



**A NEW STRATIGRAPHY OF ISTANBUL TERTIARY DEPOSITS AND THEIR
ENGINEERING PROPERTIES**

**Mustafa YILDIRIM, Cem AKGÜNER*, Murat TONAROĞLU, Murat E.
SELÇUK**

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Received/Geliş: 22.07.2010 Revised/Düzeltilme: 08.10.2010 Accepted/Kabul: 22.10.2010

ABSTRACT

For over 50 years, the Upper Oligocene – Upper Miocene sedimentary sequence in Istanbul has been thought to be composed of two distinct sequences with an unconformity in between and mapped accordingly. Based on recent field observations and borehole data, it has been concluded that the Gürpınar, Çukurçeşme and Güngören Formations actually constitute a single sequence, named Avcılar Formation, since they are composed of regularly alternating clay-sand/sandstone beds and lenses. The Bakırköy Formation, which is typically composed of carbonate rocks, conformably overlies the Avcılar Formation. Adopting this new stratigraphy eliminates the confusion in selecting suitable geotechnical and engineering geological parameters representing the formations in question and, thus, helps in preventing errors in overall interpretation of site conditions.

Keywords: Tertiary deposits, shear wave velocity, Istanbul, stratigraphy, mapping, Avcılar formation.

**İSTANBUL TERSİYER ÇÖKELLERİNİN YENİ STRATİGRAFİSİ VE MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİ**

ÖZET

İstanbul’da yer alan Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı düzenli çökel dizisi, literatürde 50 yılı aşkın bir süreden beri, kendi içinde mevcut olmayan bir yapay diskordans hattı ile iki farklı dönem çökellerinden oluştuğu varsayılarak haritalanmaktadır. Arazi ve sondaj çalışmalarına dayalı olarak yapılan değerlendirme sonucunda, literatürde ayrı ayrı tanımlanan Gürpınar, Çukurçeşme ve Güngören formasyonlarının tamamının aslında düzenli olarak ardalanmış kil-kum/kumtaşı tabakaları ve merceklerinden oluşan bir istif olmaları nedeniyle tek bir formasyon olarak tanımlanmasının doğru olacağı düşünülmüş ve bu istife “Avcılar formasyonu” adı verilmiştir. Avcılar formasyonu üzerine karbonat kayalarından oluşan Bakırköy formasyonu uyumlu olarak gelmektedir. Bu yeni stratigrafinin göz önüne alınmasının, formasyonlar için belirlenen mühendislik özelliklerinin hesaplarda karıştırılmasını engelleyeceği, bu zeminlerde gerçekleştirilecek mühendislik faaliyetlerinde daha doğru büyüklükler kullanılmasını sağlayacağı ve farklı haritalamalara son vererek, geoteknik incelemeleri ve değerlendirmeleri olumsuz etkileyen hataların önüne geçebileceğine inanılmaktadır. **Anahtar Sözcükler:** Tersiyer çökelleri, kayma dalgası hızı, İstanbul, stratigrafi, haritalama, Avcılar formasyonu.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: akguner@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 52 31

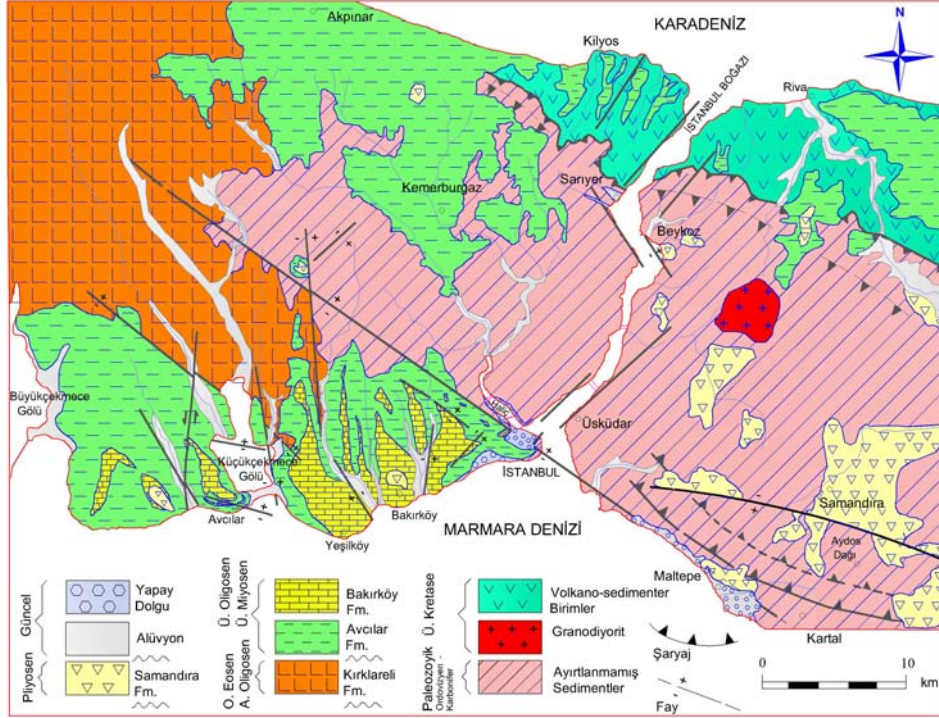
1. GİRİŞ

İstanbul dünyanın en eski yerleşim birimlerinden birisidir. Tarihi karakteri, jeopolitik konumu ve 12 milyonu aşan nüfusuyla kültürel ve ekonomik yönden de büyük öneme sahiptir. Depremselliği yanında sürekli büyümesi nedeniyle İstanbul’da gerçekleştirilen jeolojik ve jeoteknik incelemelerde, literatürde günümüze kadar kabul görmüş stratigrafik istife bağlı kalınarak yapılan haritalama çalışmaları karışıklığa sebep olmaktadır.

Önceki çalışmalarda, Gürpınar formasyonu tanımlamasının sadece Üst Oligosen dönemine ait kumlu killi çökelleri temsil ettiği ve bunun üzerine Üst Miyosen yaşlı 20m kalınlıktaki kum ve çakıllardan oluşan Çukurçeşme formasyonunun diskordan oturduğu kabul edilmektedir. Bu formasyonun üste doğru 10m kalınlıkta bataklık kilinden oluşan Güngören formasyonu ile 20m kalınlıkta marn-kireçtaşından oluşan Bakırköy formasyonuna normal geçişli olduğu literatürde yer almaktadır [1, 2, 3, 4, 5]. İstanbul’da bugüne kadar değişik senelerde farklı kişi ve kurumlarca yapılan jeolojik haritalarda Gürpınar formasyonu olarak gösterilen istifin değişik düzeylerinde rastlanılan ve ardalanan yer yer merceknel nitelikli kumlu litolojiler, görüldükleri her yerde stratigrafiye uyma çabasıyla, Üst Miyosen’in yeni bir transgresyon ürünü olarak düşünülerek bir diskordans hattı olarak algılanmış ve Çukurçeşme formasyonu adı altında tanımlanmıştır. Bu nedenle benzer bölgelerde birbirinden tamamen farklı haritalar ortaya çıkmıştır.

Arazide yerinde yapılan gözlemlere ve güncel sondaj verilerine dayanılarak yapılan bu çalışmada ise, geçmişte hatalı olarak Gürpınar-Çukurçeşme-Güngören formasyonları olarak ayrırtlanmasına rağmen aralarında herhangi bir diskordans hattına rastlanmadan tekrarlanan bu çökellerin tamamı “Avcılar formasyonu” olarak tanımlanmış ve haritalanmıştır (Şekil 1 ve 2).

İnşaat mühendisleri tarafından yapılan mühendislik çalışmalarında, formasyon adının ve stratigrafik dizilimin pek önemli olmadığı kanısı hakimdir. Halbuki, doğru tariflenmeyen bir stratigrafik istif, oldukça hatalı sonuçlara sebep olabilmektedir. İstanbul’da zemine bağlı olarak karşılaşılan problemlerin oluşmasında ve sık sık tekrarlanmasında, jeolojinin ve yöredeki stratigrafik dizilimin yanlış tanımlanmasının ve yorumlanmasının katkısı büyüktür. Halen İstanbul’un jeolojisi için kullanılan haritalarda, kil olarak gösterilen birçok alanın kum, kum olarak gösterilen birçok alanın kil olduğu, bu çalışmada sondaj verileri ve arazi gözlemlerine dayalı olarak ortaya konulmaktadır. Bu durumun en basit olarak şev duraylılığı analizlerinde, destekli kazılarda, oturma ve taşıma gücü hesaplarında çok farklı sonuçlar doğuracağı ve yapıların bu durumdan çok olumsuz etkileneceği açıktır. Ayrıca sıvılaşma gibi sadece kohezyonsuz zeminlerde oluşan bir zemin probleminin mevcut haritalarda kil olarak gösterilen alanlarda oluşmayacağı kabul edilmektedir. Sadece bu yaklaşım bile mevcut haritaların bu çalışmada önerilen şekilde revize edilmesi gerektiğini çok açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Bunun yanında, arazide gerçekleştirilecek bir mühendislik faaliyetinde sondaj bilgisi de çok önemlidir. Oysa günümüzde yanlış bir stratigrafi kabulü ve buna uyma çabası ile arazide yapılması gereken sondajlardan mevcut haritalara güvenilerek vazgeçildiği ve/veya eksik yapıldığı, ya da mevcut sondajların sonuçlarının bu stratigrafiye uyum çabası nedeniyle yanlış yorumlandığı görülebilmektedir.



Şekil 1. İstanbul ve çevresinin güncellenmiş genel jeoloji haritası

2. İSTANBUL'UN TERSİYER DÖNEMİ STRATİGRAFİSİ

İstanbul'un Avrupa Yakası'nda görünür temelde Alt Karbonifer [6] yaşlı, kumtaşı (grovak), silttaşı ve kiltaşlarından oluşan fliş fasiyesinde çökelmiş ve Trakya formasyonu olarak adlandırılan çökel kayalar yer almaktadır [7, 8, 9]. Bunların üzerine Orta Eosen-Alt Oligosen döneminde hakim litolojisi kireçtaşı olan Kırklareli formasyonu diskordan çökelmiştir [10]. Bölgede gerçekleştirilen yeni arazi gözlemlerine göre, Trakya ve Kırklareli formasyonu üzerine ise, tarafımızca adlandırılan Avcılar formasyonu diskordan oturmaktadır.

Kalınlığı 250 m'yi aşan ve Üst Oligosen döneminde transgresif olarak, bir taban çakıltaşı ile başlayan Avcılar formasyonu, üste doğru kum/kumtaşı-kil/kiltası ardalanmasından oluşmaktadır. Bu istif daha üst seviyelerde çoğunlukla karbonat kayalarından oluşan ve yer yer 50 m kalınlığa ulaşan Bakırköy formasyonuna dereceli olarak geçmektedir (Şekil 2). Avcılar formasyonu, başta Avcılar bölgesi olmak üzere, İstanbul'un tarihi Yarımadası ve Karadeniz kıyısında geniş alanları kaplamaktadır.

Bugüne kadar birbirlerine yakın bu yörelerde yapılan jeolojik çalışmalarda incelenen mostralarda Üst Oligosen, Alt-Orta ve Üst Miyosen dönemi fosilleri saptanmıştır. Gerçekte birbirleriyle yanal ve düşey geçişli bu formasyonlar, mevcut kullanılan stratigrafide Üst Miyosen'de yeni bir transgresyon ile çökeldiği varsayılan Çukurçeşme formasyonu kumlu litolojileri olarak tanıtılıp diskordans hattı ile ayırt edilerek haritalanmıştır. Çukurçeşme formasyonu taban seviyelerinde Orta-Alt Miyosen dönemi fosillerine rastlandığında ise farklı formasyon adları verilmeye çalışılmıştır.

İstanbul Tersiyer çökelleri belirtilen alanlarda incelendiğinde, mostraları birbirlerine yakın yörede Üst Oligosen-Üst Miyosen döneminde çökelen istiflerin farklı olmadığı, kesiksiz çökelen yanal ve düşey devamlılıkları gözlenebilen düzenli bir istif olduğu ve aralarında herhangi bir diskordans hattı olmadığı anlaşılmaktadır. Tarihi Yarımada'da, Trakya formasyonu ya da Avcılar'da Kırklareli formasyonları üzerine diskordan oturan kumlu çakıllı kırıntılı birimler, Pliyosen dönemi çökelleri hariç, tamamı Üst Oligosen döneminin taban çakıllarını oluştururlar ve üste doğru denizel yeşil killere normal geçişlidirler. Bu killi seviyeler İstanbul'un batısına doğru tektonik yapıya bağlı olarak kalınlaşmakta ve giderek sığlaşan ortamda Üst Miyosen'e geçmektedir. Dolayısıyla, İstanbul'da Üst Oligosen-Üst Miyosen dönemi boyunca çökelen birimler arasında, geçmiş çalışmalarda öne sürüldüğü gibi herhangi bir diskordans hattı bulunmamaktadır (Şekil 2).

Yukarıda sıralanan Tersiyer dönemi formasyonlarının özellikleri daha ayrıntılı olarak aşağıda verilmektedir.

3. KIRKLARELİ FORMASYONU (ORTA EOSEN-ALT OLİGOSEN)

Kırklareli formasyonu, neritik karbonat kayaçlarından oluşmaktadır [11]. Formasyon adı, genellikle resif gerisi-resif ve resif ilerisi kayaçların tümü için kullanılmıştır [12, 13]. Bu istifin tabanında killi-kumlu marnlar yer almakta, istif üste doğru bol mercan fosilli kireçtaşı ve kil ara katmanlı marnlar ile aralanmaktadır.

Trakya formasyonu grovıkları üzerine diskordan oturmakta olan Kırklareli formasyonu çökelleri, sondaj verilerine göre, Bakırköy İlçesi doğusunda Marmara Denizi sahili kesimlerinde, Avcılar formasyonu altında yer alarak başlamakta ve batıya doğru kalınlığı artarak, Küçükçekmece Gölü kuzey ve kuzeybatısında yüzeylenmektedir (Şekil 1).

Kırklareli formasyonunu oluşturan kireçtaşları üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 1'de sunulmaktadır.

ÜST SİSTEM	S E N O Z O Y İ K	S İ S T E M	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
					10		ÇAKIL, KUM, SİLT, KİL (ALÜVYON)
					50		Uyumsuzluk KİL : Kızıl renkli, siltli, kumlu, yuvarlak - yarı yuvarlak kuvarsit çakıllı, çok katı - sert, gevşek tutturulmuş
					50		Uyumsuzluk KİREÇTAŞI - MARN : Beyaz krem renkli, tebeşirimsi, poröz, ince - orta katmanlı, <i>Maktra</i> 'lı, kil / kum arakatmanlı
					> 250		KİL / KİLTAŞI: Koyu gri - boz renkli, karbonatsız veya az karbonatlı, siltli, yer yer bitki kırıntılı, yüksek plastisiteli, orta katı - katı, sert KUM: Sarımsı gri, açık kahverengi, çakıllı ve siltli, kil arakatmanlı, tutturulmamış veya çok gevşek tutturulmuş, çapraz katmanlı merceksele KİL / KİLTAŞI - KUM / KUMTAŞI ARDALANMASI Kil : Grimsi yeşil, aşırı konsolide, tuf seviyeli, fissürlü yer yer karbonatlı / kireçtaşı bantlı, kömür katkılı Kiltaşı : Gri - yeşil, ince - orta katmanlı Kum : Açık gri - sarımsı krem renkli, kuvars-kireçtaşı çakıl ve bloklu ÇAKIL / ÇAKILTAŞI : Grimsi kahverengi, kumlu, killi, kireçtaşı çakıllı, kömür arakatmanlı
					> 250		Uyumsuzluk MARN - KİREÇTAŞI: Beyaz - sarımsı bej - gri renkli, orta-kalın katmanlı, karbonatlı kil arakatmanlı, fosilli KARBONATLI KUMTAŞI : Krem renkli, ince taneli, sert, som yapılı RESİFAL KİREÇTAŞI : Beyaz - bej renkli, sert, som yapılı, karstik, bol fosilli
					> 1000		ÇAKILTAŞI - MARN : Grimsi bej renkli, bol grovak çakıllı, kum - silt - kil ve kömür arakatmanlı Uyumsuzluk KUMTAŞI (Grovak) - SİLTTAŞI - KİLTAŞI: Mavimsi gri - kahverengi, kireçtaşı mercekli (Ölçeksiz)

Şekil 2. İstanbul ve yakın çevresi Tersiyer çökellerinin güncellenmiş stratigrafik sütun kesiti

4. ÜST OLİGOSEN-ÜST MİYOSEN ÇÖKELLERİ

Üst Oligosen-Üst Miyosen çökelleri, Trakya veya Kırklareli formasyonu litolojileri üzerine Üst Oligosen'de bir transgresyonla blok, çakıl-kum, tuf ya da organik içeriği yüksek kil veya linyit seviyeleri ile diskordan oturmakta, üste doğru da yeşil renkli, aşırı konsolide kil-kiltaşı, kumtaşı ara katmanlı mikalı kum-kil ar dalanmasından oluşan litolojilerle devam etmektedir [14, 15, 16,

17, 18, 19, 20, 21]. Tarafımızdan Avcılar formasyonu olarak adlandırılan bu istifin daha üst seviyeleri ise, karbonat oranı artarak marn-kil ara bantlı kireçtaşı ardalanmasından oluşan Bakırköy formasyonuna normal geçiş göstermektedir. Bu istif, Üst Miyosen sonunda, Bakırköy formasyonunun üst seviyelerinde seyrek görülen ve karbonat kayalarının çökelişinin gerçekleşmediği ortamda yanallı ya da düşey eşdeğeri olan, kalınlıkları ise 3-5 metre gibi sınırlı gözlenebilen gevşek tutturulmuş az karbonatlı killi kum ya da çakıl mercceklerinden oluşan çökeller ile son bulmaktadır [22]. Pliyosen döneminde ise, İstanbul'un Anadolu Yakası'nda Samandıra Mevkii'de yaygınca görülen, tipik olarak koyu kahve-kızıl renkli kuvars çakıllı siltli killeri içeren karasal ve kalınlığı bu yörede yer yer 50 metreye ulaşan yaygın bir akarsu çökel dizisi, daha yaşlı formasyonların aşınmış eski düzlükleri üzerinde diskordan oturmaktadır [23]. Tarafımızdan Samandıra formasyonu olarak adlandırılan bu istifin Avrupa Yakası'ndaki mostraları ise yaygın olmayıp, kalınlıkları 20m'yi geçmemektedir.

4.1. Avcılar Formasyonu

Tarihi İstanbul ve civarından başlayıp batısında Avcılar-Büyükçekmece İlçeleri boyunca yaygınca mostra veren bol fissürlü, aşırı konsolide kil, kiltaşları ve kum ardalanmalarından oluştuğu gözlenen düzenli istif bu makalede "Avcılar formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Bu istif, Asya yakasında Karadeniz sahil şeridinde de yaygınca gözlenmektedir (Şekil 1). Haliç civarında Trakya formasyonu, batısında ise Kırklareli formasyonu üzerine diskordan oturan Avcılar formasyonunun taban seviyeleri ya çakıllı kumlar, ya da siyah renkli, organik içeriği yüksek kil ve kömürlü seviyeler ile başlamaktadır. Üst seviyelere doğru ise istifin hakim litolojisini oluşturan kahverengimsi gri renkli kum mercceklerini içeren yeşil renkli killer ile aşırı konsolide kil ve kum ara katmanları yer almaktadır. Önceki çalışmalarda sık sık tekrarlanan ve değişik seviyelerde gözlenen bu kum merccekleri, yüzeylendikleri ve görüldükleri her yerde günümüze kadar kabul gören stratigrafi esas alınarak, yeni bir çökeltme dönemi varsayılarak Çukurçeşme formasyonu olarak adlandırılmış ve bu seviyelerin Üst Miyosen çökellerinin tabanında yer aldığı ve diskordans hattını oluşturduğu düşünülmüştür. Aslında, değişik düzeylerde yer alan bu kum mercceklerinin Üst Miyosen'in tabanı olarak algılanması nedeniyle jeolojik harita yapımında hayali diskordans hatlarıyla ayırt edilmeye çalışılan formasyonların, birbirlerinden çok farklı jeolojik haritaların üretilmesine neden olduğu da yapılan mevcut haritalardan anlaşılmaktadır. Dolayısı ile, sözü edilen ancak Üst Oligosen-Üst Miyosen dönemi arasında yeni bir transgresyon ile oluşturulmaya çalışılan, ancak mevcut olmayan diskordans hattı, stratigrafiye uyma çabasıyla İstanbul'un jeoloji haritalarının günümüze kadar yanlış yapılmasına neden olmuştur.

Marmara Denizi sahil şeridinde gerçekleştirilen mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında 2006 ve 2007 tarihleri arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 30-50 m derinlikler arasında yaptırılan sondajlardaki [24] incelemeler, İstanbul'un yeni stratigrafisi ile ilgili olarak tarafımızdan yapılan gözlemleri destekler niteliktedir. Ayrıca ana kaya derinliğini tespit etmek için her kilometrekareye yaptırılan ve derinlikleri yaklaşık 250 metreye ulaşan derin sondajlarda alınan karot sandıklarında yapılan incelemelerde de benzer sonuçla karşılaşmıştır.

Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı formasyonların bu dizilimine ve ilave olarak mühendislik özelliklerini belirtir tipik stratigrafisine bir örnek olarak, derinliği 209.0 m'ye ulaşan bir derin zemin etüd sondajı Şekil 3'de verilmektedir. Bu sondajda, zemin yüzünden itibaren 184.0 m derinlikte Avcılar formasyonu litolojileri son bularak, ana kayayı oluşturan Kırklareli formasyonuna girilmiş ve sondaja 209.0 m'de kireçtaşları içinde son verilmiştir. Şekil 3'de verilen zemin ve çok zayıf kayaların dayanımları cep penetrometresi ile arazide sondaj esnasında, daha sağlam kayaların dayanımları ise, karot numuneler üzerinde uygulanan nokta yükleme deneyleri ile belirlenmiştir.

Çizelge 1. İstanbul Tersiyer çökellerinin tipik geoteknik parametreleri

Formasyon Adı / Katmanlar	RQD (%)	γ_n (kN/m ³)	e	W (%)	W _L (%)	W _p (%)	I _p (%)	k (cm/s)	C _c	m _v (m ³ /kN)	q _u ¹ (MPa)	SPT N	V _s (m/s)	
Samandıra	-	-	-	15-25	24-55	13-28	11-27	-	-	-	0.15-0.3	13-45	200-300	
Bakırköy	≤15	19.5-23.5	0.05-0.3	5-10	-	-	-	-	-	-	2-50	>50	300-500	
														Kireçtaşı
Avcılar	-	~18.0	-	25-30	45-70	15-25	30-45	10 ⁸	0.16	2.7x10 ⁻⁴	0.3-0.6	20-30	250-300	
														Aşırı Konsilide Kil
														Aşırı Konsilide Kil
Kırklareli	≤25	18.0-20.0	0.4-1.0	15-40	40-100	20-40	20-60	10 ⁷ -10 ⁸	0.15	2.5x10 ⁻⁴	0.2-0.6	>30	300-600	
														Organik İçerikli Kil
Kırklareli	-	16.5-19.5	1.0-1.6	45-60	99-110	40-50	60-65	-	0.19	3.5x10 ⁻⁴	0.08-0.2	15-30	250-300	
														Kum Ara Katmanları
Kırklareli	-	18.5-19.5	-	15-30	-	-	-	-	-	-	-	>30	300-400	
														Kireçtaşı
Kırklareli	-	18.5-23.5	~0.25	-	-	-	-	-	-	-	3-80 ¹	>50	>760	
														Kireçtaşı

¹Nokta Yükleme Deneyi ile elde edilen değerler

γ_n : Tabii birim hacim ağırlık; e: Boşluk oranı; w: Su muhtevası; w_L: Likit limit; w_p: Plastik limit; I_p: Plastisite indisi; k: Permeabilite; C_c: Sıkışma indisi; m_v: Hacimsel sıkışma katsayısı; q_u: Serbest basınç mukavemeti; V_s: Kayma dalgası hızı

Ayrıca, derin sondajlarda yapılan PS Logging deneylerinde bulunan ve özellikle dinamik çalışmalarda çok önemli bir parametre olan, bilinmesi durumunda zemin veya kaya ortamının bir çok geoteknik özelliği hakkında fikir veren Vs (kayma dalgası hızı) değerleri, zemin yüzeyinden itibaren, kalınlıkları ne olursa olsun Bakırköy formasyonu ve onun altında yer alan Avcılar formasyonunun tamamı boyunca, 760 m/s'nin altında çıkmaktadır. 760 m/s'yi aşan değerlere ise, jeolojik ana kaya derinliği olarak kabul edilen Kırklareli veya Trakya formasyonu litolojilerinin rastlanıldığı derinliklerden itibaren ulaşılmaktadır. Dolayısıyla, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde, zemin nitelikli Avcılar formasyonu kalınlığının düşeye yakın ve birbirlerine paralel gelişmiş faylar nedeniyle civar ilçelere göre daha fazla olduğu (>250 metre) Avcılar İlçesi'nde İstanbul'daki en büyük hasarın meydana gelmesinde en önemli etmenler olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Avcılar formasyonunu oluşturan aşırı konsolide kil, kum ve organik içerikli kil araldanmalı litolojiler ayrıntılı olarak aşağıda tanıtılmaktadır.

4.1.1. Aşırı Konsolide Killer

Yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına giren Avcılar formasyonunun aşırı konsolide kil düzeyleri, SPT darbe sayılarına göre katı-çok katı-sert bir zemin niteliğindedir. Bu killerde tesbit edilen serbest şişme= %2.8-5.7, şişme basıncı 275-420 kPa arasındadır. İstif kum mercikleri haricinde yeraltı suyu içermeyip, kil-kum araldanmaları, zaman zaman değişik yörelerde kilaşı gibi çok zayıf kaya ya da orta-sağlam kaya niteliğinde gri kumtaşı ara bantlarına dönüşebilmektedir [14].

Avcılar formasyonunun hakim litolojisini oluşturan aşırı konsolide yeşil-gri kil düzeylerinin geoteknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmaktadır.

4.1.2. Kum Ara Katmanları ve Mercikleri

Avcılar formasyonunun değişik seviyelerinde killer arasında ara katman ya da 10-30 m kalınlıklarda mercik olarak tekrarlanan gri kahverengi kum, çakıllı kum veya beyaz mikalı kum ve yer yer çakıl seviyelerine rastlanılmaktadır. Çoğunlukla kuvarsa zengin, çimentosuz, ya da gevşek tutturulmuş kumlar kötü derecelenmiş, siltli, killi kumlar (SM, SC) ve çakıl seviyeleri ise killi çakıl (GC) sınıfına girmekte olup [25], özellikleri Çizelge 1'de sunulmaktadır. Bu kum katmanları arasında da yer yer bantlar halinde gözlenen 10-30 cm arasında değişen, genellikle aşırı konsolide kil seviyeleri yer almaktadır.

4.1.3. Organik İçeriği Yüksek Killer

Avcılar formasyonu litolojileri arasında, seyrek olarak ve değişik seviyelerde, siyahımsı-koyu gri, organik içeriği yüksek, yüksek şişme özelliği gösteren, yüksek plastisiteli killer yer almaktadır. Rastlanıldıkları farklı seviyelerde kalınlıkları genellikle 10 m'den az olup, yanal süreklilikleri sınırlıdır. Bu kil mercikleri organik içeriklerinin yüksek olması nedeniyle mühendislik özellikleri açısından önemli olup, özellikle eğimli alanlarda ciddi duraylılık sorunlarına sebep olabilmekte, önlem alınmaksızın gerçekleştirilen inşaat faaliyetleri, yapıların zemine batması, yana eğilmesi veya yıkılması ile sonuçlanabilmektedir [4, 26, 27]. Organik içerikli, yüksek plastisiteli, şişme özelliğine sahip bu kil merciklerinin özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir. Bu zeminden alınan numuneler üzerinde uygulanan standart kompaksiyon deneyi sonucunda optimum su muhtevaları %21 civarında tesbit edilmiştir. Optimum su muhtevalarında standart Proktor enerjisi ile hazırlanan numunelerde şişme basıncı 78.5 kPa, 7.0 kPa sürşarj yükü altındaki şişme yüzdeleri ise %6 mertebelerinde ölçülmüştür. Numunelerin 200 No'lu elekten geçen kısımları %90 olarak belirlenmiştir.

Genel olarak şişme özelliği gösteren bataklık ortamı ürünü bu killerin bu ortalama değerleri, bu tür killerin içerdiği organik katkıların miktarına göre oldukça değişkenlik gösterebilmektedir.

YAŞ	FORMASYON	Sondaj derinliği Zemin yüzü kötünden (+66.00m) itibaren (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA	Zemin q_u^1 (kPa)	Kaya q_u^2 (MPa)	Kayma Dalgası Hızı V_s (m/s)	
PLİYO SEN	SAMAN DIRA	0.00-6.00		KUM/ KİL: Beyaz, açık krem renkli, karbonatlı, iri kireçtaşı çakıllı			450	
ÜST MİYOSEN	B A K İ R İ K Ö Y	6.00-14.00		KİREÇTAŞI: Beyaz, krem renkli, Mactra'lı, yeşil renkli sert kil ara banth	Uyumsuzluk		400	
		14.00-32.50		KİL: Yeşil renkli, karbonatlı ; beyazımsı gri Mactra'lı kireçtaşı ara banth	600 (Kil)	20 - 35	375	
		32.50-35.10		KUM: Gri renkli, az karbonatlı, kil ara banth	400 - 1000		600	
		35.10-75.40		KİL-KUM ARDALANMASI: Gri renkli, sert, beyaz çok açık gri tuf ara banth	800 - 1000		450	
	ÜST OLİGOSEN	R A L I C V A	75.40-90.00		KİL: Açık gri, açık kahverengi, sert, kireçtaşı- kumtaşı ara banth	300 - 600		500
			90.00-112.50		KUM: Açık kahverengi, gri, ince taneli, kil ve karbonatlı kumtaşı ara banth	300 - 1000		600
			112.50-127.00		KUMTAŞI: Açık gri renkli, karbonatlı, dayanımlı, yeşil- gri kil ara banth	1000 - 1400 (Kil)	53 (Kumtaşı)	700
			127.00-133.00		ÇAKILTAŞI: Gri renkli, kumlu, karbonat hamurlu, gevşek tutturulmuş	1200 - 1400 (Kil)		650
			133.00-182.60		KİL-KUM-KUMTAŞI ARDALANMASI: Koyu gri renkli, organik içerikli, sert	1000 - 1600 (Kil)		550
			182.60-184.00		ÇAKILTAŞI: Beyazımsı alacalı-gri renkli kumlu, karbonatlı			700
ALT OLİGOSEN ORTA EÖSEN	K İ R K L A R E L İ	184.00-193.80		KİLTAŞI-KUMTAŞI ARDALANMASI: Kıltaşları açık yeşil - gri renkli, zayıf dayanımlı. Kumtaşları yer yer dayanımlı ve karbonatlı	Uyumsuzluk		> 900	
		193.80 - 209.00 Sondaj sonu: 209m		KİREÇTAŞI: Beyaz renkli, dayanımlı, karbonatlı kumtaşı-kıltaşı ara katkılı, karstik		3 (Kıltaşı)	> 950	
q_u^1 : Kil numunede cep penetrometresiyle bulunan serbest basınç mukavemeti q_u^2 : Nokta yükleme deneyi ile bulunan tek eksenli basınç mukavemeti					Ölçeksiz			

Şekil 3. Küçükçekmece İlçesi'nde yapılan derin zemin etüd sondajı logu (x=398464.07
y=4541271.33, Kot: +68.00m)

5. BAKIRKÖY FORMASYONU

Avcılar formasyonu üzerine tedrici geçiş gösteren marn-kireçtaşı düzeyleri, Bakırköy formasyonu (Sarmasiyen) olarak adlandırılmıştır [1]. Ancak, bulunan fosil sonuçlarına göre Bakırköy formasyonunun, Ponsiyen yaşlı ve kıyı çizgisi boyunca gelişmiş büyük oranda karadan beslenmeli bir lagüner ortamda oluştuğunu tespit edilmiştir [28]. İstifin hakim litolojisi, kirlili beyaz krem renkli, yatay katmanlı, genellikle yeşil kil ara tabakalı, orta dayanımlı, Maktra'lı kireçtaşları ile zayıf dayanımlı marnlardır. Bölgede üst seviyelerde mostra veren ve tepe düzlüklerinde yer alan bu kireçtaşları [29], bazen kil ve kum katmanlarını da içerebilmektedir ve alt seviyelere doğru karbonat oranı giderek azalmaktadır. Ayrıca, son yıllarda yapılan sondajlarda [24], Bakırköy formasyonu marn ve kireçtaşları kalınlığının daha önceki çalışmalarda belirtildiği gibi 20m ile sınırlı kalmadığı ve yer yer 50 m kalınlığa ulaştığı belirlenmiştir.

Genel olarak Bakırköy formasyonunu oluşturan marnlar “Çok zayıf Kaya”, kireçtaşları “Zayıf ya da Orta Sağlam Kaya”, nadir olarak boşluksuz ve kil içermeyen bazı som numuneler ise “Sağlam Kaya” tanımlanmasına girmektedir. Bakırköy formasyonunun tipik geoteknik özellikleri Çizelge 1’de verilmektedir.

6. SAMANDIRA FORMASYONU (PLİYOSEN)

Tipik ve yaygın mostraları daha çok İstanbul’un Asya Yakası’nda Samandıra Mevkii’de görülen kızıl-koyu kahverengi, çok sıkı, iri yuvarlak kuvars çakıl katkılı içeren, kumlu ve siltli killerden oluşan Pliyosen yaşlı karasal ortam ürünü akarsu çökelleri, tarafımızdan Samandıra formasyonu olarak adlandırılmıştır [23]. Literatürde Belgrad formasyonu eşdeğeri olan bu istifin tipik özellikleri, yaygınca yer aldığı Samandıra Mevkii’de görülmektedir. Bölgede bütün birimler üzerinde yatay konumda olan Samandıra formasyonu, Trakya-Kocaeli pennepleni üzerinde gelişmiş olup, Bakırköy formasyonundan gençtir ve daha yaşlı çökelleri diskordan olarak örtmektedir. İstif, İstanbul’da yaygınca görüldüğü Asya yakasında 50 metre, seyrek görüldüğü Avrupa yakasında İkitelli kuzeyi Oyak Sitesi Konut Alanı’nda 15 metre, Yakuplu, Ambarlı Santral Lojmanları’nda 20 metre kalınlığa ulaşabilmektedir. Tutturulmamış, ya da gevşek tutturulmuş çakıllı kumlu killerden oluşan formasyonun geoteknik özellikleri Çizelge 1’de özetlenmektedir.

Bugüne kadar alüvyal çökeller haricinde Bakırköy kireçtaşları üzerine herhangi bir formasyonun diskordan olarak oturduğu tesbit edilmemiştir. Avcılar İlçesi’nin batısında Yakuplu Beldesi, Ambarlı Santral Lojmanları yöresinde (Şekil 1) gerçekleştirilen arazi çalışmalarında ise Bakırköy kireçtaşları üzerine akarsu çökelleriyle temsil edilen Pliyosen yaşlı Samandıra formasyonunun karasal, kızıl renkli iri ve yuvarlak kuvars çakıllı killerinin çökeldiği açık bir şekilde ilk yazar tarafından 2007 yılında gözlemlenmiştir.

7. SONUÇLAR

Arazi ve sondaj çalışmalarına dayalı olarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, günümüze kadar kabul gören literatürde ayrı ayrı adlandırılan Gürpınar, Çukurçeşme, Güngören formasyonlarının tümüne, ardalanmış benzer litolojilerden oluşmaları ve aralarında herhangi bir diskordans hattı bulunmaması nedeniyle tek bir formasyon tanımlaması yapılarak “Avcılar formasyonu” adı verilmiştir ve İstanbul ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası güncelleştirilmiştir.

Bu yeni stratigrafik yapı kabul edildiğinde, Avcılar formasyonunun farklı seviyelerinde tekrarlanan kum mercekleri her bir yeni haritalamada diskordans hatları olarak görülüp farklı formasyon adları verilerek haritalanmayacak, literatüre uyma gereksinmesi duyularak ayırtılan yapay formasyon sınırlarının yarattığı karışıklıklar giderilecek, bölgenin jeolojik yapısı ve dolayısı ile mühendislik jeolojisi ve geoteknik özellikleri doğru haritalanıp tanımlanan formasyonlara ait litolojiler dikkate alınacaktır. Geoteknik açıdan literatürde önerilen

yaklaşımlarla elde edilebilecek haritalara bağlı olarak mikrobölgeleme çalışmaları, yerleşime uygunluk haritaları incelenmek istendiğinde kil olması muhtemel bölgelerin kum, kum olması muhtemel bölgelerin ise kil olarak tanımlanması, gerçekleştirilmek istenen analizlerde kullanılacak parametrelerin de hatalı olarak seçilmesine neden olabilecektir. Özellikleri ve sınırları doğru tanımlanarak yapılan jeolojik haritalarda yer alan formasyonlar, parsel bazında belirlenen geoteknik etüdlere ışık tutacak, mühendislik özelliklerinin hesaplarda karıştırılması engellenebilecek, zeminlerde gerçekleştirilecek mühendislik faaliyetlerinde daha doğru büyüklükler kullanılması sağlanabilecek, mikrobölgeleme çalışmalarında ve yerleşime uygunluk haritalarının üretiminde de daha doğru sonuçlara ulaşılabacaktır.

İstanbul Bölgesi içinde bu çalışmanın yazarları tarafından jeolojik çalışmalar sonucu oluşturulan yeni Tersiyer stratigrafisi dikkate alınarak arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda bulunmuş olan geoteknik özellikler bir çizelge halinde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Arıç, C., “Haliç ve Küçükçekmece Gölü Bölgesinin Jeolojisi”, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, 1955.
- [2] Sönmez-Gökçen, N., “Çatalca (Trakya) Cıvarı Neojeninden Congerialı Serinin Ostracod’larla Bulunan Yeni Yaşı Hakkında Not”, MTA Dergisi, Cilt: 63 (6), 43-53, 1964.
- [3] Sayar, C., “The Geology of the Golden Horn (Haliç) and Surrounding Region”, Bosphorus University, National Symposium on the Golden Horn, 355-374, 1976.
- [4] Tezcan, S., Durgunoğlu T., Acar, Y., et al., “İstanbul Yeni İskan Yörelere Geoteknik ve Geodinamik Etüdü, Göller Arası Yöre”, Basılmamış rapor, Cilt 1, Boğaziçi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü, Araştırma Projesi, Dahili Rapor No: 77-141, 1977.
- [5] Sakınç, M., Yalıtırak, C., Oktay, F.Y., “Palaeogeographical Evolution of the Thrace Neogene Basin and The Tethys-Paratethys Relations at Northwestern Turkey (Thrace)”, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 153, 17-40, 1999.
- [6] Abdüsselamoğlu, Ş., “Kocaeli Yarımadası’nın Jeolojisi”, MTA, Derleme No: 3249, 1963.
- [7] Baykal, A.F., Kaya, O., “İstanbul Bölgesinde Bulunan Karbonifer’in Genel Stratigrafisi”, MTA Dergisi Cilt 61, 1-11, 1963.
- [8] Kaya, O., “Karbon bei İstanbul”, N. Jb. Geol. Pale. Mh. H-3, 160-173, Stuttgart, 1969.
- [9] Kaya, O., “İstanbul’un Karbonifer Stratigrafisi”, TJK Bül. 14 (2), 143-201, 1971.
- [10] Dizer, A., “The Oligocene of the Pınarhisar”, Piri Reis International Contribution Series Publication, V.2, Sixth Colloquium on Geology of the Aegean Region, 129-153, 1985.
- [11] Keskin, C., “Pınarhisar Resif Karmaşığının Mikrofasiası İncelemesi”, Rev. Fac. Scien. Univ. d’İst. Seri: B 31(3-4), 109-146, 1966.
- [12] Umut, M., Kurt, Z., İmik, M., et al., “Tekirdağ İli-Silivri (İstanbul İli)-Pınarhisar (Kırklareli İli)-Uzunköprü (Edirne İli) Alanının Jeolojisi”, MTA, Derleme No: 7349, 1983.
- [13] Umut, M., İmik, M., Kurt, Z., et al., “Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli İli)-Uzunköprü (Edirne İli) Cıvarının Jeolojisi”, MTA, Derleme No: 7604, 1984.
- [14] Yıldırım, M., Savaşkan, E., “İstanbul Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisi ve Mühendislik Özellikleri”, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni 18, 48-62, 2002.
- [15] Ansal, A., Özyayın, K., Erdik, M.; et al., “Seismic Microzonation for Urban Planning and Vulnerability Assessment”, Proceedings of the International Symposium on Earthquake Engineering Commemorating Tenth Anniversary of the 1995 Kobe Earthquake, Geotechnical Session, 13-15, January, 2005, Kobe, Japan, 2005.

- [16] Kılıç, H., Özener Tohumcu, P., Adatepe, Ş., et al., "Seismic Microzonation of Küçükçekmece-Halkalı Region in İstanbul", World Tunnel Congress & 31st ITA General Assembly, 641-647, 2005.
- [17] Kılıç, H., Özener Tohumcu, P., Ansal, A., et al., "Microzonation of Zeytinburnu region with respect to soil amplification: A case study", Engineering Geology 86, 238-255, 2006.
- [18] Özener Tohumcu, P., Kılıç, H., Yıldırım, M., et al., "Seismic Microzonation of Küçükçekmece and Sefaköy Regions in İstanbul with Respect to Liquefaction Susceptibility", Proceedings of International Conference on Problematic Soils, Famagusta, N. Cyprus, Vol. 3, 985-993, 2005.
- [19] İnce, G. Ç., Özaydın, K., Yıldırım, M., et al., "Seismic Microzonation of historical peninsula (İstanbul) with respect to liquefaction susceptibility", 4-ICEGE, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Paper No: 1354, Thessaloniki-Greece, 2007.
- [20] Alim, C., Kılıç, H., Özaydın, K., et al., "Comparison of one and two dimensional site response analysis results for Küçükçekmece region in İstanbul", 4-ICEGE, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Paper No: 1351, Thessaloniki-Greece, 2007.
- [21] İnce, G. Ç., Yıldırım, M., Özaydın K., et al., Seismic microzonation of the historic peninsula of İstanbul, Bull. Eng. Geol. Environ. Vol: 67 (1), 41-51, 2008.
- [22] Baykal, A.F., "Historik Jeoloji", İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları 127, 1974.
- [23] Yıldırım, M., "İstanbul Bölgesi Kayaçlarının Mühendislik Özellikleri", YTÜD 2000 (3), 9-23, 2000.
- [24] OYO International Corporation, "Production of Microzonation Report and Maps – European Side (South): Final Report", 400 sayfa, İstanbul, 2007.
- [25] Eroskay, O.; Kale, S., "İstanbul Boğazı Tüp Geçiş Güzergahında Jeoteknik Bulgular", Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni (8), 2-7, 1986.
- [26] Yıldırım, M.; Yıldırım, S.; Akgüner, C., "Haramidere-Yakuplu Yöresi Zemin Davranışının Yapılardaki Temel Sistemine Etkisi", IX. Mühendislik Sempozyumu, İnşaat Mühendisliği Bildirileri Kitabı, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 27-35, 1996.
- [27] Yıldırım, M., "Engineering geological evaluation of solid waste landfill sites: two examples from İstanbul, Turkey", Bulletin of Engineering Geology 55, 151-158, 1997.
- [28] Nazik, A., "Bakırköy Formasyonu'nun (Küçükçekmece-İstanbul) Ostrakod Faunasına Göre Yaşı ve Oluşum Ortamı Hakkında Yeni Görüşler", İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi 11, 87-101, 1998
- [29] Meriç, E.; Oktay, Y.F.; Sakınç, M., et al., "Ayamama (Bakırköy-İstanbul Kuvaterner İstifinin Sedimenter Jeolojisi ve Paleoeolojisi", C.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri 8 (1), 93-100, 1991.