

**KIYI EROZYONUNA KARŞI YARI GEÇİRGEN KAZIKLI MAHMUZ
TASARIMI: ST. FRANCIS KÖRFEZİ, GÜNEY AFRİKA ÖRNEĞİ**

Arzu G. SAMANCI
Arařtırma Görevlisi
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

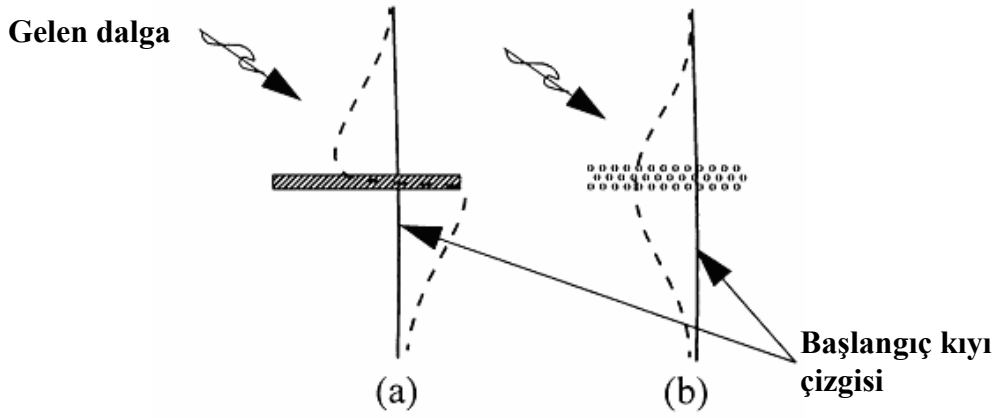
Emre N. OTAY
Yardımcı Doçent
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Kıyı erozyonuyla mücadelede günümüzde yaygın olarak kullanılan sert yapılara alternatif olarak geliştirilen yarı geçirgen mahmuzlar, Baltık Denizi ve Meksika Körfezi gibi orta şiddetli dalga iklimlerinde daha önce başarıyla denenmiştir. Kazıklı mahmuzlar, çevreye daha uyumlu ve daha estetik olmaları nedeniyle sert yapılara göre daha tercih edilir yapılardır. Bu çalışma kapsamında, Atlantik ve Hint Okyanuslarının birleşme noktasında yer alan Güney Afrika'nın St. Francis kumsalı için bir kazıklı mahmuz sistemi geliştirilmiş ve bilgisayar modelleriyle tasarımın işlerliği gösterilmiştir. Uygulama başarılı olduğu takdirde, kazıklı mahmuzun, Karadeniz, Kuzey Denizi ve Pasifik Okyanusu gibi yüksek enerji kıyılarına uygulanabilirliği de söz konusu olabilecektir.

GİRİŞ

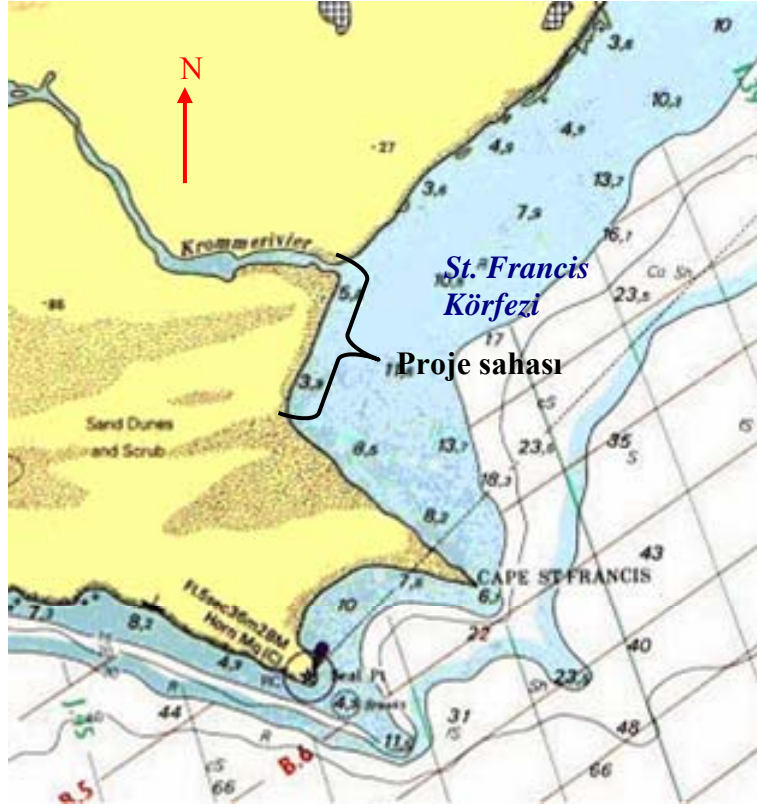
Yarı geçirgen mahmuzlar, prensip olarak geçirimsiz mahmuzlardan farklı bir mekanizma ile çalıştıkları için farklı kıyı şekilleri oluştururlar. Geçirimsiz mahmuzlar, sediman taşınımını tamamen engelleyerek, yukarı kıyıda kum birikimine ve aşağı kıyıda erozyona sebep olarak, antisimetrik bir kıyı oluştururlar (Şekil 1a). Yarı geçirgen mahmuzlar ise dalga transformasyonunu etkileyerek, varolan yanal sediman akışına ek bir taşınım yaratıp, yanal taşınım sonucu oluşan erozyonu yavaşlatırlar (Otay, v.d., 1997). Bunun sonucunda kıyıda simetrik bir birikme gözlemlenir (Şekil 1b).



Şekil 1. Geçirimsiz (a) ve yarı geçirgen (b) mahmuzlarda gözlemlenen kıyı şekilleri

St. Francis Körfezi, Güney Afrika Cumhuriyeti'nin Hint Okyanusu'na bakan güneydoğu kıyılarında yer alır (Şekil 2). Körfezin güneyinde bulunan St. Francis kumsalında yaklaşık son yirmibeş yıldır kıyı erozyonu gözlemlenmektedir. Turistik bir yerleşim olan St. Francis'te, alışagelmış sert yapılara oranla çevreye daha uyumlu özellikler gösteren yarı geçirgen mahmuzun uygun olacağı düşünülmüştür. Yıl boyu kuvvetli dalga etkisindeki bu kıyıda, yarı geçirgen mahmuzun kıyı erozyonuna karşı ne kadar etkili olabileceğini incelemek üzere, Boğaziçi Üniversitesi'nde, Illenberger & Associates ile ortaklaşa bir proje gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu kumsal kuzeyde Kromme Nehri ağzı, güneyde ise kayalık bir kıyıya sahip olan St. Francis Burnu ile sınırlanmıştır (Şekil 3). İki buçuk kilometre uzunluğundaki kumsal, kuzeye yaklaşık 20° açı yapacak şekilde uzanmaktadır. Nehrin kuzeyinde, kıyı şeridi yaklaşık 10 km boyunca kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda devam etmektedir.



Şekil 2. St. Francis körfezi görünüm planı



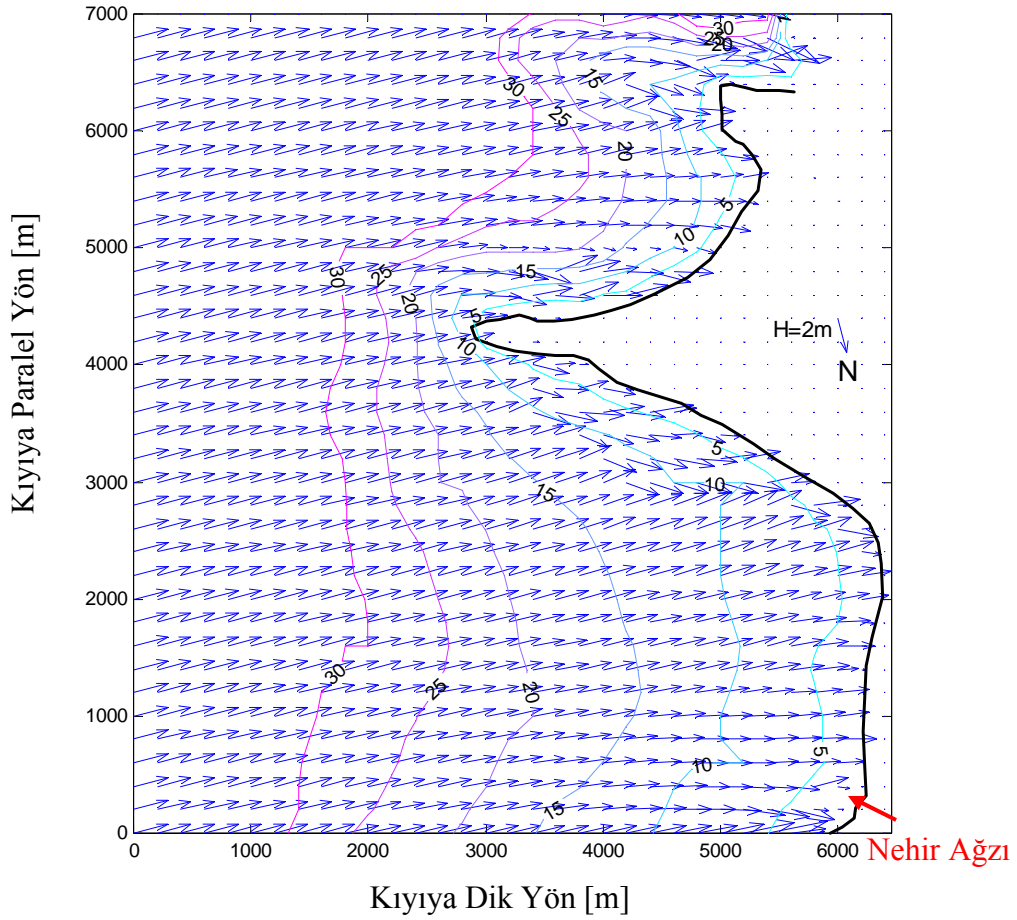
Şekil 3. Kromme Nehri'nden St. Francis Burnu'na bakış

AMAÇ

Bu çalışma ile, erozyona uğramakta olan yüksek dalga enerjisine maruz bir kumsalın, hidrodinamik ve morfodinamik yapısı eldeki veriler ışığında incelenip, erozyon mekanizması modellenmek suretiyle, yarı geçirgen mahmuzun bu kıyıda uygulanabilirliği araştırılacaktır.

DALGA ANALİZİ VE MODELİ

Dalgaların, körfez içerisindeki değişimlerini incelemek için, Kirby ve Dalrymple (1983) tarafından geliştirilmiş olan REFDIF-1 modeli kullanılmıştır. REFDIF-1, dalgaların yumuşak eğimli tabanlar üzerinde sapma ve dönmesini modellemektedir (Şekil 4).

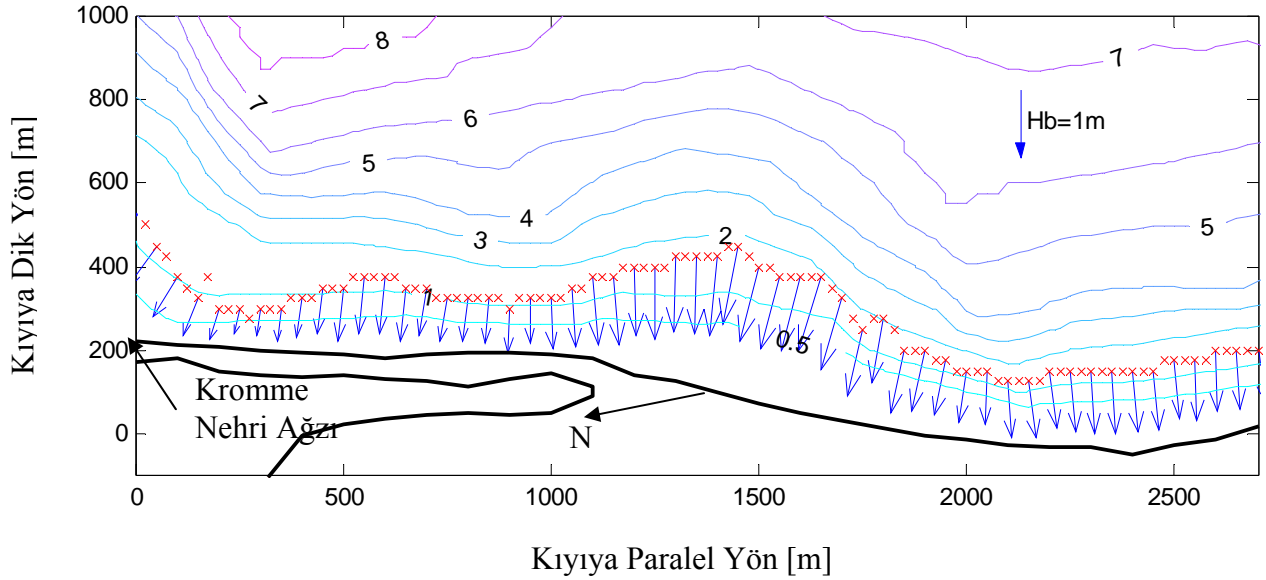


Şekil 4. Doğulu dalgaların körfez içerisindeki transformasyonu (REFDIF-1 çıktısı)

St. Francis Körfezi'nde çift modlu bir dalga iklimi hakimdir (Tablo 1). Baskın dalgalar, yılın büyük bir çoğunluğunda (%75) rüzgarın estiği güneybatı yönünden geniş bir spektrumla gelen ölüdeniz dalgalarıdır. Açık denizde ortalama belirgin dalga yüksekliği 2,5 m olan bu dalgalar St. Francis Burnu çevresinde büyük oranda kırınıma uğrarlar ve enerjilerinin yaklaşık % 90'ını kaybederek körfeze girerler. Kırınım sırasında daha çok yüksek frekanslı bileşenlerini kaybettikleri için, kıyıya ulaşan dalgalar uzun periyotludur. Yılın yaklaşık %75'inde, körfezde güneybatılı dalgalar etkindir. Güneybatılı dalgaların körfez içinde ilerleme yönleri $115^{\circ} - 120^{\circ}$ 'dir. Körfezde yaklaşık kırılma derinliği 1-2 m'dir (Şekil 5).

Tablo 1. Körfez içinde gözlemlenen tipik dalga özellikleri

	Batılı Dalgalar	Doğulu Dalgalar
Ortalama Peryot (T)	12,6 s	7,9 s
Dalga Geliş Yönü (θ_0)	$115^{\circ} - 120^{\circ}$ N	$105^{\circ} - 108^{\circ}$ N
Olasılık	%75	%15
Derin Deniz Dalga Yüksekliği (H_0)	2,5 m	2,0 m



Şekil 5. Batılı dalgalar için ($\theta=120^{\circ}$) kırılma yönleri, derinlikleri ve dalga yükseklikleri

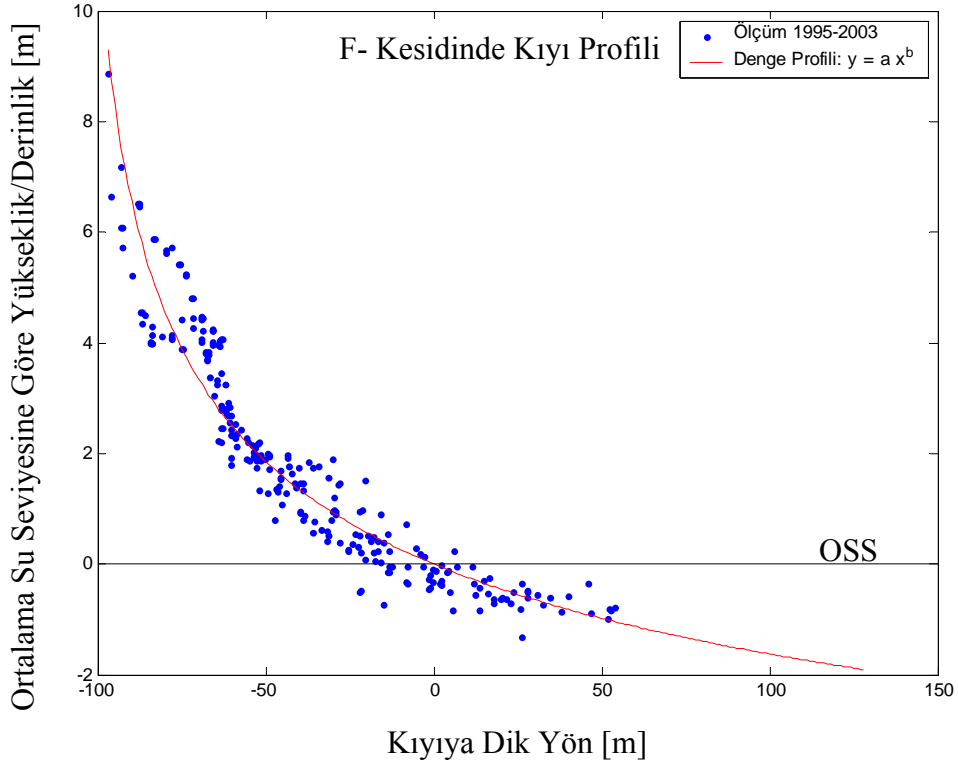
Doğudan gelen kısa periyotlu rüzgar dalgaları, daha çok bahar ve yaz aylarında gözlemlenmektedirler. Oldukça dar bir frekans bandından oluşan bu dalgalar, yılın

YANAL SEDİMAN TAŞINIMI VE KIYI MODELLEMESİ

Kıyı boyunca 6 kesitte alınmış olan sediman örneklerinin dane çap dağılımları incelenmiştir. Kumsal, orta büyüklükte kumdan oluşmaktadır. Medyan dane çapı su çizgisinde 0.22 mm iken, 2 m su derinliğinde 0.32 mm'dir. Sınır derinlik söz konusu kumsal için 7 m olarak hesaplanmıştır. Orta kumsalda 1:20 olan kıyı eğimi su çizgisinde 1:50'ye düşmektedir.

St Francis'te gözlemlenen erozyona sebep olarak başlıca iki etken sayılabilir: Söz konusu kumsal geçmiş yıllarda karadan esen rüzgarın getirdiği kumlarla beslenmekteydi (Burkinshaw, and Illenberger, 2001). Batıdaki Santareme Kumununun 1964 yılında stabilizasyonu sonucu, kıyıya yıllık ortalama 90.000 m³ olan doğal kum akışı % 90 oranında azaldı. Kıyı gerilemesine diğer bir etken de, kumsalın kuzeyindeki Kromme nehrinden gelen kumun, nehir üzerine yapılan barajlar tarafından tutulmasıdır. Barajlar yüzünden debisi azalan nehrin taşıdığı az miktardaki kum da kıyıya ulaşmadan nehrin ağzında birikmeye başlamıştır. Bu etkenlerin sonucu olarak, St. Francis kumsalında son 20 yılda, yıllık ortalama 2 m erozyon gözlemlenmiştir. Nehir ağzının kuzeyindeki sahil şeridinde erozyon gözlemlenmemesi de, erozyonun yerel kaynaklı olduğunu ve dalga iklimindeki küresel değişikliklere bağlı olmadığını göstermektedir. Gözlem sonuçlarına göre, kıyı erozyonunda etkili olan yanal sediman taşınımıdır. Net taşınımın kuzeydoğu yönüne doğru olduğu gözlemlenmiştir. Bölgede kıyıya dik sediman taşınımı da gözlemlenmesine rağmen kıyı profilleri genel olarak dengededir (Şekil 8).

Yanal sediman taşınım teorisi temel alınarak, kıyıya paralel sediman taşınımı modellenmiştir. Sediman taşınım miktarı hesaplanırken, CERC formülü kullanılmıştır (Shore Protection Manual, 1984). Sediman taşınımı ve kıyı çizgisi modelleri, sonlu farklar yöntemi ile yapılmıştır. Modeli doğrulayabilmek amacıyla, 1975 yılında ölçülen su çizgisi başlangıç konumu olarak verilmiş ve 20 yıllık model sonuçları 1995 yılı kıyı çizgisi ölçümüyle karşılaştırılmıştır. Kıyı çizgisi değişiminin modellenmesinde kullanılan denklemin doğrusal oluşu, dalgaların yıl içerisinde değişik yönlerden gelişinin modele uygulanmasında süperpoze kolaylığı sağlamıştır.

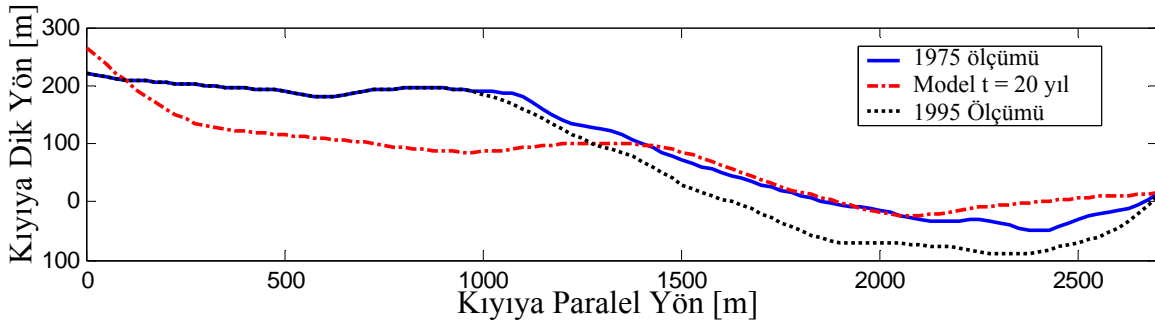


Şekil 8. Kıyı denge profili

Eldeki batimetri ile yapılan modelleme sonucu, sediman taşınım yönü için kritik dalga açısının $108^{\circ}N$ olduğu tespit edilmiştir. Yüz sekiz dereceden daha kuzeyden gelen dalgaların yarattığı sediman taşınımı güneybatı yönündeyken, dalga daha büyük açılarla geldiğinde, sediman taşınım yönü kuzeydoğuya dönmektedir. Sınır değer etrafında bir derecelik bir değişimin bile, sediman taşınım miktarında büyük değişikliklere yol açtığı gözlemlenmiştir. Eldeki dalga verilerine dayanarak bölgenin dalga iklimi doğu ve batı olarak iki grupta ele alınmıştır. Modeli kalibre etmek amacıyla, Tablo 3'te koyu harflerle gösterilen doğulu ve batılı dalga grupları seçilerek, 1975 kıyı çizgisinde yirmi yıl içinde beklenen değişiklikler modellenmiştir (Şekil 9). Eldeki bilgiler ışığında, modelde sınır koşulları olarak nehir ağzındaki yanal sediman taşınımının nehir tarafından kesildiği ($Q = 0$) ve güney sınırında ise kıyı çizgisinin konumunun değişmediği varsayılmıştır. İki ayrı yönden gelen dalgalar, gelme olasılıklarına göre değişimli olarak modellenmiştir.

Yapılan model çalışmaları sonucu, güneybatı yönünden gelen dalgaların yarattığı kuzeydoğu yönündeki taşınımın yıllık yaklaşık 90.000 m^3 olduğu bulunmuştur. Doğulu dalgalar kıyıya neredeyse dik geldikleri için güneybatıdan gelenlere oranla daha az yanal taşınımına neden olmaktadır. Hiçbir engelle karşılaşmadan körfeze giren bu dalgaların

yarattığı güneybatı yönündeki sediman taşınımı ise yıllık yaklaşık 36.000 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu rakam dalgaların senenin yaklaşık %15'inde doğudan geldiği varsayımına dayanmaktadır. Yıllık net yanal sediman taşınımı, kuzeydoğu yönünde ve yaklaşık 54.000 m³ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan net taşınım yönü, nehir ağzında, güneybatı-kuzeydoğu yönünde uzayan kum dilinin yönü ile uyumaktadır. Ancak dalgaların yıl içinde dönüşümlü olarak geldiği göz önüne alınarak oluşturulan model sonucu oluşan kıyı çizgisi gerçek ölçümle örtüşmemiştir. Hatta, tam aksi bir oluşum modellenerek değişim gözlemlenmeyen yerde erozyon, erozyon gözlemlenen yerde de az miktarda birikim bulunmuştur.



Şekil 9. Model sonucu oluşan kıyı çizgisi ile ölçüm sonucunun karşılaştırılması

Tablo 2. Dalga ve sediman taşınımı model sonuçlarının özeti

	H_0 [m]	θ_0 [°N]	Q_∞ [m ³ /yıl]
Doğulu Dalgalar (T=7.9s)	2,0	100	880.000 S
	2,0	105	365.000 S
	0,8	105	130 S
	2,0	108	36.000 S
	2,0	110	160.000 N
Batılı Dalgalar (T=12.s)	0,75	110	38.000 N
	0,75	115	60.000 N
	0,80	115	63.000 N
	0,75	120	90.000 N

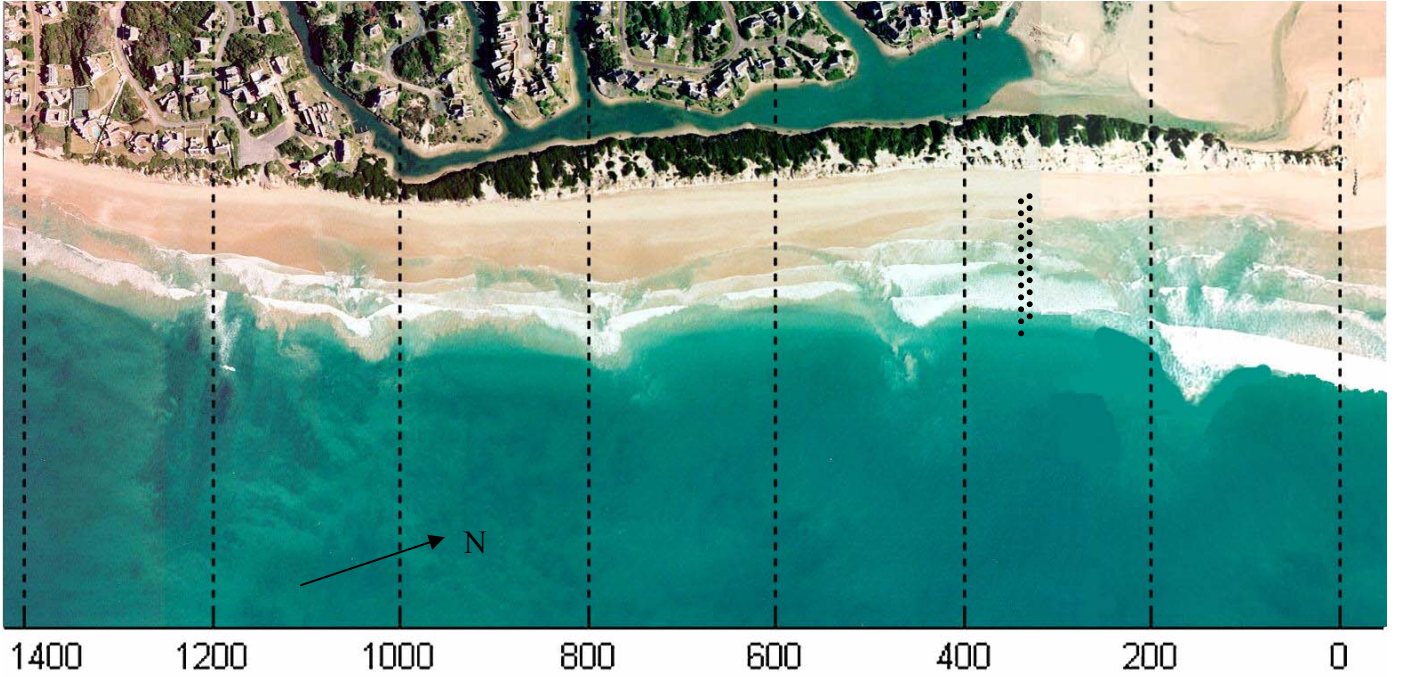
Tablo 3'te, Q_∞ dengeye ulaşmış yanal sediman taşınımını, S ve N harfleri ise sırasıyla güneye ve kuzeye doğru olmak üzere taşınım yönünü göstermektedir.

YARI GEÇİRGEN MAHMUZ TASARIMI

Modellemenin esası, mahmuzun, yapılması planlanan kesitte bir sıklık oluşturduğu varsayımına dayanmaktadır. Buna göre mahmuzların geçirgenliği ile inşa edildiği alandaki değiştirilmiş derinlikler arasında bir bağıntı kurulmuştur. Daha az geçirgen mahmuzlar kıyının daha büyük oranlarda sığlaştırılması ile modellenmiştir.

Yapılan simulasyonlar sonucunda yarıgeçirgen bir mahmuzun neden olduğu kıyı değişiminin yaklaşık 20 yılda dengeye geldiği hesaplanmıştır. Bu nedenle yapılan modelleme çalışmalarında kıyının 20 yıllık değişimi izlenmiştir. Yarı geçirgen mahmuzun etkili olabilmesi için, dalga kırılma bölgesinin dışına kadar uzaması gerekmektedir. Ancak kıyı eğimi çok az olduğu için, bu koşulu sağlayacak mahmuzlar hayli uzun olmaktadır.

En etkili yarı geçirgen mahmuz tasarımını belirleyebilmek amacıyla çeşitli tasarımlar geliştirilip modellenmiştir. Bu tasarımlar arasından, erozyonu durduracak ya da en aza indigeyecek, aşırı erozyona uğramış kesitlerde sediman birikimi yaratarak kıyı şeridini genişletecek ve görsel olarak en az rahatsızlık yaratacak, en optimum tasarım seçilmeye çalışılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Önerilen yarı geçirgen mahmuzun konumu

SONUÇ

Eldeki verilerden ulaşılan sonuçlar ve yapılan gözlemlere dayanarak kalibre edilmiş modellere dayanarak, St. Francis Körfezi kıyılarında gözlemlenen kıyı erozyonuna karşı bir yarı geçirgen mahmuz tasarımı hazırlanmıştır. Bundan sonraki aşamada, kıyı değişimi izlenerek tasarımın geliştirilmesi ve daha detaylı batimetri ölçümleriyle yerel değişimlerin daha iyi modellenmesi önerilmiştir.

Modellemelere göre, 1975-1995 dönemi için St. Francis Körfezi'nde oluşması beklenen kıyı değişimi ile ölçülen kıyı değişimi birbiriyle örtüşmemiştir. Batimetri haritalarının yakın kıyı için yeteri kadar detaylı olmayışı bu sonucu doğuran önemli faktörlerdendir. Hava fotoğraflarında görülen yakın kıyıdaki kayalık ve sığıklar haritalarda yer almamaktadır. Ayrıca, söz konusu kıyıda, kıyıya paralel sediman taşınımının dalga yönündeki en küçük değişime bile çok hassas olduğu tespit edilmiştir. Körfezde yapılmış hassas ve sürekli rüzgar ve/veya dalga ölçümleri olmaması, hatanın dalga verilerinden de kaynaklanabileceği ihtimalini doğurmaktadır. Kullanılan REFDIF-1 dalga modeli doğudan gelen dalgaları oldukça iyi modelleyebilmiştir. Güneybatı yönünden gelen dalgalar, St. Francis Burnu civarında kırınıma uğrarken yaklaşık 100^0 yön değiştirmektedirler. Kullanılan dalga modeli bu olguyu ortaya koyamamıştır.

Yüksek enerjili dalga iklimine sahip kıyılarda, yarı geçirgen mahmuzların uygulanabilirliğin araştırılması açısından, inşa edilen kazıklı mahmuzun söz konusu kıyıda yaratacağı değişikliklerin kaydedilip, değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu uygulama başarılı sonuçlar verdiği takdirde, çevresel ve görsel açılardan daha tercih edilir yapılar olan kazıklı mahmuzlar daha yaygın kullanım alanı bulacaklardır.

KAYNAKLAR

1. Kirby, J.T. ve Dalrymple, R.A., “A parabolic equation for the combined refraction diffraction of Stokes waves by mildly varying topography”, Journal of Fluid Mechanics, vol.136, 1983, pp 543-566
2. Otay, E.N., GÜNGÖRDÜ, Ö. ve BÖREKÇİ, O.S., “Shoreline changes in the vicinity of a permeable groin”, Coastal Engineering Workshop, İstanbul, Türkiye, 1997
3. Burkinshaw, J. ve Illenberger, W., “The Cape St. Francis headland bypass dune system from a geomorphological perspective”, Illenberger & Associates, Port Elisabeth, South Africa, 2011
4. Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center, 1984

ABSTRACT

Permeable pile groin is a viable alternative to impervious hard structures used against coastal erosion. It has already been tested successfully in moderate energy coasts including the Baltic Sea and the Gulf of Mexico. This paper investigates its applicability in a high-energy environment, specifically to combat erosion in St Francis Beach facing the Indian and Atlantic Oceans. The work mainly includes computer modeling of wave transformation and sediment transport processes around the permeable groin. Depending on the successful implementation of the project, permeable groins may in future be used against beach erosion in high-energy coasts facing Black Sea, North Sea and the Atlantic Oceans.