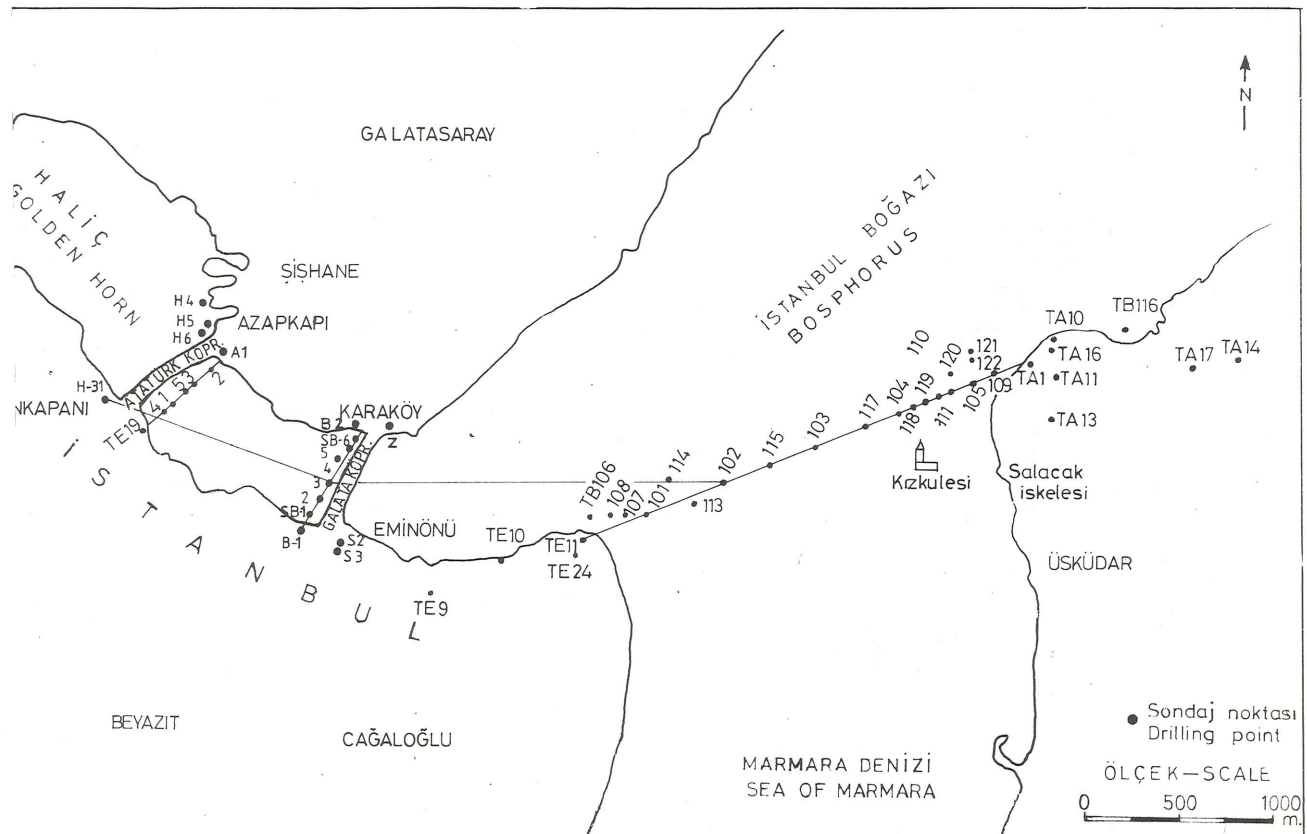


İSTANBUL BOĞAZI GÜNEYİ VE HALIÇ'IN JEOLojİK YAPISI VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Mustafa YILDIRIM Yıldız Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
Kutay ÖZAYDIN Yıldız Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
Ali ERGUVANLI Evre Mühendislik Ltd. Şti., İSTANBUL

ÖZ : İstanbul Boğazı güneyi ve Haliç'te yapılan sondaj verileri, bölgenin genç tektonik hareketlerin etken olduğu kısa 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 yanal ve düşey yönde giriktirler. Ancak alttan üste doğru sakin ortamı temsil eden Haliç dip çökelleri, Boğazda bilhassa üst seviyelere doğru yüksek enerjili ortamı belirten birimlerden oluşmaktadır.

Yörede deniz dibindeki genç kırık hatları Karaköy ve Sarayburnu 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 Sarayburnu 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

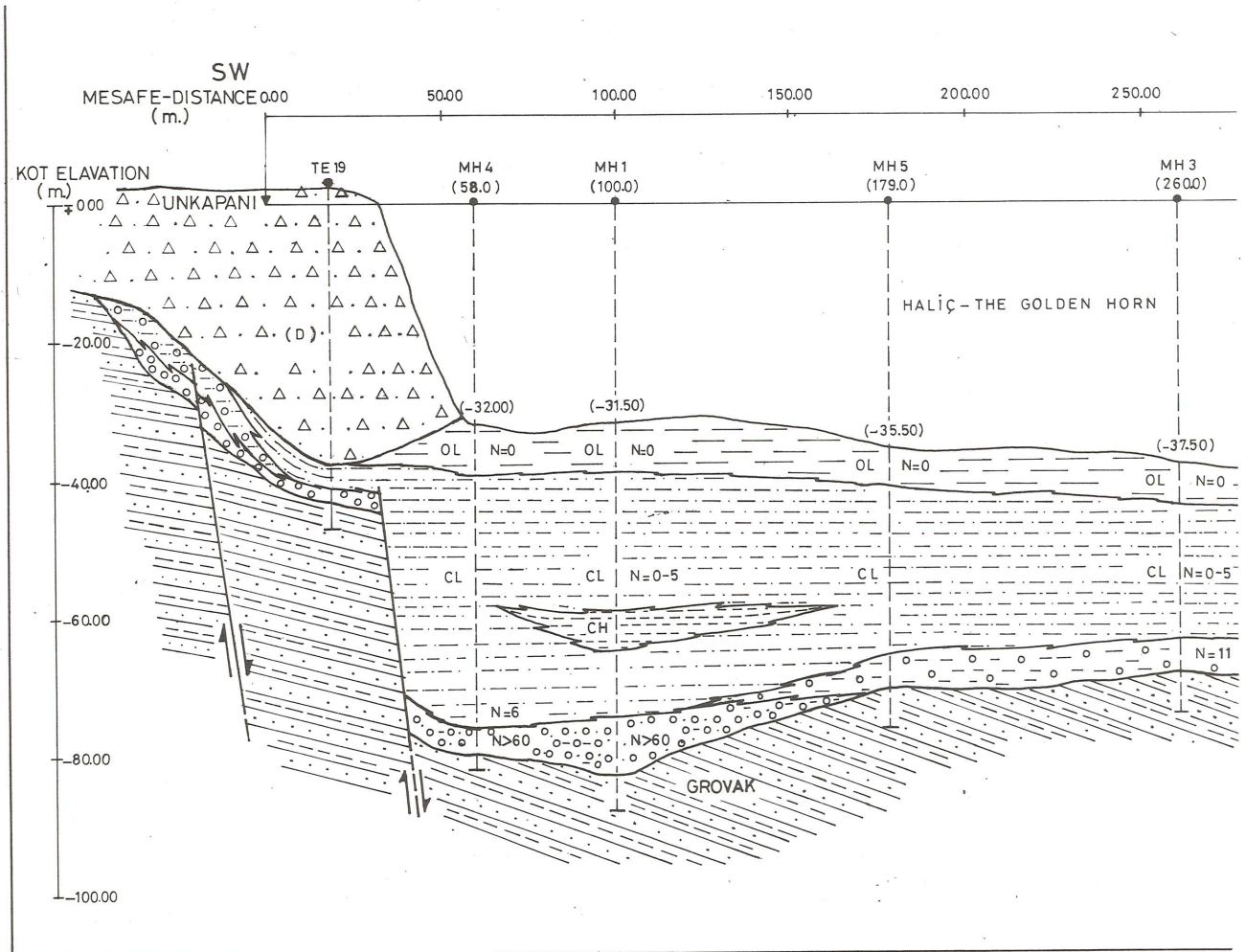
İstanbul Boğazı güneyi ve Haliç'in jeolojik yapısındaki belirsizlikler ve geoteknik sorunları uzun süredir araştırmacı ve uygulamacıların dikkatini çekmiştir. İstanbul Boğazı ve Haliç çevresinde yapılan incelemeler, yakın zamanlara kadar yüzeysel jeoloji araştırmaları ve yapılaşmaya yönelik zemin etüd 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 1'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 sedimentolojik ve paleontolojik inceleme sonuçları ile birlikte değerlendirilerek, İstanbul Boğazı ve Haliç'in stratigrafik kesitleri çıkarılmış ve oluşumu hakkındaki düşüncelere açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

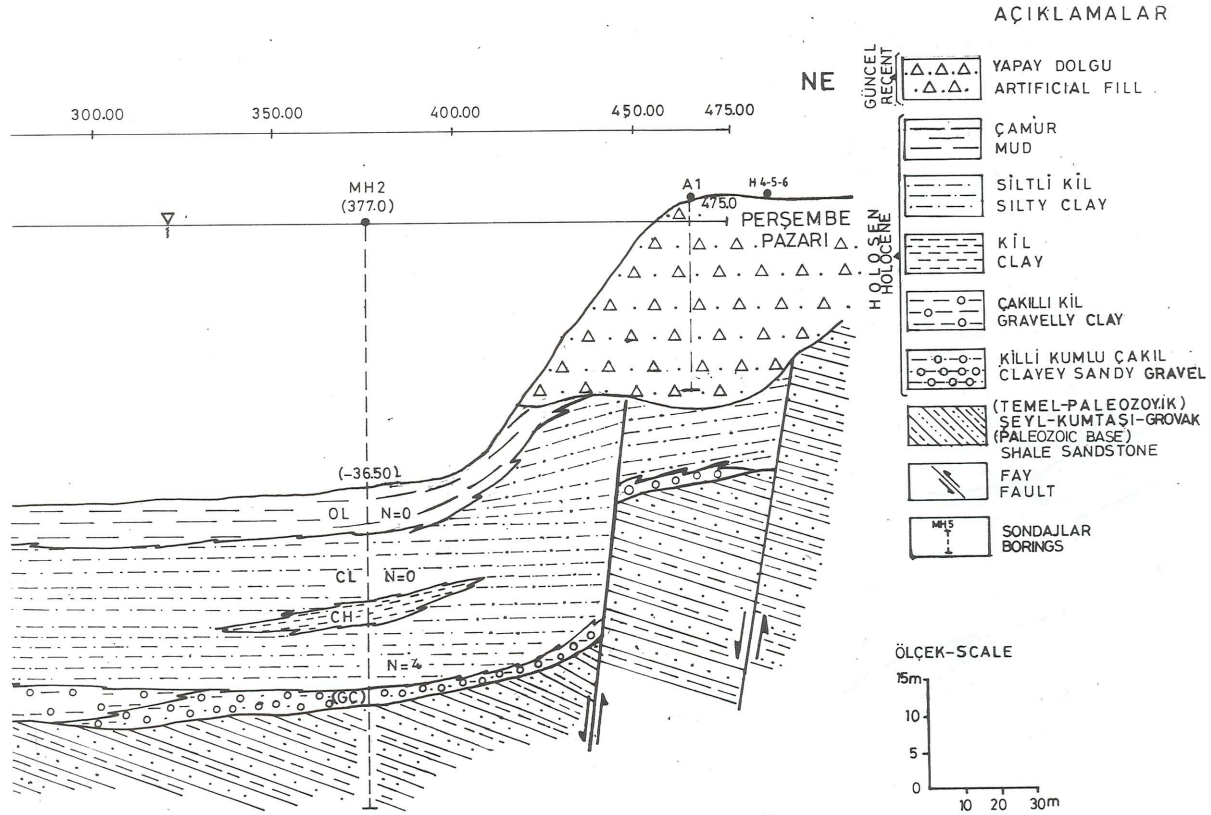
Haliç çökelleri

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

Unkapanı - Şişhane arası

Sondajlarda, deniz dibi zemin kotundan itibaren 30.0

m ila 51.0 m derinliklerde raslanılan Trakya Formasyonu, gri renkli çatlaklı, çatlak araları kil dolgulu, kumtaşı-siltli-kiltaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Bu temel üzerinde, Haliç çökellerinin tabanını oluşturan, gri renkli, kumlu killi çakıl düzeyi yer almaktadır. Trakya Formasyonundan aktarılan ve karasal nitelikteki kumtaşı ve silttaşı çakıllarından oluşan bu taban litolojilerinin kalınlıkları 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 killerle de başlamakta ve sıkı çakıllar ile girik olabilmektedir. İstif üstü 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 yer almaktadır. Genç 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 kadar inilmiştir. Kumtaşları, ince-orta-iri taneli, mikalı ve ince klasit bantlı olup üst kesimleri bol çatlaklı ve kısmen ayrışmıştır. Kumtaşları yer yer, yanal yönde devamsız, kireçtaşı merceklerini de içermektedir.

Kumtaşının üste doğru giderek şeyl istifine geçtiği SB-1-2-3 sondaj verilerinden anlaşılmaktadır. Kalınlığı 10-15 metreye kadar ulaşabilen şeyl istifli bol çatlaklı, altere ya da çok alteredir.

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-Perşembe Pazarı arasında gözlenen birimlerle aynı özelliktedir. Ancak üst seviyelerde, çamurlarla girik ve kalınlığı yaklaşık 12 m ulaşabilen kavkılı kum-çakıllı kumlu kavkılı çamurlar görülmektedir. Bu çamurlar İstanbul Boğazı'na doğru ortam enerjinin artması sonucu yerini killi-siltli kumla-

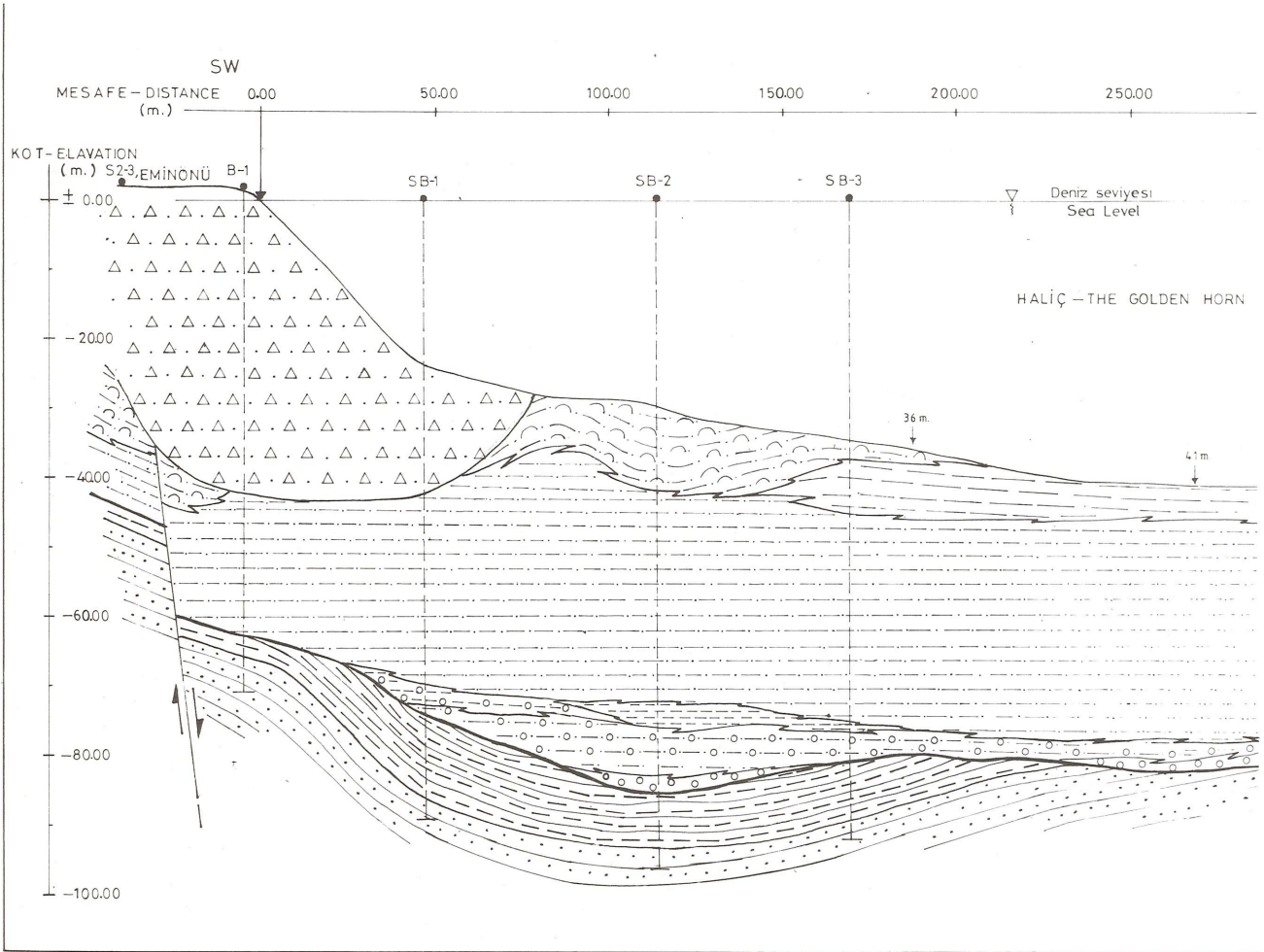
ra bırakmaktadır. Sondaj verilerinden elde olunan Eminönü-Karaköy stratigrafik kesiti Şekil 3'de gösterilmiştir.

Haliç çökellerinin tabanındaki killi kumlu çakıl istifindeki çakılların, üzerinde oturduğu Trakya Formasyonu grovaklarından kaynaklandığı gözlenmekte, gerek grovak çakılları gerekse karadan taşınmayı gösteren bol bitki kırıntıları içermesi, Haliç çökelleri tabanının 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 mollusk kavkılarının 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 üzerinde yeralan siltli kil ve kil düzeyleri, çökme ortamının gittikçe düşük enerjili bir ortama geçtiğini göstermektedir.

İstanbul Boğazı çökelleri

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



Şekil 3 : Eminönü-Karaköy arasındaki Jeoloji Kesiti

oluşturmaktadır. Bunun üzerinde genç (Holosen) dip tortuları yer almaktadır. Temeli oluşturan ve kesiksiz izlenen Trakya formasyonu grovackları Sarayburnu sahil yakasında sondaj verilerine göre en altta kahverenkli kumtaşlarından oluşmaktadır. Bu kumtaşları çatlaklı olup, çatlak araları kalsit ve kil dolguludur. İstif üstü doğru grimsi kahverenkli kiltası-silttaşı araldanması ile devam etmektedir. Trakya formasyonunun üst seviyelerini oluşturan 3-5 metrelik bir zon kısmen ayrılmış olup geçiş kayacı özelliğindedir. Yer yer raslanılan bu zon daha çok birimin kil içerikli seviyelerine karşılık gelmektedir.

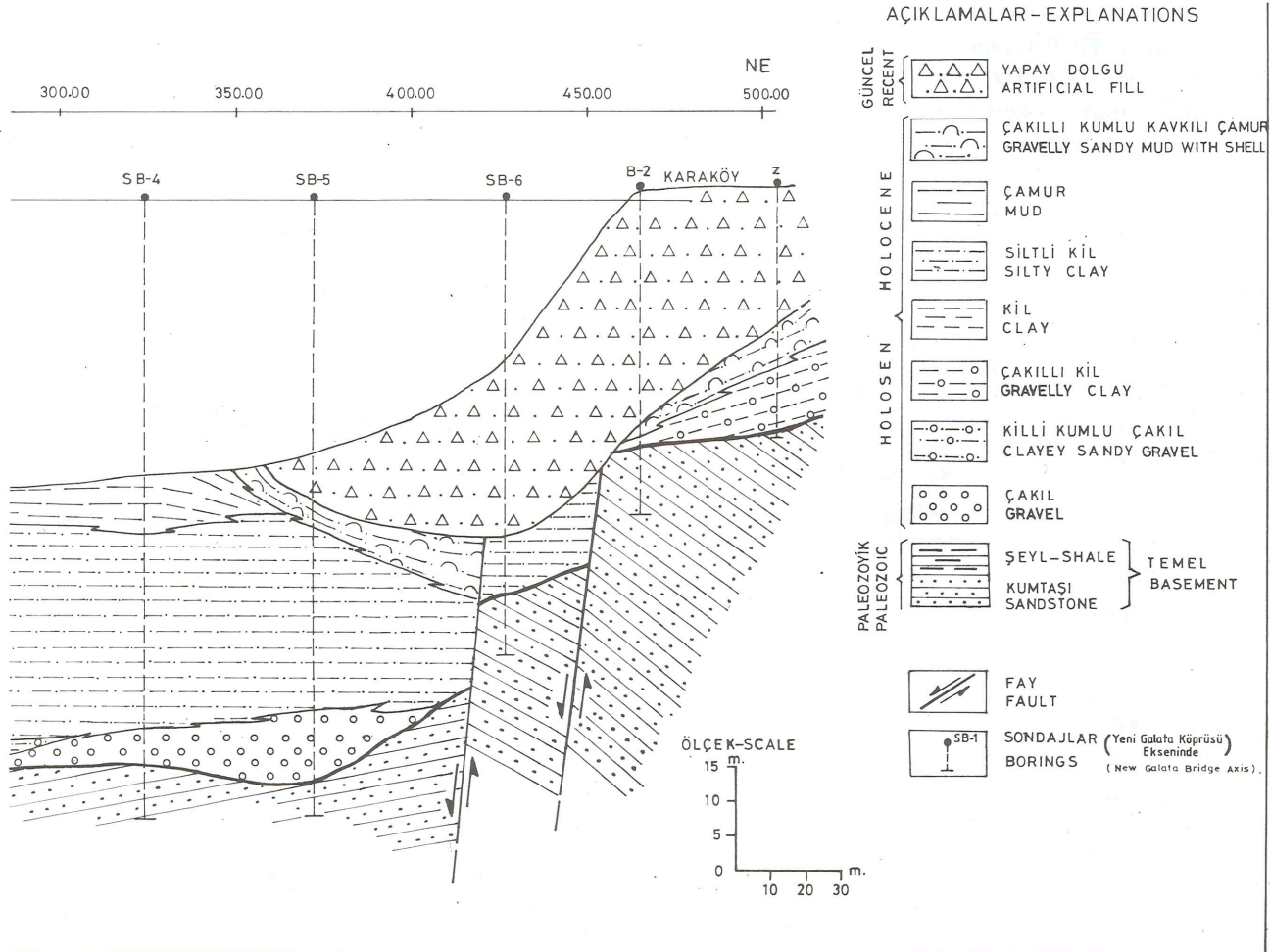
Boğaz'da Trakya formasyonu üzerinde yer alan genç çökel istifi karasal nitelikli killi çakıl düzeyi ile başlamaktadır. Değişik boyutta kumtaşı, silttaşı, kiltası ve kuvars çakıllarından oluşan bu düzey genç Boğaz çökellerinin tabanını oluşturmaktadır, kısa mesafelerde çakıllı, az siltli, çok sıkı kum, ya da koyu gri, iri kavkılı, kumlu çakıllarla girik olduğu gözlenmektedir. Bol kavkılı bu seviyeler daha üstte çakıl içermeyen gri renkli yumuşak az kavkılı siltli killer ile devam etmekte, yer yer yaklaşık 1 m kalınlıkta gri-siyah renkli, çakıllı-kumlu-kavkılı kil mercekleri de içermektedir. Genç çökellerin en üstü ise yaygınca görülen gri, kötü

derecelenmiş, kavkı parçalı, çok gevşek-gevşek-orta sıkı, siltli kumlardan oluşmaktadır.

Sarayburnu açıklarında görülen genç çökellerin bu dizilimine karşılık kıyı kesimlerde killi kumlu çakıl seviyeleri üstte doğru killi siltli kum ile araldanmaktadır.

Altta üstte doğru yüksek enerjili ortama geçen Boğaz çökelleri, bu özelliği ile ortam enerjisinin düzenli azaldığı Haliç çökellerinden farklılık göstermektedir. Sondaj verilerinin ayrıntılı incelenmesi sonucu elde olunan Sarayburnu-Salacak stratigrafik kesiti Şekil 4'de gösterilmiştir.

Yukarıda özetlenen verilere göre, İstanbul Boğazı güney kesimi genç dip tortularında yanal ve düşey faşieslerin sık sık değiştiği ve bu değişimin, bölgenin yükselmesine bağımlı olarak, kıyı şeridinde daha çok olduğu gözlenmektedir. Bu kesimlerde, temeli oluşturan grovacklar ile birlikte genç çökellerde de gözlenen ani seviye değişikliklerinin, bunları kesen fayların sonucu olması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca Sarayburnu'ndan geçen fayın (Şekil 4), Haliç'i bir asıllı vadi durumuna getirdiği ve eşdeğer dip çökellerinin boğazda daha derin kotlarda yer almasına neden olduğu söylenebilir. Salacak yakınındaki fayların (Şekil 4 ve Şekil 5) ise Paleozoik temel ve üzerindeki Boğaz çökellerini konum



bozukluğuna uğrattığı, genç çökellerin istifsel konumları ve gelişimlerinin bu fayların denetiminin bir sonucu olduğu anlaşılmaktadır.

Haliç ve Boğaz çökellerinin stratigrafik korelasyonu

Haliç ve İstanbul Boğazı Marmara geçişinde açılan sondajlarda elde olunan bulguların birlikte değerlendirilmesi, bölgenin jeolojik oluşumu ve yapısı hakkında çok önemli ipuçları vermektedir. Şekil 5'de Unkapanı-Üsküdar arasında yaklaşık W-E doğrultuda alınan kesitte de görüldüğü gibi, Haliç çökellerinin alt ve orta seviyelerinin Boğaz çökelleriyle aynı litolojik özellikte olmasına karşılık, Haliç çökelleri faylar nedeniyle daha üst kotlarda yer almaktadır.

Fayların oluştuğu kesimler deniz dibi topoğrafyasında da morfolojik düzensizlikleri oluşturmuştur. Sahil kesimleri haricinde de görülen bu morfolojik değişikliklerin birincisi Galata Köprüsü'nün İstanbul Boğazı tarafından Karaköy-Kadıköy İskelesi karşısında olup bu kesimdeki topoğrafik düzensizlik (Bayındırlık Bakanlığı Limanlar İnşaat Genel Müdürlüğü Deniz Dibi Boyuna Kesiti) Haliç Boğaz çökellerinin sınırını oluşturduğu anlaşılmaktadır. İkinci düzensizlik ise, genç çökellerin daha da derin kotlarda yer almasına neden olmuş ve morfolojiyi etkilemiş olup, Sarayburnu yakınlarında TB-101 sondajı civarında yer almaktadır.

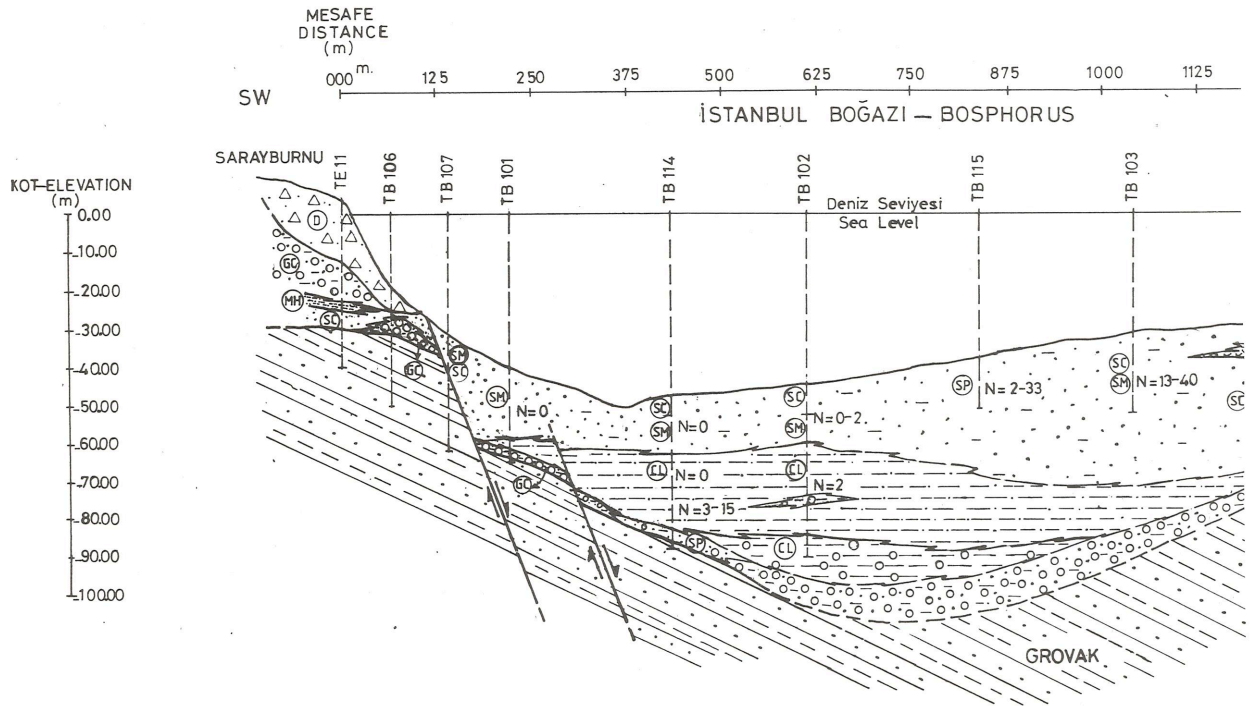
Yukarıda sondaj verilerine göre tanımlanması yapılan formasyonların çökelleri konumlarına göre yorumlandığında, aşağıda özetlenen sonuçlarına ulaşılmaktadır.

Haliç'te temelde yer alan Paleozoik yaşlı Trakya Formasyonu ile üzerindeki Holosen yaşlı Haliç çökelleri arasında başka bir formasyonun gözlenmemesi, Trakya Formasyonunun uzun bir dönemde karasal ortamda kaldığını ve üzerine çökelmiş tüm değişik formasyonların aşındığını göstermektedir. Kuzey Haliç'te görülen Üst Pliyosen yaşlı çökellerin, bölgenin yükselmesi ile aşınması sonucu Haliç çökellerine temel teşkil etmemesi de, Haliç ve çökellerinin çok genç bir evrede oluştuğuna ve bugünkü morfolojik konumuna eriştiğine işaret etmektedir. Uzun bir dönem karasal ortamda kalan ve oldukça aşınan yüksek alanların, ortama başlangıçta ancak ince geçiş sağladığı, yayvan bir topoğrafyada akarsu ve kollarının taşıdığı ince malzemelerin içine grovak çakıllarının karıştığı zaman diliminin ise günümüzdeki morfolojinin ana hatlarının başlangıç evresini oluşturduğu söylenebilir.

Bu başlangıç evresinde yaygın olarak görülen çakıllı geçiş, bölgenin yükselmesi ve fay etkinliğinde gelişmiş, sonuçta Haliç'i asılı bir vadi konumuna getirmiştir. Hareketli dönemin yerini giderek sakinleşen ortama bırakması ile deniz Haliç içlerine doğru tedrici şekilde ilerlemiştir.

İSTANBUL BOĞAZI GÜNEYİ VE HALIÇ ÇÖKELLERİNİN GEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ

Bu makalede ayrıntılı değerlendirilmesi yapılan İstanbul Boğazı Tüp Tünel ve Haliç Metro (Unkapanı-Perşembe Pazarı) sondaj çalışmalarında elde olunan



Şekil 4 : Sarayburnu-Salacak arasındaki Jeolojik 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 aralıklarla Standard Penetrasyon Deneyleri (SPT) uygulanmıştır. Bu örnekler üzerinde yapılan sedimentolojik ve paleontolojik inceleme sonuçları (Meriç, 1990) değerlendirmelerde dikkate alınmakla birlikte burada tekrarlanmamıştır.

İstanbul Boğazı çökelleri:

Boğaz'da deniz tabanından itibaren genç çökellerin en üst seviyeleri gri renkli, kavkı parçaları 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 değiştiği, dolayısıyla çok gevşek bir yerleşime sahip olduğu gözlenmektedir.

Laboratuvar deney sonuçlarına göre, bu kesimde granülo-metrik özellikleri

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

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

üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinde aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

SPT Darbe Sayısı,	N	=	0 - 3
Granülo-metri,	Kum	:	% 25
	Silt/Kil	:	% 75
Tabii Su Muhtevası,	W _n	:	% 40 - % 50
Likit Limit,	WL	:	% 35 - % 40
Plastik Limit,	W _p	:	% 20 - % 25

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

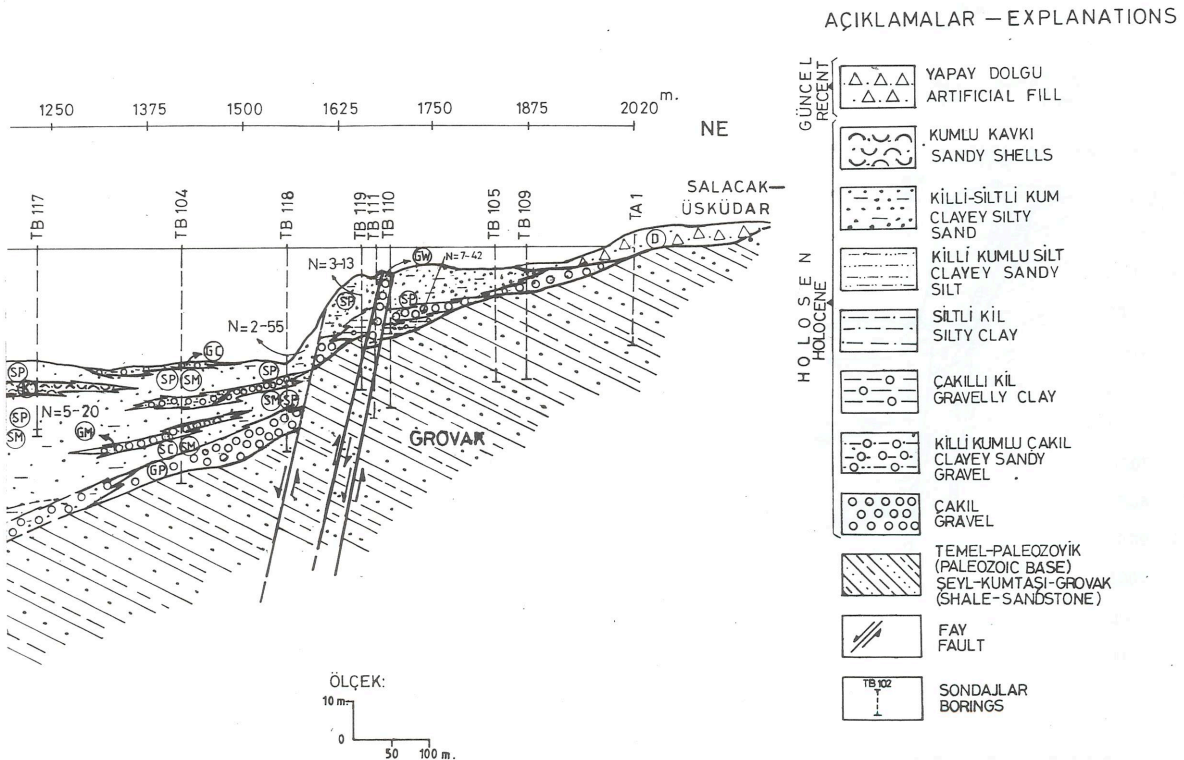
$$N = 5 - 30$$

arasında değiştiği ve bu çökellerin gevşek-orta sıkı bir yerleşime sahip olduğu, laboratuvar deney sonuçlarına göre granülo-metrik özelliklerinin ise

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

arasında değiştiği belirlenmiştir.

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



N = 3 - 55

laboratuvar deney sonuçlarına göre ganülometrik özelliklerinin ise

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

değerleri arasında değiştiği saptanmıştır.

Boğaz'da deniz tabanından itibaren yer alan genç çökel istifinin en alt seviyelerini kalınlığının 2-10 m arasında değiştiği düşünülen killi çakıl düzeyi oluşturmaktadır. Bunun altında ise bölgede temeli oluşturan Trakya Formasyonu grovıkları yer almaktadır. Bu formasyondan alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre, Boğaz'da temeli oluşturan grovıkların üst seviyelerinin jeomekanik özelliklerinin aşağıdaki değerler arasında değiştiği saptanmıştır.

Birim Hacim Ağırlık $\gamma = 2.65 - 2.79 \text{ g/cm}^3$
Porozite, $n = \% 0.48 - \% 2.85$
Ağırlıkça Su Emme, $= \% 0.28 - \% 1.67$
Hacimce Su Emme, $= \% 0.66 - \% 3.21$
Tek Eksenli Basınç Direnci, $\sigma_c = 170 \text{ kg/cm}^2 - 970 \text{ kg/cm}^2$
Tanjant Elastisite Modülü, $E = 0.8 - 2.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
Dinamik Elastisite Modülü, $E = 2.06 - 5.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

Haliç çökelleri

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

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

$W_n = \% 45 - \% 55$
 $W_L = \% 37 - \% 62$
 $W_p = \% 23 - \% 30$

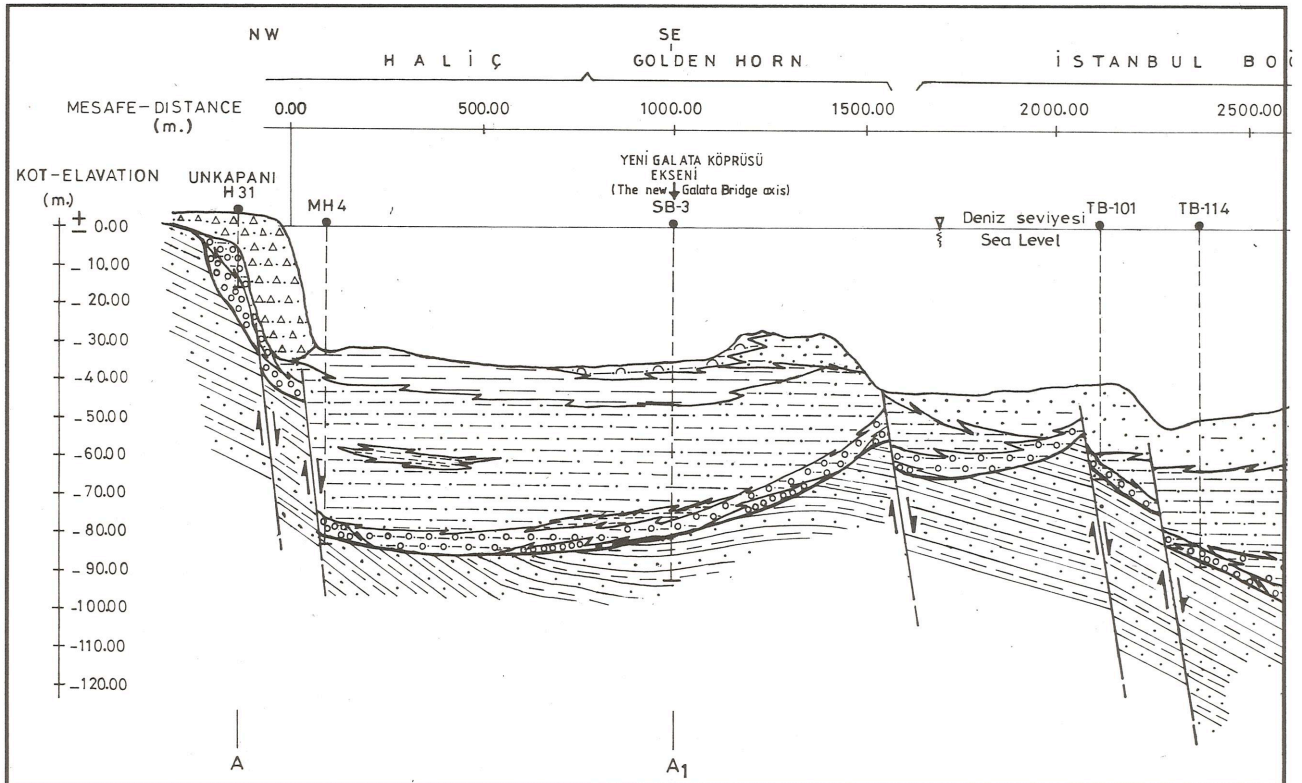
arasında değişen bu tabakadan alınan örnekler üzerinde yapılan üç eksenli basınç, laboratuvar ve konsolidasyon deneylerinde geoteknik özelliklerin aşağıdaki aralıklar içinde değiştiği saptanmıştır.

Drenajsız kayma mukavemeti, $C_u = 0.2 - 0.5 \text{ kg/cm}^2$

Hacimsel sıkışma modülü, $M_c = 20 - 60 \text{ kg/cm}^2$

Genç Faliç çökellerinin tabanında, kalınlığı 2.0 - 8.5 m arasında değişen, gri renkli, kumlu killi çakıl düzeyi yer almaktadır. Deniz dibi, zemin kotundan 30.0 m ila 51.0 m derinliklerde ise, bölgenin temelinin oluşturan Trakya Formasyonu Grovıkları 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 (Toğrol, 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, $\gamma_n = 168 \text{ Mg/m}^3 (\pm 0.02)$

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 geoteknik özelliklerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada (Kumbasar ve Özyayın, 1985) Haliç tabanından alınan sulu çamur örneklerinin % 9 - % 32 arasında organik madde ve yoğun kirlilik içerdiği, bu örneklerin laboratuvarında konsolidasyonu sonucu elde olunan blok numuneler üzerinde yapılan deneylerde, drenajsız kohezyon değerinin konsolidasyon basıncına oranının plastisite 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 indisinin 1.0 civarında olduğu gözlenmiştir.

SONUÇLAR

İstanbul 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 yakından 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 İstanbul Boğazı güneyinde açılan sondajlarda elde olunan

bulguların stratigrafik korelasyonu (Şekil 5) bölgenin jeolojik oluşumunda etkin olmuş fayların konumlarını ve bunların deniz gibi topoğrafyasında 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.

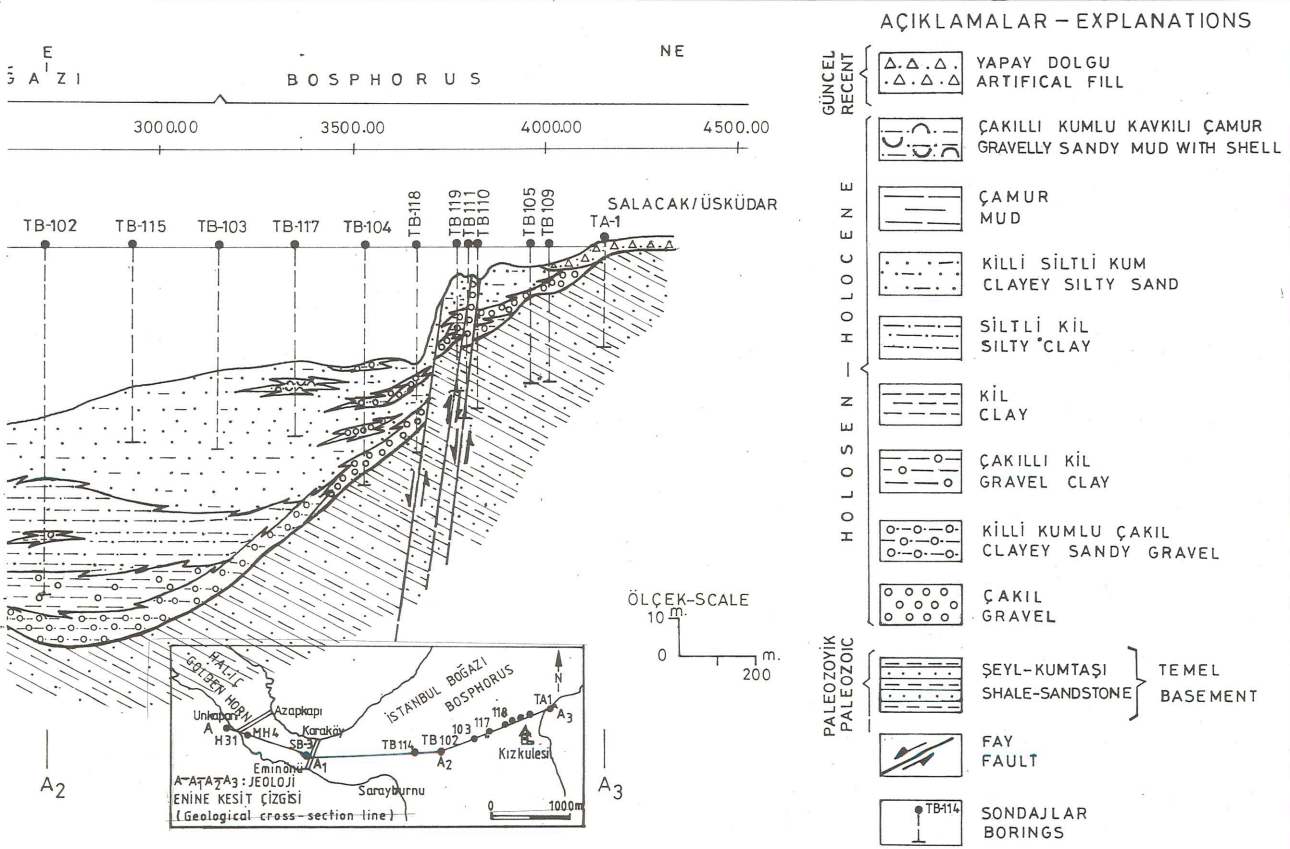
Haliç ve civarının bugünkü konumuna ulaşmadan önce bir akarsu vadisi niteliğinde olduğu, bölgenin yükselmesi ve fayların Haliç'in asılı bir vadi konumuna getirdiği anlaşılmaktadır.

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 değişiklik 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 Geçisi Güzergahında Jeoteknik Bulgular : Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bült., 8, 2-7.



Göksu, Y.H., Özer, M.A. ve Çetin, O., 1990, Molusk Kavkılarının Elektron Spin Resonans (ESR) Yöntemi ile Tarihlendirilmesi, İstanbul Boğazı Güneyi ve Haliç'in Genç Kuvaterner (Holosen) Dip Tortulları; İTÜ Vakfı, İstanbul.

Kumbasar, V. ve Özeydin, K., 1985, Consolidation Characteristics of Polluted Sea Bottom Sediments : Eleventh Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., San Francisco, U.S.A., 3, 1159 - 1162.

Meriç, E., Sakınç, M. ve Eroskay, O., 1988, İstanbul Boğazı ve Haliç Çökellerinin Evrim Modeli : Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 10, 10-15.

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

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

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

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

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

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

Yılmaz, Y. ve Sakınç, M., 1990, İstanbul Boğazının Jeolojik Gelişimi Üzerine Düşünceler, İstanbul Boğazı Güneyi ve Haliç'in Genç Kuvaterner (Holosen) Dip Tortulları : İ.T.Ü. Vakfı, İstanbul.