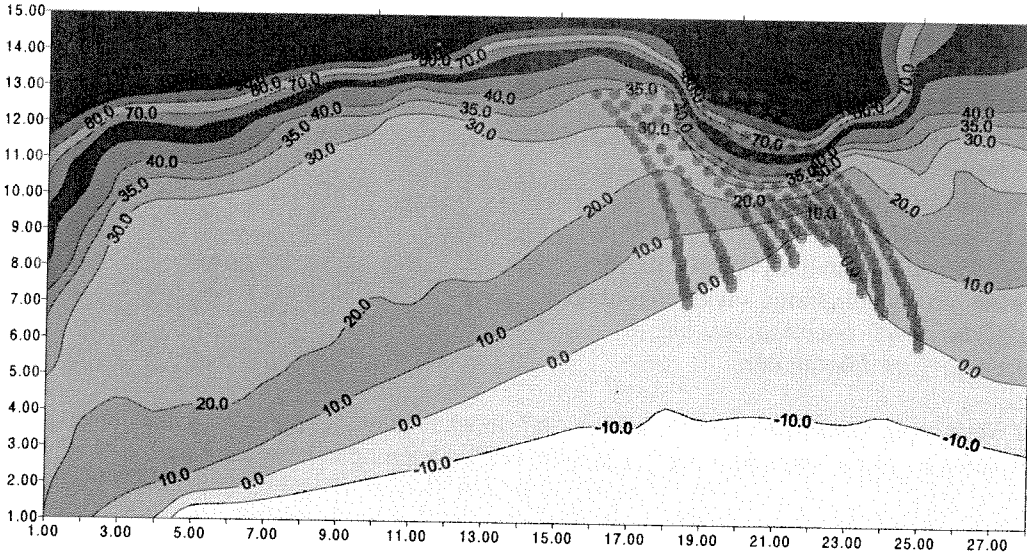
Şekil 2’de verilen uzun dönem istatistik değerleri tüm dalga yönlerini kapsamakta olup, dikey eksen dalga yüksekliklerini, yatay eksen bu değerden büyük olabilecek dalga yüksekliklerinin olasılıklarını göstermektedir.

Tablo 2. Uzun Dönem Derin Deniz Belirgin Dalga Yüksekliği Olasılık Denklemleri

Yön	Derin Deniz Belirgin Dalga Yüksekliği Denklemi (m)
E	$H_s = -0.342974[\ln Q(H_s)] - 0.419646$
ENE	$H_s = -0.503473\ln Q(H_s) - 1.41883$
NE	$H_s = -0.516823[\ln Q(H_s)] - 1.26734$
NNE	$H_s = -0.688899[\ln Q(H_s)] - 1.59163$
N	$H_s = -0.560387[\ln Q(H_s)] - 0.858266$
NNW	$H_s = -0.91678\ln[Q(H_s)] - 1.20674$
NW	$H_s = -0.877677\ln[Q(H_s)] - 0.574075$
WNW	$H_s = -0.951687\ln[Q(H_s)] - 0.176151$

Yukarıda belirtilen dalga yönleri, dalgaların derin denizdeki ilerleme yönleridir. Dalgalar, derin denizden kıyıya doğru ilerlerken dalga yönleri, sapma olayıyla değişmektedir. NW-NNW-WNW yönlerinden esen rüzgarların oluşturduğu dalgaların Bafra ovası kıyılarındaki erozyona neden olduğu tahmin edilmektedir.

Dalga sapması hesaplarını yapabilmek amacıyla bir bilgisayar programı (Worthington M. ve Herbich J.,1971) kullanılmıştır. Bu program yardımıyla dalgaların derin denizden mahmuzların yapılacağı bölgeye kadar izledikleri yol hesaplanmaktadır. Dalga sapması programı ile derin denizdeki yönleri E, ENE, NE, NNE, N, NNW, NW ve WNW olan 5 san. dönemli dalgaların kıyıya ulaşana dek uğradığı sapmalar hesaplanmıştır. Örnek olarak Şekil 3 'de NW yönünden gelen dalga sapması verilmiştir



Şekil 3. 5 saniye Dönemli Dalgaların Bafra Burnu'ndaki Sapma Diagramı

4.TEK ÇİZGİ MODELİ (ONE-LINE MODEL)

Matematiksel model için, Kızılırmak nehri'nin Karadeniz'e deşarj olduğu çıkış ağzındaki bölgenin kıyı çizgisi ve denizin batimetrisi kullanılmıştır. Yapılan ön çalışmalar sonucunda, nehrin sağ ve sol sahillerinden 500' er metre olmak üzere toplam 1.0 km lik bir kıyı kesiminin topografyasıyla birlikte, deniz içine doğru -5 m derinliğe kadar olan bölgenin batimetri haritası; DSİ Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı ve DSİ VII. Bölge Müdürlüğünün işbirliği ile alınmış ve önerilen mahmuz sistemi ile birlikte Şekil 4' de verilmiştir. Bu mahmuz sistemi ve kıyı çizgisi aşağıda kısaca anlatılan "Tek Çizgi" modeli'nde kullanılarak dalga etkisiyle kıyı çizgisindeki değişimler incelenmiştir.

Kıyı çizgisi değişimini tahmin edebilmek için kullanılan Tek Çizgi Modeline ait denklemi aşağıda verilmiştir (Hanson ve Kraus , 1986)

$$\partial y/\partial t + 1/D \partial Q/\partial x = 0 \dots\dots\dots 1$$

Bu denklemde;
y, kıyı çizgisi pozisyonu (m),
t, zaman,(san),
D, kum taşınımı için gerekli maksimum su derinliği(m),
Q, kıyı boyu kum taşınımı debisi(m³/s)
x, kıyı boyu mesafe(m) dir.

Kıyı boyu kum taşınımı debisi ise “CERC” formülü (SPM,1984) kullanılarak hesaplanır.

$$Q = K' (H^2 C_g)_b \sin 2 \theta_{bs} \dots\dots\dots 2$$

$$K' = (K/(16(S-1)a'))(1/r)^{5/2} \dots\dots\dots 3$$

Yukarıdaki bağıntılarda;
K boyutsuz katsayı (=0.4),
H belirgin dalga yüksekliği (m),
C_g grup dalga hızı (m/san.),
θ_{bs} Kırılan dalganın kıyı çizgisi ile yaptığı açı,
S kumun yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranı,
a'= katı madde hacmi/toplam hacim
r ise çevirme faktörü dür.

2 ve 4 nolu denklemlerde kullanılan “b” indeksi dalga kırılmasını temsil etmektedir. Kırılma anındaki grup dalga hızı ise aşağıda verilen bağıntıdan hesaplanır.

$$(C_g)_b = (gH_b/\gamma)^{1/2} \dots\dots\dots 4$$

burada;
g, yerçekimi ivmesi (m/s²),
γ, dalga kırılma yüksekliğinin dalga kırılma anındaki su derinliğine oranıdır (yaklaşık 0.78).

Sonlu farklar yöntemi kullanıldığında (1) nolu denklemaşığdaki şekilde ifade edilebilir;

$$Y_i' = 2B (Q_i - Q_{i+1}) + y_i \dots\dots\dots 5$$

Denklem 5 de ;
Y_i' hesaplanan kıyı çizgisi
B= Δt/(2DΔx) (san./m²),
Δt zaman aralığı
Δx grid mesafesi dir.

Sonlu farklar yöntemlerinde modelin stabilitesi önemlidir. Stabilite sayısı aşağıda verilmiştir (Hanson ve Kraus , 1986);

$$R_s = 2K' \Delta t(H^2 C_g) / D (\Delta x)^2 \dots\dots\dots 6$$

Stabilite sayısının düşmesi modelin çözümünün doğru olmasına olanak vermektedir.

Tek Çizgi Modelinde kullanılacak dalga yüksekliklerinin büyük önemi vardır. Bir yörede oluşan tüm dalgalar, o yörede kum taşınım rejiminde etken olmaktadır. Kıyı çizgisi değişimi benzeşiminde her yönden gelecek en büyük dalga yüksekliği değerlerinden çok, ortalama dalga yükseklikleri değerleri kullanılabilir. Ortalama dalga yüksekliği aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanır;

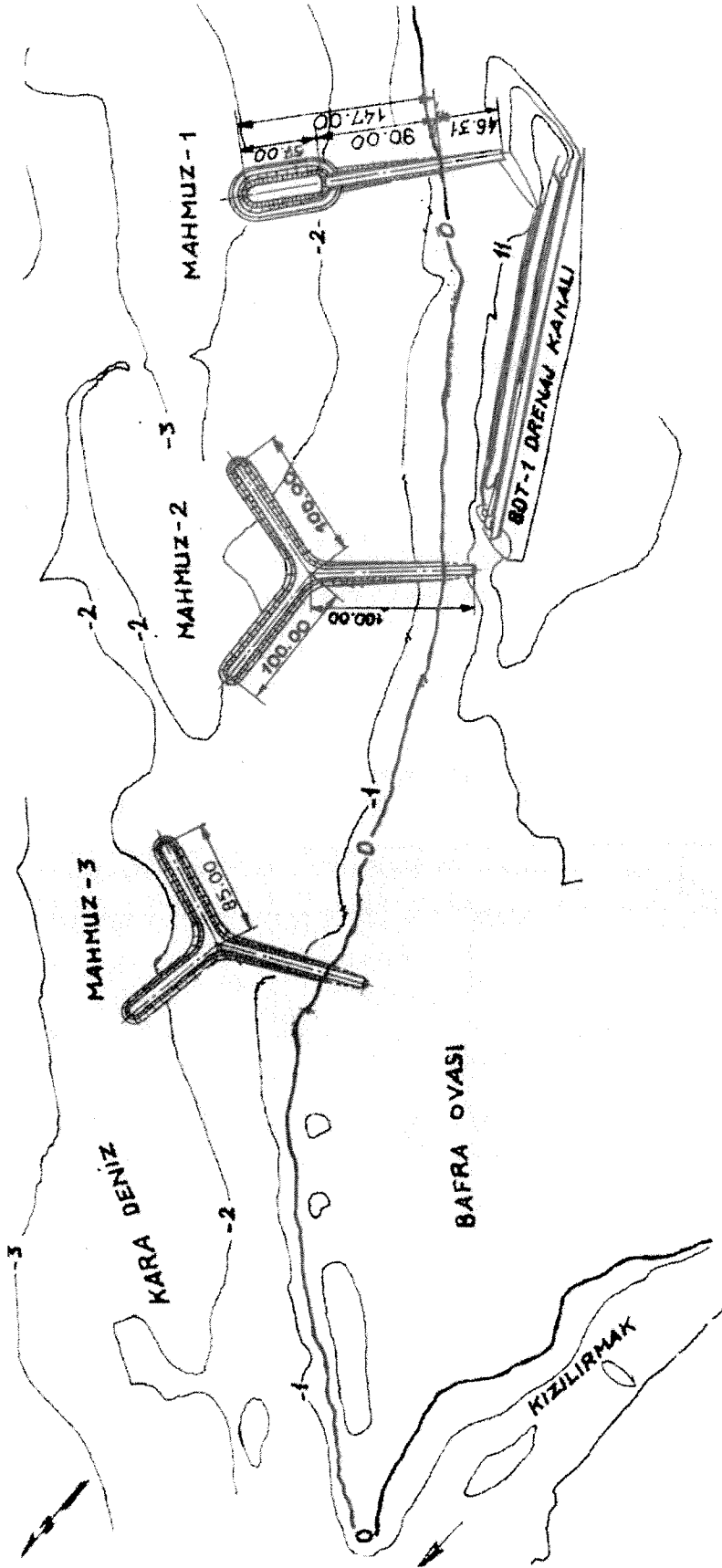
$$\overline{H} = (\sum H_i \times \Delta P) / \sum \Delta P \dots\dots\dots 7$$

Burada $\overline{H}$ ortalama derin deniz dalga yüksekliği,
 H_i derin deniz belirgin dalga yüksekliği,
 ΔP ise (H_i) dalga yüksekliğine karşı gelen olasılık değeridir.

Uzun dönem derin deniz dalga istatistikleri (Şekil 2 veya Tablo 2) kullanılarak her yönden oluşacak ortalama dalga yüksekliği hesaplanmış, dalga dönemi ve oluşma süreleri Tablo 1’de verilmiştir.

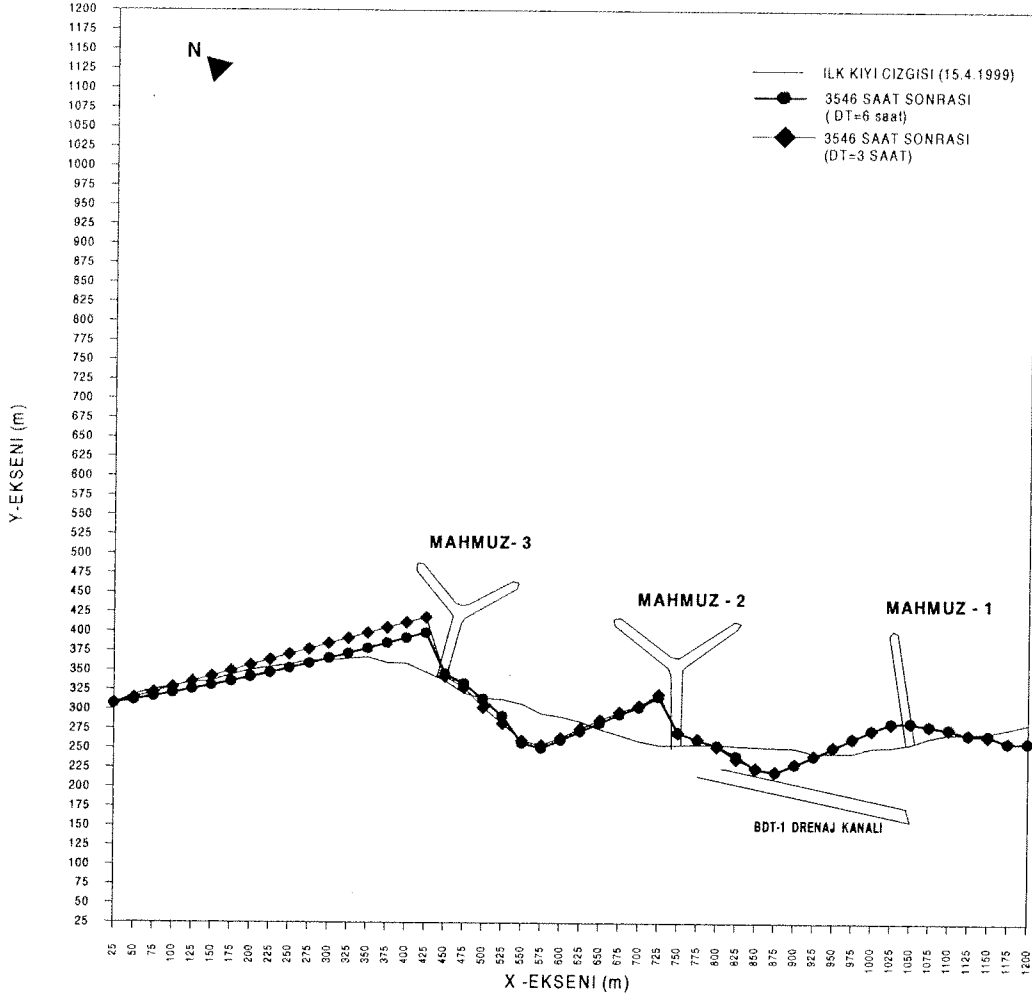
Tablo 3. Kızılırmak – Karadeniz çıkış ağzı ortalama derin deniz dalga yükseklikleri, dönemleri ve bir yıl içinde oluşma süreleri

Yön	Dalga Yüksekliği H (m)	Dalga Periyodu T (s)	Bir Yılda Oluşma Süresi t (saat)
N	1.34	4.50	174.
NNE	1.98	5.50	49.
NE	1.39	4.60	51.
ENE	1.43	4.70	31.
E	0.82	3.50	1632.
WNW	1.98	5.50	919.
NW	1.93	5.40	477.
NNW	2.20	5.80	213.



Şekil 4 .Kızılırmak – Karadeniz Çıkış Ağzının Batimetrisi ve Fiziksel Model Sonucunda Önerilen Mahmuz Sistemi

Tablo 3 de verilen ortalama dalga yüksekliği verilerinin geliştirilen bilgisayar programına girdi olarak yüklenmesi sonucunda dalga kırılma yükseklikleri ve kırılma açıları hesaplanmıştır. Bu hesaplanmış olan kırılan dalga yükseklikleri ve kırılma açıları ile Çizim 4 deki 15.4.1999 da ölçülen kıyı çizgisi sayısallaştırılarak Model için geliştirilen programa girdi olarak verilmiştir. Tek çizgi Modelinde Kızılırmak nehrinin debisi ihmal edilmiş ve zaman aralıkları $\Delta t=3$ ve $\Delta t=6$ saat alınarak bilgisayar programı çalıştırılmış ve sonuçlar Şekil 5 de verilmiştir.



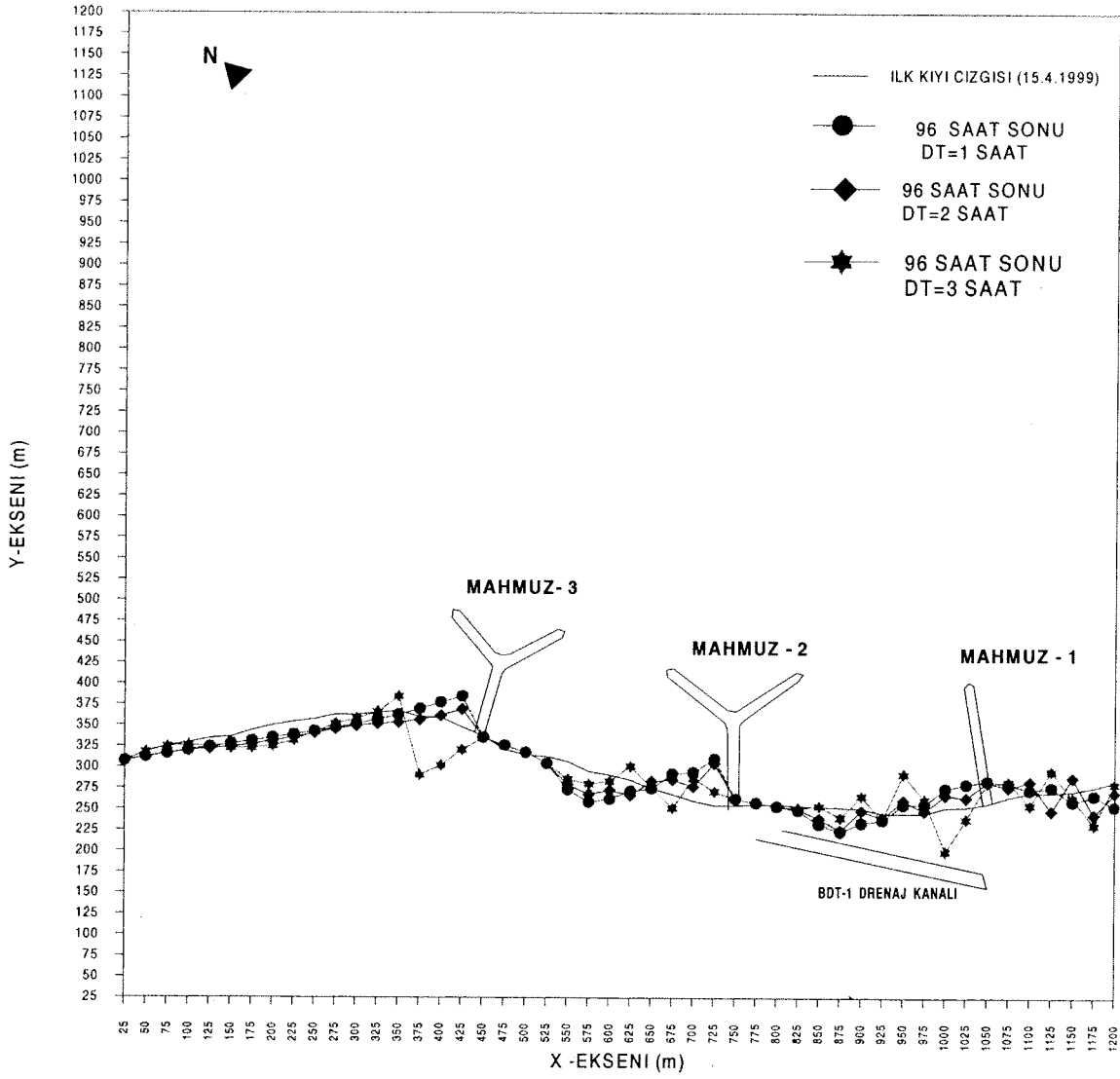
Şekil 5. Ortalama dalga yüksekliği kullanılarak 3546 saat sonrasında elde edilen kıyı Çizgisi değişimi (zaman aralığı $\Delta t=3$ saat ve $\Delta t=6$ saat)

Kum taşınımı için geliştirilen bilgisayar modellerine girdi olan ortalama dalga yüksekliğinin yanısıra yılda 12 saat süreyle oluşabilecek derin deniz belirgin dalga yüksekliklerinde girdi olarak kullanılabileceği Hanson ve Kraus (2000) tarafından önerilmiştir. Bu nedenle Tablo 2’de verilen uzun dönem dalga denklemleri kullanılarak yılda 12 saat oluşabilecek derin deniz dalga yükseklikleri hesaplanmış ve Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Yılda 12 saat Oluşma Olasılığı Olan Derin Deniz Belirgin Dalga Yükseklikleri, Dönemleri ve Bir Yıl İçinde Oluşma Süreleri

Yön	Derin Deniz Dalga Yüksekliği H (m)	Dalga Periyodu T (s)	Bir Yılda Oluşma Süresi t (saat)
E	1.84	5.41	12.
ENE	1.90	5.49	12.
NE	2.14	5.83	12.
NNE	2.95	6.84	12.
N	2.84	6.71	12.
NNW	4.84	8.76	12.
NW	5.21	9.1	12.
WNW	6.1	9.84	12.

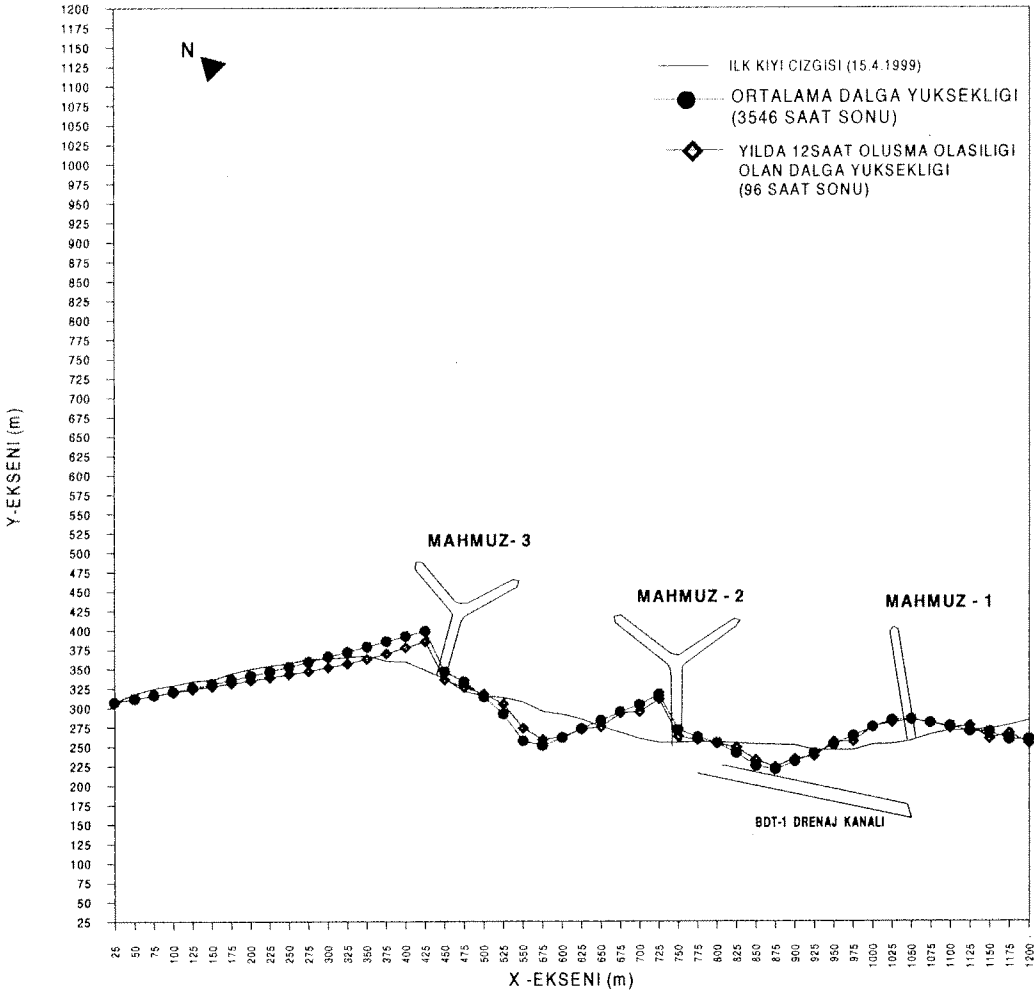
Tablo 4’ de verilen derin deniz dalga yüksekliklerinin bilgisayar programı yardımıyla kırılan dalga yükseklikleri ve kırılma açıları hesaplanarak Tek Çizgi Modeli bilgisayar programına veri olarak girilmiştir. Program zaman aralıkları $\Delta t=1, 2$ ve 3 saat alınarak çalıştırılmış ve sonuçlar Şekil 6’ da verilmiştir.



Şekil 6. Yılda 12 Saat Oluşma Olasılığı olan Belirgin Dalga Yüksekliklerinin Kıyı Çizgisinin Değişimine Etkileri ($\Delta t=1$, $\Delta t=2$ ve $\Delta t=3$ saat)

Şekil 6 incelendiği takdirde $\Delta t = 1$ saat ile elde edilen kıyı çizgisi değişimi sonuçlarının $\Delta t=2$ ve 3 saat ler ile elde edilen sonuçlardan daha uygun değerlere ulaştığı görülmektedir. Bunun ötesinde program $\Delta t = 3$ saat için çalıştırılması durumunda stabilite sayısının yüksek değerlere ulaşması sonucunda elde edilen değerlerin güvenilirliği azalmıştır.

Ortalama dalga yüksekliği ($\Delta t=6$ saat) ile yılda 12 saat oluşma olasılığı olan belirgin dalga yüksekliğinin ($\Delta t=1$ saat) kıyı çizgisi değişimleri Şekil 7' de verilmiştir



Şekil 7. Ortalama Dalga Yüksekliği ile Yılda 12 saat Oluşma Olasılığı olan Belirgin Dalga yüksekliğinin Kıyı Çizgisi Değişimine Etkileri

Şekil 7 incelendiğinde ortalama dalga yüksekliği ile yılda 12 saat oluşma olasılığı olan dalgaların kıyı çizgisi değişimine olan etkilerinin benzer olduğu görülmektedir. Mahmuz - 3'ün batı tarafında ortalama dalga yüksekliği kullanıldığında birikmenin daha fazla olduğu diğer kısımlarda ise hemen hemen aynı olduğu gözlenmektedir.

5. FİZİKSEL MODEL, DOĞA ÖLÇÜMLERİNİN VE TEK ÇİZGİ MODELİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

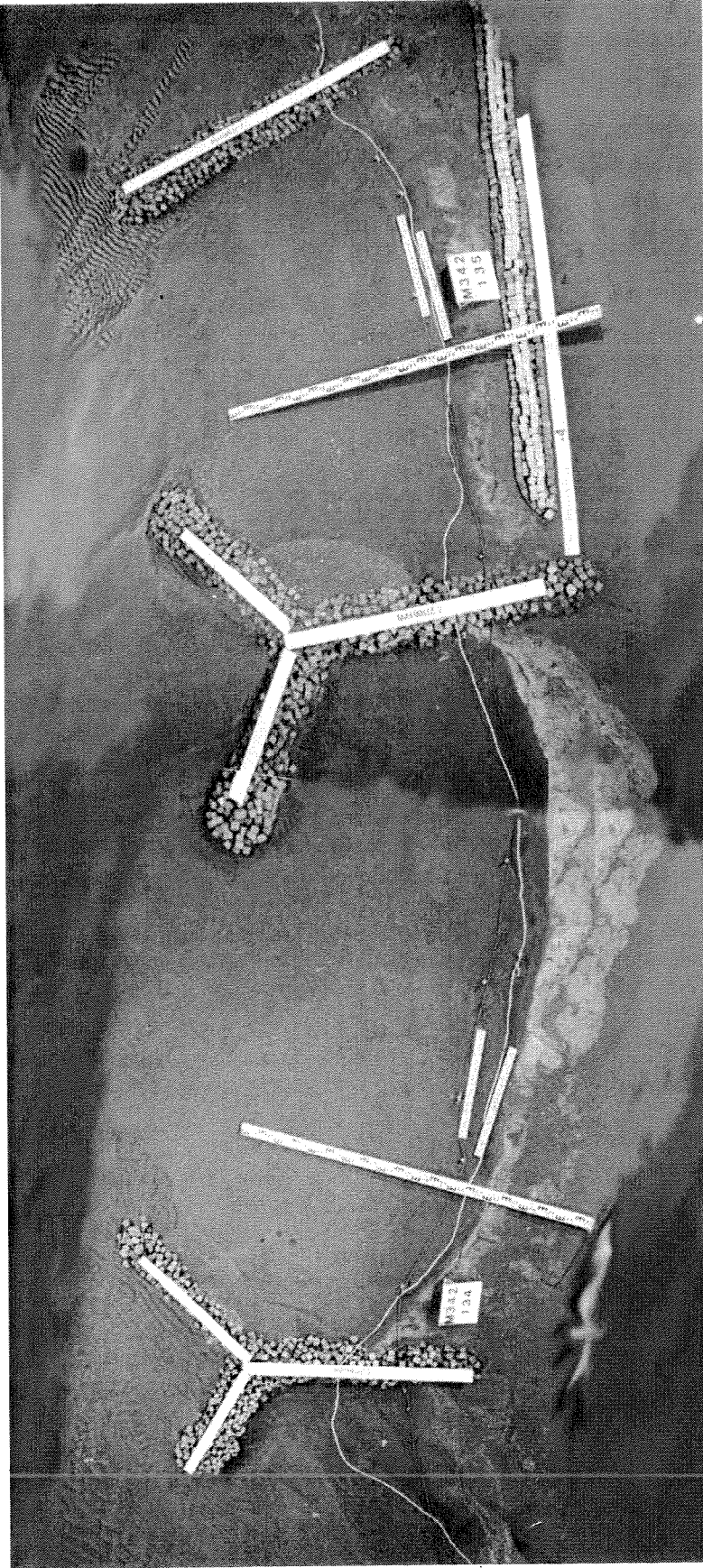
Kökpınar ve arkadaşları (2000) yapmış oldukları fiziksel model çalışmaları sonucu elde ettikleri 1 adet düz ve 2 adet Y tipinden oluşan mahmuz sisteminin (Fotoğraf 1) doğadaki inşası tamamlanması sonrasında, 11.01.2000 ve 09.04.2000 tarihlerinde kıyı çizgisi ölçümleri alınmış ve sonuçları Şekil 8’de gösterilmiştir. Tek çizgi Modeli ile elde edilen matematiksel model sonuçları ise Şekil 9’da verilmiştir.

Fiziksel Model, Doğa Ölçümleri ve Tek Çizgi Model sonuçları karşılaştırıldığında Mahmuz - 3 ‘ün hemen Batı tarafı her üç durumda (Fiziksel Model, Doğa Ölçümleri ve Tek Çizgi Modeli) kum birikmesi gözlenmiştir. Mahmuz-3 ‘ten daha batıya gidildiğinde ise Doğa Ölçümlerinde bir değişiklik görünmemesine rağmen Fiziksel model ve Tek Çizgi Modelinde kıyı çizgisinin karaya doğru gerilemesi görülmektedir.

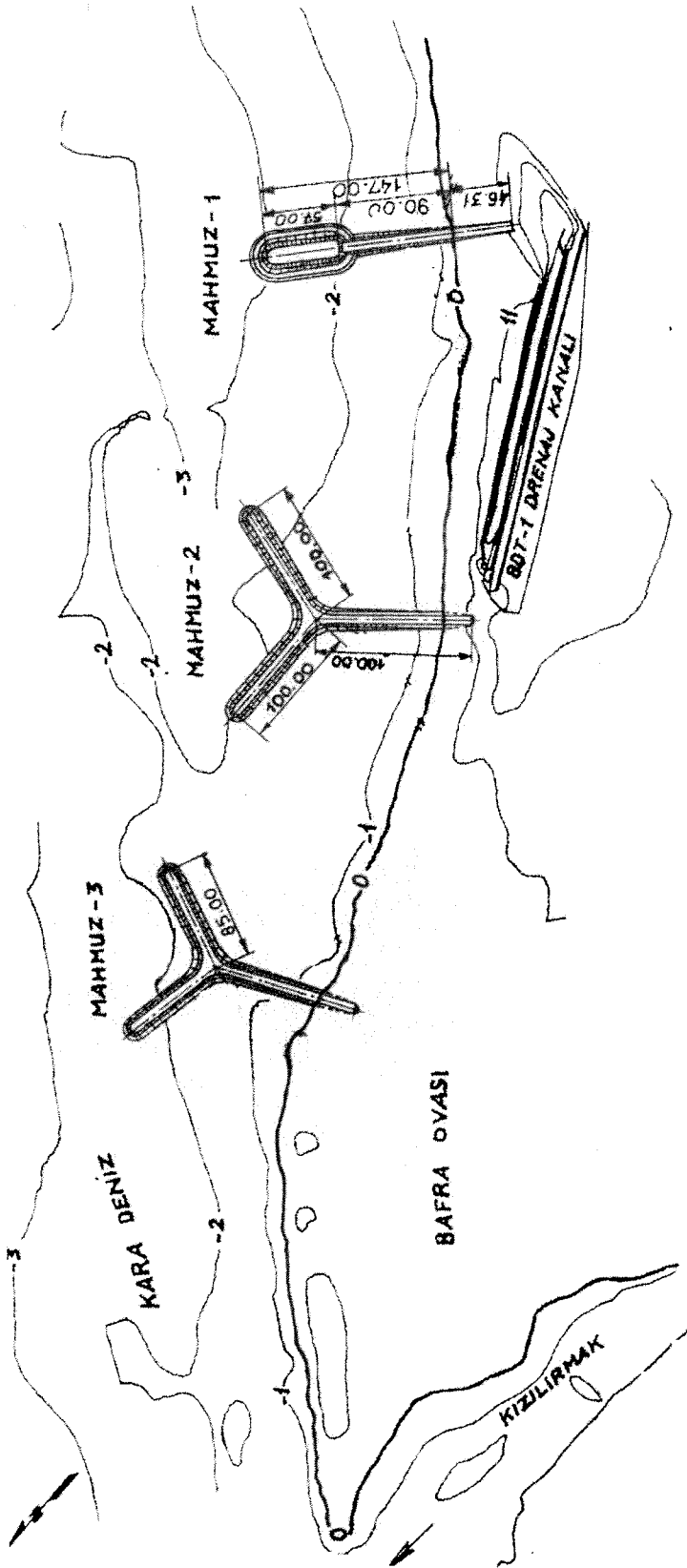
Mahmuz – 3 ile Mahmuz - 2 arasında Y - mahmuzlarının gölgesinde kalan alanlarda birikmeler doğa ölçümlerinde daha fazla Fiziksel ve Tek çizgi model çalışmalarında ise nispeten daha az olduğu görülmektedir. Y mahmuzlar ortasında kalan alanda Doğa Ölçümleri ile Tek Çizgi Modeli’nde kıyı çizgisinde oyulmalar görülmekte ve kıyı çizgisi birbirine çok benzemektedir. Fiziksel Model Çalışmasında ise bu bölgede kum birikmesi gözlenmektedir.

Mahmuz – 2 ile Mahmuz –1 arasında , Mahmuz –2 ‘nin Doğu tarafında Fiziksel Model ile Doğa Ölçümlerinde kum birikmesinin Tek Çizgi Modeli sonuçlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Mahmuz – 1’in batı tarafında ise her üç durumdada da kum birikmesi meydana gelmiştir. Bu iki mahmuzun arasında ise Fiziksel Model deneyi sonuçları ile Doğa Ölçümleri uyum içerisinde. Tek Çizgi Modelinde ise BDT-1 drenaj kanalına doğru kıyı çizgisinin gerilemesi söz konusudur.

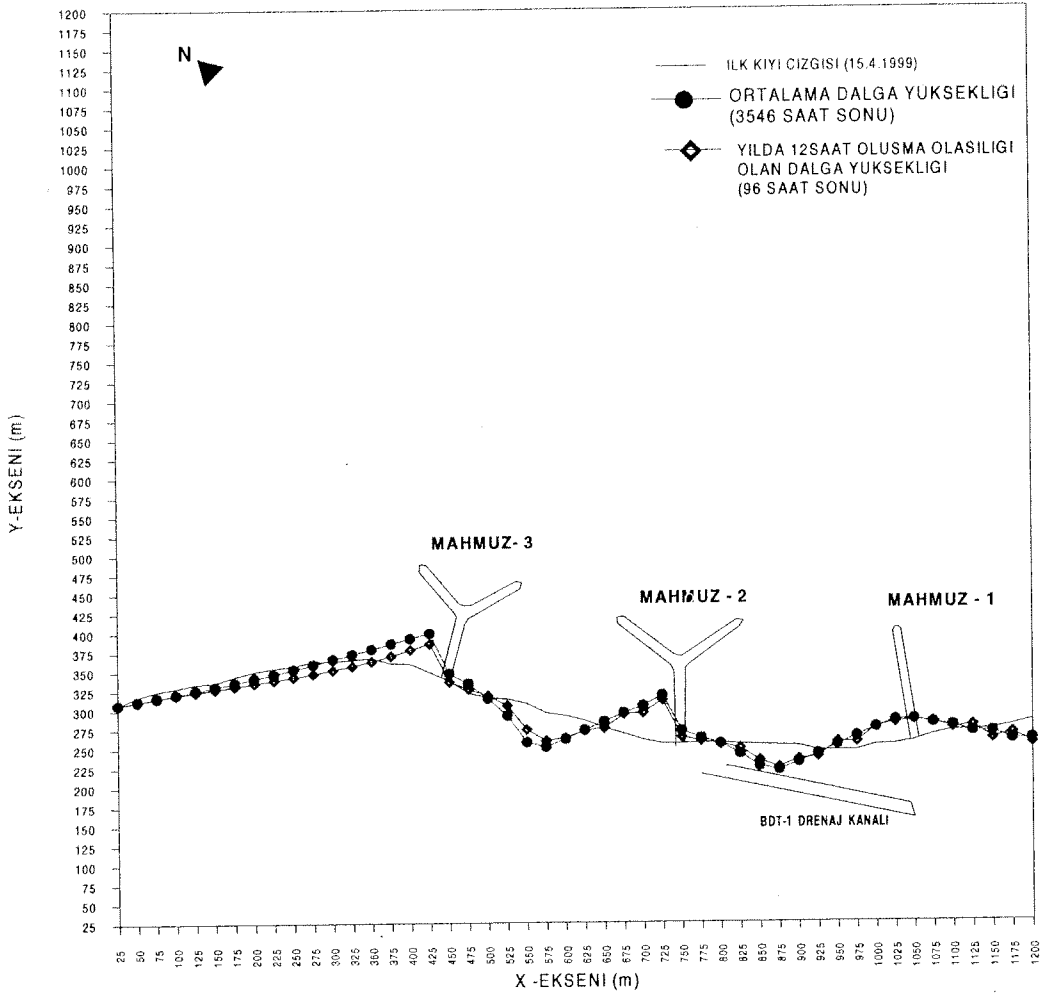
Mahmuz-1’in hemen doğusunda her üç durumda da kumlanma görülmekte ancak Mahmuz-1’den daha doğuya gidildiğinde ise kıyı çizgisinin karaya doğru ilerlediği görülmektedir.



Fotoğraf 1. Fiziksel Model Deney Sonucu (Kökpınarve arkadaşları, 2000)



Şekil 4 Kızılırmak – Karadeniz Çıkış Ağzının Batimetrisi ve Fiziksel Model Sonucunda Önerilen Mahmuz Sistemi



Şekil 9. Tek Çizgi Modeli Sonuçları

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

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

1. Tek Çizgi Modeli ile yapılan çalışmalarda hem ortalama dalga yüksekliği hemde yılda 12 saat oluşma olasılığı bulunan belirgin dalga yükseklikleri kullanılmış ve her iki durum için elde edilen sonuçlar birbirine benzer bulunmuştur.
2. Tek Cizgi Modeli kullanılırken (Δt) zaman aralığının seçimi önem kazanmaktadır. Zaman aralığı stabilite sayısı R_s ile doğrudan ilintili olup programın doğru çalışmasını etkilemektedir.
3. Fiziksel Model, Doğa ölçümleri ve Tek Çizgi Model sonuçları birbirine benzeşmektedir. Bu nedenle Tek Çizgi Modeli kıyı koruma sistemlerinin planlama aşamasında kullanılabilir.
4. 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 Fiziksel Model, Tek Çizgi modeli ve yerinde uygulama sonuçları erozyonun şiddetini büyük oranda ortadan kaldırdığını göstermiştir. Mahmuz inşaatlarının 1 numaralı mahmuzdan başlaması ve batı yönünde diğerlerinin de sırayla yapılması sistemin verimliliği açısından olumlu olduğu gözlenmiştir.
5. Mahmuzların inşasının tamamlanmasının ardından, 1 no'lu mahmuzun doğu kısmında kıyı kum taşınma 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 oluşturmaması durumunda doğuya doğru giderek boyları küçülen bir mahmuz sistemi yapılarak kıyı erozyonu kontrol altına alınabilir.

KAYNAK LİSTESİ

SPM, (1975),” Shore Protection Manual”, U.S. Army Coastal Engineering Research Center

SPM, (1984),” Shore Protection Manual”, U.S. Army Coastal Engineering Research Center,

Kökpınar, M. A., Güler I., Darama Y.,(2000) “ Bafra Ovası Kızılırmak –Karadeniz Birleşimindeki Kıyı erozyonuun İncelenmesi” III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu5-6-7 Ekim 2000, Çanakkale

Worthington M., Herbich J.B.,(1971) “Computer Prediction of Wave Heights in Coastal Areas” Offshore Technology Conference 6200 North Central Expressway Dallas, Texas

Hanson H., Kraus N.,C.,(1986) “Seawall Boundary Condition in Numerical Models of Shoreline Evolution” Department of The Army, Technical Report (CERC-86-3)

Hanson H., Kraus N.,C.,(2001) “ Chronic Beach Erosion Adjacent to Inlets and Remediation by Composite(T-Head) Groins” US ARMY CORPS of ENGINEERS , Coastal Engineering Technical Note IV- Draft February

NEHİR AĞIZLARINDA HAVZA KAYNAKLI HIZLI MORFOLOJİK DEĞİŞİMLERİN KIYI ALANLARINA ETKİSİ

¹Y. Doç. Dr. İrtem, E, ²Prof. Dr. Kabdaşlı, S, ¹Arş. Gör. Gedik, N, ²Uzm. Müh. Aydındakko, A, ²Arş. Gör. Mercan, D, ²Arş. Gör. Akay, O, ¹Arş. Gör. Karaman, E.

¹ Balıkesir Üniversitesi
Müh. Mim. Fak. İnş. Müh. Böl.
Hidrolik Anabilim Dalı
BALIKESİR
e-mail : mirtem@balikesir.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi
Hidrolik Anabilim Dalı
Ayazağa – İSTANBUL
e-mail : skabdasli@itu.edu.tr

ÖZET

Nehir ağzlarının morfolojisi havzadaki iklim değişikliklerinin sebep olduğu akışlarla tamamen değişebilmektedir. Fazla suyun kullanıldığı tarımsal aktiviteler de katı madde taşınımında etkili olmaktadır. Bu çalışmada, Kuzey Ege Denizi'nde bir turizm merkezi olan Gömeç'te 1998 ve 2001 yılları arasında nehir ağzı morfolojik yapısının değişiminin nedenleri ve etkileri araştırılmıştır. Yaz, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde akım hızı ve oşinografik parametreler ölçülmüştür. Farklı noktalarda zemin numuneleri alınıp elektrik analizine tabi tutulmuştur. Nümerik model çalışmalarında, dalga iklim çalışmasından elde edilen dalga karakteristikleri ile hidrolojik çalışmalardan elde edilen taşkın debisi kullanılmış, farklı senaryolar denenmiştir. Ölçüm sonuçları ile nümerik model sonuçları karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Akarsuların denize döküldükleri ağız bölgeleri havza ile kıyı alanının bir ara kesitini oluşturmakta, nehir ağzlarında havza kaynaklı nedenlerle hızlı morfolojik değişiklikler ortaya çıkabilmekte ve kıyı alanında ekolojik vb. diğer doğal yaşam bileşenlerini de etkileyebilmektedir. Söz konusu değişimlerin etkileri sonucu kıyı bölgesinin “sürdürülebilir kullanımı” ve korunması imkansız hale gelmektedir. Bir veya daha fazla akarsuyun denize ulaştığı bölgelerdeki kıyı alanlarının maruz kaldığı problemlerin önemli

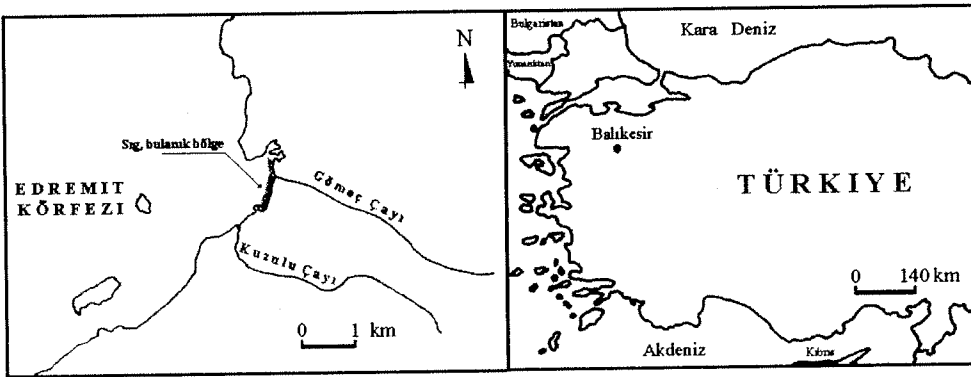
bir kısmının akarsuların havzalarındaki aktivitelerden kaynaklandığı görülmektedir. Taşkın karakteristiklerindeki değişimin, akarsuyun debisinin, gel-git ve dalganın kıyı alanlarındaki etkisi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

AMAÇ

Araştırmanın temel amacı, nehir ağzlarında hızlı gelişen morfolojik değişimlerin havza özelliklerine bağımlılığının ve sonuçta oluşan kıyı hidrodinamiğindeki değişimlerin sistematik bir şekilde incelenmesidir. Çalışmanın kapsamı içinde Kuzey Ege'de Edremit Körfezi'nin doğusunda yer alan hızlı delta oluşumunun görüldüğü Gömeç pilot bölge olarak seçilmiş, Gömeç çayı havzasında ve kıyısında yersel çalışmalar yapılmıştır. Gömeç Çay ağzındaki delta oluşumuna sebep olan hidrodinamik faktörleri araştırmak için bir nümerik model kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları ile nümerik model sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmüştür.

ÇALIŞMA ALANI

Kuzulu ve Gömeç Çayları Kuzey Ege Denizi'nde Edremit Körfezi'nin doğusunda yer alan Gömeç Ovasına akmaktadır (Şekil 1). Bu çaylar yağışlı kış mevsimlerinde taşarlar. Gömeç Ovası alüvyon dolgu karakterindedir [1]. Bu bölgedeki geçim kaynağı tarım özellikle zeytinciliktir. 10 000 kişi olan bölge nüfusu yaz mevsiminde 20 000 kişiye çıkmaktadır.



Şekil 1. Gömeç Bölgesi

Gömeç Çayı ve Kuzulu Çayı planlama raporlarında, bu derelerin yukarı havzalarında yüzey erozyonu olduğu belirtilmektedir. Bu çayların yukarı havzaları 1950 ve 1960'lı yıllarda zengin bitki örtüsüne sahip iken daha sonra ormanlık alanlar ortadan kaldırılmış, bunların yerini zeytinlik ve tarım alanları almıştır. 1950 ve 1960 yıllarına ait planlama raporlarında bile bu önemli konuya dikkat çekilerek Gömeç Çayı ve Kuzulu Çayı kurutma kanallarının menba bölgelerine tersip bendleri önerilmiştir [2]. Ancak akarsu düzenleme çalışmaları yeterli ve uygun olmayınca, tersip bendleri inşa edilmeyince aradan geçen 40 yıl içinde yukarı havzadan gelen verimli topraklar şiddetli yağışlarda hiçbir engel ile karşılaşmadan denize taşınmıştır. Yukarıda bahsedilen olayların sonucunda hem verimli tarım toprakları kaybedilmiş, hem de bu olayın olumsuz etkileri çay ağzı önlerinde kıyı bölgelerinde ortaya çıkmıştır. Özellikle 1998 yılının Şubat ayındaki şiddetli yağışta hem Gömeç ovasında ve Gömeç kazasında önemli miktarda mal ve ürün kaybı olmuş, hem de denizdeki bu balçık bölge daha da belirginleşmiştir.

Gömeç Çayı'nın denize sadece rüsubat değil aynı zamanda bir zeytin yağı fabrikasının siyah renkte ve kötü kokulu atık sularını da taşıdığı gözlenmiştir. Şekil 2'de denizde görülen renk farkı hem Gömeç Çayı'nın denize taşıdığı rüsubat sonucu oluşan çamurlu, balçık tabakadan hem de bu zeytinyağı fabrikasının atık sularından kaynaklanmaktadır. Zeytinyağı üretiminden kaynaklanan atık sular esas olarak zeytinde bulunan maddeleri içermekte olup, karasu olarak tanımlanan atık suyun askıda madde, yağ ve organik madde bakımından çok konsantre olması nedeniyle arıtımının çok güç olduğu bilinmektedir [3].

Gömeç Çayı'nın taşıdığı rüsubat adeta kum-çakıl dilleri gibi denize akmış, kıyıda birikme olmuş, Şekil 1'de taralı olarak görülen 2 km sahil boyunca sahilden 100 m açılara kadar denizde balçık, sığ ve bulanık bir bölge oluşmuştur. Özellikle yağışlı zamanlarda bu durum daha da belirginleşmiş, çay ağzı önlerinde kıyının morfolojik yapısı tamamen değişmiş, küçük adacıklar oluşmuştur (Şekil 3) [4].



Şekil 2. Çay ağzında rüsubatın ve atıksuların oluşturduğu çamurlu, balçık bölge



Şekil 3. Gömeç Çayı ağzı

YERSEL ÖLÇÜMLER

Delta bölgesinin oşinografik özelliklerini belirlemek için yaz, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde Şekil 4'de görülen 10 noktada ölçümler yapılmıştır. Akım hızı, akım doğrultusu, bulanıklık, sıcaklık ve iletkenliği ölçmek için AANDERAA RCM 9 kullanılmıştır. İletkenlik değerleri tuzluluk değerlerine dönüştürülmüştür. Bu ölçümler Tablo 1, 2 ve 3'de verilmiştir. Aynı anda rüzgar hızı muline ile kaydedilmiştir. Yaz ölçümleri üç gün, sonbahar ve ilkbahar ölçümleri ikişer gün sürmüştür. Ölçümler esnasında gel-git çalkantıları gözlenmiştir. Her nokta için ölçüm zamanı yaklaşık olarak 30 dakika

sürmüştür. Şekil 3’de görülen B, C ve D noktası ile B noktasının yaklaşık 8 m sağındaki A noktasından alınan zemin numuneleri sınıflandırarak Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 1. Yaz Ölçümleri

Nokta No	Tarih	Akım Hızı (cm/s)	Akım Yönü (Deg.M)	Bulanıklık (NTU)	Sıcaklık (Deg.C)	İletkenlik (Ms/cm)	Tuzluluk (‰)
1	16.08.2001	6,356	207	3,764	19,2	51,916	38,4
	17.08.2001	7,334	203	2,216	19,0	51,916	39,0
	18.08.2001	8,800	228	2,092	19,1	51,916	39,1
2	16.08.2001	8,800	212	2,837	19,6	52,505	38,7
	17.08.2001	7,334	177	2,117	19,1	51,990	39,1
	18.08.2001	6,845	197	1,377	19,5	52,358	39,0
3	16.08.2001	6,356	218	2,514	19,6	52,653	39,1
	17.08.2001	4,400	187	2,315	18,9	51,695	38,7
	18.08.2001	7,334	201	1,082	19,6	52,505	39,1
4	16.08.2001	4,889	206	2,912	19,2	52,063	39,0
	17.08.2001	7,334	213	2,266	19,0	51,843	38,8
	18.08.2001	7,822	210	1,131	19,3	52,137	39,0
5	16.08.2001	8,311	222	1,968	19,7	52,653	39,1
	17.08.2001	9,289	228	1,524	19,5	52,358	39,0
	18.08.2001	8,800	206	0,887	19,3	52,063	38,9
6	16.08.2001	3,911	205	1,672	19,3	52,284	39,1
	17.08.2001	6,356	185	0,789	20,3	53,610	39,3
	18.08.2001	5,867	150	0,472	19,6	52,137	38,6
7	18.08.2001	3,911	105	1,672	19,2	52,063	39,1
8	18.08.2001	5,378	224	2,166	19,3	52,211	39,1
9	18.08.2001	6,356	210	1,131	19,7	52,653	38,9
10	18.08.2001	8,311	252	0,399	20,0	53,684	39,6

Tablo 2. Sonbahar Ölçümleri

Nokta No	Tarih	Akım Hızı (cm/s)	Akım Yönü (Deg.M)	Bulanıklık (NTU)	Sıcaklık (Deg.C)	İletkenlik (Ms/cm)	Tuzluluk (‰)
1	10.11.2001	2,44	228,5	0,84	14,46	50,66	39,0
	11.11.2001	5,38	27,42	1,25	17,35	45,73	34,9
2	10.11.2001	1,96	236,63	1,30	17,68	50,89	39,2
	11.11.2001	6,84	199,01	0,54	17,11	46,32	35,5
3	10.11.2001	3,42	255,61	1,62	17,65	50,81	39,1
	11.11.2001	1,96	132,55	1,87	18,23	51,33	39,6
4	10.11.2001	5,38	222,21	0,54	17,48	50,66	39,1
	11.11.2001	0,98	223,27	0,35	17,34	51,03	39,4
5	10.11.2001	2,93	248,58	0,94	17,06	50,15	38,8
	11.11.2001	2,44	51,33	0,35	17,22	50,89	39,1
6	10.11.2001	4,40	45,00	0,52	17,15	50,52	39,1
	11.11.2001	2,44	112,51	0,35	17,23	50,89	39,1
7	10.11.2001	1,47	150,84	1,08	17,52	50,66	39,0
	11.11.2001	4,40	71,02	1,87	17,10	51,03	39,5
8	10.11.2001	5,38	91,06	0,84	17,55	50,81	39,0
	11.11.2001	2,44	127,28	1,87	17,85	50,81	38,9
9	10.11.2001	4,40	349,49	0,79	17,50	50,74	39,0
	11.11.2001	2,93	178,96	1,87	17,66	51,18	38,7
10	10.11.2001	1,96	250,50	0,89	17,46	50,66	39,1
	11.11.2001	1,47	215,18	1,87	17,88	51,11	39,4

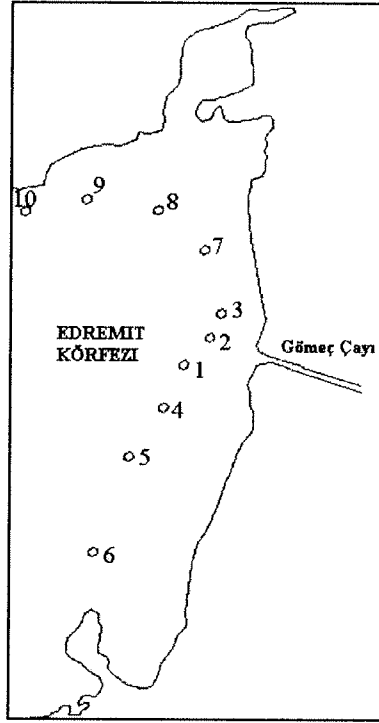
Tablo 3. İlkbahar Ölçümleri

Nokta No	Tarih	Akım Hızı (cm/s)	Akım Yönü (Deg.M)	Bulanıklık (NTU)	Sıcaklık (Deg.C)	İletkenlik (Ms/cm)	Tuzluluk (‰)
1	30.05.2002	-	-	-	21,77	55,93	40,0
	31.05.2002	3,716	214,83	2,519	21,53	55,355	39,7
2	30.05.2002	-	-	-	21,77	56,113	40,1
	31.05.2002	4,701	217,45	1,625	21,93	55,870	39,8
3	30.05.2002	-	-	-	21,77	56,481	40,4
	31.05.2002	2,205	175,10	1,293	21,96	55,930	39,8
4	30.05.2002	0,733	125,70	3,513	21,77	56,519	40,4
	31.05.2002	4,401	214,58	0,874	21,86	55,745	39,7
5	30.05.2002	4,009	235,36	3,157	21,77	56,364	40,3
	31.05.2002	5,867	228,15	0,757	21,62	55,326	39,62
6	30.05.2002	1,662	168,77	3,142	21,77	56,246	40,2
	31.05.2002	2,553	233,38	0,483	21,05	54,264	40,0
7	30.05.2002	1,793	172,28	1,324	21,77	56,519	40,44
	31.05.2002	1,867	135,01	0,813	21,81	55,705	39,7
8	30.05.2002	1,467	116,10	0,852	21,73	55,554	39,7
	31.05.2002	1,589	219,44	0,856	21,56	55,248	39,6
9	30.05.2002	3,911	74,01	1,504	21,51	55,328	39,7
	31.05.2002	2,037	273,54	3,164	21,19	55,058	40,3
10	30.05.2002	1,956	257,72	1,981	21,19	55,046	39,8
	31.05.2002	2,272	169,43	0,569	21,10	54,395	39,3

Tablo 4. Çay ağzı ve çevresindeki zeminin sınıflandırılması

Nokta No	YAZ			SONBAHAR			İLKBAHAR		
	Kil ve Silt	Kum	Çakıl	Kil ve Silt	Kum	Çakıl	Kil ve Silt	Kum	Çakıl
A	16,51	66,44	17,05	16,93	65,02	18,05	19,27	73,72	7,01
B	3,70	62,88	33,42	7,55	80,05	12,40	17,44	73,44	9,12
C (Ada)	1,44	79,52	19,04	2,72	90,68	6,60	3,12	95,12	1,76
D	3,15	93,97	2,88	4,15	90,25	5,60	20,11	71,27	8,63

Bölge halkının, balçıkla kaplı nehir ağzını 2001 Haziran ayında temizleyerek bu bölgeyi çakılla kapladıkları belirtilmiştir. Bu nedenle, 2001 yaz mevsiminde A, B ve C noktalarında çakıl yüzdesi fazla iken, 2002 bahar ölçümlerinde, kış ve bahar aylarındaki yağış ve dalga etkisiyle çakıl yüzdesinde azalma görülmüştür. 2001 yaz mevsiminde çakıl serilmeyen D noktasının çakıl yüzdesi, başlangıçta düşük olmasına rağmen yukarıdaki sebeplerden dolayı 2002 bahar mevsiminde artmıştır.



Şekil 4. Ölçüm noktaları

TEMEL DENKLEMLER

Bu çalışmadaki temel denklemler aşağıda verilmiştir.

Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x}(uH) + \frac{\partial}{\partial y}(vH) + \frac{\partial \eta}{\partial t} = Q \quad (1)$$

$$H = h + \eta \quad (2)$$

Burada, h ; ortalama su derinliği (m), η ; su seviyesindeki değişim (m), H ; toplam su derinliği (m), u ; x doğrultusundaki hız bileşeni, v ; y doğrultusundaki hız bileşeni, t ; zaman (s), Q ; deşarj debisi (m^3/s)'dir.

Momentum Denklemi

x ve y doğrultularındaki momentum denklemleri:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + fv - \frac{g}{HC^2} (u^2 + v^2)^{1/2} u + \frac{k}{H} W_x |W| - \frac{Q}{H} (u - u_o) \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - fu - \frac{g}{HC^2} (u^2 + v^2)^{1/2} v + \frac{k}{H} W_y |W| - \frac{Q}{H} (v - v_o) \quad (4)$$

Coriolis parametresi f,

$$f = 2 \omega \sin \varphi \quad (5)$$

φ , enlem, ω dünyanın dönüş oranı ($7.2722 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)'dir. Rüzgar kayma gerilmesi k,

$$k = \frac{\rho_a C_D}{\rho} \quad (6)$$

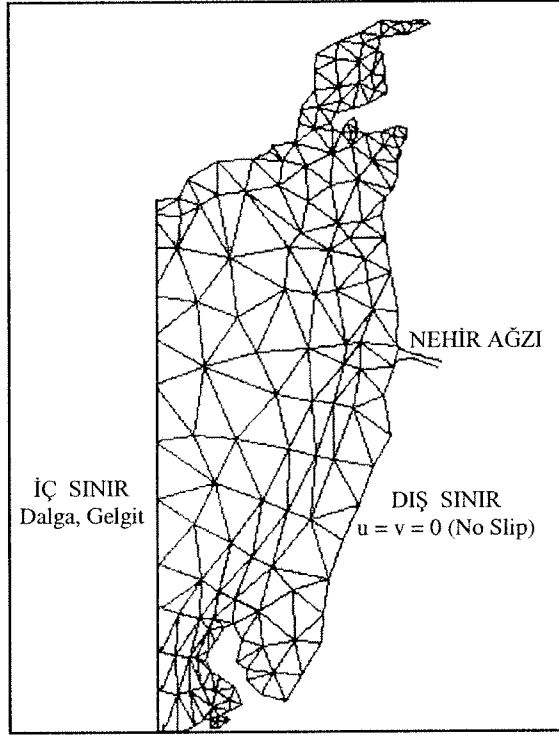
olarak tanımlanır. Burada, g, yerçekimi ivmesi (m/s^2), C, Chezy taban sürtünme katsayısı $\text{m}^{1/2}/\text{s}$, ρ_a havanın özgül kütlesi (kg/m^3), C_D rüzgar sürükleme katsayısı, ρ akışkanın özgül kütlesi (kg/m^3), W_x , x doğrultusundaki rüzgar hızı (m/s), W_y , y doğrultusundaki rüzgar hızı (m/s), $|W|$, rüzgar hızı, u_o , denize boşalan suyun x doğrultusundaki hızı (m/s), v_o , denize boşalan suyun y doğrultusundaki hızı (m/s)'dir.

NÜMERİK MODEL

Gömeç Çay ağzındaki delta formasyonuna neden olan hidrodinamik faktörleri araştırmak amacıyla bir nümerik model uygulanmıştır. “Aquasea” adlı bir hidrodinamik model kullanılmıştır. Galerkin Sonlu Elemanlar Metodunu kullanarak sığ sularda akım ve taşınım denklemlerini çözen bu program “Vatnaskil Consulting Engineers” tarafından geliştirilmiştir. Bu model, bir hidrodinamik akım modeli ve taşınım – dispersiyon modelinden ibarettir. Bu çalışmada sadece hidrodinamik akım modeli kullanılmıştır.

Nümerik Modelin Gömeç'e Uygulanması:

Üçgen elemanlar kullanılmak suretiyle ağ oluşturulmuştur. Gerçek batimetriyi oluşturmak için ilave düğüm noktaları derinliğin hızlı değiştiği kesitlere ilave edilmiştir. Dış sınırlarda “no slip” sınır koşulu tanımlanmış $u = v = 0$ alınmıştır. Dalga, gelgit etkileri ise iç sınırdan tanımlanmıştır (Şekil 5).



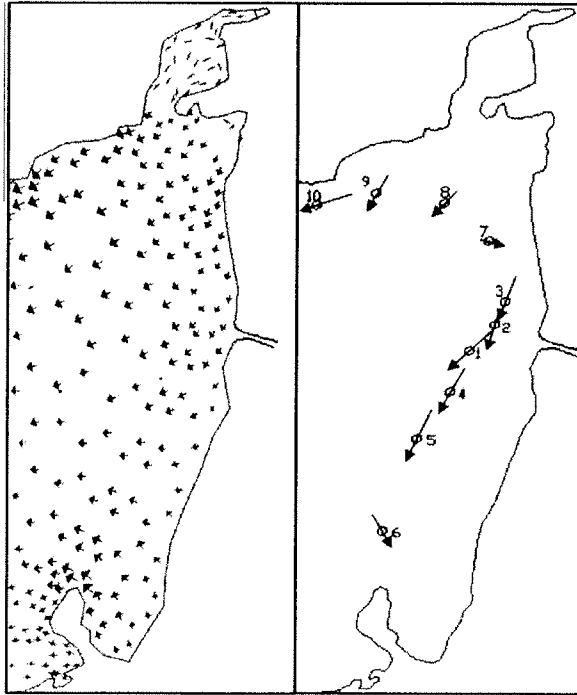
Şekil 5. Çalışma alanı ve sınır şartları

Nümerik Model Sonuçları

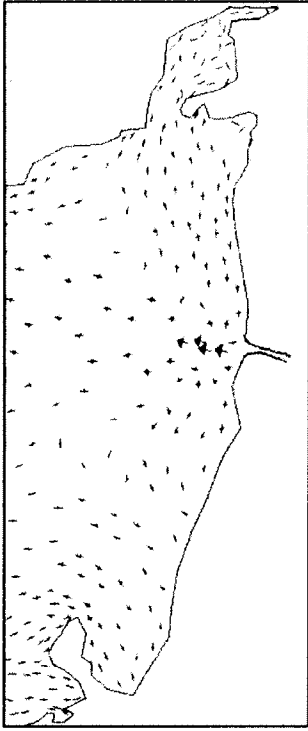
Modeli test etmek için açık bölgelerde sadece gelgit etkileri tanımlanmış ve sonuçlar ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6a ve 6b). İki farklı senaryo çalışma bölgesi için çalıştırılmıştır. Önce, gelgit etkileri ile rasyonel metotla hidrolojik çalışmalardan hesaplanan $12 \text{ m}^3/\text{s}$ taşkın debisi birlikte düşünülmüştür (Şekil 7). H'_{gelgit} gelgit dalgasının yüksekliğini göstermektedir. Daha sonra, ikinci senaryo olarak sadece dalga iklim çalışmasından elde edilen dalga etkileri göz önüne alınmış ve sonuçları Şekil 8'de

verilmiştir. Dalga iklim çalışmasında Edremit Meteoroloji İstasyonunun ölçümleri ve CERC Metodu kullanılmıştır. Ortalama dalga yüksekliği 1.05 m, dalga periyodu 6 s olarak hesaplanmıştır.

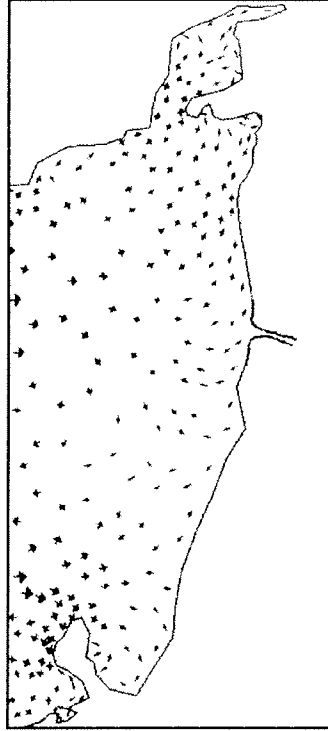
Nümerik model sonuçları yersel ölçümlerden alınmış hızlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 6a ve 6b). Nümerik model hız sonuçları ile ölçülmüş hızlar büyüklük ve doğrultu olarak uymaktadır. Örneğin, 1, 2 ve 7 noktaları için ölçülmüş hızlar sırasıyla 2.44 cm/s, 1.96 cm/s, 1.47 cm/s hesaplanan hızlar ise 1.80 cm/s, 1.80 cm/s ve 1 cm/s'dir [6].



Şekil 6 a. Hesaplanan hız vektörleri ($H'_{gelgit}=0.60$ m., $T_{gelgit} = 6$ saat)
b. Ölçülen hız vektörleri



Şekil 7. Hız vektörleri
($H'_{gelgit} = 0.60$ m., $T_{gelgit} = 6$ saat ve $Q = 12$ m³/s)



Şekil 8. Hız vektörleri
($H'_{dalga} = 1.05$ m. ve $Q = 0$ m³/s)

SONUÇLAR

İlk model senaryosu taşkınla taşınan katı maddenin yakın kıyı bölgelerinde biriktiğini göstermektedir (Şekil 7).

Daha sonra, Gömeç Çayı'ndan denize akımın olmadığı varsayılmış, bu ikinci senaryoda da katı maddenin dalgalarla lagün bölgelerine taşındığı ve yakın kıyı bölgesinde biriktiği görülmüştür (Şekil 8).

Sonuç olarak, yukarı havzadan taşınan katı madde miktarı azalmazsa, Gömeç Çayı üzerinde tersip bentleri inşa edilmezse, havzada ağaçlandırma ve teraslama çalışmaları yapılamazsa nehir ağzındaki olumsuz morfolojik değişim devam edecektir. Bu durum, kıyı alanları yönetimi ile akarsu havzası yönetiminin entegre olmasının gerekliliğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar saha çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Gömeç Belediye Başkanı Sayın Orhan Babayiğit'e teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1. Soykan, A., "Gömeç Ovası ile Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi ve Uygulamalı Jeomorfolojisi", Türk Coğrafya Dergisi, Sayı:34, İstanbul 1999, s. 445-466.
2. D.S.İ, "Balıkesir-Gömeç-Kuzulu ve Gömeç Çayı Erozyon ve Rüşubat Kontrolü İlk İnceleme Raporu", D.S.İ XXV. Bölge Müdürlüğü, Erozyon ve Rüşubat Kontrol Şube Müdürlüğü, Balıkesir, 2000.
3. Samsunlu, A., Tünay, O., Öztürk, İ. ve Alp, R., "Zeytinyağı Üretimi Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtılabilirliği", İTÜ 6. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İstanbul, 1998.
4. İrtem, E. ve Kabdaşlı, S., "Kıyı Alanları Yönetimi ile Akarsu Havzalarının Yönetimi Arasındaki Entegrasyon", Türkiye Kıyıları '01, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları III. Ulusal Konferansı, Haziran 2001, s. 21-30.
5. VCE (Vatnaskil Consulting Engineers), "Aquasea Kullanım Kılavuzu", 1998.
6. İrtem, E., Kabdaşlı S., Gedik, N., Aydınakko, A., Mercan, D.E., Koca, D., "Numerical and Experimental Analysis of Rapid Delta Formation, Turkish Coast", Journal of Coastal Research Special Issue, March, 2002 (baskıda).

ABSTRACT

The morphology of river mouths can be completely changed by dramatic flow changes caused by climate changes in catchment basins. Agricultural activities that use overexploit water are also effect sediment transportation. In this study, the reasons and effects of change of river mouth morphology structure between 1998 and 2001 had been investigated in Gömeç (the tourism centre on the North Aegean Sea). Flow velocity and oceanographic parameters had been measured in the summer, autumn and spring. Soil samples were taken in several points and sieve analysis had been performed. In numerical model studies, wave characteristics obtained from wave climate studies and overflow discharge obtained from hydrological studies had been used. Different scenarious had been tried. The measurements and numerical model results were compared with each other.



DENİZDEN KUM ÇIKARTILMASININ KIYIYA ETKİLERİ

Emre N. OTAY	Hüseyin DEMİR	Osman S. BÖREKÇİ
Yd.Doç.Dr.	Ar.Gör.	Doç.Dr.
Boğaziçi Üniversitesi	Boğaziçi Üniversitesi	Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul	İstanbul	İstanbul

ÖZET

İstanbul'un 10,000,000 metreküpbü bulan yıllık kum ihtiyacının yaklaşık yarısı Karadeniz'den çıkarılmaktadır. Tarama sonucu oluşan kum çukurlarının kıyıya etkileri Kilyos'ta yapılan saha ölçümleri ve bilgisayar modelleri ile incelenmiştir. Denge profili esasına dayalı kıyıya dik bir taşınım modeli kullanılarak kum çukurlarının tekrar dolması sonucu oluşan kıyı erozyonu, bölgesel dalga iklimi için istatistiki olarak incelenmiştir. Diğer taraftan, dalgaların çukur üzerinden geçerken değişmesi sonucu kıyıya yaptığı dolaylı etkiler, bölgenin batimetrik, sedimentolojik ve hidrodinamik özellikleri kullanılarak, dalga ve kıyı değişim modelleri ile hesaplanmıştır. Farklı tarama şekilleri ve derinliklerinin modellenmesi sonucunda, denizden kum çıkarılmasının kıyıya olan etkisini en aza indireyecek akılcı ve somut ölçütler geliştirilmiştir.

GİRİŞ

Dünyanın çeşitli ülkelerinde denizden çıkarılan kum, inşaat ve benzeri sektörlerde kullanılmak üzere önemli bir ekonomik kaynak oluşturur. Aynı nedenlerle, ülkemizde özellikle de İstanbul'un Karadeniz kıyısı açısından çıkarılan deniz kumunun önemi, sınırlı

sayıdaki kara kaynaklarının talebi karşılamakta yetersiz kalması sonucu, gün geçtikçe artmaktadır. Deniz kumunun çıkarılması, beraberinde bir takım ekonomik ve çevresel sorunları da getirmektedir. Zira maliyetleri düşürmek amacıyla sığ sulardan ve hatta deniz kıyısından kum alma eğilimi belirmiştir. Denizden yeterince derinden alınmayan kum ise, dalgaların kıyıya gelişini etkileyerek kıyı erozyonuna neden olabilmektedir. Bu tür çevre sorunlarını önlemek amacıyla geçtiğimiz yıllarda yapılan bir düzenlemeyle İstanbul'un Karadeniz kıyılarından üç deniz mili açığa kadar denizden kum alınması yasaklanmıştır. Diğer taraftan bu sınırlama, Karadeniz batimetrisine uyarlandığında ancak 60 metreden daha derinden kum alınmasına izin verilmekte ve pratikte bu derinliklerden kum çıkarmak ekonomik olmamaktadır.

AMAÇ

İstanbul ve çevresi için gerekli kum ihtiyacını karşılamak amacıyla Karadeniz açıklarından kum çıkarılması, bir yandan kıyıya vereceği olası zararlar diğer yandan ise son derece zengin bir doğal kaynağın ekonomik olarak değerlendirilmesi açısından önemli bir mühendislik problemi oluşturmaktadır. Konunun hem çevresel hem de ekonomik boyutu göz önüne alındığında ortaya çıkan bu çelişkinin aşılması için 2001 yazında Boğaziçi ve Georgia Tech Üniversitelerinin işbirliği ile TUBITAK, Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Fonu ve İstanbul Kumcular Birliği sponsorluğunda bir araştırma projesi başlatılmıştır (Börekçi ve diğerleri, 2001). Bu projenin amacı denizden kum çıkartılmasının yakın kıyıdaki dalga ve akıntı rejimine, ve kıyı erozyonuna olan etkilerinin bulunması ve buna bağlı olarak denizden kum çıkartma kriterlerinin oluşturulması olarak konmuştur.

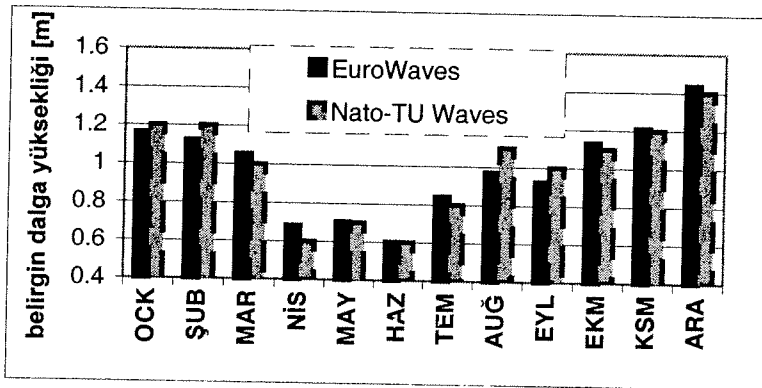
YÖNTEM

2002 yılında sonuçlanması planlanan proje kapsamında ilk aşamada kum taraması yapılan Batı Karadeniz kıyısının hidrodinamik ve morfolojik yapısının tespit edilmesini öngören saha çalışmaları yer almaktadır. İkinci aşamada ise ölçüm sonucunda elde edilen

verileri kullanarak, tarama çukurlarının dalga, akıntı ve dolayısıyla da kıyıya dik ve paralel çökelti hareketi ve kıyı çizgisi değişimi üzerindeki fiziksel etkilerinin bilgisayar modelleri ile hesaplanması yer almaktadır. Projenin deneysel kısmı için İstanbul'un Kuzeyi'nde Boğaziçi Üniversitesi Kilyos Kampüsünde yakın kıyı batimetrisi, dalga, akıntı ve çökelti özelliklerini izlemek için bir araştırma istasyonu kurulmuştur. Arazi çalışmalarının yapıldığı Kilyos kıyıları, İstanbul'un Kuzey'inde kalan Karadeniz kıyılarının tipik morfolojik özelliklerini taşımaktadır. Bölgenin Kuzey Batı'sında halen kazılmakta olan çeşitli derinlik ve şekillerdeki kum çukurları, Kilyos açıklarında varsayılarak sayısal modelleme yöntemi ile kıyıya direkt ve dolaylı etkileri incelenmiştir. Elde edilen veriler proje bölgesine has olmakla beraber, projede oluşturulan yöntemler ve varılan sonuçlar başta Karadeniz kıyıları olmak üzere tüm kum tabanlı denizlerde ve kıyılarda uygulanabilir. Araştırma sonuçları detaylı bir şekilde Demir (2002)'de verilmiştir.

RÜZGAR VE DALGA İSTATİSLİKLERİ

Sayısal modellemede Güneybatı Karadeniz için yapılmış uzun dönem rüzgar ve dalga istatistiklerinden faydalanılmıştır. Kaynak olarak 7-yıllık rüzgar ve dalga istatistikleri içeren NATO TU-Waves projesi (Özhan ve Abdalla, 1999) ve 7-yıllık rüzgar ve dalga verilerinin uzaktan algılama, yerel sinoptik ölçümler ve dalga modelleri ile verildiği EUROWAVES verileri (Cavaleri, ve diğerleri, 1999) incelenmiştir. Bu iki veri setinden bulunan belirgin dalga yükseklikleri Kilyos açıklarına denk gelen bölge için karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 1).

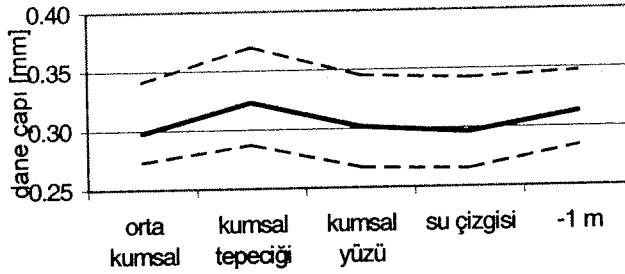


Şekil 1. Kilyos açıklarındaki dalga yüksekliğinin aylara göre dağılımı.

Tüm incelemeler sonucunda, kapsam, detay ve hassasiyet açısından EUROWAVES verilerinin yapılacak modelleme çalışması için en uygun veri tabanını oluşturduğu sonucuna varılmıştır. EUROWAVES dalga verilerinden, Kilyos açıkları için derin su ortalama belirgin dalga yüksekliği 1.0 metre, ortalama dalga periyodu 5.2 saniye, hakim dalga geliş yönü ise Kuzey-Kuzey-Doğu olarak belirlenmiştir.

ÇÖKELTİ ÖRNEKLERİNİN TOPLANMASI VE ANALİZİ

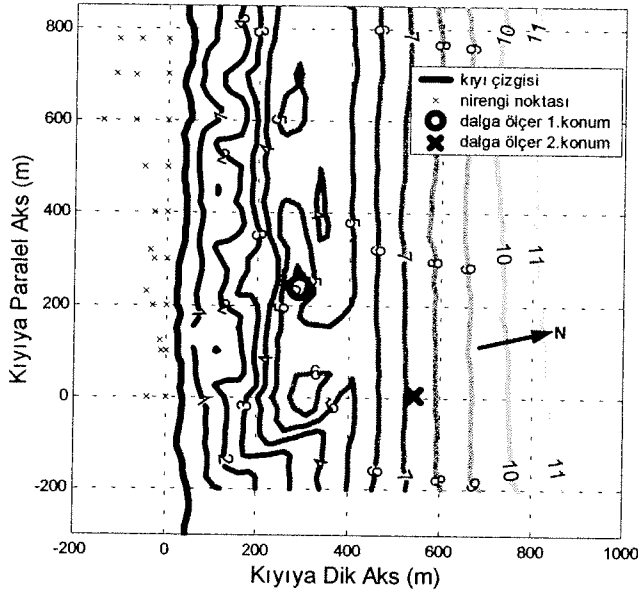
Kilyos kumsalı boyunca 2001 yılı yaz aylarında 100'er metre arayla belirlenen kıyıya dik profiller üzerinde, beş ayrı noktada çökelti örnekleri toplanmıştır. Yapılan elek analizleri sonucunda, dane çaplarının kıyıya dik ve kıyıya paralel yönlerdeki dağılımı incelenmiştir (Şekil 2). Kumsal boyunca 0.27-0.37 milimetre arasında değişen medyan dane çaplarının, kıyıya dik yönde belirgin bir özellik gösterdiği saptanmıştır. Buna göre, ortalama dane çapları 0.30 milimetre olup, dalgaların kumsalda tırmandığı en üst nokta olan kumsal tepesinde 0.33 milimetre'ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 2. Dane çaplarının kıyıya dik yöndeki dağılımı. (Kalın çizgi kıyıya paralel yönde ortalama değeri; kesikli çizgiler ise en ufak ve en büyük değerleri gösterir.)

BATİMETRİ ÖLÇÜMLERİ

Batimetri değişimlerinin yakın kıyılardaki etkisini değerlendirmek üzere kıyıda ve denizde nivo, mira, elektronik teodolit, gps ve sonar kullanılarak batimetrik ölçümler yapılmıştır. Yaklaşık 1 km²'lik bir kıyı alanı taranarak elde edilen verilerin analizi sonucunda karadaki kum tepeliklerinden 12 metre derinliğe kadar uzanan bir yakın kıyı batimetrisi oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Yakın kıyı batimetrisi.

Su çizgisi, GPS ve elektronik teodolit ile ilk olarak Haziran 2001’de ölçülmüştür. Mevsimsel değişimleri görebilmek için ölçümler Haziran ve Şubat aylarında olacak şekilde yılda iki kez tekrarlanmıştır. Bu ölçümler sonucunda kıyının son derece dinamik bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Kumsalın yaklaşık 800 metrelik bölümünde ilk yılda ortalama 10 metre kıyı erozyonu ölçülmüştür. Bunun yaklaşık 9 metresi Haziran 2001 ile Şubat 2002 arasında gerçekleşmiştir.

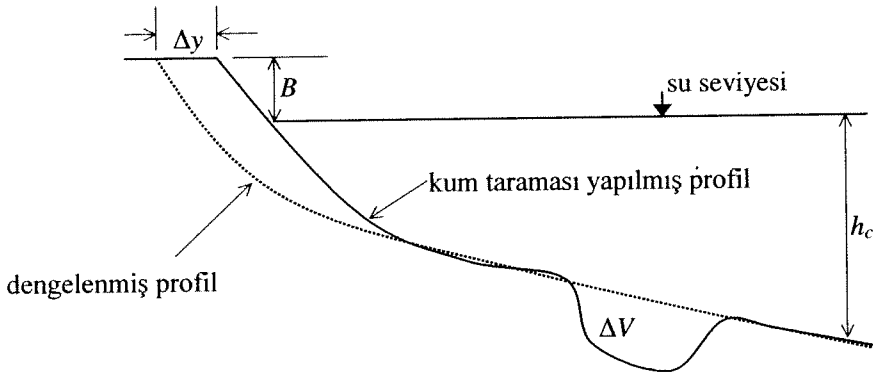
Kıyıya dik dokuz enkesitte ölçülen kıyı profilleri, yazın 12 metre, kışın ise 3 metre derinliğe kadar gitmektedir. Bu ölçümler sonucunda, kıyı profilinin yaklaşık 1:75 eğimle derinleştiği görülmüştür. Tipik bir profilde ilki 1-3 metrede ikincisi ise 4-6 metre derinlikte olmak üzere kıyıya paralel iki sığlık tespit edilmiştir. Bu sığlıkların bulunduğu bölgede son bir yıl içinde mevsimsel veya episodik olduğu tahmin edilen büyük ölçekte kum hareketi gözlemlenmiştir. Kıyıdan 400 metre açıktaki uzak sığlığın, bir yıl içinde kıyıdan yaklaşık 150 metre uzaklaştığı saptanmıştır. Araştırma kapsamı dışında kalmasına rağmen, bu bulgular bölgenin hidrodinamik ve morfodinamik yapısı hakkında fikir vermek açısından son derece dikkat çekicidir.

BİLGİSAYAR MODELLEMESİ

Teorik çalışmaların odak noktasını denizden kum çıkartılmasının kıyı morfolojisine yaptığı fiziksel etkilerin araştırılması oluşturmaktadır. Söz konusu etkiler iki ayrı mekanizma olarak incelenmiştir. Açıkta bir kum çukurunun kıyıya dik kum taşınımını etkilemesi sonucu kıyı değişimine yol açması direkt etkiler adı altında incelenmiştir. Dolaylı etkiler altında ise dalgaların tarama çukuru üzerinden geçerken değişime uğramasıyla, kıyıya paralel akıntı ve çöküntü taşınımını ve dolayısıyla da kıyı çizgisini değiştirmesi incelenmiştir. Bilgisayar model çalışmaları için gerekli olan batimetri, rüzgar, dalga ve akıntı verileri mümkün olabildiğince saha ölçümlerinden, eksik noktalarda ise basılı literatürdeki verilerden alınmıştır.

TARAMA ÇUKURLARININ KIIYIYA DİREKT ETKİLERİ

Tarama çukurlarının kıyıya direkt etkileri araştırılırken, dalgaların sürdüğü kıyıya dik çökelti hareketi sonucu zaman içinde çukurların tekrar dolması ve kıyı profili dengeye dönerken oluşan kumsal erozyonu esas alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Profil dengelenmesi sonucu tarama çukurlarının neden olduğu kumsal erozyonu.

Öncelikle çökelti taşınımının sınır derinliği, h_c , belirlenmiş ve denge profili esasına dayalı bir kıyıya dik çökelti taşınım modeli (Kriebel, 1982) kullanılmıştır. Sayısal model çalışmalarında Kilyos'ta yapılan batimetri, kıyı çizgisi ve çökelti dane çap ölçümleri ile EUROWAVES verilerinden elde edilen dalga olasılık dağılımları kullanılmıştır.

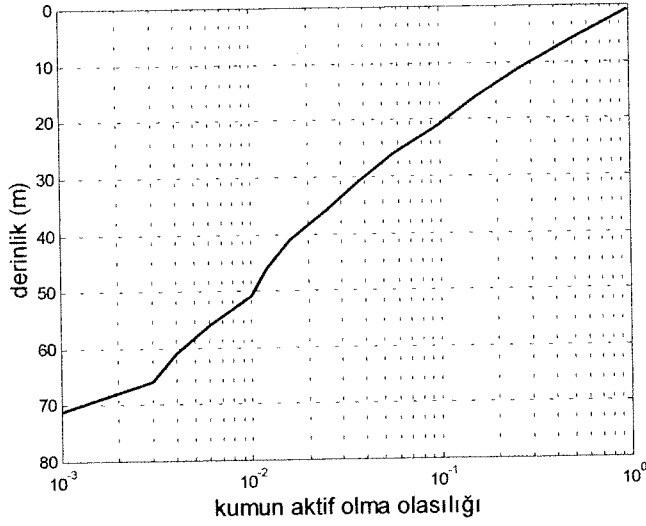
Kum çıkartma işlemi sınır derinlikten daha sığ bir noktada yapıldığında, önceden dengede olan kıyı profili, çukur hacmi, ΔV , kadar dengeden uzaklaşmış olur. Dane çapı ve dalga şartlarına göre aynı denge eğimine dönmeye çalışan kıyı profili, kum açığını kapatabilmek için Δy kadar geri çekilir (Dean, 1977). Bu çekilme, açılan kum çukurunun hacmi, ΔV , kumsal tepeliğinin su seviyesinden yüksekliği, B , ve kum hareketinin son bulunduğu sınır derinlik, h_c , cinsinden aşağıdaki gibi verilir.

$$\Delta y = -\frac{\Delta V}{B + h_c} \quad (1)$$

Hallermeier'in (1980) tanımladığı çökelti hareketinin aktif olduğu bölgeyi belirleyen sınır derinlik, h_c , doğrusal dalgalar için aşağıdaki ifadeyle tanımlanabilir,

$$\frac{\pi H}{T \sinh(kh_c)} = \sqrt{8(s-1)gD} \quad (2)$$

burada H yerel dalga yüksekliğini, T dalga periyodunu, k yerel dalga sayısını, s çökelti yoğunluğunun suya oranını, g yer çekimi ivmesini, ve D çökelti dane çapını ifade ederler. Bu bağıntı Kilyos'taki dane çapına uyarlandığında, sınır derinliğin, dalga yüksekliği ve periyoduyla arttığı görülür. EUROWAVES verilerinden Kilyos için 1.0 metre ve 5.7 saniye olarak bulunan ortalama dalga yüksekliği ve periyodu, denklem (2)'ye uyarlandığında sınır derinlik 9.7 metre olarak bulunur. Bu derinlik ortalama dalga verileri kullanılarak hesaplandığından dikkatli yorumlanmalıdır. Diğer bir deyişle, ortalamanın üzerindeki dalgalar için (örneğin fırtınalı günlerde), doğal olarak sınır derinlik te değişeceğinden, 10 metreden daha derinde yapılacak kum taramalarında dahi kıyı erozyonu riski mevcuttur. Kilyos için bulunan dalga olasılıkları, dalga yüksekliği, H , ve dalga periyodu, T , üzerinde entegre edilerek, açılan çukurun derinliğine göre kumun aktif olabilme olasılıkları hesaplanmıştır (Şekil 5). Buna göre 5 metre derinlikte yapılacak kum taramasının oluşturduğu kıyı erozyonu riski %50 olup, bu rakam 20 metre derinlikte %10'a, 50 metrede ise %1'e düşmektedir.

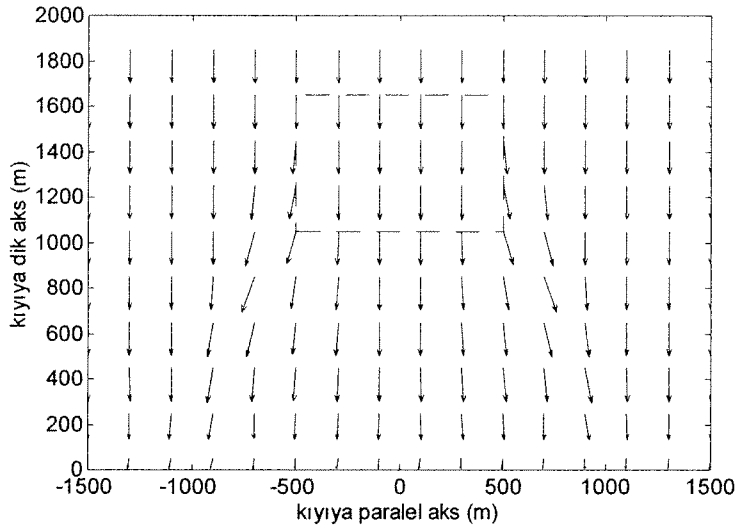


Şekil 5. Kilyos'ta açılacak kum çukurlarının derinliklerine göre kıyı erozyonu olasılıkları.

TARAMA ÇUKURLARININ KIIYIYA DOLAYLI ETKİLERİ

Dalgaların tarama çukurları üzerinden geçerken uğradığı değişim sonucunda yanal akıntı ve çökelti taşınımının miktar ve yönünü etkilemesi, dolayısıyla da kıyı çizgisinin değişimi hesaplanmıştır. Olaya etki eden fiziksel faktörleri anlamak amacıyla, yakın kıyı batimetrisinin dalga, akıntı ve sediment taşınımıyla olan etkileşimi bilgisayar modelleriyle incelenmiştir.

Kum çukurlarının üzerinden geçen dalgaları nasıl etkilediğini araştırmak üzere, Kilyos yakın kıyı batimetrisi kullanılarak bir batimetrik grid oluşturulmuştur. Daha sonra bu batimetriye Karadeniz açıklarında kullanılmakta olan farklı boyut ve derinliklerde kum çukurları uyarlanmıştır. İki farklı dalga modeli, REF/DIF-1 (Kirby ve Dalrymple, 1983) ve SWAN (Booji ve diğerleri, 1999), kullanılarak hem doğal hem de kazılmış batimetri üzerinde sayısal dalga modellemesi yapılmıştır. Şekil 6'daki SWAN ile yapılmış dalga modellemesinin sonuçlarından da görüldüğü gibi, tarama çukuru üzerinden geçen dalgaların, yükseklik ve yönleri değiştirmektedir.



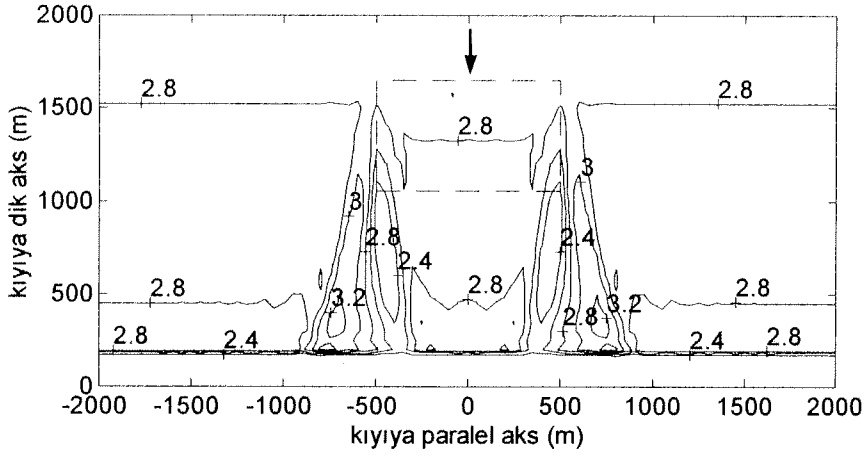
Şekil 6. Kum çukuru üzerinden geçen dalgaların açıktan kıyıya kadar gösterdiği değişimin SWAN ile modellenmesi. (Dalga açıları 10 kere abartılarak gösterilmiştir.)

Şekil 6 ve metin içinde yer alan diğer modellemelerde Kilyos'un 2001 yazında ölçülen batimetrisi ve Tablo 1'de verilen dalga, çökelti ve tarama ölçütleri kullanılmıştır. Çukurun etkisiyle, dalgaların sadece yönleri değil, tarama çukuruyla kıyı arasında kalan bölgede dalga yükseklikleri de değişime uğramaktadır.

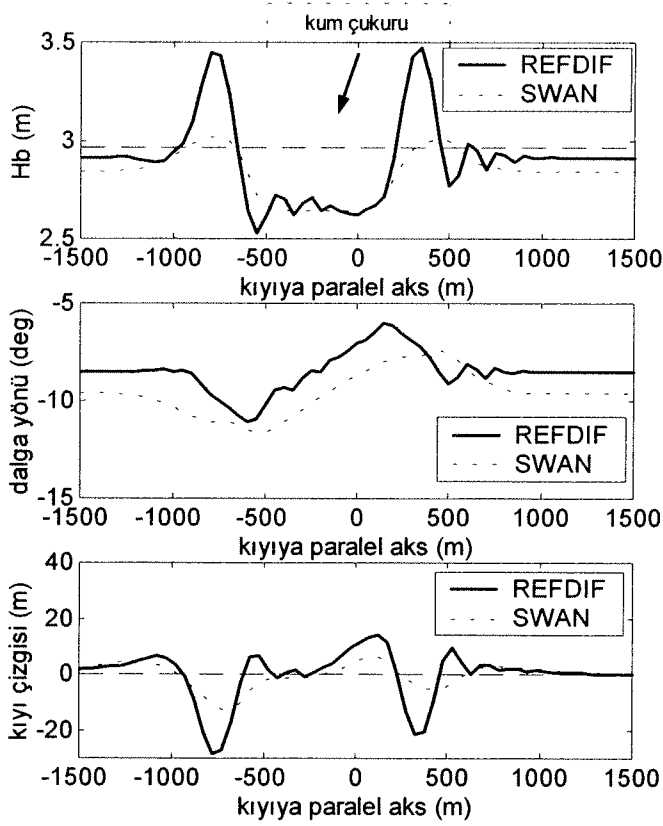
Tablo 1: Bilgisayar modellerinde kullanılan başlangıç koşulları.

DALGA	Yükseklik	Peryod	Açı
	3 m	7 s	0° - 15°
KUM ÇUKURU	Uzunluk	Genişlik	Derinlik
	1000 m	500 m	3 m
TARAMA	Derinlik	Dane Çapı	Kenar Eğimi
	15 m	0.30 mm	6 %

Şekil 7'deki REF/DIF-1 modelinin sonuçlarından da görüldüğü gibi kıyıya dik gelen dalgalar için, tarama çukurunun iki kenar uçunun arkasına ratlayan dar iki şeritte kabarma, çukur merkezinin tam arkasındaki bölgede ise sönümlenme meydana gelmektedir. Kırılma noktasına ulaşan dalgaların değişen özellikleri daha sonra bir kıyı çizgisi değişim modeli (Güngördü ve Otay, 1997) için girdi olarak kullanılmıştır. Şekil 8 kıyıya 15° açı ile gelen dalgaların REF/DIF-1 ve SWAN ile hesaplanan kırılan dalga ölçütlerini ve bu sonuçlar kullanılarak modellenen 5 günlük kıyı çizgisi değişimini göstermektedir.



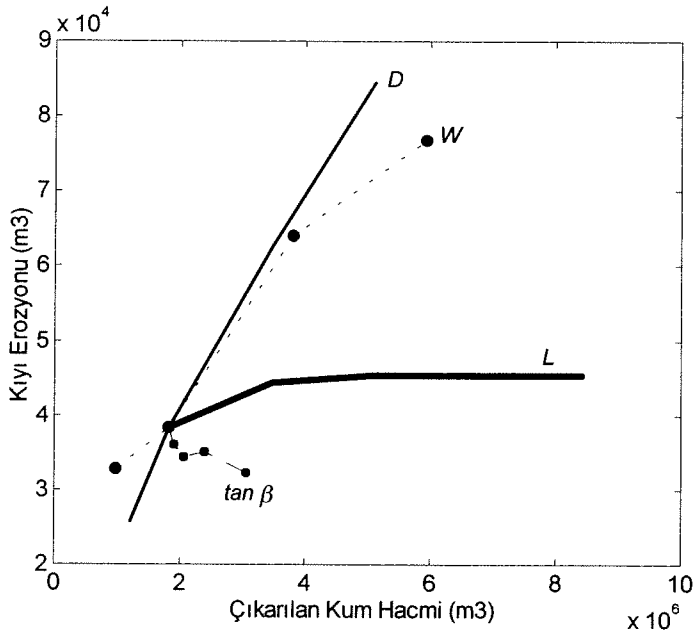
Şekil 7. REF/DIF-1 dalga modeli ile hesaplanan dalga eş-yükselti eğrileri.



Şekil 8. Kum çukurunun etkisiyle değişen dalgaların kırılma anındaki yüksekliği, yönü ve kıyı çizgisinin 5 günlük değişimi (Tablo 1'deki veriler kullanılarak).

Şekil 8 'te görüldüğü gibi her iki dalga model sonuçları kullanılarak elde edilen dalga yüksekliği, kırılma açısı ve kıyı çizgisinde kıyı boyunca iki noktada sapmalar tespit edilmiştir. Bu noktalar tarama çukurunun her iki kenarına veya onların gölgesinde kalan bölgelere denk gelmektedir. Bu sapmalara büyüklük açısından bakıldığında, REF/DIF-1'in her üç ölçütte de SWAN'a oranla daha büyük değişimler hesapladığı görülür. Buna neden olarak SWAN'ın spektral dalga yayılım özelliğinin dalga ilerleme yönüne dik aksta değişimleri yumuşatması gösterilebilir. Diğer yandan REF/DIF-1'in dalga sapmasının yanı sıra dalga dönmesinin de hesaplaması, çukur etkisiyle dalga yüksekliklerinde oluşan değişimleri büyötmektedir.

Yukarda detayları verilen bilgisayar modelleriyle değişik tarama şekillerinin ve derinliklerinin kıyı erozyonuna etkileri incelenmiştir. Burada kullanılan başlıca ölçütler, kum taraması yapılan su derinliği, D , deniz dibinde dikdörtgen şeklinde açılan kum çukurunun kıyıya paralel yöndeki uzunluğu, L , kıyıya dik yöndeki genişliği, W , ve çukurun kenar eğimi, $\tan \beta$ dir. Her bir ölçüt için farklı değerler kullanılarak yapılan model testleri sonucunda, çukurdan çıkarılan kum hacmi, ve çukurun 3 gün içinde kıyıda neden olduğu erozyon hacmi arasındaki bağıntı bulunmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Farklı çukur ölçütlerinin tarama verim endeksi (çıkarılan kum hacminin 3 günlük kıyı erozyon hacmine oranı) cinsinden karşılaştırılması.

Deniz tabanından dikdörtgen bir çukur kazılarak çıkarılacak kum hacmi yukarıda sıralanan dört ölçüt değiştirilmek suretiyle artırılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri, üretim artırılırken kıyı erozyonunun ne şekilde değiştiğidir. Şekil 9'daki sonuçlara göre, tarama derinliğinin (H) artırılması kıyı erozyonu açısından en zararlı seçenektir. Aynı şekilde taranan kesitin kıyıya dik yöndeki genişliği (W) de kıyı erozyonu açısından iyi bir alternatif sayılmaz. Diğer taraftan çukurun kıyıya paralel yöndeki uzunluğunun (L) artırılması veya mümkünse çukurun kenar eğimlerinin daha yumuşak kazılması ve bu sayede çıkarılan kum hacminin artırılması, kıyı erozyonunu hemen hemen hiç etkilememektedir (Şekil 9).

SONUÇ

Kıyıya yaptığı etkiler açısından ele alındığında, denizden kum çıkartılmasının belli şekil ve derinliklerde yapılması sayesinde kıyıda oluşabilecek erozyon riski minimuma indirgenebilir. Bu konuda uyulması gereken basit kurallar şu şekilde sıralanabilir:

- 1- Bölgedeki dalga iklimi ve kum dane çapına göre sınır derinliğin tespit edilmesi ve kumun bu noktanın açığından çıkarılması.
- 2- Taramanın kıyıya paralel dar bir kanal şeklinde ve çok derine inmeden yapılması.
- 3- Çukurun kıyıya paralel yöndeki iki ucu kazılırken, dik eğimlerden kaçınılması, uçlardan ortaya doğru mümkün olduğunca yumuşak eğimle derinleştirilmesi.

TEŞEKKÜR

Yazarlar Kilyos projesinin danışmanlığını yürüten Georgia Tech Üniversite'sinden Dr. Paul Work'e, topografik ölçümlerdeki yardımlarından dolayı Boğaziçi Üniversitesi, Jeodezi Bölümü mensuplarına, sualtı ölçümlerinde verdikleri destekten dolayı Boğaziçi Üniversitesi Sualtı Sporları Klubüne (BUSAS), EUROWAVES dalga verilerini sağlayan Oceanor şirketinden Dr. Stephen Barstow'a, arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Bilge Tutak, Yavuz Tokmak, Selahaddin Savran, Şafak Özkan, ve Arzu Samancı'ya teşekkür ederler. Yukarıda bahsi geçen araştırma projesi Boğaziçi Üniversitesi Araştırma

Fonu (Proje No. 98A403 ve 01A402), TÜBİTAK (İNTAG-837 nolu proje) ve İstanbul Kumcular Derneği'nin maddi destekleriyle gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Booji, N., Ris, R. C., ve Holthuijsen, L. H. (1999). "A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation." *Journal of Geophysical Research*, 104(c4), 7649-7666. (İngilizce)
- Börekçi, O.S., Otay, E.N, ve Demir, H. (2001). "Deniz kumu üretiminin kıyı erozyonuna etkileri ve rasyonel üretim kriterlerinin geliştirilmesi", TÜBİTAK Araştırma Projesi, No. İNTAG-837, 1. Ara Rapor.
- Cavaleri, L., Athanassoulis, A.A. , ve Barstow S. (1999). "Eurowaves: the easy approach to the evaluation of the local wave climatology." *Proc. Int. MEDCOAST Conf. On Wind and Wave Climate of Mediterranean and Black Sea, Ankara*, 251-261. (İngilizce)
- Dean, R. G. (1977). "Equilibrium beach profiles." Department of Civil Engineering , University of Delaware, Newark, DE. (İngilizce)
- Demir, H. (2002). "Effects of dredge holes on the shoreline change in the Black Sea." Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniv., İnşaat Müh. Böl., İstanbul. (İngilizce)
- Güngördü, Ö. ve Otay, E.N. (1997). "Kıyı şeridi değişiminin sayısal modellenmesi ", İnşaat Müh. Gelişmeler, III. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, ODTÜ, Ankara, 701-710.
- Hallermeier, R.J. (1980) "Sand motion initiated by water waves: two asymptotes," *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Division-ASCE*, 106(WW3), 299-318. (İngilizce)
- İstanbul Kumcular Derneği (1999), "Kum Endüstrisi", İstanbul.
- Kirby, J.T. ve Dalrymple, R.A. (1983). "A parabolic equation for the combined refraction diffraction of stokes waves by mildly varying topography." *Journal of Fluid Mechanics*, 136, 543-566. (İngilizce)
- Özhan, E. ve Abdalla, S. (1999). "Wind and wave climatology of the Turkish coast and the Black Sea: an overview of the NATO TU-WAVES project," *Proc. Int. MEDCOAST Conf. on Wind and Wave Climate of Mediterranean and Black Sea, Ankara, Turkey*, 1-20. (İngilizce)

ABSTRACT

Approximately half of Istanbul's annual 10 million cubic meters sand demand is dredged from the Black Sea. A research station is established on the Kilyos Beach, North of Istanbul, to study the effects of dredge holes on the adjacent coastlines using field measurements and computer modeling. The direct effects of dredge holes on shoreline recession are investigated using a cross-shore sediment transport model based on equilibrium beach profile concept. For this study, local wave statistics are used to estimate the erosion risk as a function of the dredging depth. Indirect effects of dredge holes on shoreline change are modeled based on wave transformation over dredge holes and the resulting perturbation in the longshore sediment transport. Input conditions for the numerical models are obtained from locally measured nearshore bathymetry and sediment size distributions, and the long-term wind and wave statistics. Based on numerical test runs for different dredge hole characteristics, rational dredging criteria are developed to minimize the impact of dredge holes on shoreline change.

