

JEOFİZİK VE GEOTEKNİK METOTLARLA MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI: YALOVA'DA ARAZİ UYGULAMASI

Engineering Applications of Geophysical and Geotechnical Methods: A Field Example at Yalova

Ali BOZKURT¹ ve Cengiz KURTULUŞ²

ÖZET

Yalova ili, Gaziosmanpaşa mahallesinde yapılaşma amacıyla temellerin oturacağı yakın yüzey formasyonlarının fiziksel özelliklerini ortaya çıkartmak amacıyla jeofizik ve geoteknik araştırmalar yapılmıştır. 10 noktada sismik kırılma ve Schlumberger elektrot dizilimli Düşey Elektrik sondajı (DES), 16 noktada ise mekanik temel sondajı yapılmış ve kuyuların içinden her 1,5 m de bir bozulmuş/bozulmamış zemin örnekleri toplanmış ve Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde inceleme alanında üstte kalınlığı 1.4 m civarında değişen örtü tabakasının altında kalınlığı 4-4.5 m olan siltli kil tabakasının geldiği, bu tabakanın altında ise kum tabakasının yer aldığı saptanmıştır. Siltli kilin taşıma gücü $q_u=2.86-3.04 \text{ kg/cm}^2$ ve kumunki ise $q_u=6.23-11.38 \text{ kg/cm}^2$ arasında tespit edilmiştir. Çalışma alanında kırık/fay gibi jeolojik özellikler gözlenmemiştir.

ABSTRACT

Geophysical and geotechnical investigations were conducted in the Gaziosmanpaşa district of Yalova in order to investigate the physical properties of near surface sediments for the construction project. Seismic refraction and Vertical Electrical Sounding (VES) applied at 10 points and mechanical soundings were operated at 16 points. Disturbed/undisturbed soil samples were collected and Standart Penetration Tests (SPT) were conducted at every 1.5 m in the drill-holes.

The results of investigation indicated that below the cover layer of about 1.4 m in thickness at the surface, silty clay layer with the thickness of 4-4.5 m was placed overlying the sand layer. The bearing capacity of the silty layer was determined between $q_u=2.86-3.04 \text{ kg/cm}^2$ and that of sand layer between $q_u=6.23-11.38 \text{ kg/cm}^2$. Geologic features such as cracks/faults were not detected in the investigation area.

GİRİŞ

Son yıllarda inşaat ve çevre mühendisliğinde jeofizik metotlar geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Jeofizik metotlar temeller için zemin araştırmasının yanında baraj, tünel, yol ve kirlilik araştırmalarına kadar geniş bir alanda kullanım alanı bulunmaktadır. (Klimis ve diğ.,1999; Luna ve Jadi, 2000; Otham, 2005; Savvaidis ve diğ., 1999; Soupios ve diğ.,2005; Vankateswrar ve diğ.,2004) jeolojik yapıların araştırılmasında ve kayaçların fiziksel parametrelerinin hesaplanmasında jeofizik metotları kullanmışlardır. Yapıların deprem dalgaları karşısındaki davranışı, temellerin oturtulacağı zeminin mühendislik özellikleri, olası hasar tahmini son zamanlarda üzerinde durulan konulardır (Delgado ve diğ.,2000a,2000b; Seht Maltelbs-von ve Wohlenberg, 1999; Parolai ve diğ.,2001, 2002; Delgado ve diğ., 2002). Jeofizik metotlarla yeraltı yapısı hakkında elde edilen fiziksel veriler, yapılar üzerinde risk tayinin ve risk azalımının belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Yalova'da yer alan inceleme alanında doğal şartlar

¹ ABM Mühendislik, Araştırma Bilgi Merkezi, İZMİT-KOCAELİ. e-mail: alibozkurt@abmjeo.com

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bl. Umuttepe Yerleşkesi İZMİT-KOCAELİ. e-mail: cengizk@kocaeli.edu.tr

altında temel özellikleri, olası zemin problemleri ve doğal afet risk varlığının belirlenmesine yönelik jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapılmış, ve amaca yönelik zemin profili çıkartılmıştır.

Yalova İli, Gaziosmanpaşa Mahallesi sınırları içinde kalan bölgenin zemin araştırmasını yapmak amacı ile yaklaşık 1230.10 m² lik bir alanda jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapılmıştır (Şekil-1.)



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası
Figure 1. Location of the investigation area

JEOLOJİ

Genel Jeoloji

Bölgesel anlamda Yalova civarında yüzeyleyen birimlerin genel jeolojik özellikleri Emre ve diğ. (1999) tarafından çalışılmıştır. Bölgenin genel jeoloji haritası şekil-2’de, stratigrafik sütun kesiti ise şekil 3 te sunulmuştur. Prekambriyen-Alt Paleozoyik yaşlı olduğu düşünülen Pamukova Metamorfikleri bölgenin temelini oluşturur. Alt Triyas yaşlı Taşköprü Formasyonu, Üst Kretase Yaşlı Bakacak formasyonu, Üst Paleosen- Orta Eosen yaşlı İncebel formasyonu, Eosen yaşlı Sarısu Formasyonu temeli örten sedimanter ve volkano sedimanter birimlerdir. Eosen döneminde Fıstıklı graniti bölgeye yerleşmiştir. Daha üstte ise Sarmasiyen yaşlı Kılıç Formasyonu, Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı denizel çökeller ile güncel alüvyonlar yer almaktadır.

Bölgede birçok araştırmacı çalışmıştır. Bunlardan Akartuna(1968), Erendil ve diğ. (1991), Sakınç ve Bargu (1989), Bargu ve Sakınç (1990), Göncüoğlu ve Diğerleri (1992) ve Seymen (1995) değerlendirmeleri esas alınmıştır. İnceleme alanını da içine alan bölgede yer alan stratigrafik birimler, en yaşlıdan en gence doğru aşağıda verilmiştir.

Pamukova metamorfikleri (Pmş)

Armutlu yarımadasının temel kayalarını Pamukova metamorfikleri oluşturmaktadır. Amfibolit, amfibol şist, granit, metavolkanit, metagrovak, metakuvarsit ve fillitten oluşan metamorfiter yer yer apilit, pegmatit ve kuvars damarlarıyla kesilmektedir. Birimin yaygın litolojisi olan amfibolitler irili ufaklı granitik plutonlarla kesilmiş olup, gnaysik dokuya sahiptir. Amfibolitler yer yer granit

çakılları içeren ve genellikle metagrovak, metakuvarsit ve sleytten oluşan bir metakırıntılı birim ile uyumsuz olarak üzerlenir. Yalova ve yakın civarındaki daha dar alanda genellikle Bakacak formasyonu ile Eosen yaşlı formasyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülür.

Taşköprü Formasyonu (Trt)

Birim kırmızı-mor, gri renkli, çatlaklı, sert, sıkı tutturulmuş, orta-kalın tabakalı kumtaşı, silttaşı ve çakıltaşıdır. Birim içindeki egemen litoloji mika pulları da içeren silttaşı ve kumtaşıdır. Kumtaşları genellikle demir ve klorit çimentolu grovak özelliğindedir. Seyrekçe görülen çakıltaşı seviyeleri kireçtaşı, şist, kuvars ve radyolarit çakıllarından oluşmaktadır. Birim, Bakacak ve İncebel Formasyonları tarafından uyumsuz olarak örtülür.

Bakacak Formasyonu (Kb)

Egemen olarak çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşan formasyon tabanda kalın tabakalı bir taban konglomerası ile başlar. Çakıltaşları mercek şeklinde, kötü boylanmalı, derecelenmeli, eş zamanlı ya da farklı yaşlı kırıntılar ve çakıllar içerir. Kumtaşları gri renkli, dereceli, laminalı, tane destekli, ince-kaba tanelidir. Kumtaşı ve çakıltaşlarında çimento, kalkerli veya killidir. Birim paleozoyik ve Triyas yaşlı formasyonlar üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Üstte Paleosen-Orta Eosen yaşlı İncebel formasyonu ile uyumlu, Miyosen yaşlı Kılıç formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür.

İncebel Formasyonu (Ti)

Birim altta bir taban konglomerası seviyesi ile başlar ve genellikle tekdüze bir şekilde kumtaşı, çamurtaşı, marn ve çakıltaşı araldanması ile devam eder. Kumtaşları laminalı, derecelenmeli, tane destekli, bol kuvars taneli, volkanik ve metamorfik kaya parçalı türbiditik çökellerdir. İstif üst kesimlere doğru kireçtaşı ve çamurtaşı araldanmasından oluşan bir nitelik kazanır.

Toplam kalınlığı yaklaşık 1000 m civarındadır. İncebel formasyonu üzerine geçişli olarak Sarısu formasyonu gelir. İncebel formasyonu içinde ara seviyeler olarak bulunan tüfler formasyonun tuf üyesi olarak adlandırılmıştır (Tit). Beyaz ve yeşil renkler arasında değişen tüfler ince-iri taneli ve sıkı tutturulmuştur.

Sarısu Formasyonu (Ts)

Metamorfik kayalar üzerinde çakıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan bir seviye ile başlar. Bunun üzerine kalınlığı 1000 metreyi bulan, ince-kaba taneli tuf ve lapilli tuf içinde çeşitli boyutta andezitik tuf ve kaya parçalarından oluşan piroklastik kayalar gelir. İstif içinde yer yer iri andezit bloklu ve çakıllı plaj çakıltaşı seviyeleri bulunur. Lav akıntıları ortalama 5 m kalınlıkta düzeyler halinde piroklastik kayalarla araldanır. İstif özellikle üst düzeylerde bazalt daykalarıyla kesilir. Birim altta metamorfik kayalar üzerine uyumsuz, İncebel formasyonu ile geçişlidir. Fıstıklı Graniti tarafından kesilen birim üstte Kılıç formasyonu tarafından örtülür.

Fıstıklı Graniti (Tf)

Genellikle gri, bazen pembe renkli, ayrılmış seviyeleri açık sarı renkli, sert ve masif yapılı sokulum kayasıdır. Pamukova metamorfikleri ile Sarısu volkanitlerini keser.

Kılıç Formasyonu (Tk)

Birim değişik renklerdeki laminalı, ince tabakalı, orta-sıkı tutturulmuş kıltaşı, silttaşı, marn ile mercek ve bant şeklinde kumtaşı ve çamurtaşından oluşur. Killer yer yer jips kristallidir. Üst seviyelere doğru marnlar arasında killi kireçtaşlarına rastlanır. Kıltaşı ve marnlar kum ve ince-orta kalınlıkta kireçtaşları ile çökelmiştir. Kılıç formasyonu üzerinde yaygın olarak 1-6 m kalınlığında bir ayrışma seviyesi izlenir. Kil niteliğinde olan bu seviye çamur akması ve krip şeklinde kütle hareketleri gözlenir. Kılıç formasyonu kendinden yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelir.

Yalacdere Formasyonu (Ty)

Birbiriyle geçişli kumtaşı, çakıltaşı, silttaşı, kıltaşı ve çamurtaşı seviyelerinden oluşur. Birim içinde değişik lokasyonlarda kireçtaşı düzeyleri de izlenir. Çoğunlukla tutturulmamış olan birim çapraz tabakalanmalı ve demiroksit nodüllüdür. Tektonizma etkisiyle kıvrımlı ve kırıklı bir yapı kazanan birim yer yer heyelanlıdır. Yalacdere formasyonunun kireçtaşlarından oluşan üst kesimi Kireçtaşı üyesi (Tyk) olarak ayırtlanmıştır. Genellikle yataya yakın bir eğime sahip olan kireçtaşları yer yer killi seviyeler içerir. Kireçtaşı üyesinin alt seviyeleri genellikle masif, üstte doğru ise belirgin tabakalanmalıdır. Kalınlığı değişken olup, en çok 100 metredir. Yalacdere formasyonu Kılıç formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir.

Kuvaterner Çökelleri

Denizel seki çökelleri ile kıyı ve akarsu ortamlarında çökelmiş kuvaterner oluşukları çökelme ortamları ve jeomorfolojik özellikleri dikkate alınarak 13 alt birim ayrılmıştır. Üst seki çökelleri (Qdsi) sarı, boz renklerde tabakalı, gevşek çimentolu kum, killi kum ve siltten oluşur. Temele yakın alt seviyeler sıkı çimentolanmış volkanik kaya ve kireçtaşı çakılları kapsayan taban konglomerası ile başlar. Üste doğru gevşek tutturulmuş kumtaşlarına, daha üst seviyelerde ise siltli kum ve marnlara geçer. Üzerine alüvyal çökeller gelir.

Alt seki çökelleri (Q Ds2) 3-5 m kotlarında, kıyıda yaklaşık 1 km içerideki yamaç önlerinde yüzeylenir. Tabanlar kumtaşı-çakıltaşı ile başlar, üste doğru kumtaşı ve silttaşına geçer. Şekiller dışında kalan Holosen birimleri kıyıda deniz, deniz/akarsu; karada ise akarsu ortamında depolanmış, tutturulmamış gereçlerden oluşur. Yanal ve düşey yönlerde birbirleriyle geçişlidir. Denizel kökenli birimler kıyı boyunca plaj (Q D P), kıyı kordonu (Qdo), kıyı düzlüğü (QDk) ve bataklık (QDb) çökellerinden oluşur. Bunlara ek olarak lagün çökelleri de (QDI) mevcuttur. Akarsu çökelleri kanal (AK) ve taşkın ovası (AT) iki gruba ayrılmıştır. Kanal tipi olanlar genellikle örgülü akarsu ve menderes çökelleri şeklindedir. Taşkın çökelleri delta ve kıyı düzlüklerinde yaygındır. Akarsu çökelleri olarak haritalanan grup içinde daha dar alanda yüzeyleyen doğal set çökelleri de (AL) vardır. Alüvyon yelpazesi çökelleri (QEy) basık bir topoğrafya ile tipik geometriye sahiptir. Yelpazelerin iraksak kesimlerinde 3-5 m. kotundaki alt seki çökelleri daha sonra delta düzlüğü (QDd) çökellerine geçer. Kuvaterner birimler içinde en genç olan etek çökelleri (QEe) alüvyon yelpazelerini örten bir kuşak şeklinde yüzeylenmektedir.

ARAZİ ARAŞTIRMALARI VE DENEYLER

İnceleme alanında zeminin fiziksel özelliğini belirlemek amacıyla 10 noktada karşılıklı atışlı sismik kırılma, 16 noktada derinlikleri 15 m olan mekanik sondaj ve 10 noktada ise Schlumberger elektrot düzeli Düşey Elektrik Sondajı (DES) çalışmaları yapılmıştır (Şekil 4). Sondaj çalışmalarında rotary sulu sistem 250 m. delme kapasiteli sondaj makinesi kullanılmıştır. Sondaj kuyularında her 1.5 m de bir SPT deyi yapılmış örselenmemiş ve örselenmiş örnekler toplanmıştır. Sismik kırılma verileri GEOMETRICS model, 12 kanallı Sismik Refraksiyon cihazı ile kaydedilmiştir. Veri alma işlemlerinde 12 adet P - dalgası, 12 adet S - dalgası jeofonu kullanılmıştır. Çalışmada serim boyu 24 m, jeofon aralığı 2 m ve atış noktası ile ilk jeofon arası uzaklık (offset) 2 m olarak belirlenmiştir.

Kuyunun Derinliği (m)	Sondaj Tipi	STANDART PENETRASYON DENEYİ (Standard Penetration Test)				ZEMİN TANIMLAMASI Soil Description	ZEMİN PROFİLİ Soil Profile	DAYANIRLIK Strength	AYRIRMA Washing	KURU/20 m Moisture %	KURU/20 m Moisture %	KURU/20 m Moisture %
		DARBE SAYISI Num. Of Blows	SPT GRAFİĞİ SPT Graph									
10												
11												
12												
13												
14	1	UD				0.50						
15												
16	2	SPT	1	3	4	8						
17		UD										
18	3	SPT	2	4	5	10						
19												
20	4	SPT	3	6	6	12						
21												
22	5	SPT	4	7	8	16						
23												
24	6	SPT	5	8	9	18						
25												
26	7	SPT	6	9	10	20						
27												
28	8	SPT	7	10	11	23						
29												
30	9	SPT	8	11	13	25						
31												
32	10	SPT	9	12	14	28						
33												
34	11	SPT	10	13	15	30						
35												
36	12	SPT	11	14	16	32						
37												
38	13	SPT	12	15	18	32						
39												
40	14	SPT	13	16	19	32						
41												
42	15	SPT	14	17	20	32						
43												
44	15.45											

Şekil 5. Sondaj kuyusu SK-16 ya ait kuyu logu
Figure 5. Sounding log of SK-16

Sonuçlar ve Tartışmalar

Jeofizik Sonuçlar

Sismik kırılma

İnceleme alanında yapılan ölçümlerde elde edilen V_p ve V_s hız değerleri ve bu hız değerlerine bağlı olarak her tabaka için hesaplanan ortalama zemin dinamik elastik parametreleri; yoğunluk (ρ) Young Modülü (E), Poisson Oranı (σ), Bulk Modülü (K), Yataklanma Katsayısı (K_s), Zemin Hakim Titreşim Peryodu (T_0) ve (a) Zemin Büyütmesi Tablo1'de verilmiştir (Tezcan ve diğ.,2006).

Tablo 1. Vp ve Vs dalga hızlarına göre hesaplanan zemin dinamik elastik parametreleri
Table 1. Dynamic elastic parameters determined using P and S wave velocities

Katman No	Vp (m/s)	Vs (m/s)	d (gr/cm ³)	E (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)	P	h (m)	Ks (ton/m ³)	qs (kg/cm ²)	a	To (sn)
I	439	172	1.69	1410	500	0.41	1.40	1067	0.70	2.6	0.54
II	876	381	1.78	7124	2575	0.38		2239	1.62		

Burada Vp=P dalga hızı, Vs= S dalga hızı, d= yoğunluk; $d = (16+(0,002*Vp))/10$, E= Elastisite modülü; $E = (d*(Vs)^2/100) * ((3Vp^2 + 4Vs^2)/(Vp^2 - Vs^2))$, G=Kayma modülü; $G = d*Vs^2/100$, h=1. tabakanın kalınlığı $h = (0,5*Ti*Vp1*Vp2) / (Vp2^2 - Vp1^2)^{1/2}$, K= Bulk modülü ; $K = d*(Vp^2 - (4/3*Vs^2))/100$, qs=Zemin emniyet gerilmesi; $qa(Taşıma\ gücü)/3$; $qa = 2.4(10^{-4}) * p * Vs$ 'dür.

Sismik kırılma çalışmaları sonucunda Vp1:439 m/s ve Vs1:172 m/sn hız değerlerine sahip, yüzeyden itibaren derinliği yer yer 1.40 metre civarında gevşek örtü tabakasının varlığı tespit edilmiştir. Örtü tabakasının altında, Vp2:876 m/s ve Vs2:381 m/s arasında hız değerlerine sahip siltli kil tabakası bulunmaktadır.

Bu birimin altında 4.39 m derinlikten sonra ise, Vp3: 938 m/s ve Vs3:399 m/s hız değerlerine sahip kum tabakası gelmektedir. Elde edilen Vp ve Vs hızları Tablo 2'ye göre değerlendirildiğinde, Yerel Zemin Sınıfı Z3 olarak bulunmuştur. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi – USCS'ye göre değerlendirildiğinde ise zemin sınıfı ince taneli zeminler için CL, kaba taneli zeminler için ise, SM olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Deprem Yönetmeliğine Göre Zeminlerin Sismik Sınıflaması(AFET, 2007)

Table 2. Soil classification based on the Earthquake Regulation

Deprem Yönetmeliğine Göre Yerel Zemin Sınıflaması	Vs (m/sn)	Ta - Tb (sn)	Vp/Vs	Gs (kg / cm ²)	Ed (kg / cm ²)	qs (kg/cm ²)
Z1 Çok Sıkı Zemin	> 700	0.10-0.30	1.5 - 2.0	> 10 000	> 30 000	10 - 100
Z2 Sıkı - Katı	400 - 700	0.15 - 0.40	2.0 - 2.5	3000 - 10 000	10 000-30 000	3 - 10
Z3 Orta Sıkı-Bozuşmuş	200- 400	0.15 - 0.60	2.5 - 3.0	600 - 3 000	1 700 - 10 000	1 - 3
Z4 Gevşek-Yumuşak	< 200	0.20-0.90	3.0-10.0	< 600	< 1 700	< 1

Elektrik Özdirenc sonuçları

Jeofizik Rezistivite düşey kesitlerinde görülen düşük rezistivite değerleri (15.2-18.5 ohm.m) yeraltı suyu olanakları açısından zayıf kısımları, yüksekçe rezistivite değerli (32.6-41.3 ohm.m) kesimler ise çakıllı, kumlu sert kıvamlı siltli kil tabakası olarak yorumlanmıştır.

Geoteknik sonuçlar

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında her 1.50 m derinlikte uygulanan Standart Penetrasyon Testinde (SPT) alınan örselenmiş numuneler ile örselenmemiş (UD) numuneler üzerinde laboratuarda yapılan elek analizi deneyi sonucunda siltli kil ve kum için elde edilen % çakıl, kum, silt ve kil değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3 Siltli kil için elek analizi sonuçları

Table 3. Results of sieve analysis for silty clay

Malzeme	Minimum	Maksimum	Ortalama
% Çakıl	1.09	5.63	3.19
% Kum	18.11	28.16	22.83
% Kil-Silt	68.91	76.27	73.44

Tablo 4. Kum için elek analizi sonuçları

Table 4. Results of sieve analysis for sand

Malzeme	Minimum	Maksimum	Ortalama
% Çakıl	1.43	12.48	4.76
% Kum	63.85	79.56	70.91
% Kil-Silt	18.37	33.03	24.81

İnceleme alanında yer alan siltli killin yer aldığı seviyeden toplanan zemin örnekleri üzerinde Atterberg deneyleri yapılarak likit limit, plastik limit ve plastisite indisi bulunmuştur. Sondaj çalışmalarında kilin 2.50-3.00 m arası derinliklerden alınan örselenmemiş (UD) numuneleri üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi sonucunda sıkışma indisi (C_c), ve su içeriği deneyi sonucunda siltli kil için su içeriği (W_n) bulunmuş olup, bu değerler Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Siltli kil için Atterberg limitleri, doğal su içeriği ve sıkışma indisi değerleri

Table 5. Atterberg limits, natural water content and compression index values for silty clay

	Minimum	Maksimum	Ortalama
Likit Limit - LL (%)	38.67	42.30	40.00
Plastik Limit - PL (%)	18.01	20.38	19.10
Plastisite İndisi - PI (%)	18.91	24.29	20.90
Doğal Su İçeriği - %W	15.11	25.58	19.10
Sıkışma İndisi - C_c	0.26	0.29	0.27

Kesme Kutusu Deneyi

İnceleme alanında açılan sondajlardan toplanan zemin örnekleri üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinde kohezyon $c=9.0-10.0$ kPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ)= 17^0-21^0 arasında hesaplanmıştır.

Kıvamlılık İndisi, Sıkışabilirlik ve Zemin Plastisitesi

Sondajlardan alınan örselenmiş (SPT) ve örselenmemiş (UD) zemin örnekleri üzerinde laboratuarda yapılan Atterberg Limitleri deneylerinde Kıvamlılık İndisi $I_c = 0.67-1.21$ 'sıkı-çok sert' zemin sıkışabilirliği $C_c = 0.26-0.29$ 'Orta Sıkışabilir' ve zemin plastisitesi $PI = 18.91-24.29$ plastiklik derecesi 'plastik' ve kuru dayanım 'orta' olarak tespit edilmiştir (Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8). Zemin plastisitesi Tablo 9'a göre değerlendirildiğinde şişme derecesi 'orta' ve şişme yüzdesi '10 – 20' olarak bulunur.

Tablo 6. Kohezyonlu zeminlerin kıvamlılık indisine göre sınıflandırılması

Table 6. Classification of cohesive soils according to consistency index

Kıvamlılık İndisi (I_c)	Sınıflama
< 0.05	Çok yumuşak
0.05-0.25	Yumuşak
0.25-0.75	Sıkı
0.75-1.00	Sert
>1.00	Çok sert

Tablo 7. Zeminlerin sıkışabilirliği

Table 7. Compressibility of soils (Sowers, 1979)

Tanım	Sıkışma İndisi (C_c)	Likit Limit
Düşük sıkışabilirlik	0-0.19	0-30
Orta sıkışabilirlik	0.20-0.39	31-50
Yüksek sıkışabilirlik	> 0.40	> 51

Tablo 8 Plastisite derecesinin plastisite indisine göre belirlenmesi (Leonards, 1962)

Table 8. Determination of plasticity ratio according to plasticity index

Plastisite indisi, PI (%)	Plastisite derecesi	Kuru dayanım
0-5	Plastik değil	Çok düşük
5-15	Az plastik	Düşük
15-40	Plastik	Orta
>40	Çok plastik	Yüksek

Elde edilen bu veriler Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'e göre değerlendirilmiş ve zemin sınıfı CL olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. İndeks özelliklerine göre zeminlerin şişme yüzdesi ve derecesi (Holtz ve Gibbs, 1956)
Table 9. Swelling percentage and ratio of the soils according to soil index properties

İndeks Özellikleri			Şişme Yüzdesi	Şişme Derecesi
Kolloid % (> 0.001mm.)	Plastisite İndisi	Büzülme (Rötre) Limiti		
>28	>35	<11	>30	Çok yüksek
20-31	25-41	7-12	20-30	Yükse
13-23	13-28	10-16	10-20	Orta
<15	<10	>15	<10	Düşük

Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında tespit edilen siltli kil biriminde yapılan Standart Penetrasyon Testlerinde SPT N_{30} değerleri 14-46 arasında, kum biriminde yapılan Standart Penetrasyon Testlerinde SPT N_{30} değerleri 10-40 arasında bulunmuştur.

Zemin Taşıma Gücünün Değerlendirilmesi

Siltli Kil İçin:

İnceleme alanında yer alan zeminlere ait taşıma gücü hesapları, siltli kil tabakasından 3.00 m derinlikten alınan örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan üç eksenli basınç dayanımı deneylerinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Terzaghi,1943). 3 m derinlik için taşıma gücü $q_u=3.04-2.86 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmış olup, buradan zemin emniyet gerilmesi. $q_{all} = q_u/3$ bağıntısından $q_{all} = 1.01-0.95 \text{ kg/cm}^2$ bulunmuştur.

Kum İçin:

3.00 m temel derinliği için taşıma gücü $q_u= 6.23 - 11.38 \text{ kg/cm}^2$ ve zemin emniyet gerilmesi $q_{all} = 2.08- 3.79 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Yataklanma Katsayısının Belirlenmesi

İnceleme alanında yapı temelinin oturacağı ortam için yataklanma katsayısı hesabı Bowles, 1982'ye göre (1) bağıntısından hesaplanmıştır.

$$K_s=q_{all}*40*GS \quad (1)$$

Burada,

q_{all} : zemin emniyet gerilmesi ve GS: güvenlik sayısıdır. Siltli kil için ($q_{all}=0.95 \text{ kg/cm}^2 = 9.5 \text{ ton/m}^2$), $K_s= 9.5*40*3 = 1140 \text{ ton/m}^3$ ve kum için ($q_{all}=1.17 \text{ kg/cm}^2 = 11.7 \text{ ton/m}^2$), $K_s= 11.7*40*3 = 1404 \text{ ton/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Bina Zemin İlişkisinin İrdelenmesi

‘Yapı - Yer Uyumu’ yapıda gereksiz ‘zonlanma’ ların oluşmasını daha işin başında önlemeye yönelik olarak, birtakım basitleştirmelerle, “yapı doğal periyodunun yerin baskın periyod bölgesinden uzak kılınması”na indirgenebilir. Yeterli uzaklaşmanın kriteri olarak da “yapı periyodunun, yer baskın periyod değerinin $1.0/1.5 = 0.67$ ’ si ile 1.5 katı arasındaki bölgede bulunmaması” koşulu ileriye sürülebilmektedir. Baskın periyodu $1/1.5$ ve 1.5 katsayıları ile çarpılarak, ‘yapı doğal periyodları’ nın yer almaması gereken ‘amplifikasyon bölgesi’ nin; $T_0 = 0.54$ sn için;

$$T_{o1} = 0.67 * 0.54 = 0.36 \text{ sn}$$

$$T_{o2} = 1.50 * 0.54 = 0.81 \text{ sn}$$

arasında olduğu bulunmuştur. ‘C’ katsayılarını kullanarak (Tablo 10) ‘yapı doğal periyodları’ nın yer alacağı aralık’ ise; III nolu gruba giren ve bodrum+zemin+3 katlı betonarme binalar için hesaplanacak olursa, T_a ve T_b ;

$$T_a = 0.045 * 5 = 0.23 \text{ sn}$$

$$T_b = 0.069 * 5 = 0.34 \text{ sn}$$

olarak bulunur.

Tablo 10. Çok-katlı betonarme binaların rijitlik gruplarına göre tanımları ve doğal periyot formülünde kullanılacak c katsayıları

Table 10. Definition of multi storey concrete building according to rigidity groups and c coefficients which will be used in natural soil period equation

GRUP NO	Bina Strüktürünün Rijitlik Tanımı	C Katsayısı
I	Kalın, sık ve birbiriyle kesişen betonarme perdeler, (varsa) bunlara ilaveten az sayıda kolon	0.020 – 0.029
II	Kalınca kolon ve kirişlere ilaveten sıkça betonarme perdeler ya da rijit dolgu duvarları	0.030 – 0.044
III	<u>Normal aralıklı, normal boyutta kolon ve kirişlere ilaveten normal aralıklı betonarme perde ya da rijit dolgu duvarları</u>	<u>0.045 – 0.069</u>
IV	Normal aralıklı, normal-ince arası kolon ve kirişlere ilaveten seyrek betonarme perde ya da rijit dolgu duvarı	0.070 – 0.089
V	Geniş aralıklı, ince kolon ve kirişler veya asmolen döşemeye ilaveten minimuma yakın perde ya da rijit dolgu duvarı	0.090 – 0.130

İnceleme alanı 1.derece deprem bölgesine girdiğinden etkin yer ivme katsayısı $A_0=0.40$, Yer Salınım Spektrum Simgesel Periyotları $T_a-T_b=0.15-0.60$ sn olarak elde edilir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, inceleme alanında zeminde meydana gelebilecek deformasyonları engellemek için temel kazı derinliğinin 6.50 m kotundan itibaren 4.50-5.00 m’ lik kısmın kaldırılıp, mevcut kottan itibaren 100 cm iri malzeme doldurularak 20-30 cm. tabakalar halinde kademeli olarak en az % 95 proktor sağlayacak şekilde sıkıştırılması, her kademede düzenli

olarak sıkışma kontrolünün yapılması, sıkışmış bu dolgu tabakası üzerine 20 cm grobeton dökülmesi ve uygun temel sisteminin bunun üzerine oturtulması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

AFET İŞL. GN. MÜDÜRLÜĞÜ, 2007. 03 Mayıs 2007 tarih, 26511 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, Ankara.

AKARTUNA, M., 1968. Armutlu yarımadasının jeolojisi, İÜ Fen Fak. Monografileri, 20, 105s.

BARGU, S. SAKINÇ, M., 1989. İznik körfezi-İznik gölü arasında kalan bölgenin jeolojisi ve yapısal özellikleri, İÜ Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 6, 45-76.

DELGADO J., ALFARO P., GALINDO-ZALDIVAR J., JABALOY A., LOPEZ GARRIDO A. C., and SANZ DE GALDEANO C., 2002. Structure of the Padul-Niguelas Basin (S Spain) from H/V ratios of ambient noise: application of the method to study peat and coarse sediments Pure Appl. Geophys. 159 2733-49.

DELGADO J., LOPEZ C. C., ESTEVEZ A., GINER J., GUENCA A., and MOLINA S., 2000a. Mapping soft soils in the Segura river valley (SE Spain): a case study of microtremors as an exploration tool, J. Appl. Geophys. 45 19-32.

DELGADO J., LOPEZ C. C., GINER J., ESTEVEZ A., CUENCA A., and MOLINA S., 2000b. Microtremors as a geophysical exploration tool: applications and limitations, Pure Appl. Geophys. 157 1445-62.

ERENDİL M.; AKSAY, A.; KUŞÇU L., ORAL, A.; TUNAY, G. VE TEMREN, A. 1991. Bolu Masifi ve çevresinin jeolojisi: MTA Arşivi Rap. 9425, (yayımlanmamış), Ankara.

GÖNCÜOĞLU, M.C.; ÖZCAN, A.; TURHAN, N. VE IŞIK, A., 1992. Stratigraphy of the Kütahya region: International Symposium on the Geology of the Black Sea Region (ISGB). Guide Book, 3-8, Ankara.

HOLTZ, W.G., GIBBS, H.J., 1956. Engineering Properties Of Expansive Clays, Transactions, ASCE, Vol. 121, pp. 641-677.

KLIMIS N. S., PAPAACHOS C. B., and EFREMIDIS CH. F., 1999. Determination of the behavior of a sedimentary rock mass: comparison of measured static and dynamic properties, Proc. 9th Int. Conf. on Rock Mechanics (Paris, France).

LEONARDS, G.A., 1962. Foundation Engineering. Mc Graw Hill Book Comp., New York, 1136 s.

LUNA R. and JADI H., 2000. Determination of dynamic soil properties using geophysical methods Proc. 1st Int. Conf. on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure Geophysics, (Federal Highway Administration, Saint Louis, MO) vol 3 pp 1-15.

- OTHMAN A. A. A., 2005. Construed geotechnical characteristics of foundation beds by seismic measurements, *J. Geophys. Eng.*, 2 126–38.
- PAROLAI S., BORMAN P. and MILKREIT C., 2001. Assessment of the natural frequency of the sedimentary cover in the Cologne area (Germany) using noise measurements, *J. Earthq. Eng.* 5 541–64.
- PAROLAI S., BORMAN P. and MILKREIT C., 2002. New relationships between Vs, thickness of sediments and resonance frequency calculated by H/V ratio of seismic noise for the Cologne area (Germany) *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92 2521–7.
- SAKINÇ, M. VE BARGU, S., 1989. İzmit körfezi güneyindeki geç Pleistosen çökel stratigrafisi ve bölgenin neotektonik özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 32, 51-64.
- SAVVAIDIS A., TSOKAS G., SOUPIO S., VARGEMEZIS G., MANAKOU M., TSOURLOS P., and FIKOS I., 1999. Geophysical prospecting in the Krousovitis dam (N Greece) by seismic and resistivity geophysical methods, *J. Balkan Geophys. Soc.* 2 128–39.
- SEYME, İ., 1995. İzmit Körfezi ve Çevresinin Jeolojisi (İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi; Meriç, E., içinde) 1-22.
- SOUPIO S. M., PAPAACHOS C. B., VARGEMEZIS G., and FIKOS I., 2005. Application of modern seismic methods for geotechnical site characterization, *Proc. Int. Workshop in Geoenvironment and Geotechnics (Milos Island, Greece, 12–14 September)* pp 163–70.
- SOWERS, G.B., SOWERS, G.F., 1979. *Introductory Soil Mechanics and Foundations*, Mc Millan
- TERZAGHI, K., 1943. “*Theoretical Soil Mechanics*” Wiley, New York. ve Peck, R.B., 1948. “*Soil Mechanics İn Engineering Practice*” Wiley, 729s., New York.
- TEZCAN, SEMİH S.; KEÇELİ A.; ÖZDEMİR Z., (2006). Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity, *Tecnicall Note*, İstanbul.
- VENKATESWARA V. R., SRINIVASA R., PRAKASA R. B. S., and KOTESWARA R. P., 2004. Bedrock investigation by seismic refraction method—a case study *J. Ind. Geophys. Union* 8 223–8.