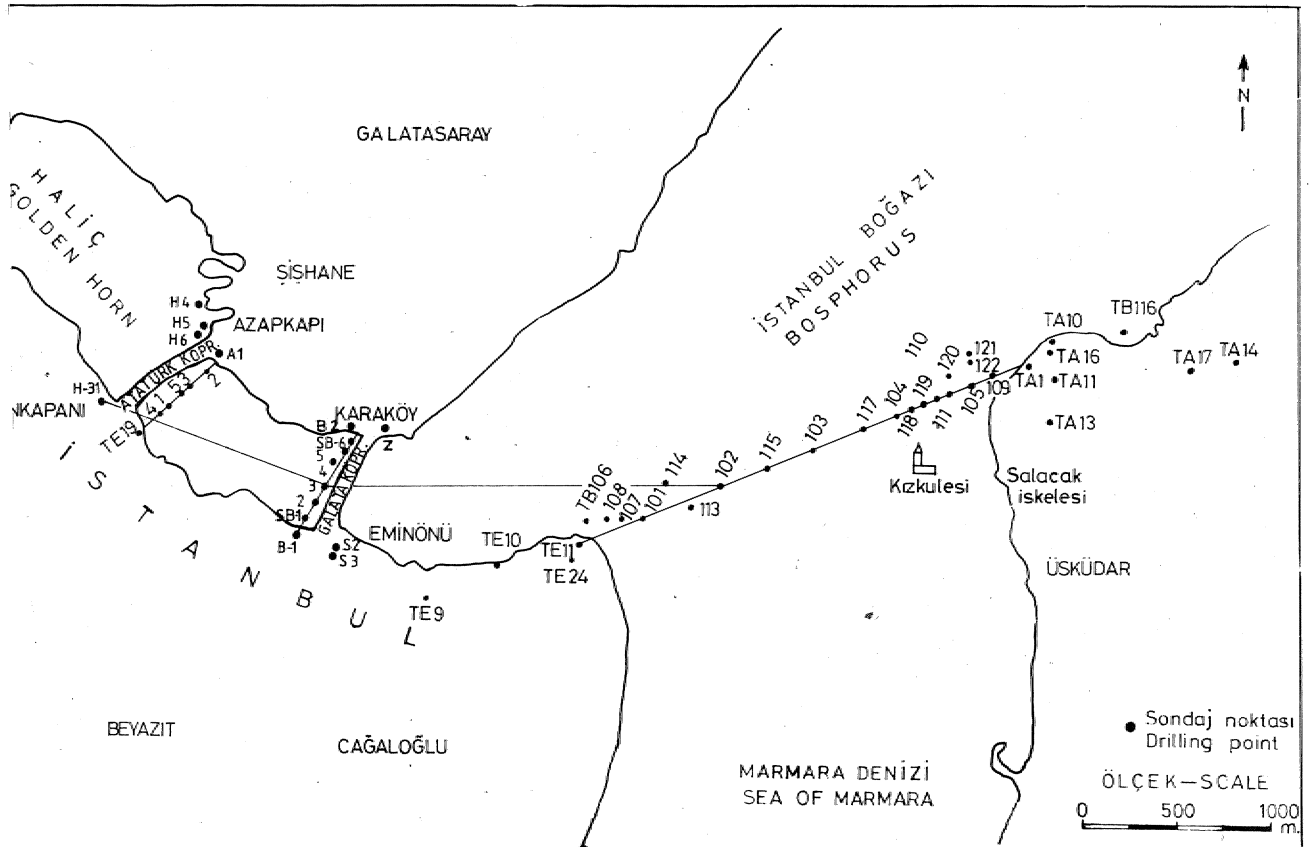


İSTANBUL BOĞAZI GÜNEYİ VE HALIÇ'İN JEOLojİK YAPISI VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Mostafa YILDM M Yıldız Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,, İSTANBUL-
Kolay ÖZAYDIN Yıldız Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL-
Ali ERGUVANLI Evre Mühendislik Ltd., ŞtL, İSTANBUL

ÖZ : İstanbul Boğazı güneyi ve Haliç'te yapılan sondaj verileri,» bölgenin genç tektonik hareketlerin etken olduğu fasa bir' dönemi kapsayan evrede önemli morfolojik değişimlere maruz kaldığını göstermektedir,.. Bu değişim, sürecinde oluşan Holosen dönemi genç çökelleri ise Haliç ve İstanbul Boğazı'nda yaygınca yer almaktadır. Benzer litolojilerden oluşan bu çökeller birbirleriyle yan ve düşey yönde giriktirler. Ancak alttan üste doğru sakin ortamı temsil eden .Haliç' dip çökelleri» Boğazda bilhassa üst seviyelere doğru yüksek, enerji! ortamı belirten birimlerden oluşmaktadır.,

Yörede, deniz dibindeki genç kırık hattın Karaköy ve Saraybor.no açıklarında olmak üzere iki önemli topografik düzensizliğe neden olmuştur. Bunlardan,, Karaköy açıklarındaki muhtemel bir fayın neden olduğu ani kot değişimi, Haliç çökelleriyle İstanbul Boğazı çökellerinin sınırını teşkil etmektedir. Bu fay ile ikinci topografik düzensizliğe neden olan Saraybumu yakınlarından geçen faylar kademeli olarak Haliç'i asılı bir vadi durumuna getirmiş ve Haliç'teki yer alan genç çökellerin, İstanbul Boğazı güneyinde 'daha derin kotlarda yer .almasına neden olmuştur.



Şekil 1 : İnceleme alanının yer bulduru haritası ve sondaj yerleri

GİRİŞ

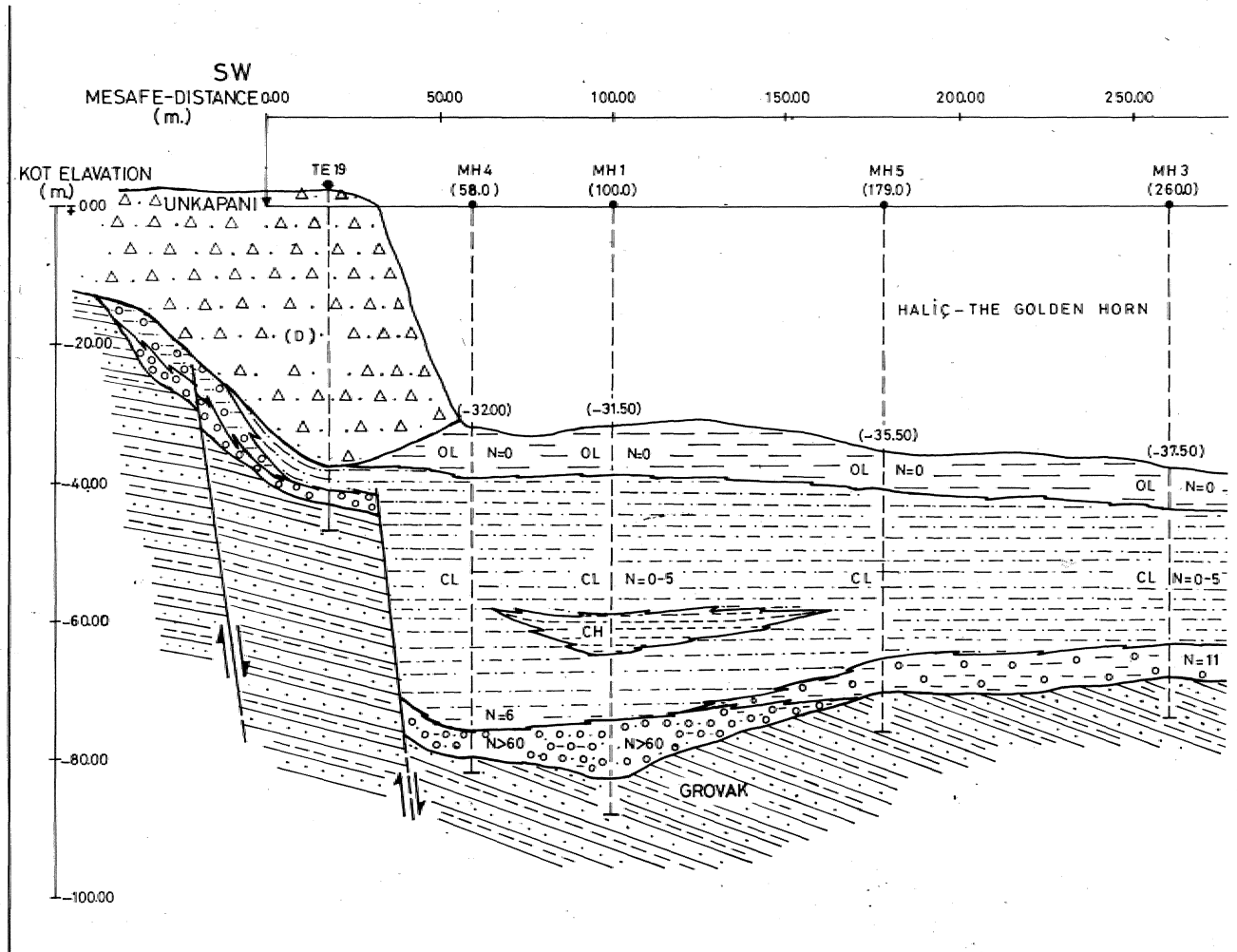
İstanbul Boğazı güneyi ve Haliç'i: jeolojik yapısındaki, belirsizlikler ve geoteknik. sorunları uzun süredir araştırmacı ve uygulamacıların dikkatini çekmiştir. İstanbul Boğazı ve Haliç çevresinde yapılan incelemeler, yakın zamanlara kadar yüzeysel jeoloji araştırmaları ve yapılaşmaya yönelik zemin etüd sondajları (karada) ile sınırlı kalmış ve sahil şeridinin jeolojik ve geoteknik özellikleri hakkında oldukça zengin bir bilgi birikimi sağlanmıştır. Fakat yakın zamanlara kadar yeterli sayı ve derinlikte deniz sondajı yapılmamış olması dolayısıyla, İstanbul Boğazı ve Haliç deniz dibi hakkında yeterli bilgi toplanmamış ve mevcut bilgilerin korelasyonu açık bir şekilde yapılamadığı için, bölgenin jeolojik oluşumu ve yapısı tam olarak açıklanamamıştır.

Son yıllarda bölgede inşa edilen, ve/veya inşası tasarlanan önemli bazı altyapı yatırımları için bir dizi deniz sondajı ve kara sondajları gerçekleştirilmiştir, Boğazın Marmara geçişinde ve Haliç'te yapılan bu sondajlardan elde olunan bulguların korelasyonu sonucu, bölgenin jeolojik oluşumu ve yapısı hakkında önemli

bilgiler elde olunmuştur. Bu makalede, İstanbul Boğazı güneyi ve Haliç'te raslanılan istiflerin tanımlanması, stratigrafinin, ve zemin özelliklerinin ayrıntılı olarak, belirtilmesi ve, jeolojik yapısının yorumlanması amaçlanmıştır.

SONDAJ ÇALIŞMALARI

Bu makalede yapılan değerlendirmelerde, İstanbul'da yapımı tasarlanan. Sarayburnu-Salacak arası Tüp Tünel ve Haliç Metro projeleri için yapılan 29 adet (24 adet Boğaz'da, 5 adet Haliç'te) ve yeni Galata Köprüsü için yapılan 6 adet deniz sondajı ile incelenen bölgedeki, bazı kara sondajı verileri esas alınmıştır. Bu projeler kapsamında yapılan deniz sondajları konumları ve derinlikleri, itibarıyla ilk defa İstanbul Boğazı ve Haliç'in enine stratigrafik kesitlerinin fiziksel sondaj bulguları ile ayrıntılı olarak belirlenmesini mümkün kılmıştır. Sondaj çalışmaları ile ilgili, bilgiler daha önce sunulmuştur. (Sokullu-Sezen, 1986 a ve 1986 b; Toğrol, vd., 1986; Meriç, 1990). İnceleme konusu bölgenin coğrafi durumu ve sondajların konumu şekil l'de gösterilmiştir,



Şekil 2 : Unkapanı-Şişhane arasının Jeoloji Kesiti

İSTANBUL BOĞAZI GÜNEYİ VE HALIÇ'İN STRATİGRAFİK KESİTLERİ VE JEOLJİK OLUŞUMU *

Sondajlarda elde olunan bulgular, alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar zemin ve kaya deneyleri sonuçları ve örnekler üzerinde daha ileri tarihlerde (Meriç 1990) yapılan sedimantolojik ve paleontolojik inceleme sonuçları ile birlikte değerlendirilerek, İstanbul Boğazı ve Haliç'in stratigrafik kesitleri çıkarılmış ve oluşumu hakkındaki düşüncelere açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

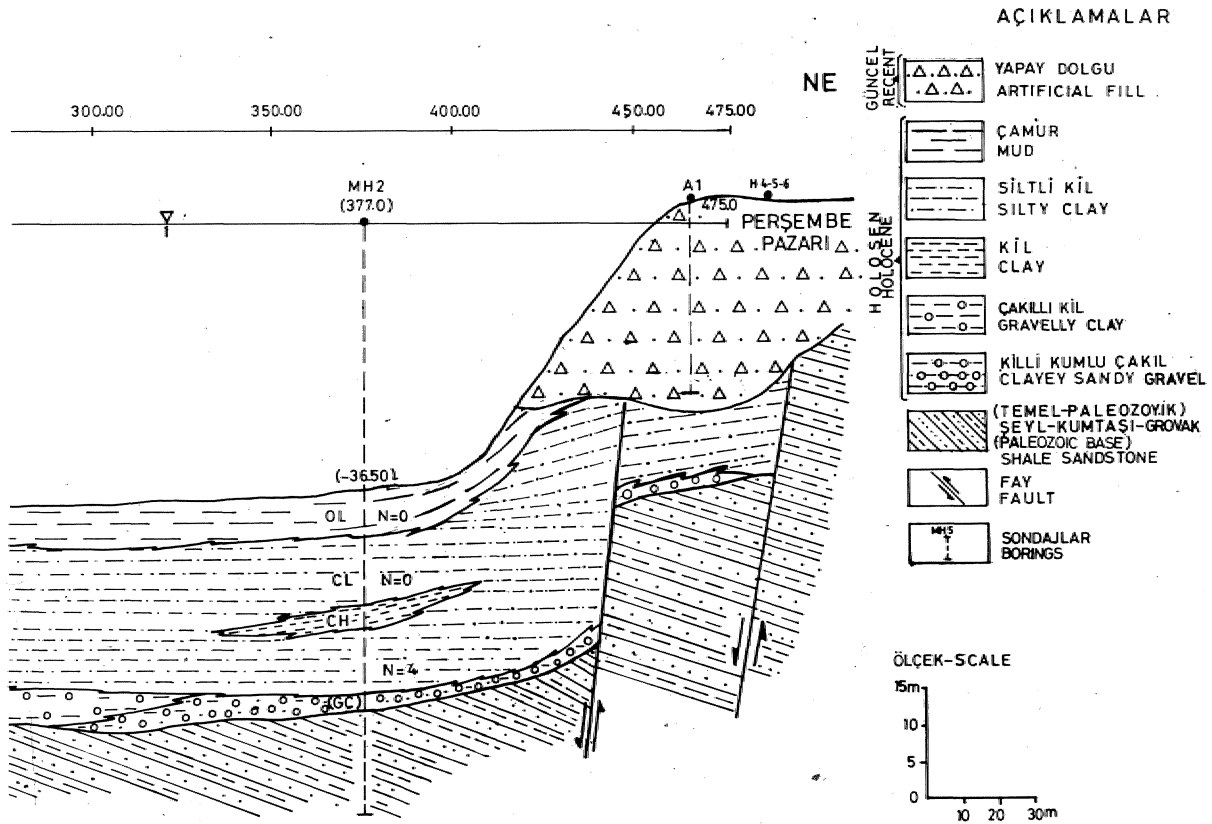
Haliç çökelleri

Sondaj verileri, Haliç'te Unkapanı-Şişhane ve Eminönü-Karaköy yakalan arasında iki ayrı birime raslanıldığını göstermektedir. Bunlardan ilki altta temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı Trakya Formasyonu, ikincisi ise ta. temeli uyumsuz olarak örten geoç (Holosen) Haliç sökelleridir.

Unkapanı - Şişhane arası -

Sondajlarda» deniz dibi zemin kotundan itibaren 30.0

m ile 51.0 m derinliklerde raslanılan Trakya Formasyonu» gri renkli çatlaklı, çatlak aralan kil dolgulu,, komtaşı-siltli-kiltaşı ardalanınasından oluşmaktadır. Bu temel üzerinde, Haliç çökellerinin tabanını oluşturan» gri renkli» kumlu killi çakıl düzeyi yeralmaktadır. Trakya Formasyonundan aktamlan ve karasal nitelikteki kumtaşı ve silttaşı çakıllarından oluşan bu tabam, litolojilerinin kalınlıktan 2.0 - 8.5 m arasında değişmektedir. Tüm sondajlarda kesilen, bu seviyelerin yaygın olduğu ve kendi içinde iki ayrı seviyeden oluştuğu» alt kesimlerinin daha bol çakıllı, sıkı yerleşimde, killi çakıl, üst kesimlerinin ise çakıllı siltli kil niteliği gösterdiği gözlenmektedir., Haliç dip tortulları bazen gri renkli yer yer kavkılı» bitki artıklı, yumuşak - orta katı kıvamda siltli kilerle de başlamakta, ve sıkı çakıllar ile girik olabilmektedir, istif üste doğru koyu gri renkli, yumuşak, kavkılı siltli kile geçmekte» en üst seviyede de siyah, renkli pis kokulu,, çok yumuşak, organik muhtevası yüksek güncel çamur tabakası yeralmaktadır. Geoç Haliç çökelleri bu özellikleri ile deniz dibi zemin kotundan itibaren çok yumuşak. - orta-katı kıvamlara geçen killi zeminlerden oluşmaktadır. Sondaj verilerinin ayrıntılı incelenmesi sonucu elde olunan Unkapanı - Şişhane stratigrafik kesiti Şekil 2'de gösterilmiştir.,



Eminönü - Karaköy arası

Eminönü ve Karaköy arasında yeni Galata Köprüsü ekseninde yapılan, sondajların, tümünde ana kayayı oluşturan Trakya formasyonunun şeyl-kumtaşı (grovak) litolojilerine Skadar imi.lini.stir. Kumtaşları, ince-orta-iri taneli, mikalı ve ince klasit bantlı olup 1st kesimleri bol çatlaklı ve kısmen ayrılmıştır. Kumtaşları yer yer yanal yönde devamsız kireçtaşı merceklerini de içemektedir.

Keratasının üstü doğru giderek şeyi istifine geçtiği SB-1-2-3 sondaj verilerinden anlaşılmaktadır. Kalınlığı 10-15 metreye kadar ulaşabilen şeyi istifi bol çatlaklı, allere ya da çok altesedir.

* Kıyı sondajlarında gözlenen, ani litolojik ve morfolojik değişikliklerin nedeni olan faylar bu kesimlerde Trakya formasyonunu üst seviyelere çıkartmıştır. Eminönü-Karaköy arasında Trakya, formasyonu üzerinde yer alan Haliç çökelleri, Unkapanı-Persein.be Pazarı arasında gözlenen birimlerle aynı özelliktedir. Ancak 1st seviyelerde, çamurlarla girik ve kalınlığı yaklaşık 12 m ulaşabilen kavkılı kum-çakıllı kimli kavkılı çamurlar görülmektedir. Bu çamurlar İstanbul Boğazı'na doğru ortam enerjinin artması sonucu yerini killi-siltli kumla-

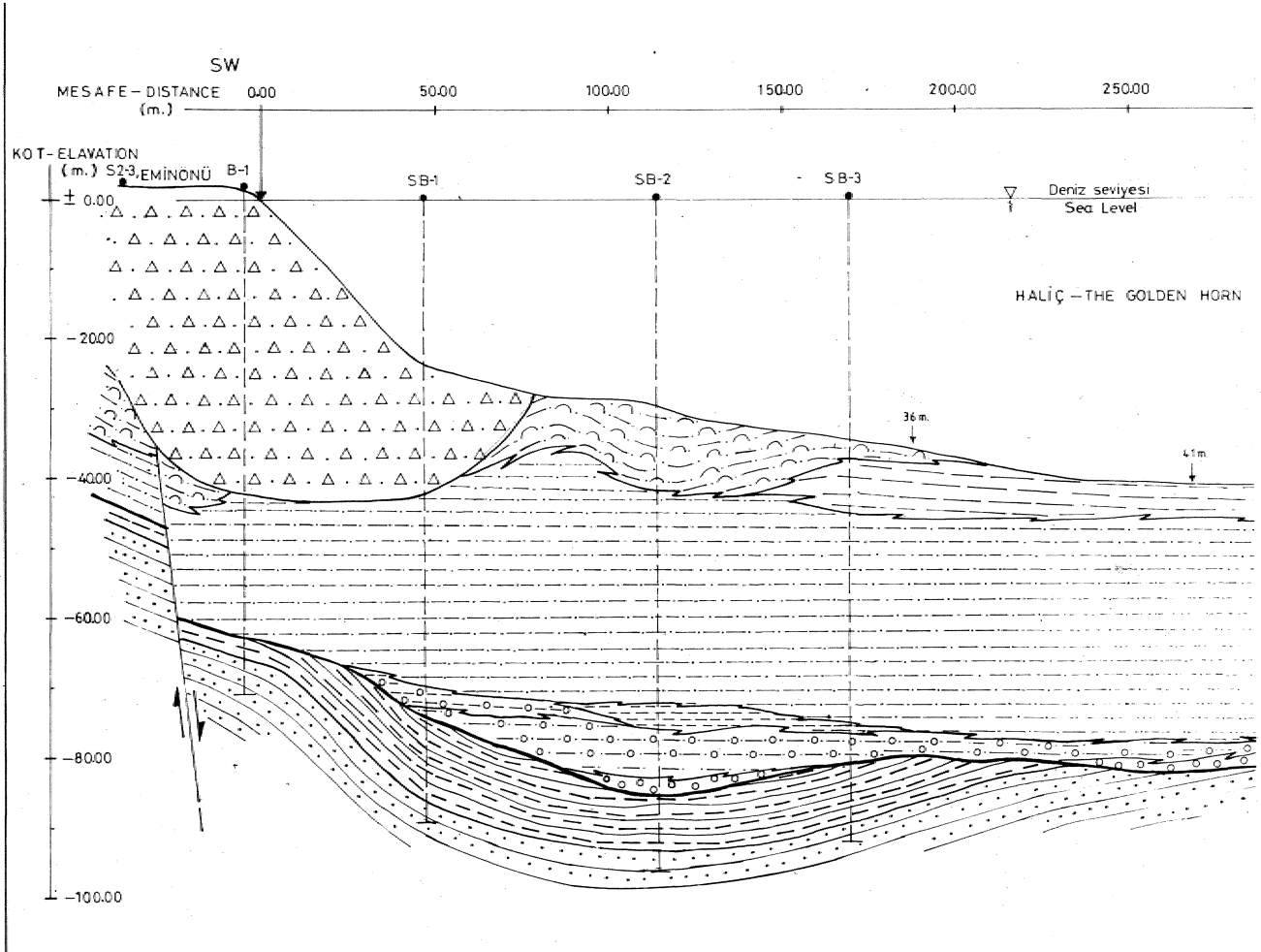
ra, bırakmaktadır. Sondaj verilerinden elde olunan Eminönü-Karaköy stratigrafik kesiti Şekil 3'de gösterilmiştir.

Haliç çökellerinin tabanındaki killi kumlu çakıl istifiindeki çakıllano, üzerinde oturduğu Trakya Formasyonu grovaklarından kaynaklandığı gözlenmekte, gerek grovak çakılları- gerekse: karadan taşınmayı gösteren bol bitki kütükleri içermesi, Haliç çökelleri tobanının karasal nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu çakıllı düzeylerin yanal, devamını oluşturan ve Karaköy'de açılan A-7 deniz sondajında» zemin -kotundan 38.70 m derinlikte raslanılan çamurlu çakıllar arasındaki kumlu çamur mercekleri içinde gözlenen moUusk kavkılanın yaşının» Elektron Spin Rezonans yöntemi ile 7400 ± 1300 yıl olduğu belirlenmiştir (Meriç 1990; Göksu, vd., 1990).

Haliç çökellerinin tabanını oluşturan, bol ve az çakıllı düzeyler izerinde yer alan siltli kil ve kil düzeyleri, çökeltme ortamının gittikçe düşük enerjili bir ortama geçtiğini göstermektedir.

İstanbul Boğazı çökelleri

İstanbul Boğazı Mamam Denizi geçişi bölgede temeli Paleozoyik (Karbonifer) yaşlı Trakya formasyonu



Şekil 3 : Eminönü-Karaköy arasının Jeoloji Kesiti

zemin ve kaya örnekleri üzerinde zemin ve kaya. formasyonlarının geomekanik özelliklerini belirlemek amacı ile bir seri laboratuvar deneyleri, yapılmış, ayrıca sondajlar sırasında zemin tabakaları içinde periyodik atalıklarla Standard Penetrasyon Deneyleri (SPT) uygulanmıştır. Bu örnekler üzerinde yapılan sedimentolojik ve paleontolojik inceleme sonuçları (Meriç, 1990) değaiendimel0rde dikkate alınmakla birlikte burada tekrarlanmamıştır.

İstanbul Boęan çekelleri:

Boğaz'da deniz; tabanından itibaren genç. çekellerin en üst seviyeleri gri. renkli, kavkı parçalan içeren,, kötü derecelenmiş kum (SP) ve siltli killi kumlardan (SM/SC) oluşmaktadır, Sarayburnu'ndan yaklaşık 700 m açıklara kadar olan kesimde, bu tabakanın deniz tabanından itibaren 10-20 m kalınlıkta olduğu ve SPT darbe sayılarının

$$N = 0 - 2'$$

arasında, değiştiiği, dolayısıyla çok gevşek bir yerleşime sahip olduğu gözlenmektedir.

Laboratuvar deney sonuçlarına göre,, bu kesimde graoilonetrik özellikleri

Kum	:	% 52 - % 80
sat/Kil	:	% 20 - % 48

.arasında değişen, bu. çekellerin altında, kalınlığı 4-30 m. .arasında değişen,, gri renkli, çok. yumuşak kıvamda» bir kumlu siltli Ml "(CL) tabakası yer almaktadır. Bu tabaka içinde yapılan SPT deneylerinde ve alınan örnekler

özerinde yapılan laboratuvar deneylerinde aşığıdaki değerler elde edilmiştir.

SPT Darbe Sayısı,	N	=	-0-3
Granülometri,	Kum	:	%25
	SUt/Kil	:	%75
Tabii Su Muhtevası,	Wn	:	% 40 - % 50
Likit Limit,	WL	:	% 35 - % 40
Plastik Limit,	Wp	":	%20-%25

Boğaz'ın orta kesimlerinde yapılan sondajlar, deniz tabanından itibaren, başlayan kötü derecelenmiş kum (SP) ve siltli killi kum (SM/SC) çekelleri. içinde bitini- mistir. Bu kesimlerde yapılan SPT deneylerinde, darbe sayılarının genetikle

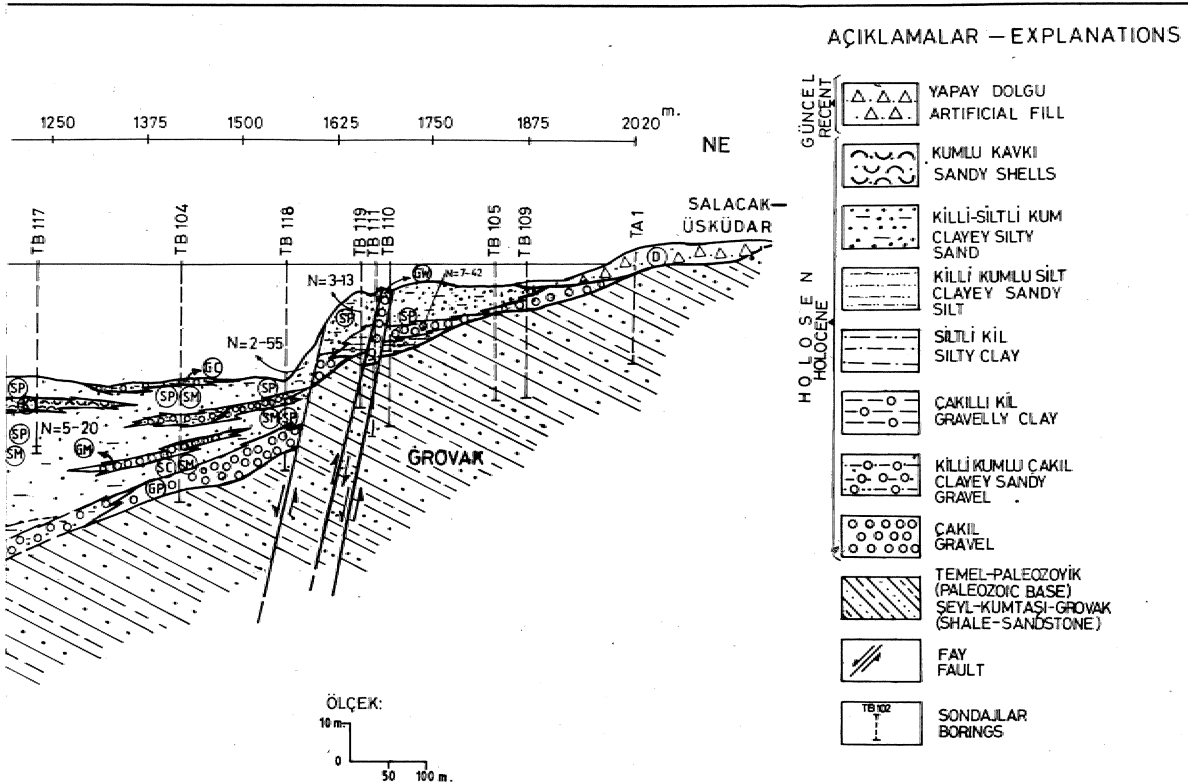
$$N = 5 - 30$$

.arasında değiştiiği ve bu çekellerin gevşek-orta sıkı bir yerleşime sahip olduğu, laboratuvar deney sonuçlarına. göre granülometrik özelliklerinin ise

Çakıl	:	% 0 - % 10
Kum	:	%77»%97
Süt/Kil	:	%2-%23

arasında değiştiiği belirlenmiştir.

Boğaz'ın Anadolu (Salacak) sahillerine yakın, kesimlerinde, deniz tabanından, itibaren yer alan genç çekellerin dala karmaşık bir tabakalaşma gösterdiği ve kötü. derecelenmiş kem. (SP) ve siltli killi kum (SM/SC) tabakaları ile killi çakıl (GC) serilerinin girik olduğu gözlenmektedir. Bu kesimde .açılan, çok sayıda, sondajlar da yapılan deneylerde SPT darbe sayılarının



$$N = 3-55$$

Ia.borati.ar deney sonuçlarına göre ganülometrik özelliklerinin ise

Çakıl	:	% 3 - % 34
Kum	:	% 55 - % 82
Silt/Kii	:	% 9 - % 20

• değerleri, arasında değiştiği saptanmıştır.

Boğaz'da deniz tabanından itibaren yaralan, genç çökel istifinin en. alt seviyelerini, kalınlığının 2-10 m .arasında değiştiği, düşünülen Mili çakıl düzeyi oluşturmaktadır. Bunun .altında ise bölgede temeli olgıtoran Trakya Formasyonu grovaldan yeralmaktadır. Bu formasyondan alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarına, göre, Boğaz'da temeli oluşturan grovakkın üst seviyelerinin geomekanik özelliklerinin aşağıdaki değerler arasında, değiştiği saptanmıştır.

Birim Hacim Ağırlık	y	=	2.65 - 2.79 g/cm ³
Porozite,	n	=	% 0.48 - % 2.85
Ağırlıkça Su. Emme,		=	% 0.28 - % 1.67
Hacimce Su Emme,		=	% 0.66 - % 3.21
Tek Eksenli Basınç Direnci, σ_c		=	170 kg/cm ² - 970 kg/cm ²
Tanjant Elastisite Modülü, E		=	0.8 - 2.9 x 10 ⁵ kg/cm ²
Dinamik Elastisite Modülü» E		=	2.06 - 5.0 x 10 ⁵ kg/cm ²

Haliç çekelleri

Haliç'te deniz tabanında siyah, renkli, organik muhtevası yüksek» çok yumuşak, kıvamda bir güncel çamur .tabakası (OL) yeralmaktadır. Kalınlığı 5-7 m .arasında

değişen bu tabakanın altında kalınlığı 20-36 m arasında değişen ve Haliç Kili olarak bilinen, koyu gû renkli, yer yer kavkı parçalan ve bitki artıkları içeren, yumuşak orta katı kıvamda bir siltli kil (CL/CH) tabakası yeralmaktadır. Laboratuvar deney sonuçlarına göre kıvam limitlerinin

W_n	=	% 45 - % 55
WL	=	% 37 - % 62
W_p	=	% 23 - % 30

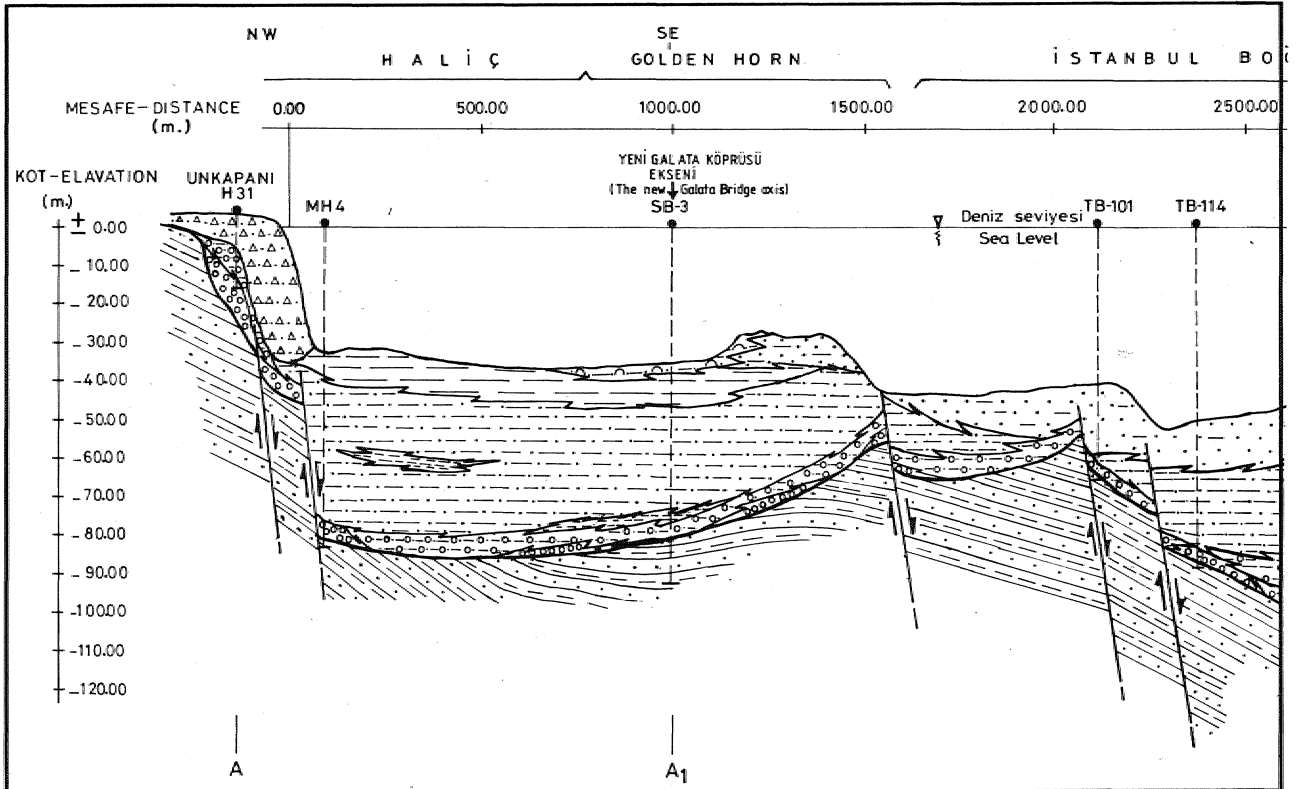
arasında değişen bu tabakadan, alınan örnekler üzerinde yapılan üç eksenli basınç, laboratuvar ve konsolidasyon deneylerinde geoteknik özelliklerin aşağıdaki aralıklar içinde değiştiği saptanmıştır.

Drenaj sız kayma mukavemeti, $C_u = 0.2 - 0.5$ kg/cm²,

Hacimsel, sıkışma modülü, $M_c = 20 - 60$ kg/cm²

Genç Haliç çökellerinin tabanında, kalınlığı 2:0 - 8.5 m .arasında değişen, gri renkli, kumlu killi çakıl düzeyi yeralmaktadır. Deniz dibi, zemin kotundan. 30.0 m ila 51.0 m derinliklerde ise, bölgenin, temelini oluşturan Trakya Formasyonu Grovaldan bulunmaktadır,.

Genç Haliç Çökelleri içinde en kalın tabakayı oluşturan ve Haliç Kili olarak bilinen kil tabakası üzerinde, Haliç civarındaki yapılaşma ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Halen, inşa halinde olan Yeni Galata Köprüsü için açılan zemin etüd sondajlarından alınan örnekler üzerinde yapılan çok. sayıda laboratuvar' deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi sonucu (Toğrul, vd., 1990) aşağıdaki ortalama geoteknik. özellikler elde olunmuştur,.



Şekil 5 : Unkapanı-Üsküdar arasında yer alan birimlerin yapısal ilişkilerini gösterir Jeolojik Kesit

Tabii Birim Hacim. Ağırlık, $j_n = 168 \text{ Mg/m}^3 (\pm 0.02)$

Tabii Su Muhtevası, $W_n = \% 49 (\pm \% 6)$

Likit Limit, $W = \% 64 (\pm \% 8)$

Plastik Limit, $W_p = \% 28 (\pm \% 3)$

Sıkışma İndisi,, $C_c = \% 0.49 (\pm 0.03)$

Sekonder Sıkışma İndisi, $C_x = 0.014 (\pm 0.001)$

Haliç çökellerinin, üst seviyelerinin, kirlilik, derecesi, ve jeoteknik özelliklerinin araştırıldığı, bir diğer çalışmada (Kumbasar ve Özyayın, 1985> Haliç tabanından alınan sulu. çamur örneklerinin % 9 - % 3,2 arasında organik madde ve yoğun kirlilik içerdiği» bu örneklerin laboratuvar ortamında konsolidasyon sonucu elde olunan blok numuneler üzerinde yapılan deneylerde» drenaj sız kohezyon değerinin konsolidasyon basıncına oranının plastisi. te indisi ile lineer olarak değiştiği., ortalama değerinin ise, $(C_u/p) = 0.23$ olduğu belirlenmiştir., Aynı numuneler üzerinde yapılan, sulu. çamur konsolidasyon deneylerinde, ise» sıkışma Misinin 1.0 civarında olduğu gözlenmiştir.

SONUÇLAR

Istanbul Boğazı ve Haliç'in jeolojik oluşumunu henüz tam olarak açıklamak mümkün olmamakla, birlikte,, yakın, geçmişte açılan bir seri deniz, sondajı konuya ışık tutan veriler sağlanmasına yardımcı olmuştur. Sondaj bulgularından yararlanılarak çıkarılan stratigrafik kesitlerin yalandan incelenmesi ve boğazın kıyı şeridinde temeli oluşturan, grovaklar ile birlikte genç çökellerde de gözlenen ani seviye değişiklikleri» bölgede genç tektoniğin, etkili olduğunu düşündürmektedir. Haliç ve istanbul Boğazı, güneyinde açılan, sondajlarda elde olunan

bulguların stratigrafik korelasyonu (Şekil 5) lölgenin jeolojik oluşumunda etkili olmuş fayların konumlarını ve bunların deniz gibi topografyasında yol açtığı düzensizlikleri göstermektedir. Haliç çökelleri, tabanının karasal nitelikte: olması ve bunların Elektron Spin Resonans Yöntemi ile belirlenen yaşları, Haliç'in çok genç bir evrede oluştuğuna ve bugünkü morfolojik konumuna ulaştığına işaret etmektedir.

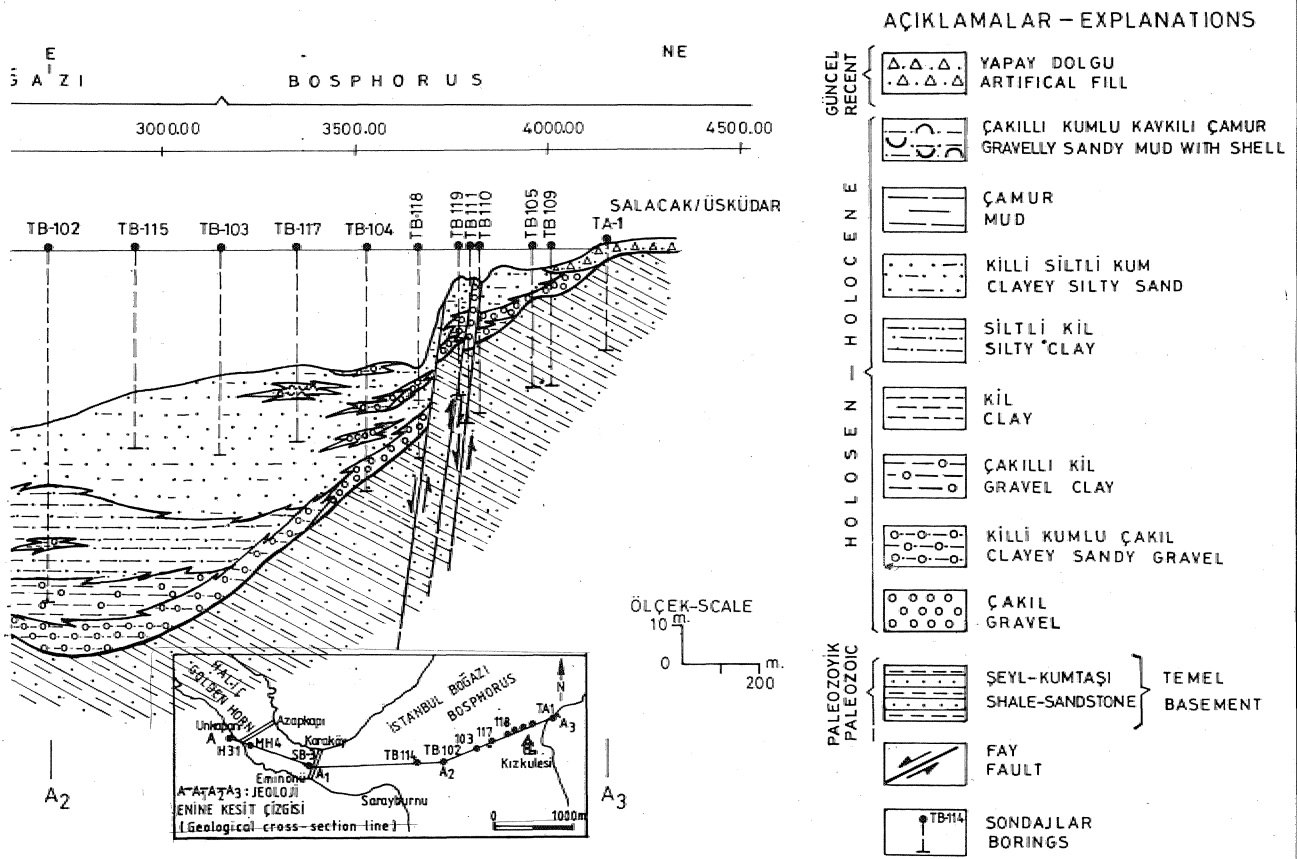
Haliç ve civarının, bugünkü konumuna ulaşmadan, önce' bir akarsu vadisi niteliğinde olduğu., bölgenin yükselmesi ve fayların Haliç'in aslı bir' vadi konumuna, getirdiği anlaşılmaktadır.,

Boğaz'da Trakya Formasyonu üzerinde yer alan ve genellikle kötü derecelenmiş kum ve siltli killi kum karakterinde olan genç çökellerde, yanal ve düşey fasiyeslerin sık sık değiştiği ve zemin özelliklerinin değişkenlik gösterdiği gözlenmektedir. Daha sakin bir ortamda çökelen genç Haliç tortullarının ise deniz tabanından, alt. seviyelere doğru düzenli olarak kıvamının arttığı ve kendi ağırlığı altında sıkışan normal konsolide bir kil davranışı gösterdiği bilinmektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 17. Bölge Müdürlüğü, 1990, Yeni Galata Köprüsü ile- Eminönü ve -Karaköy Meydanları Yapımı : Teknik Broşür.

Eroskay, O, ve Kale» S» 1986., İstanbul Boğazı Tüp Geçiş Güzergahında Jeoteknik Bulgular : Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bük., 8, 2-7.



Göksu, Y.H., Özer, M.A. ve Çetin,, O^l., 1990, Mollusk Kavkılarının Elektron Spin Resonans (ESR) Yöntemi ile Tarihlendirilmesi, İstanbul Boğazı Güneyi ve Halic'in Genç Kuvartemer (Holosen) Dip Tortulan; İTÜ Vakfı, İstanbul.

Kimbasar, V. ve Özaydın, K» 1985» Consolidation Characteristics of Polluted Sea. Bottom Sediments. : Eleventh Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., San Francisco^, USA., 3» 1159 - 1162.

Meriç, E.,, Sakıncı, M. ve Eroskay, O., 1988, İstanbul Boğazı ve Haliç Çökellerinin Evrim Modeli. : Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 10; 1045.

Meriç» E., 1990, Editör - İstanbul Boğazı Güneyi ve Halic'in Genç Kuvartemer- (Holosen) Dip Tortulları. : İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, Teşvikiye» İstanbul.

Sokullu - Sezen Denizdibi İşleri ve Taahhüt A.Ş.»

1986 a, IRTC İstanbul Tıp --Tünel Projesi Sondaj Değerlendirme Raporu.,

Sokullu - Sezen Denizdibi İşleri ve Taahhüt A.Ş., 1986 b, IRTC İstanbul Metro Projesi Haliç Sondajlan Değerlendirme Raporu.

Toğrol, E.» Güler,, E., Özüdoğru, K., Ersoy, T. ve Aksoy, I.H., 1986, Halic'in Geoteknik Sorunları ve Çözüm Yolları : Boğaziçi Üniversitesi, Teknik Rapor.

Toğrol, E., Aksoy, I.H. ve Tan, O., 1990,, İstanbul Galata Köprüsü Civarındaki Yapıların Oturmalarına Ait Örnekler¹ : Zemin Mek. ve Temel Müh. Üçüncü Ulusal Kongresi,, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul» 1, 147-170«.

Yılmaz, Y. ve Sakıncı, M., 1990,, İstanbul Boğazının Jeolojik Gelişimi Üzerine Düşünceler, İstanbul Boğazı Güneyi ve Halic'in Genç Kuvartemer (Holosen) Dip Tortulları : İ.Ü. Vakfı,, İstanbul.