

# İSTANBUL BOĞAZI OLUŞUMUNUN SIĞ SİSMİK VERİLER YARDIMI İLE TARTIŞILMASI

## A Discussion on the Formation of Bosphorus Using Shallow Seismic Data

E. Gökaşan<sup>\*</sup>, E. Demirbağ<sup>\*\*</sup>, F.Y. Oktay<sup>\*\*</sup>,  
B. Ecevitoğlu,<sup>\*\*</sup> E. Doğan<sup>\*</sup>, M.K. Fettahoğlu<sup>\*</sup>, M. Şimşek<sup>\*\*\*</sup>

### ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul Boğazında SHOD Başkanlığı tarafından alınmış olan sıg sismik kesitler değerlendirilmiş ve çevre morfolojisi ile de kıyaslanarak, Boğaz'ı sınırlayan yamaçların faylar tarafından oluşturulduğu gözlenmiştir. Bu fayların bir bölümünün deniz tabanı üzerinde de etkili olması, genç olabileceklerine delil olsa da, bölgedeki akıntının bu şekillenme üzerindeki etkisinin de araştırılması gerekir. Ayrıca, Boğaz yamaçlarında izlenen eski bir vadiye ait yüzeyler Boğaz'ın oluşumuna dair ipuçları vermekte ve Pleistosen'deki gençleşme sırasında bu vadiyi oluşturan akarsuyun da Boğaz'ın oluşumunda etkili rol oynadığı düşünülmektedir.

### ABSTRACT

In this study, shallow seismic data acquired by SHOD in Bosphorus were evaluated and compared with geomorphology of the surrounding area. It was observed that the banks of Bosphorus are mainly due to faults. Although, some of these faults are effective on the bathymetry indicating that they might be young, the role of water flow in shaping Bosphorus must also be investigated. Furthermore, levels related to an ancient valley are observed on the banks of Bosphorus and it could be possible that the water flow rejuvenated in Pleistocene played an effective role in the formation of Bosphorus.

### GİRİŞ

İstanbul Boğazı ve yakın çevresi çok eski çağlardan beri insanların yaşadığı bir bölge olduğundan dolayı Boğaz'ın oluşumu ve şekillenmesi hakkındaki fikirler de oldukça eski zamanlara dayanır.

Boğaz'ın oluşum mekanizmaları üzerinde çalışan araştırmacılar genel olarak iki etkileyici unsur üzerinde birleşmişlerdir. Bunlardan ilki, Boğaz'ın eski fayların zayıf zonlarına yerleşmiş bir akarsu vadisi olduğu (Darkot,1938; Pamir, 1938; Erinç, 1939; Yalçınlar 1949) ve ikincisi ise bu oluşumda yapısal olayların daha baskın rol oynadığıdır (Hochstaetter,1870; Oktay ve Sakıncı, 1991, 1993; Gökaşan, 1993; Gökaşan ve diğ., 1993). Bunların dışında yukarıdaki iki etkileyici unsurun beraberce rol oynadığı daha karmaşık modellerin önerildiği araştırmalar da vardır (Yılmaz ve Sakıncı, 1990).

Dz.K.K. Seyir Hidrografi ve Oşinografı Dairesi Başkanlığı (SHOD) tarafından Boğaz içerisinde alınmış olan sismik kesitler bu çalışmanın temelini teşkil eder.

SHOD Başkanlığı tarafından 1977 yılında alınmış olan kesitlerden bu çalışma içerisinde, güneyde Ortaköy-Üsküdar ile kuzeyde Anadolu-Rumeli Fenerleri arasındaki 118 adedi yorumlanmış (Şekil 1) ve yapılan yorumlama sonucunda elde edilen bilgiler ile bölgedeki bazı jeolojik ve jeomorfolojik problemlere yaklaşımlarda bulunulmuştur.

### SİSMİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sıg deniz sismiği verilerinin toplanmasında kaynak-alcı uzaklığının su derinliğini nazaran çok daha kısa olması nedeniyle sismik ışınların düşey yönde tabaka ara yüzeylerine eriştikleri ve yansydıkları kabul edilebilir. Bu durumda yansıma genlikleri sadece tabakaların akustik empedanslarının farklarına, yansıma zamanları da doğrudan tabakaların kalınlıklarına ve hızlarına bağlıdır. Bu şartlar altında sismik P-dalgalarının yansıma genliği, düşey yansıma katsayısı

$$R = (V_2 \rho_2 - V_1 \rho_1) / (V_2 \rho_2 + V_1 \rho_1)$$

ile belirlenir. Bu bağıntıda  $V_i \rho_i$ ; tabakaların akustik empedansı olarak isimlendirilir. Bağıntıdan da

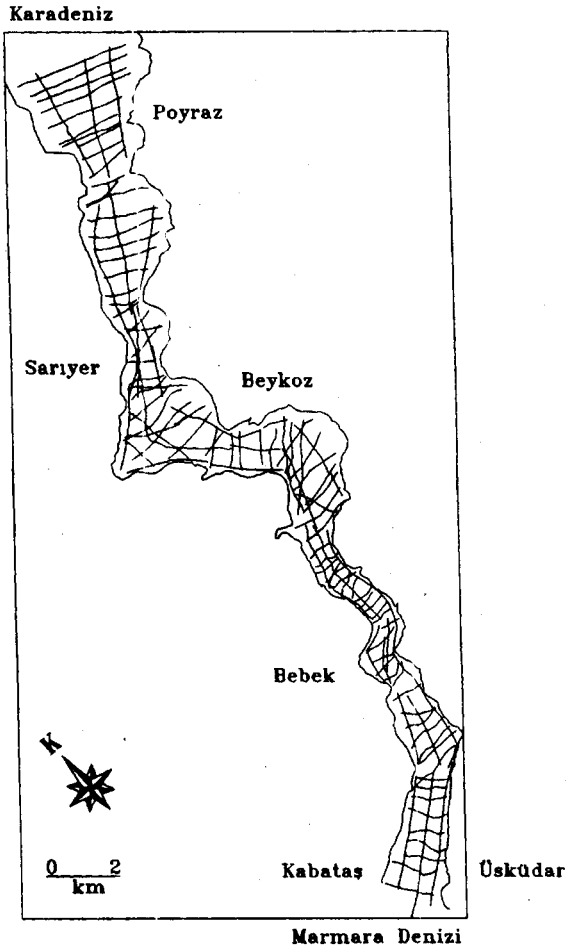
<sup>\*</sup> İ.Ü. Deniz bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.

<sup>\*\*</sup> İ.T.Ü. Maden Fakültesi.

<sup>\*\*\*</sup> İ.T.Ü. Maden Fakültesi.

<sup>\*\*\*\*</sup> Dz. K.K. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHOD).

görüldüğü gibi yansımaya katsayısı doğrudan hız ve yoğunluğun bir fonksiyonudur ve yansımının meydana gelebilmesi için tabakaların akustik empedanları mutlaka farklı olmalıdır. Ayrıca, yansımaya genişliğinin büyüklüğü iki tabaka arasındaki hız ve yoğunluk farklarına bağlıdır. Bu farklar ise tabakaların litolojik özellikleri dahilinde (kimyasal yapı, gözeneklilik, doygunluk, kristal yapısı vs.) oluşur. Sismik kesitler üzerinde yansımaya seviyelerinin sürekliliği tabaka arayüzeylerini belirlerken, yansımaya seviyelerinde görülen bazı ani değişiklikler fayların ifadesi olabilirler. Bu ani değişiklikler aşağıdaki sismik kriterlere göre sınıflandırılabilir;



Şekil 1: Sismik hat haritası.

Figure 1: Seismic profile map.

- Yansımaya yüzeyi seviyesinde izlenen ani iniş çıkışlar.
- Yansımaya paketlerinin ani yanıl kesintiye uğramaları.
- Saçılma hiperbollerinin gözlenmesi; özellikle tepe noktaları belli bir doğrultuyu takip eden saçılma hiperbollerinin birkaçının birarada izlenmesi.

Bu çalışmada yukarıdaki kriterlere bağlı kalınarak belirlenen fayların sadece temel kayayı etkileyenleri eski faylar, diğer bir bölümü ise, aynı etkileri hem temel kaya yansımaları üzerinde, hem de deniz tabanında ve/veya temel kaya ile deniz tabanı arasında bulunan sedimentlerde de göstermesi nedeni ile genç faylar olarak yorumlanmıştır.

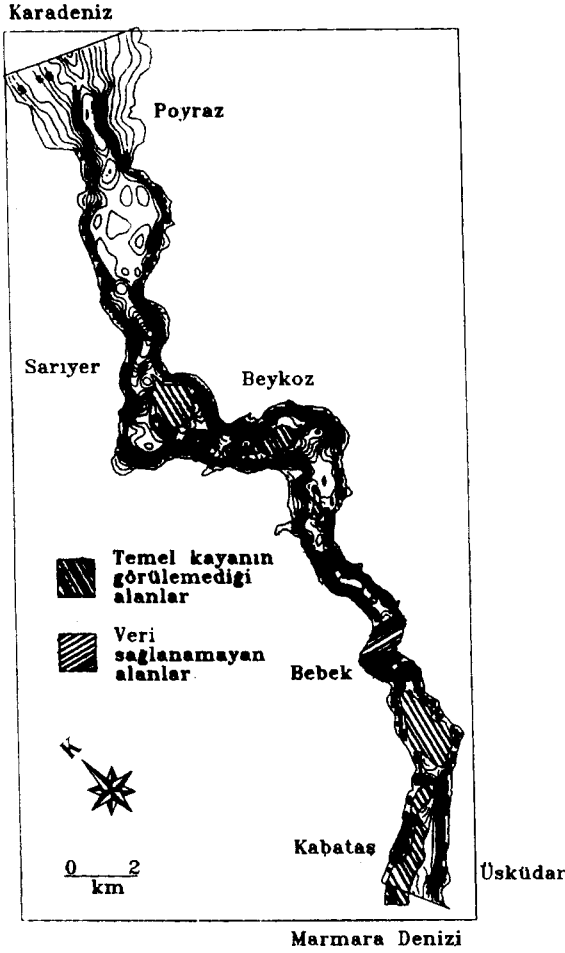
Bu bilgiler ışığında bölgede en altta, akustik temel olarak yorumlanan yüksek genlikli yansımaya yüzeyi, bunun üzerinde düşük genlikli ve sürekliliği olmayan ara yüzeyler tarafından bölünmüş sedimentler istif ve en üstte de su-sediment sınırını oluşturan deniz tabanı yüzeyi izlenebilmiştir.

Bu birimleri ayrı ayrı inceleyecek olursak:

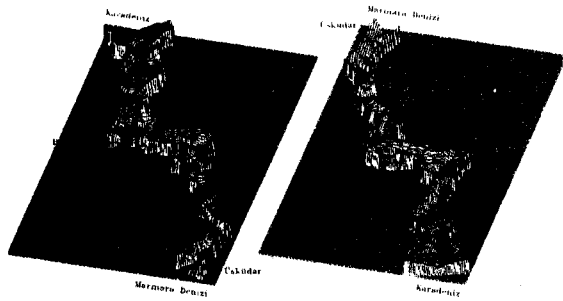
#### a) Akustik Temel:

Sismik kesitlerde en altta izlenen yüksek genlikli yüzey, bu çalışmada akustik temel olarak yorumlanmıştır. Bu yansımaya, Boğaz'ın güneyinde Sarayburnu-Üsküdar arasında yapılmış olan tüp tünelleriyle kısmen korulan ve bu sondajlarda tabanda izlenen Paleozoyik yaşlı temel (Yılmaz ve Sakıncı, 1990) nedeni ile bu birime ait yansımaya yüzeyi olarak yorumlanmıştır. Bu yorum, Ketin ve Kıran (1990) tarafından derlenmiş olan İstanbul çevresinin jeoloji haritasında, Boğaz'ın her iki yakasında kıyıda izlenen Paleozoyik yaşlı birimler ve Boğazda yapılmış olan diğer sismik çalışmalarda (Uluğ ve diğ., 1987) hız değerleri ile desteklenir. Ancak, Boğaz içerisinde yaklaşık olarak Anadolu Kavağı-Sarıyer arasından geçtiği düşünülen Paleozoyik-Kretase sınırının varlığı nedeniyle, bu sınırın kuzeyindeki akustik temelin, Kretase yaşlı birimlerden oluştuğu söylenebilir.

Çalışma alanında izlenen akustik temel yansımaları, bazı kesitlerde derinleşip izlenemediğinden dolayı bu bölgeler, temeldeki çukur alanlar olarak yorumlanmıştır. Bebek Koyu-Kandilli Burnu arasında kalan bölge ise sismik verilerin yetersizliği nedeniyle yorumlanamamıştır. Akustik temelde çukur olarak yorumlanan alanlar, yorumsuz bırakılan bölgeler ve Akustik Temel Yüzeyi, 2 boyutlu harita ve 3 boyutlu blok diyagramlar halinde sunulmuştur (Şekil 2 ve 3).



Şekil 2: Temel kaya derinlik haritası.  
Figure 2: Basement map.



Şekil 3: Temel kaya blok diyagramları. İstanbul boğazı'na (a) Marmara Denizi (b) Karadeniz'den bakış (düşey yönde ölçeksizdir).  
Figure 3: Block diagrams of the basement. Views of the Bosphorus (a) from Sea of Marmara (b) from Blacksea (not to scale).

#### b) Sediment İstif:

Akustik temel ve deniz tabanı yansımaya yüzeyleri arasında kalan bölgede düşük genlikli ve sürekliliği olmayan pek çok yansımaya yüzeyi izlenir. Paleozoyik ve Kretase yaşlı birimlerden oluşan temel ile aralarındaki

akustik empedans farkından doğan yüksek genlikli yansımaya yüzeyi, daha önce yapılmış olan kırılma çalışmalarında belirlenen ortalama hızları (Uluğ ve diğ., 1987 tarafından 1900 m/sn) ve Üsküdar-Sarayburnu arasında yapılmış olan sondajlardan elde edilen bilgiler (Yılmaz ve Sakıncı, 1990) ışığında bu istifin genç sedimentlerden oluştuğu düşünülmektedir. Daha önceki araştırmalarda (Uluğ ve diğ., 1987; Alavi ve diğ., 1989) ve bu çalışmada, izlenen söz konusu yüzeyler nedeniyle bu istifte, farklı akustik empedansa sahip tabakaların bulunduğu belirtilmektedir. Bu durumda, istif içerisinde farklı sıklıkta veya litolojide sediment seviyelerinin olduğunu gösterir. Ayrıca kesitlerde Boğaz boyunca doğu ve batı yamaçlarında izlenen genç sedimentlerin Boğaz'a karışan akarsular tarafından bölgeye getirilmiş oldukları düşünülmektedir.

Bunun dışında, Büyükdere açıklarında akustik temel yansımaları üzerinde, bu yansımaya eşdeğer genliğe sahip ve havzanın ortasından batıya, Büyükdere'ye doğru gidildikçe akustik temel yansımaları ile birleşen iki yansımaya yüzeyi daha belirlenmiştir.

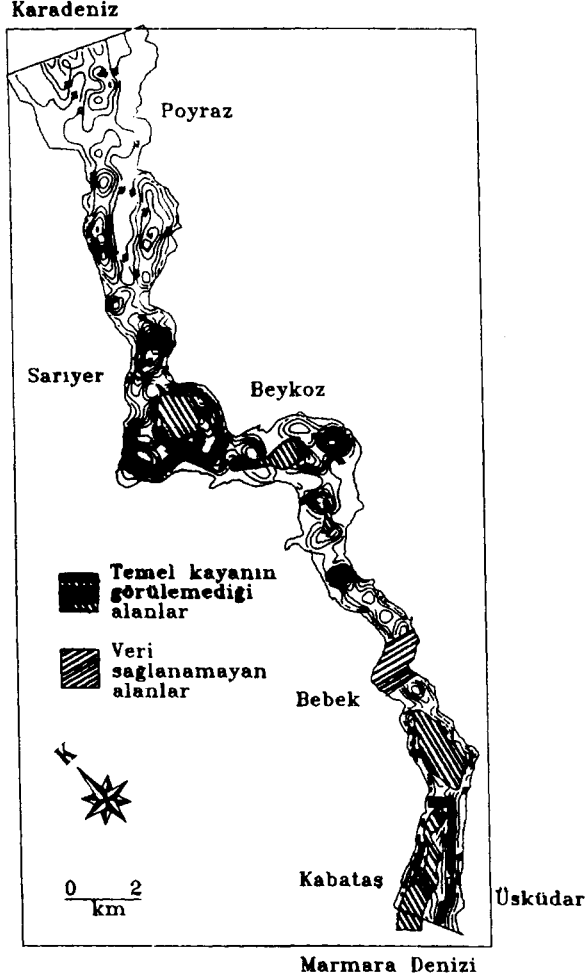
Boğaz içerisinde yer yer 100 m'yi geçen kalınlıklarda izlenen (özellikle Üsküdar ve Ortaköy açıkları) genç sedimentler istif genel olarak bakıldığında, Boğaz'ın kuzeyinden güneyine doğru gidildikçe, özellikle Sariyer kuzeyinden itibaren gözle görülür bir şekilde incelik (Şekil 4 ve 6).

#### c) Batimetri:

Bu yüzey su-sediment sınırını oluşturur. Boğaz boyunca oldukça değişken ve düzensiz bir yapı arzeden deniz tabanı (Şekil 5 ve 7), güneyde Ortaköy açıklarında 27 m derinde bir eşik oluştururken, daha kuzeyde Bebek-Kandilli arasında kalan bölgede ise aniden artan bir eğimle yaklaşık 60 m'den 108 m'ye kadar iner. Bu değer Boğaz'da tarafımızdan ölçülebilen maksimum derinliktir (Göktaşan 1993, Göktaşan ve diğ., 1993). Dar bir alanda izlenebilen bu derin bölgenin, Boğaz'ın sağa doğru ötelendiği bir yerde bulunması ilginçtir. Bu bölgenin kuzeyinde 60 m'lerde bulunan deniz tabanı derinliği Anadolu-Rumeli Kavaklarının kuzeyinden itibaren belirgin bir kanal yapısı kazanarak Karadeniz'e ulaşır.

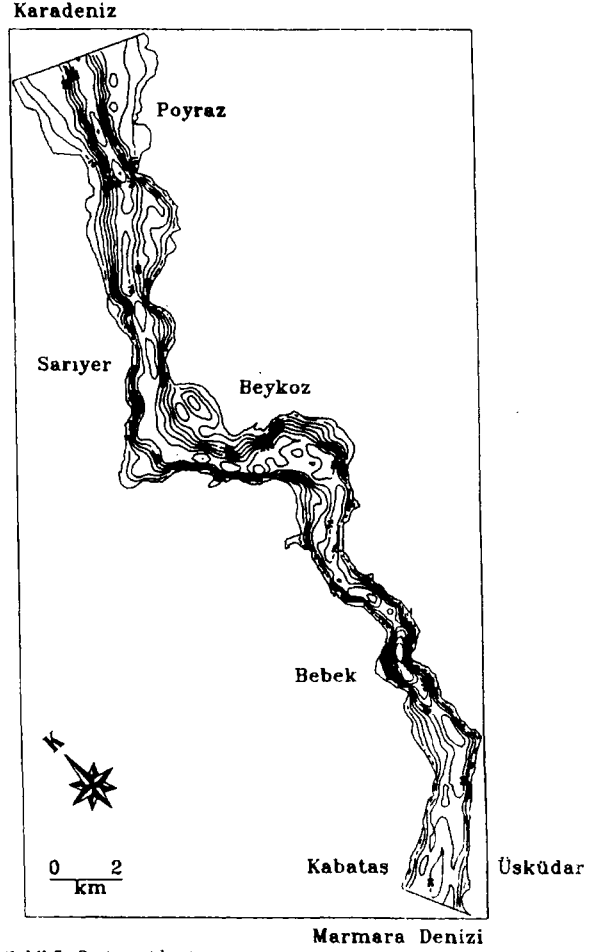
Boğaz batimetrisinde izlenen bir diğer önemli şekillenme ise kıyılarda yer yer izlenen dik yamaçların deniz tabanında da devam etmesidir. Karadaki genç yamaçların denizdeki devamı olarak izlenen dikliklerin, tarafımızdan faylanma ile meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir. Bu fikir neticesi, Boğaz genelinde izlenen şekillenme bir grabenleşme olarak yorumlanmıştır. Ancak, Anadolu ve Rumeli Kavakları'nın kuzeyinden itibaren deniz tabanının her iki yakasında, grabenin düşen blokları olarak yorumlanan seviyelerin benzer derinliklerde izlenmesi,

bu yüzeylerin gençleşen bir akarsuyun taraçaları olma ihtimalini de düşündürür.

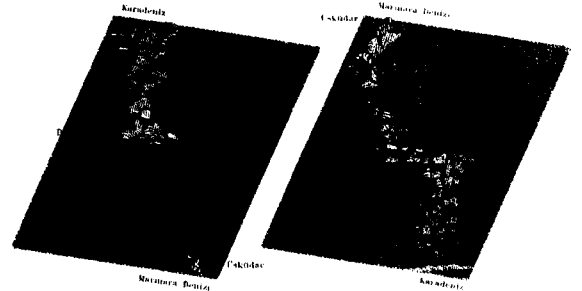


Şekil 4: Sediment kalınlığı haritası.  
Figure 4: Sediment thickness map.

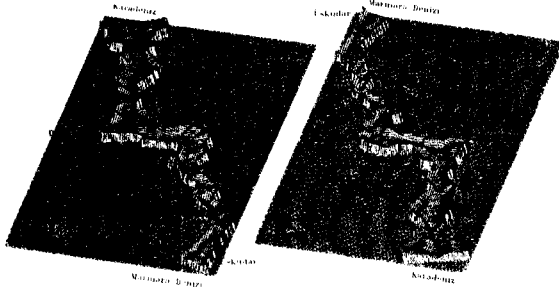
Ayrıca temelde izlenen bu fayların bir kısmının deniz tabanını da etkilediği görülmüş ve bu nedenle Boğaz'ı etkileyen fayların bir bölümünün yakın zamana kadar hareketli olabileceği düşünülmüştür. Ancak bu fikrin kesinleşebilmesi için Boğaz'ın bu kısımlarındaki akıntuların gücünün de iyi hesaplanması gerekir. Bölgede oldukça kalın olarak izlenen genç sedimenter istif, Boğaz akıntısının aşındırma gücünün fazla olmadığını düşündürse de söz konusu akıntuların Boğaz' da yer yer aşındırıcı yer yer ise biriktirici etkisi olduğu düşünülebilir.



Şekil 5: Batimetri haritası.  
Figure 5: Bathymetry map.



Şekil 6: Sediment kalınlığı blok diyagramları. İstanbul boğazı'na (a) Marmara Denizi (b) Karadeniz'den bakış (düşey yönde ölçeksizdir).  
Figure 6: Block diagrams of sediment thickness. Views of the Bosphorus (a) from Sea of Marmara (b) from Blacksea (not to scale)



Şekil 7: Batimetri blok diyagramları. İstanbul boğazı'na (a) Marmara Denizi (b) Karadeniz'den bakış (düşey yönde ölçeksizdir).

Figure 7: Block diagrams of the bathymetry. Views of the Bosphorus (a) from Sea of Marmara (b) from Blacksea (not to scale).

### BOĞAZ YAKIN ÇEVRESİNİN JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Genel olarak bakıldığında, özellikle İstanbul Boğazı'nın batı yakasının kuzeyi ve güneyi arasında morfolojik açıdan bir uyumsuzluk izlenir. Bu yakada daha önce yapılan çalışmalarda da kuzeydeki vadilerin gençlik evresinde güneydekilerin ise olgunluk evresinde olduğu hava fotoğrafları yardımı ile belirlenmiştir (Kurter ve Bener, 1963). Bu durum batı yakasındaki drenaj denetleyen su bölüm hattının kuzeyde bulunması ile desteklenir. Benzer şekilde Boğaz yamaçlarının bir bölümünün dik bir eğimle denize kadar uzandığı, bir bölümünün ise daha düşük bir eğime sahip olduğu gözlenir. Düşük eğimli yamaçlarda izlenen akarsuların, daha geniş tabanlı ve geriye doğru daha uzun vadilere sahip olduğu ve bu nedenle de söz konusu yamaçların göreceli olarak daha yaşlı olması gerektiği düşünülmektedir. Yüksek eğime sahip yamaçlarda akarsuların "V" şekilli olmaları ve geriye doğru aşındırmasını henüz topoğrafik diskordans noktasına dahi ulaştıramamış olmalarından dolayı, bu yamaçların ise göreceli olarak daha genç olması gerekir.

Yamaçlardaki bu farklılık güneyde, Ortaköy, Kabataş, Üsküdar, Yeniköy gibi örneklerde göreceli olarak daha düşük seviyelerden doğan olgun vadilere sahip düşük eğimli yamaçlara karşılık, Büyükdere'nin kuzeyinde deniz kıyısına kadar inen dik yamaçlar ve yüksek irtifalardan doğan dar vadiler ile kendini gösterir. Özellikle Rumeli Kavağı-Karataş Burnu arasında izlenen dik yamaç bu fikri destekleyen tipik bir örnektir. Bu yamaç üzerinde Boğaz'a yaklaşık dik açı ile katıldığı gözlenen 2 küçük akarsuyun denize ulaşmadan 150 m kadar önce bir dirsek yaparak güneye doğru dönmesi, bu dik yamaçın ve Boğaz boyunca izlenen benzer yamaçların bir bölümünün tektonik hareketlerden etkilenmiş olduğunu düşündürür.

Yapılan sismik yorumlamada bu yamaçların Boğaz içerisindeki devamlarını etkilediği düşünülen fayların bir bölümünün batimetriyi şekillendirecek kadar genç olması, bir diğer bölümünün ise sadece temel kayayı

etkileyip genç sedimentler ve deniz tabanında herhangi bir etkisinin görülmemesi, İstanbul Boğazı gelişiminin bir evrede değil birkaç evrede olduğu fikrini gündeme getirir.

Bunun dışında, Kocaeli-Çatalca düzlüğü üzerinde, Trakya ve Anadolu yakalarından İstanbul Boğazı'na doğru gelindiğinde, günümüzde Boğaz'ın bulunduğu alanda yamaçların düşük bir eğimle alçaldığı görülür. Düşük eğimle Boğaz'a doğru alçaldığı görülen bu yüzeyler eğer birleştirilirse, bugünkü İstanbul Boğazı'nın üzerinde eski ve olgun bir akarsu yatağının varlığı görülür. Bu durum, daha önceki çalışmalarda da izlenmiştir (Pamir,1938). Söz konusu yüzeyler, Boğaz'ın bulunduğu alanda bir topoğrafik diskordans ile aniden dikleşerek Boğaz'ın yamaçlarını oluşturur. Bu akarsuyun Pleistosen'deki son buzul döneminde gençleşerek yatağını derinleştirmiş olması gerekir. Ancak Pleistosen'deki son buzul döneminde günümüz deniz seviyesinden ortalama 90-100 m daha alçak olan deniz seviyesi nedeniyle bir akarsu, sismik kesitlerde yer yer 100 m'yi geçen derinliklerde izlenen temeli bu derinliğe kadar kazamaz. Bu nedenle sismik kesitlerde ve çevre morfolojisinde izlenen fayların Boğaz'ın oluşumunda etkili rol oynadıklarını düşünmek gerekir.

### SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda;

- İstanbul Boğazı'nda tek bir akarsuyun hareketine uygun bir temel topografyası izlenmemektedir. Ayrıca bu kadar derin bir temelin Pleistosen'deki son glasiyasyon sırasında kazılamayacağı düşünülmektedir.
- Boğaz'da yer yer 100 m'yi geçen kalınlıktaki sediment istif, bu alanda çökeltme etkisinin, akıntıların aşındırmasına göre daha baskın olduğunun delilidir.
- Boğaz'ın batısında, morfolojide görülen olgunluk farkı, temel üzerindeki genç sedimentlerde de izlenmekte ve güneyde daha kalın olarak belirlenen sedimentler istif, özellikle su bölüm hattının kuzeyinden itibaren incelmektedir.
- Boğaz kıyılarında, yamaçlardaki diklikler deniz tabanında da izlenmiş ve sismik kesitlerde bu yamaçların bir bölümü faylı olarak yorumlanmıştır.

Sonuç olarak bu veriler ışığında Boğaz'ın açılmasında fayların önemli bir rol üstlendiği düşünülmektedir. Bununla birlikte Boğaz yamaçlarında izlenen eski ve olgun bir akarsu vadisinin Pleistosen'deki son buzul döneminde gençleşerek, Boğaz'ın oluşumuna etki etmiş olduğu inkar edilemez. Ancak yer yer 100 m'yi geçen derinliği nedeniyle, temel günümüzdeki seviyesine faylar tarafından indirilmiş olmalıdır. Bu fayların bazı bölgelerde deniz tabanını da etkilemiş olması genç olduklarının bir delili olsa da, akıntı etkisinin de bu şekillenmede bir katkısı olduğu düşünülebilir.

**KATKI BELİRTME**

Bu çalışma TUBİTAK DEBAG-102 No'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sismik kayıtlar, Dz.K.K. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'na (SHOD) bağlı Çubuklu araştırma gemisi ve mesaha botları kullanılarak toplanmıştır. Çalışmalarımızda değerli yardımlarını gördüğümüz Dz.K.K. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı ve gemi personeline teşekkürlerimizi sunarız. Bizden değerli yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Yücel Yılmaz'a ve Prof.Dr. Naci Görür'e teşekkürlerimizi sunarız.

**KAYNAKLAR**

- Alavi, S.N., Oğyar, M. and Timur, K. 1989, Late quaternary sedimentation in the strait of Bosphorus: High resolution seismic profiling, Marine Geology, 89, 185-205.*
- Darkot, B. 1938, İstanbul Boğazı'nın menşei, Coğrafya Ens. Yayını, 62-14, Coğrafi Araştırmalar, 1-15.*
- Erinç, S. 1939, Boğaziçi eşiğinde morfoljik araştırmalar, Yayınlanmamış.*
- Gökaşan, E.1993, İstanbul Boğazı güneyinin (Anadolu-Rumeli Hisarları ile Ortaköy-Kabataş arası) jeolojisi ve jeofiziği, Yayınlanmamış.*

- Gökaşan, E., Demirbağ, E., Oktay, F.Y. ve Doğan, E. 1993, İstanbul Boğazı'nın oluşumu üzerine yeni gözlemler, Türkiye Kuvaterneri workshop bildiri özleri, 63-68.*
- Hochstetter, F. 1870, Die geologischen verhältnisse des östlichenteiles der Europäischen Türkei, Jahrb. K.K. Geol. Reichsanstalt 20, 1. Abt., 365-461.*
- Ketin, İ. ve Kiran, F. 1990, İstanbul Boğazı ve yakın çevresinin jeoloji haritası.*
- Kurter, A. ve Bener, M. 1963, İstanbul ve yakın çevresinin jeolojisine ait ilk not, İst. Üniv. Coğr. Enst. Dergisi, Cilt 7, Sayı 13, 144-158.*
- Oktay, F.Y. and Sakıncı, M. 1991, The late Quaternary tectonics of the İstanbul Graben and the origin of the Bosphorous, EUG. VI, Terra abstracts, Vol. 3, No: 1, Strasbourg, France.*
- Oktay, F.F. ve Sakıncı, M. 1993, Geç Kuvaterner'de İstanbul Boğazı'nın oluşumuna neden olan tektonik hareketler, Türkiye Kuvaterneri workshop bildiri özleri, 69-71.*
- Pamir, H.N. 1938, İstanbul Boğazı'nın teşekkülü meselesi, MT.1. Dergisi, 3-4, 61-69.*
- SHOD, 1977, İstanbul Boğazı sismik kesitleri teknik raporu.*
- Uluğ, A., Özel, E. ve Çiftçi, G.1987, İstanbul Boğazı'nda sismik çalışmalar, Jeofizik bülteni, 1-2, 13 0-144.*
- Yalçınlar, İ. 1949, İstanbul civarı ve Kocaeli yarımadasının jeomorfolojisi hakkında notlar, TJK. Bülteni, 2-1, 134-143.*
- Yılmaz, Y. ve Sakıncı, M. 1990, İstanbul Boğazı'nın jeolojik gelişimi üzerine düşünceler, İstanbul Boğazı güneyi ve Haliç' in Geç Kuvaterner (Holosen) dip tortulları, ed. Meriç, E., 99-106, İTÜ Vakfı yayını.*