

## JEOLJİK GÖZLEMLER, JEOFİZİK UYGULAMALAR VE JEOTEKNİK TESTLERLE YER ARAŞTIRMASI

### Site Investigation by Geologic Observation, Geophysical Application and Geotechnical Tests

Ali BOZKURT<sup>1</sup>, Hasan ENDEŞ<sup>2</sup> ve Cengiz KURTULUŞ<sup>2</sup>

#### ÖZET

Kocaeli ili, Körfez ilçesi'nde bulunan çalışma alanında yapılaşmadan önce yeraltındaki yapıların belirlenmesi, temel dizaynı için gerekli olan yakın yüzey arazi ve laboratuvar verilerinin elde edilmesi, yerin taşıma gücünün ve yeraltı su seviyesinin belirlenmesi ve hafriyat sorunlarının araştırılması amacıyla jeolojik, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla, standart penetrasyon testi, rotary sondaj, elek analizleri, kıvam limitleri, likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, üç eksenli basınç deneyi, konsolidasyon deneyi, su muhtevası ve birim hacim ağırlık testi yapılmıştır.

#### ABSTRACT

Before structuring in a region located in the Körfez district, Kocaeli, geological, geophysical and geotechnical studies have been conducted in order to determine the underground structures, to obtain the near-surface and laboratory data which are necessary for the basic design of foundation, the bearing capacity and the level of underground water and to investigate the excavation problems. For this aim, standard penetration test, rotary drilling and rock coring were performed, Sieve analysis, Atterberg limits, liquid limit, plastic limit, plasticity index, three-axis pressure test, consolidation test, water content and unit weight tests were conducted.

#### GİRİŞ

Arazide uygulanan çalışmalarla yerel zemin koşullarını ortaya çıkarmak ve zemin parametrelerini belirlemek depreme dayanıklı yapıların tasarımı ve kentsel planlama için vazgeçilmez bir unsurdur. Zemin araştırma konusu ülkemizde 1999 depreminden sonra hız kazanmıştır (Kurtuluş ve Bozkurt, 2006,2007; Bozkurt ve Kurtuluş 2009; Kurtuluş ve diğ., 2011, 2006; Bozkurt ve diğ., 2007; Ishiara, 1982). Sismik açıdan yerel zemin koşullarının karakterizasyonu yerel zemin koşullarının dinamik zemin parametrelerinin ve özellikle zemin sınıflaması için birçok kodlar tarafından kullanılan kayma dalgası hızının bilgisini gerektirir. Bu çalışmada zemin koşullarının karakterizasyonu için jeolojik, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapılmış ve çalışmada (EC8, EC7,ASCE ve UBC) kodları kullanılmıştır.

#### İNCELEME ALANININ YERİ

İnceleme alanı; Kocaeli ili, Körfez ilçesi içinde yer almakta olup, ulaşım açısından pek çok alternatif yollara sahiptir. Bölgeye en önemli ulaşım yolları; İstanbul-Ankara E-5 karayolu ve diğer bağlantı yollarıdır (Şekil 1). İnceleme alanında 9 adet sondaj, 9 adet sismik ve öz direnç çalışması yapılmıştır (Şekil 2).

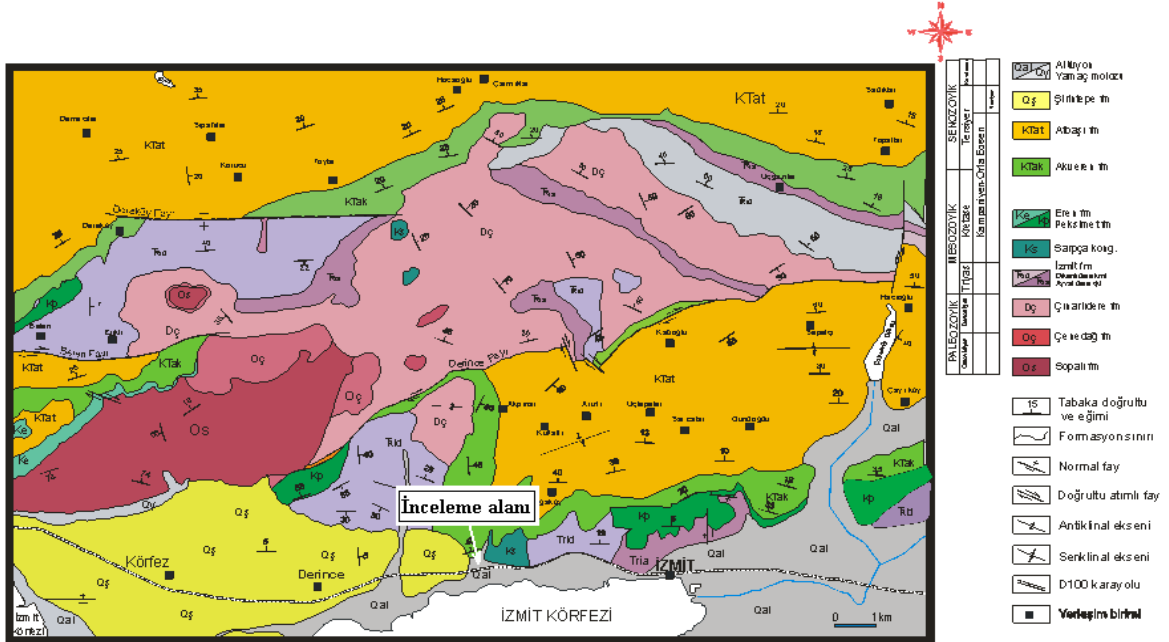
<sup>1</sup>ABM Araştırma Bilgi Merkezi, Kocaeli-İzmit

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli-İzmit

e-mail: alibozkurt@abmjeo.com

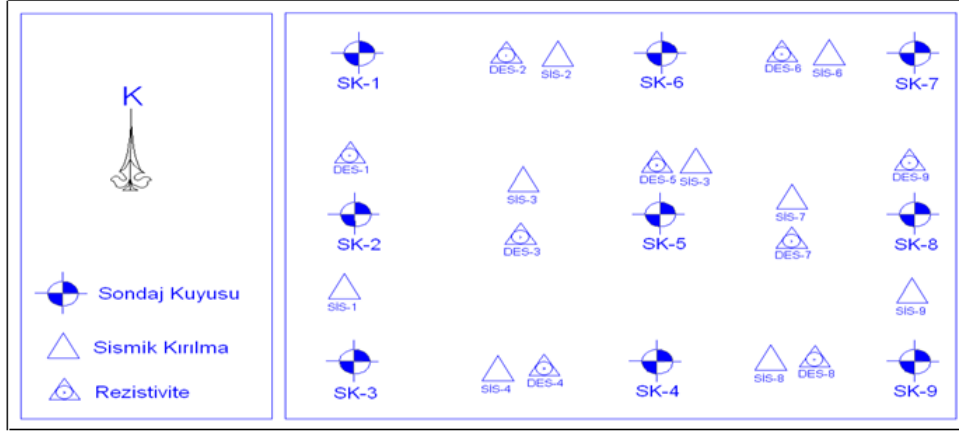
## İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanı ve yakın çevresinde genç alüvyon çökeller mevcuttur. Yüzeide yüksek morfolojiden doğan derelerin daha düşük ve eğimin son derece azaldığı morfolojiye geldiğinde bünyesinde taşıdığı malzemeyi bırakmasıyla karasal ortamda alüvyon istif oluşur. Kilden blok boyutuna kadar pek çok taneden oluşan alüvyonlar gevşek tutturulmamış malzemelerdir. Genelde kil, silt ve çakıl yüzeylerinden oluşan birim yeraltı suyu etkisine bağlı olarak gevşek-orta katı kıvamlıdır. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında SK-1, SK-2 ve SK-3 nolu sondajlarda yüzeyden itibaren 0.60-0.80 m örtü tabakası devamında yeşilimsi grimsi kahverenkli, üst seviyelerde az oranda çakıllı, az kumlu orta katı-katı kıvamlı, derinlikle birlikte çok katı-sert kıvamlı siltli kil tespit edilmiştir. SK-4, SK-5, SK-6, SK-7, SK-8 ve SK-9 nolu sondaj çalışmalarında yüzeyden itibaren 1.50 m dolgu tabakası devamında yeşilimsi grimsi kahverenkli, üst seviyelerde az oranda çakıllı, az kumlu orta katı-katı kıvamlı, derinlikle birlikte çok katı-sert kıvamlı siltli kil tespit edilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanı jeolojisi (MTA)

Figure 1. Geology of investigation area (MTA)



Şekil 2. Sondaj, sismik ve öz direnç noktalarının yerleri

Figure 2. Locations of sounding, seismic and resistivity points

### Tektonik

Paleotektonik (Neojen öncesi) dönem çalışma alanı İzmit Körfezi kuzeyinde bulunmakta olup, İstanbul-Zonguldak zonunun (Rodop-Pontidfragmanının) bir parçasıdır. Bölgenin temel birimlerini oluşturan Sopalı, İzmit ve Peksimet formasyonları bu dönem içinde deformasyon geçirmişlerdir. Mostrada çok yönlü eğim gösteren bu birimlerde içinde yer yer mikro kıvrımlanmalar görülür. Ordovisiyen yaşlı Sopalı formasyonu çeşitli düzlemlerde çatlaklı bir yapı içermektedir. Mikro kırılma düzeyleri birim içindeki eski fayların kalıntılarıdır. Bölgenin yüksek kesimlerini oluşturan alanlardaki süreksizliklerin tamamı bu dönem içinde gerçekleşmiştir. Sismik aktivitesini yitirmiş olarak belirlenen bu süreksizlikler Neojen öncesi dönemde deprem oluşturma özelliklerini tamamlamışlardır. Dolayısıyla bu dönemde temel birimler içinde olan kıvrımlar ve olası muhtemel KD-GB gidişli faylar, eski faylar olup, bölgenin Neojen çökeltilerini deformasyona uğratmamıştır. Daha kuzey kesimlerde bulunan birimlerin yaşları da göz önüne alındığında Paleotektonik dönem, eldeki yaş verilerine göre Şirintepe Formasyonu çökeltim zamanına (Üst Pleistosen) kadar sürer. Bu zamandan sonra bölge, günümüze kadar Kuzey Anadolu Fayı ve bu faya bağlı deprem üreten diğer ikincil fayların etkisi altına girer ki bu dönem Neotektonik dönemi kapsar.

### ARAZİ ARAŞTIRMALARI VE DENEYLER

#### Temel Araştırma Sondajı

İnceleme alanında zemin profilini ve zeminlerin litolojik özelliklerini, düşey doğrultudaki değişimlerini ve yeraltı suyu durumu ile mühendislik parametreleri gibi bilgileri belirleme amacına yönelik olarak sahada toplam derinliği yaklaşık 135 m olan 9 adet temel araştırma sondajı yapılmıştır. Sondaj çalışmaları ASTM ve TSE standartları ile TCK Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı'nın zemin işlerine ait Teknik Şartnamesine uygun olarak yapılmıştır. Açılan temel araştırma sondajında düzenli numune alınarak yapı zemin ilişkisi yorumlanmaya çalışılmıştır. Sahada gerçekleştirilen temel araştırma sondajında her 1.5 m'de bir SPT testleri ile örselenmiş numune (SPT) alınarak ilerlenmiştir. Sondaj çalışması sırasında yapıyı sürekli takip etmek için örselenmiş numune alınmış ve alınan numunelere göre zemin tanımlaması yapılmıştır. Sondajların derinliği 15 m olarak tamamlanmıştır. Sondajın tamamlanmasından 24 saat sonra yeraltı suyu ölçümleri yapılmış ve açılan sondaj kuyusunda yeraltı suyuna rastlanılmamıştır.

### Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

SPT deneyi; yerinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir. Bu deney penetrometre adı verilen çelikten yapılmış özel bir numune alıcı tüpün standart enerji kullanılarak darbe ile zemine çakılması sırasında oluşan direncin saptanması prensibine dayanır. Dış çapı 50.00 mm, iç çapı 34.90 mm olan standart yarı tüp, 63.50 kg ağırlığında bir tokmak ile 76.20 cm yükseklikten serbest olarak düşürülerek, zemine 15'er cm'lik 3 giriş (=45 cm) için vurulması gereken darbe sayıları saptanır. İnceleme alanında yer alan siltli kil birimi için kıvam durumu Tablo 1'e (Terzaghi ve Peck, 1943) göre değerlendirilmiş ve inceleme sahasında yer alan killi zeminler için kıvam "katı-çok, katı-sert" olarak bulunmuştur.

### JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

#### Sismik Kırılma Çalışması

Sismik kırılma etüdü; P dalgası hızları için düz ve ters, S dalgası hızları için düz atışlar ile 9 profil boyunca yapılmıştır. Çalışmadaki temel amaç; belirlenen ölçü profilleri boyunca yeraltı hız yapısı, zemin dinamik elastik özellikleri, hakim titreşim periyotları ve zemin büyütmelerinin belirlenmesidir. Ölçüler karşılıklı atış yapılarak alınmış olup, serim boyu 12 m jeofon aralığı 1 m ve atış noktası jeofon arası uzaklık (offset) 1 m olarak belirlenmiştir. Elde edilen sismik kırılma eğrileri değerlendirilerek yol-zaman grafikleri oluşturulmuş ve bu grafiklerden ortamdaki tabaka sayısı, bu tabakaların hızları hesaplanarak, yeraltı hız yapısı ve topografyası ortaya konmuştur. P ve S dalga hızlarına bağlı olarak zemin dinamik elastik parametreleri ve Vs hızına bağlı olarak zemin hakim titreşim periyotları, zemin büyütmeleri hesaplanmıştır. İnceleme alanında yapılan ölçümlerde elde edilen Vp ve Vs hız değerleri ve bu hız değerlerine bağlı olarak her tabaka için hesaplanan zemin dinamik elastik parametreleri; yoğunluk ( $\rho$ ), Young Modülü (E), Poisson Oranı ( $\nu$ ), Bulk Modülü (K), Yataklanma Katsayısı (Ks), Zemin Hakim Titreşim Periyodu (To) ve Zemin Büyütmesi Tablo. 2'de verilmiştir. İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmaları sonucu Vp/Vs oranı 2.25-2.40 arasında ve Poisson oranı 0.38-0.40 arasında bulunmuştur. Bu değerler (Ercan, 2001)'e göre değerlendirildiğinde zemin sıklığı "gevşek-çok gevşek" olarak bulunmuştur. Yapılan sismik kırılma çalışması sonucu elde edilen Vp ve Vs hızları (AFET, 1998)'e göre değerlendirildiğinde, Yerel Zemin Sınıfı Z3 olarak bulunmuştur.

**Tablo 1.** Killer için SPT - N, Serbest basınç dayanımı ve kıvamlılık ilişkisi (Terzaghi ve Peck; 1943 )

**Table 1.** SPT-N, unconfined compression strength and consistency relations (Terzaghi ve Peck; 1943)

SPT-N (darbe/30 cm.)	Serbest Basınç Dayanımı (qu) Kg/cm <sup>2</sup>	KIVAM
<2	<0.25	Çok yumuşak
2-4	0.25-0.50	Yumuşak
4-8	0.50-1.00	Orta
8-15	1.00-2.00	Katı
15-30	2.00-4.00	Çok katı
>30	>4.00	Sert

**Tablo 2.** Vp ve Vs dalga hızlarına göre hesaplanan zemin dinamik elastik parametreleri

**Table 2.** Dynamic soil parameters calculated according to Vp and Vs wave velocities

Serim No	Tabaka	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	P (m/s)	E (m/s)	v	K (kg/cm <sup>2</sup> )	K <sub>s</sub> (ton/m <sup>3</sup> )	Büyütme	T <sub>o</sub> (sn)
SİS-1 (minimum)	1	341	134	1.67	841	0.40	1542	737	2.7	0.55
	2	856	372	1.77	6780	0.38	9695	1946		
SİS-5 (maksimum)	1	370	145	1.68	993	0.40	1822	803	2.8	0.55
	2	882	383	1.77	7228	0.38	10336	2031		

Burada, V<sub>p</sub>: P dalga hızı, V<sub>s</sub>: S dalga hızı, ρ: yoğunluk, E: Elastisite modülü  $E = (d \cdot (V_s)^2 / 100) \cdot ((3V_p^2 + 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2))$ , v: Poisson oranı  $v = (V_p^2 - 2V_s^2) / 2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)$ , K: Bulk modülü  $K = d \cdot (V_p^2 - (4/3 \cdot V_s^2)) / 100$ , K<sub>s</sub>: Yataklanma katsayısı  $K_s = 40 \cdot (V_p / V_s) \cdot q_s \cdot 15$ , d: büyütme  $d = 1.67 \cdot \log(3 \cdot 4000 / V_s \cdot d) \cdot (-0.04 \cdot \text{yass})$ , yass: Yeraltı su seviyesi, T<sub>o</sub>: Hakim titreşim periyodu,  $T_o = 4 \cdot (h / V_s1) + (4 \cdot ((50 - h) / V_s2))$  dur.

### İnceleme Alanında Yer Alan Zeminlerin Sismik Dalga (Vs) Hızına Göre Sınıflandırılması

Jeofizik ölçümlerle elde edilen S-dalgası hız profil değerleri kullanarak zemin sınıf bilgisinin oluşturulması için çeşitli sınıflama kriterleri mevcuttur. NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Programme) zemin sınıflama kriterleri ABD' Jeoteknik ve inşaat mühendisliği alanında yeni yapılan inşaatların sismik dizaynında kullanılan zemin sınıflama kriteridir. NEHRP'e göre zemin sınıfı, S dalga hızının 30 m derinliğe kadar olan ortalama hızına (Vs30) dayanmaktadır ve bu sınıflar Tablo 3'te verilmiştir.

$$Vs30 = 30 / ((h1/Vs1) + (30-h1)/Vs2))$$

$$Vs30 = 30 / ((0.74/134) + (30-0.74)/372)$$

$$Vs30 = 356 \text{ m/sn}$$

**Tablo 3.** NEHRP' ye Göre Zemin Sınıflama Kriteri

**Table 3.** Soil classification criteria according to NEHRP

NEHRP Zemin Sınıfı	Tanımlama	30m Derinliğe Kadar Ortalama S-Dalga Hızı
A	Sert ana kaya	>1500 m/sn
B	Sağlam, dayanıklı ile sert kaya arası birimler	760-1500 m/sn
C	Yoğun toprak, yumuşak kaya	360-760 m/sn
D	Sert toprak	180-360 m/sn
E	Yumuşak killer	<180 m/sn
F	Özel çalışma gerektiren zeminler. Örneğin; sıvılaştırılabilir zeminler, suya doymuş kil ve organik olan ve 36m'den daha kalın zeminler	

## Rezistivite - Özdirenç Çalışması

İnceleme alanında stratigrafikasyon, yeraltı suyu ve taban kaya derinliğine yönelik olarak jeoelektrik özdirenç etüdü uygulanmıştır. Rezistivite etüdünde maksimum 450 volt potansiyele sahip GEOTRON tipi dijital çıkışlı sığ rezistivite cihazı kullanılarak Schlumberger ölçü dizilim sisteminde 12 m derinliğe nüfuz eden düşey elektrik sondaj ölçüleri alınmıştır. Arazi eğrilerini değerlendirmek için bilgisayar destekli çözüm yöntemi kullanılmıştır. Jeofizik etüt ve değerlendirme sonucu hazırlanan rezistivite düşey kesitlerinden görüleceği gibi üstte değişken kalınlıklı ve değişken karakterli bir nebati topraktan sonra formasyonların değişik fiziksel özellikli olduğu saptanmıştır. Rezistivite düşey kesitlerinde görülen düşük rezistivite değerleri (20.15, 24.67 Ohm.m) örtü tabakası ve killi seviyelere, yüksekçe rezistivite değerli (34.73, 43.84 Ohm.m) kısımlar siltli çakıllı killi ve bunların nispeten hakim olduğu seviyelere tekabül etmektedir. TS 5141' e göre Zeminlerin Elektrik Özgül Dirençlerine göre sınıflamada, zeminin korosif olduğu bulunmuştur (Tablo 4).

## LABORATUAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

### Laboratuar Deneyleri

Yapı temelinin oturduğu ortamın fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için incelenen zemin ortamı numuneleri üzerinde çeşitli zemin deneyleri yapılmıştır. Alınan örselenmiş ve örselenmemiş

**Tablo 4.** TS 5141' e göre Zeminlerin Elektrik Özgül Dirençlerine göre sınıflandırılması

**Table 4.** Classification of soils for electric specific resistance according to TS 5141

Zeminin Elektrik Özgül Direnci P(ohm-m)	Zeminin Korozif Özelliği
10	Çok korozif
10-30	Korozif
30-100	Orta korozif
100<	Az korozif

zemin numuneleri laboratuara gönderilmiştir. Sondaj çalışmaları sırasında alınan örselenmemiş (UD) ve örselenmiş (SPT) numuneler üzerinde aşağıdaki deneyler yapılmıştır.

- \_ Elek Analizleri
- \_ Kıvam Limitleri
- \_ Likit Limit
- \_ Plastik Limit
- \_ Plastisite İndeksi
- \_ Üç Eksenli Basınç Deneyi
- \_ Konsolidasyon Deneyi
- \_ Su muhtevası
- \_ Birim Hacim Ağırlık

### Elek Analizi

İnceleme alanında yapılan 9 adet sondajda yüzeyden itibaren 0.60-0.80 m örtü tabakası devamında yeşilimsi grimsi kahverenkli, üst seviyelerde az oranda çakıllı, az kumlu orta katı-katı kıvamlı,

derinlikle birlikte çok katı–sert kıvamlı siltli kil tespit edilmiştir. Kastedilen birimden alınan örselenmemiş (UD) numunesi üzerinde elek analizi deneyi yapılmıştır. İnceleme alanında yer alan zemin numunelerine yapılan elek analizi deneyleri sonuçlarına göre elde edilen % çakıl, kum, silt ve kil değerleri Tablo 5’te verilmiştir. Çalışma alanında zeminin % su içeriği 19.88 ile 21.02 arasında hesaplanmıştır.

**Tablo 5.** Elek analizi değerleri

**Table 5.** Sieve analysis values

	Min.	Max.	Ort.
% Çakıl	0.00	9.27	4.75
% Kum	8.29	22.44	15.04
% Kil-Silt	69.91	91.11	80.20

### Atterberg Deneyleri

İnceleme alanında yer alan zemin numunelerine yapılan Atterberg limitleri sonucunda Tablo 6’da verilen değerler bulunmuştur.

**Tablo 6.** Atterberg limit değerleri

**Table 6.** Atterberg limit values

	Min.	Max.	Ort.
Likit limit LL(%)	39.04	44.65	41.54
Plastik limit PL(%)	17.98	23.79	20.43
Plastisite indisi PI(%)	18.89	23.49	21.11

### Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Alınan örselenmemiş (UD) numunesi üzerinde üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda örselenmemiş (UD) numunesine ait kohezyon  $I_c = 43-45.5$  kPa ve içsel sürtünme açısı  $\phi=8-90^\circ$  olarak bulunmuştur.

### İndeks Özellikleri

İnceleme alanında yapılan sondajdan alınan numuneler üzerinde birim ağırlık, su içeriği, zemin sınıflandırma (Atterberg limitleri - Elek analizleri) yapılmıştır. İnceleme alanında yapılan sondaj ve sismik kırılma etütleri ile laboratuvar deney çalışmaları; Bayındırlık şartnameleri ve BS 5930 “Code of practice for site investigations” zemin araştırma şartnamelerine uygun olarak yürütülmüştür. Saha gözlemleriyle birlikte laboratuardan elde edilen veriler ve ampirik hesaplar sonucu Tablo 7’de verilen değerler tespit edilmiştir.

### Kıvamlılık İndisi

İnceleme alanında açılan temel araştırma sondajından alınan örselenmemiş (UD) numunesi üzerinde laboratuarda yapılan Atterberg Limitleri deneylerinde Kıvamlılık İndisi  $I_c = 0.83-1.09$  olarak

bulunmuştur. Tablo 8'e göre değerlendirildiğinde Kıvamlılık İndisi "sert-çok sert" olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 7.** İnceleme alanında yer alan zeminlerin indeks özellikleri

**Table 7.** Index values of soils located in the investigated area

Sondaj No.	Numune No.	Derinlik (m)	Su İçeriği (%) W <sub>n</sub>	Zemin Sınıfı (USCS)	Atterberg limitleri			Sıkışma İndisi	Kıvamlılık İndisi	Kıvam	Sıkışabilirlik	Sıvı	Kıv. Dey.	Günlüğe
					LL (%)	PL (%)	PI (%)							
SK-1	UD	2.50-3.00	21.31	CL	40.31	19.12	21.19	0.27	0.90	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-1	SPT-7	10.50-10.95	20.98	CL	42.25	20.17	22.08	0.29	0.96	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-2	SPT-4	6.00-6.45	22.15	CL	40.18	19.48	20.70	0.27	0.97	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-2	SPT-9	13.50-13.95	20.04	CL	41.28	20.18	21.10	0.28	1.01	Cok Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-3	SPT-3	4.50-4.95	21.57	CL	42.61	20.36	22.25	0.29	0.95	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-3	SPT-8	12.00-12.45	19.88	CL	39.20	18.24	20.96	0.26	0.92	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-4	UD	3.00-3.45	20.26	CL	40.31	19.44	20.87	0.27	0.96	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-4	SPT-5	9.00-9.45	21.39	CL	41.05	20.96	20.09	0.28	0.98	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-5	SPT-2	3.00-3.45	22.23	CL	44.65	21.16	23.49	0.31	0.95	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-6	UD	2.50-3.00	20.33	CL	42.04	20.34	21.70	0.29	1.00	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-6	SPT-8	12.00-12.45	20.08	CL	43.17	21.82	21.35	0.30	1.08	Cok Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-7	SPT-5	7.50-7.95	21.65	CL	39.04	17.98	21.06	0.26	0.83	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-8	UD	2.00-2.50	22.07	CL	42.68	23.79	18.89	0.29	1.09	Cok Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-8	SPT-6	9.00-9.45	20.98	CL	43.27	21.95	21.32	0.30	1.05	Cok Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-9	SPT-2	3.00-3.45	21.46	CL	40.05	20.83	19.22	0.27	0.97	Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş
SK-9	SPT-9	13.50-13.95	19.95	CL	42.50	21.01	21.49	0.29	1.05	Cok Sert	Orta	Orta	Orta-Yüksek	Yok-Cok Yavaş

**Tablo 8.** Kohezyonlu zeminlerin kıvamlılık indisine göre sınıflandırılması

**Table 8.** Classification of cohesive soils according to consistency index

Kıvamlılık İndisi (I <sub>c</sub> )	Sınıflama
<0.05	Çok yumuşak
0.05-0.25	Yumuşak
0.25-0.75	Sıkı
0.75-1.00	Sert
>1.00	Çok sert

### Zemin Sıkışabilirliği

İnceleme alanında açılan temel araştırma sondajlarından alınan örselenmemiş (UD) numunesi üzerinde laboratuarda yapılan Atterberg Limitleri deneylerinde ortalama zemin sıkışabilirliği  $C_c = 0.26-0.31$  olarak bulunmuştur. Bu değerler (Sowers, 1979) Tablo 9'a göre değerlendirildiğinde zemin "Orta sıkışabilir" olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 9.** Zeminlerin sıkışabilirliği (Sowers, 1979)

**Table 9.** Compressibility of soils (Sowers, 1979)

Tanım	Sıkışma İndisi (C <sub>c</sub> )	Likit Limit
Düşük sıkışabilirlik	0-0.19	0-30
Orta sıkışabilirlik	0.20-0.39	31-50
Yüksek sıkışabilirlik	>0.40	>51



## Zemin Plastisitesi

İnceleme alanında açılan temel araştırma sondajlarından alınan örselenmemiş (UD) numunesi üzerinde laboratuarda yapılan Atterberg Limitleri deneylerinde ortalama zemin plastisitesi  $PI = 18.89-23.49$  olarak bulunmuştur. Bu değerler (Leonards, 1962) Tablo 10'a göre değerlendirildiğinde zeminin Plastiklik derecesi "plastik" ve Kuru Dayanım "orta" olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 10.** Plastisite derecesinin plastisite indisine göre belirlenmesi (Leonards,1962)

**Table 10.** Determination of plasticity degree according to plasticity index (Leonards,1962)

Plastisite İndisi 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 ince taneli zeminler için zemin sınıfı CL (düşük plastisitelikil) olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfı, ince taneli zeminlerin kuru dayanım, genleşme ve sağlamlık özellikleri, (Ulusay, 1994)'e göre değerlendirilmiş ve Tablo11'den Kuru Dayanım "orta-yüksek", Genleşme özelliği "yok-çok yavaş", Sağlamlık "orta" olarak belirlenmiştir.

## Zemin Şişme Özelliği

İnceleme alanında açılan temel araştırma sondajlarından alınan örselenmemiş (UD) numunesi üzerinde laboratuarda yapılan Atterberg Limitleri deneylerinde ortalama zemin plastisitesi  $PI=18.89-23.49$  olarak bulunmuştur. Bu değer (Holtz ve Gibbs 1956) Tablo 12' ye göre değerlendirildiğinde plastisite indisine göre şişme derecesi "Orta" ve şişme yüzdesi "10-20" olarak bulunmuştur.

**Tablo 11.** İnce taneli zeminlerin kuru dayanım, genleşme ve sağlamlık özellikleri (Ulusay, 2001)

**Table 11.** Dry strength, expansion and strength properties of fine grain soils (Ulusay, 2001)

Zemin Grubu	Kuru Dayanım (Ezilme Özelliği)	Genleşme (Sallamaya karşı reaksiyon)	Sağlamlık (Katılık) (Plastik Limit)
ML	Yok-Çok az	Hızlı-Yavaş	Yok
CL	Orta-Yüksek	Yok-Çok az	Orta
OL	Çok az- Orta	Yavaş	Çok az
MH	Çok az-Orta	Yavaş-Yok	Çok az-Orta
CH	Yüksek-Çok yüksek	Yavaş-Yok	Çok az-Yüksek
OH	Orta-Yüksek	Yok-Çok yavaş	Çok az-Orta

**Tablo 12.** İndeks özelliklerine göre zeminlerin şişme yüzdesi ve derecesi (Holtz ve Gibbs, 1956)

**Table 12.** The percentage of the index according to the characteristics and degree of swelling soils (Holtz ve Gibbs, 1956)

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	Yüksek
13-23	13-28	10-16	10-20	Orta
<15	<10	>15	<10	Düşük

### Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

#### Zemin Taşıma Gücünün Değerlendirilmesi

İnceleme alanında 2-3 m derinlikte yer alan zemine ait taşıma gücü hesapları, sondajdan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneylerinden yararlanılarak yapılmıştır. Buna göre; Yüzeysel temeller için nihai taşıma gücü (Terzaghi, 1943):

$$q = K_1 \times c \times N_c + D_f \times \gamma_1 \times N_q + K_2 \times \gamma_2 \times B \times N_\gamma$$

bağıntısından yararlanarak hesaplanır. Bu bağıntıda;

qu: Taşıma Gücü

c: Kohezyon

Nc, Nq, Ny: Taşıma Gücü Katsayıları

Df: Temel Derinliği

B: Temel Genişliği

$\gamma_n$ : Birim Hacim Ağırlığı

K<sub>1</sub> – K<sub>2</sub>: Temel şekline bağlı katsayılar (Mütemadi temele göre)

SK-1-UD nolu sondaj numunesinden c = 44 kPa, f= 80 için Nc=7.53, Nq=2.06, Ny=0.27 ve B=1.00 m, Df = 1.50 m, K<sub>1</sub>=1.00 ve K<sub>2</sub>=0.50 olarak dikkate alındığında söz konusu bağıntıdan taşıma gücü;

$$q = (1.00 \times 44 \times 7.53) + (1.50 \times 1.840 \times 9.81 \times 2.06) + (0.50 \times 1.840 \times 9.81 \times 1 \times 0.27)$$

$$q = 389.34 \text{ kPa ( kg/cm}^2 = 98.1 \text{ kPa )}$$

$$qu = 3.97 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Zemin emniyet gerilmesi;

$$q_{all} = q_{ult} / FS,$$

FS=3 (Güvenlik katsayısı)

$$q_{all} = 3.97 / 3$$

$$q_{all} = 1.32 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

## MÜHENDİSLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMELER

### Bina - Zemin İlişkisinin İrdelenmesi

#### Çok Katlı Betonarme Binaların Doğal Periyotlarının Bulunması ve Yapı – Yer Uyumunun Sağlanması:

Betonarme binalar rijitliklerine göre beş gruba ayrılmıştır (Tablo 13). Binanın hangi gruba girdiği ve grup aralığı içinde hangi 'c' katsayısına sahip olduğu, göz önüne alınan doğrultudaki perde ve/veya rijit dolgu duvarı miktarının plan alanına oranının fonksiyonudur. 'Yapı-yer uyumu' yapıda gereksiz 'zonlanma' ların oluşmasını daha işin başında önlemeye yönelik olarak, birtakım basitleştirmelerle, yapı doğal periyodunun yerin baskın periyod bölgesinden uzak kılınmasına 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 periyodlarının yer almaması gereken' amplifikasyon bölgesinin;  $T_0 = 0.55$  sn için;  $T_{01} = 0.67*0.55 = 0.37$ ,  $T_{02} = 1.5*0.55 = 0.83$  arasında olduğu bulunmuştur. 'c' katsayılarını kullanarak 'yapı doğal periyodlarının yer alacağı aralık' ise; III nolu gruba giren ve zemin + 2 katlı betonarme binalar için hesaplanacak olursa,  $T_a$  ve  $T_b$ ;

$$T_a = 0.045 * 3 = 0.14$$

$$T_b = 0.069 * 3 = 0.21$$

olarak elde edilir.

### Zemin ve Kaya Türlerinin Değerlendirilmesi

#### Zemin Türlerinin Sınıflandırılması

İnceleme alanı ve yakın çevresinde genç alüvyon çökeller mevcuttur. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında SK-1, SK-2 ve SK-3 nolu sondajlarda yüzeyden itibaren 0.60-0.80 m örtü tabakası devamında yeşilimsi grimsi kahve renkli, üst seviyelerde az oranda çakıllı, az kumlu orta katı-katı kıvamlı, derinlikle birlikte çok katı- sert kıvamlı siltli kil tespit edilmiştir. SK-4, SK-5, SK-6, SK-7, SK-8 ve SK-9 nolu sondaj çalışmalarında yüzeyden itibaren 1.50 m dolgu tabakası devamında yeşilimsi grimsi kahve renkli, üst seviyelerde az oranda çakıllı, az kumlu orta katı-katı kıvamlı, derinlikle birlikte çok katı-sert kıvamlı siltli kil tespit edilmiştir. İnceleme alanında yapılan sondajda siltli kil birimi içerisinde yapılan SPT deneylerinde Penetrasyon direnci (N30) değerleri üst seviyelerde 8-14 olarak belirlenirken alt seviyelerde 51-65 olarak belirlenmiştir.

**Tablo 13.** Çok-katlı betonarme binaların rijitlik gruplarına göre tanımları ve doğal periyod formülünde kullanılacak c katsayıları

**Table 13.** Definitions of multi-storey reinforced concrete buildings according to their stiffness and coefficients c being used in natural period formulae

Grup No	Bina strüktürünün rijitlik tanımı	c katsayısı
1	Kalın, sık ve birbiriyle kesişen betonarme perdeler, bunlara ilaveten az sayıda kolon	0.020-0.029
2	Kalınca kolon ve kirişlere ilaveten sıkça betonarme perdeler ya da rijit dolgu duvarları	0.030-0.044
3	Normal aralıklı, normal boyutta kolon ve kirişlere ilaveten normal aralıklı betonarme perde ya da rijit dolgu duvarları	0.045-0.069
4	Normal aralıklı, normal-ince arası kolon ve kirişlere ilaveten seyrek betonarme perde ya da rijit dolgu duvarı	0.070-0.089
5	Geniş aralıklı, ince kolon ve kirişler veya asmolen döşemeye ilaveten minimuma yakın perde ya da rijit dolgu duvarı	0.090-0.130

#### Siltli Kil Tabakası

İnceleme alanında açılan sondajlardan dolgu tabakasının devamında derinliği 15 m'ye kadar devam eden siltli kil birimi gözlenmiştir. İnceleme alanında yer alan zemin numunelerine yapılan elek analizi deneyleri sonuçlarına göre elde edilen % çakıl, kum, silt ve kil değerleri Tablo 14'de su içeriği ise Tablo 15'de verilmiştir. Elde edilen veriler Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi USCS'ye göre (Tablo 16) değerlendirilmiş ve zemin sınıfı CL olarak bulunmuştur. İnceleme alanı, deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2007 yılı Yönetmeliği'ne göre değerlendirildiğinde; inceleme alanının 1. Derece deprem bölgesinde yer almasından dolayı etkin yer ivme katsayısı  $A_0 = 0.40$  g, yerel zemin grubu C ve zemin sınıfı Z3 olarak belirlenmiştir. Yapılan jeofizik çalışmalar sonucu bulunan Hâkim Titreşim Periyodunun yer aldığı aralığa göre ise yer salınım karakteristik spektrum periyotları ise  $T_a - T_b = 0.15-0.60$  olarak bulunmuştur.

**Tablo 14.** İnceleme alanında yer alan zeminin % çakıl, kum, silt ve kil değerleri

**Table 14.** Gravel,sand, silt and clay values % of the soil in study area

	Min.	Max.	Ort.
% Çakıl	0.00	9.27	4.75
% Kum	8.29	22.44	15.04
% Kil-Silt	69.91	91.11	80.20

**Tablo 15.** İnceleme alanında yer alan zeminin su içerik değerleri

**Table 15.** Water content values of the soil in the study aarea

	Min.	Max.	Ort.
Doğal Su İçeriği %W	19.88	22.23	21.02

**Tablo 16.** Birleştirilmiş zemin sınıflaması

**Table 16.** Unified soil classification

BİRLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SINIFLAMA SİSTEMİ (USCS)								
Ana Bölümler	Grup Semboleri	Tipik Adımlama	Laboratuvar Sınıflama Ökütleri					
İri Taneli Zeminler	Çakıllar (İri Taneli malzemenin yarıdan fazlası 4 mm'lik elekten geçmez ve 4 mm'den büyük tanelerinin toplam ağırlığından da fazla boyuk)	GW	İyi derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımı, ince malzeme çok az ya da hiç yok	Tane boyu eğilimli kum ve çakıl yollarının birliktir. İnce malzeme (<200 mesh) en az %5'iyle ölçümlenecek şekilde sınıflandırılır. %5'ten az ise GW, GP, SW, SP, %12'den fazla ise GW, GC, SM, SC, %5-12 arası ise				
		GP	Kötü derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımı, ince malzeme çok az ya da hiç yok					
	Kumlar (İri Taneli malzemenin yarıdan fazlası 4 mm'lik elekten geçmez ve 4 mm'den büyük tanelerinin toplam ağırlığından da fazla boyuk)	GM	Siltli Çakıl, Çakıl-Kum-Silt Karışımı		Astorberg limitler "A" gruplarının altında veya $PI < 4$			
		GC	Killi Çakıl, Çakıl-kum-silt karışımı		Astorberg limitler "A" gruplarının üstünde ve $PI > 7$			
	İnce Taneli Zeminler	İnce Siltli Kum (Termit Kum, İnce az ya da hiç yok)	SW		İyi derecelenmiş kum, çakıllı kum, ince malzeme çok az ya da hiç yok	C <sub>u</sub> > 6 ve C <sub>c</sub> 1 ve 3 arasında		
			SP		Kötü derecelenmiş kum, çakıllı kum, ince malzeme çok az ya da hiç yok			
		İnce Maltz emelli Kum	SM		Siltli Kum, Kum-Silt karışımı		Astorberg limitler "A" gruplarının altında veya $PI < 4$	
			SC		Killi Kum, Kum-Kil karışımı		Astorberg limitler "A" gruplarının üstünde ve $PI > 7$	
		İnce Taneli Zeminler	Siltler ve Killler (L.kilit Limit 50'nin altında)		ML		İnorganik silt ve çok ince kum, kayac unu, siltli veya killi ince kum veya plastisitesi düşük killi silt	
					CL		Plastisitesi düşük veya orta inorganik kil, çakıllı kil, kumlu kil, siltli kil, zayıf kil	
OL	Organik silt ve plastisitesi düşük organik siltli kil							
Siltler ve Killler (L.kilit Limit 50'nin üstünde)	MH		İnorganik silt, mikali veya divotemelli, ince kumlu veya siltli toprak, elastik silt					
	CH		Plastisitesi yüksek inorganik kil, şişen kil					
	OH		Plastisitesi orta veya yüksek organik kil, organik silt					
Organik Zeminler	Pt		Turba ve oldukça organik diğer zeminler					

### Sıvılaşma Potansiyeli

Sıvılaşma, uniform daneli, gevşek silt ve ince kum boyutu ve suya doymun zeminlerde deprem esnasında gözlenen bir jeoteknik olaydır. Sıvılaşma riski olan zeminler, genelde pekişmemiş ince orta taneli (Silt ve Kumlar) granüler zeminler ile yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerdir. Çin kriterlerine göre (Wang,1979);

0.005 mm'den daha ince tane oranı  $\leq$  %15,  
Likit Limit,  $LL \leq$  %35  
Doğal su içeriği,  $W_n \geq 0.9LL$   
Sıvılaşma İndisi  $c \leq 0.75$

koşullarını sağlayan zeminlerde sıvılaşma meydana gelmektedir. İnceleme alanında yer alan zemine ait sıvılaşma risk analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda;  $F_{Smin} > 3.0$  bulunduğundan inceleme alanında sıvılaşma beklenmemektedir.

### Sıvılaşma Oluşturabilecek Eşik İvme Değerinin Kayma Dalgası (Vs) Hızından Belirlenmesi

İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarından elde edilen veriler yardımı ile aşağıda verilen formül kullanılarak çalışma alanı için ikinci bir yöntemle sıvılaşma analizi yapılmıştır. Bu yöntem, kayma dalgası hızı (Vs) ile yer ivmesini (a) kullanarak sıvılaşma potansiyelini belirleyen bir yöntemdir. Depremin çalışma alanında oluşacağı ivme, yerin deformasyona uğramadan dayanabileceği ivmenin % 160'ından büyük ise, sıvılaşma potansiyeli yüksektir. Eşik İvme Kriterinde Emniyet Faktörü (Fa) için,

$F_a = 1.6 * (a_t / a_{max})$  tanımı yapılır. Eğer;  
 $F_a \geq 1$  ise, sıvılaşma düşüktür.  
 $F_a < 1$  ise, sıvılaşma yüksektir.

$$a_t / g = \{N_t * (G / G_{enb}) * V_s^2\} / \{z * g * r_d\}, \quad (\text{Dobry ve dig., 1992})$$
$$r_d = 1 - 0.015 * z$$

Burada,

$a_t$ : Sıvılaşma oluşturabilecek yatay eşik ivme (g)

$N_t$ : Eşik kesme biçim değiştirmesi ( $N_t = 0.0001$  kabulü yapılmış ve bu değere karşılık gelen  $G / G_{enb}$  değeri de 0.8 kabul edilmiştir).

$G$ : Sıvılaşabilir katmanın esneklik kesme direnci ( $kg/cm^2$ )

$G_{enb}$ : Esneklik Kesme Direnci (Sıvılaşabilir katman altındaki sağlam katman için,  $kg/cm^2$ )

$V_s$ : Kayma dalgası hızı (m/s)

$z$ : Sıvılaşabilir katmanın yüzeyden derinliği (m)

$r_d$ : Yerin derinlikle artan sıvılaşmaya karşı direncini temsil eden azaltma faktörü.

Kayma dalgası hızından elde edilen sıvılaşma emniyet faktörü Tablo 17'de verilmiştir.

**Tablo 17.** Kayma dalgası hızından elde edilen sıvılaşma emniyet faktörü

**Table 17.** Shear wave velocities obtained from the liquefaction safety factor

$N_t$	$G / G_{enb}$	$Z(m)$	$r_d$	$V_s (m/sn)$	$a_t$	$a_{max}$	$F_a$
0.0001	0.71	0.74	0.9889	372	1.37	0.40	5.5
0.0001	0.71	0.88	0.9868	383	1.22	0.40	4.9

## Oturma Analizi ve Değerlendirilmesi

Proje alanında inşa edilecek yapılar için temel boyutları ve uygulanan net basınç dikkate alınarak hesaplanacaktır. Burada belirli kabuller yapılarak muhtemel oturmalar hesaplanacaktır. Planlanan yapı 15 m X 10 m ebatlarında ve zemine 100 kPa net basınç uygulanacağı kabul edilirse meydana gelecek toplam oturma,

$$(ST); ST = S_i + S_c \quad (S_i = \text{Ani oturma, } S_c = \text{Konsolidasyon oturması})$$

### Ani Oturmalar

Temel genişliği (B) 10 m ve uzunluğu (L) 15 m olan yapı için ani oturma Janbu ve diğerleri (1956) tarafından önerilen bağıntı ile hesaplanır;

$$S_i = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q \cdot B / E_u$$

Burada,

$\mu_0, \mu_1$  = Ani oturma tesir faktörleri (Şekil 4'ten bulunur)

q = Yapı tarafından uygulanan net düşey basınç

$E_u$  = Young Modülü (20 mPa alınmıştır)

oturmanın gerçekleştiği kil tabakası kalınlığı (H) 10 m olarak alınabilir.

$$S_i = 0.97 \times 0.6 \times 100 \times 10 / 20\,000 = 0.03 \text{ m} = 30 \text{ mm} \text{ olarak hesaplanır.}$$

### Konsolidasyon Oturmaları

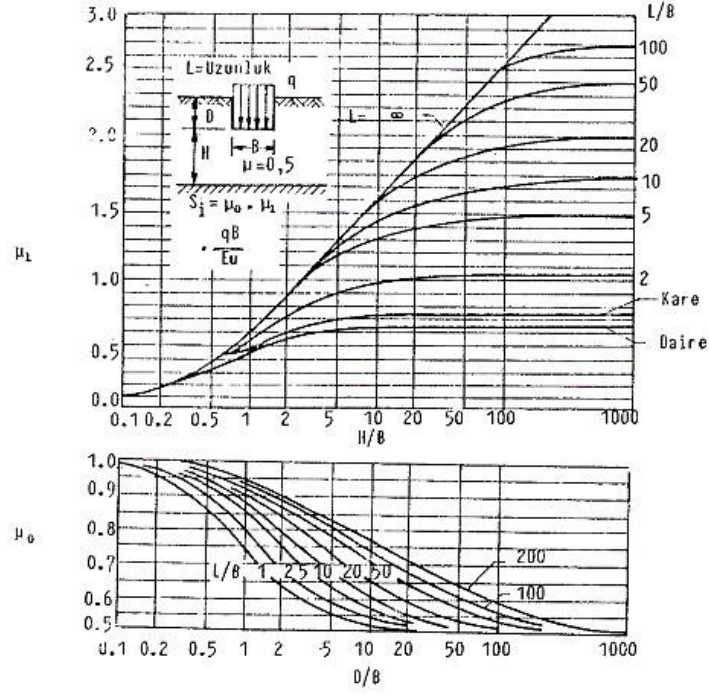
Konsolidasyon oturmalarında laboratuarda yapılan konsolidasyon deneyi kullanılarak yapılmış olup, ortalama değerler kullanılmıştır. Konsolidasyon oturması Skempton ve Bjerrum (1957) tarafından önerilen;

$$S_c = \mu \cdot S_{oed}$$

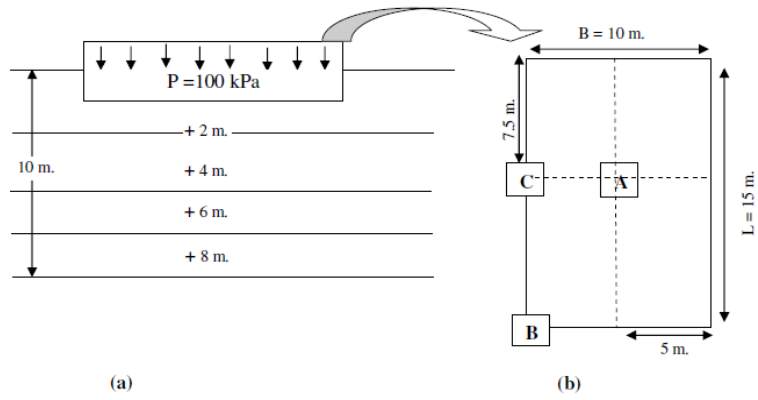
bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada  $\mu$  kil cinsine bağlı olan bir katsayı olup, normal konsolide killer için 0.7-1.0 arasında alınır.  $S_{oed}$  odeometre oturması olup;

$$\mu=0.9 \text{ için; } S_{oed} = m_v \cdot j \cdot k' \cdot H \cdot (\Delta\sigma' = I_f \cdot P)$$

ile bulunur. Burada tesir faktörü ( $I_f$ ) Şekil 5'ten bulunabilir. Odeometre oturmaları için düşey yönde zemin 4 farklı tabakaya bölünerek (Şekil 6) 3 farklı noktada hesaplanacak olursa temel orta noktasında (A), köşe noktasında (B) ve kenarında (C) Tablo 18, Tablo 19 ve Tablo 20'deki gibi bulunur.



**Sekil 4.** Ani oturma tesir faktörleri  
**Figure 4.** Factors that affect the immediate settlement



**Sekil 5.** Konsolidasyon Oturmaları Analizinde (a) Kabul edilen düşey tabakalanma ve (b) Kabul edilen yapı temeli boyutları

**Figure 5.** In consolidation settlement analysis (a) Accepted vertical stratification and (b) Accepted basis of structural dimensions



**Tablo 18.** A noktasında Odeometre oturmaları

**Table 18.** Odeometer settlement at point A

Tabaka	Z(m)	B	L	m(B/Z)	n(L/Z)	I <sub>f</sub>	P(kPa)	dP' (kPa)	m <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /kgf)	S <sub>oed</sub> (mm)
1	2	5	7.5	2.5	3.8	0.25	100	100	0.0319	16.3
2	4	5	7.5	1.3	1.9	0.21	100	84	0.0319	11.5
3	6	5	7.5	0.8	1.3	0.18	100	72	0.0319	8.4
4	8	5	7.5	0.6	0.9	0.13	100	52	0.0319	4.4
A Noktasında Odeometre Oturması									Toplam	40.6

**Tablo 19.** B Noktasında Odeometre oturmaları

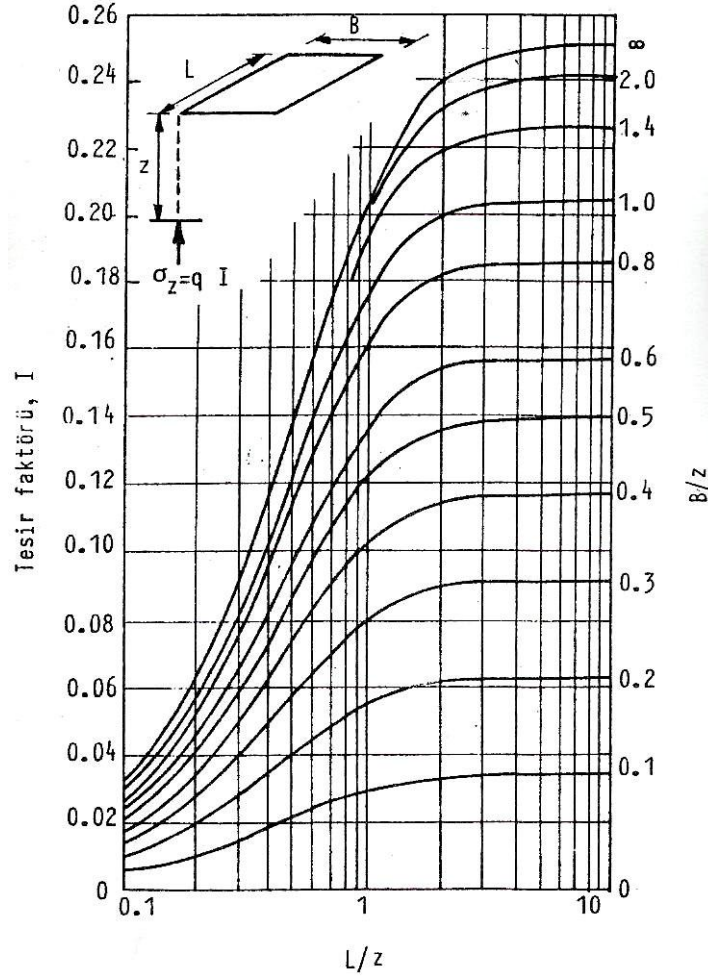
**Table 19.** Odeometer settlement at point B

Tabaka	Z(m)	B	L	m(B/Z)	n(L/Z)	I <sub>t</sub>	P(kPa)	dP' (kPa)	m <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /kgf)	S <sub>oed</sub> (mm)
1	2	10	15	5.0	7.5	0.25	100	25	0.0319	4.1
2	4	10	15	2.5	3.8	0.25	100	25	0.0319	4.1
3	6	10	15	1.7	2.5	0.23	100	23	0.0319	3.4
4	8	10	15	1.3	1.9	0.20	100	20	0.0319	2.6
B Noktasında Odeometre Oturması									Toplam	14.2

**Tablo 20.** C Noktasında Odeometre oturmaları

**Table 20.** Odeometer settlement at point C

Tabaka	Z(m)	B	L	m(B/Z)	n(L/Z)	I <sub>t</sub>	P(kPa)	dP' (kPa)	m <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /kgf)	S <sub>oed</sub> (mm)
1	2	10	7.5	5.0	3.8	0.25	100	50	0.0319	8.1
2	4	10	7.5	2.5	1.9	0.23	100	46	0.0319	6.9
3	6	10	7.5	1.7	1.3	0.20	100	40	0.0319	5.2
4	8	10	7.5	1.3	0.9	0.18	100	36	0.0319	4.2
C Noktasında Odeometre Oturması									Toplam	24.4



**Sekil 6.** Üniform yüklü dikdörtgen alana ait oturma esir faktörleri ( $I_f$ )  
**Figure 6.** Settlement factors ( $I_f$ ) of Uniformly loaded rectangular area

### Toplam Oturmalar

Toplam oturma miktarı ( $ST$ ),  $ST = S_i + S_c$   
A noktasında  $ST = 30.0 + 40.6 = 70.6$  mm olur.  
B noktasında  $ST = 30.0 + 14.2 = 44.2$  mm olur.  
C noktasında  $ST = 30.0 + 24.4 = 54.4$  mm olur.

Sonuç itibariyle belirli kabuller ve yapı boyutu göz önüne alınarak oturmalar hesaplanmış ve izin verilebilir aralıkta bulunmuştur. Projeye yönelik olarak gerçek temel boyutu ve net basınç kullanılarak yukarıda belirtilen veya benzer yöntemler kullanılarak uzman inşaat mühendislerince yeniden hesaplanacaktır. İzin verilebilir değerlerin üzerinde bulunduğu takdirde gerekli önlemlerin alınması gerekir.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

İnceleme alanında yapılan jeolojik, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. İnceleme alanında zeminin düşey yöndeki değişimini ve mühendislik jeolojisi özelliklerini belirlemek amacıyla toplam derinliği 135 m olan 9 adet temel sondajı ile zeminin yatay ve düşeye yöndeki değişimin dinamik yöntem ile tespit edilebilen fiziksel ve elastiki parametrelerin bulunması amacı ile 9 profil boyunca sismik kırılma, 9 noktada rezistivite çalışması yapılmıştır.

2. İnceleme alanı ve yakın çevresinde genç alüvyon çökeller mevcuttur. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında SK-1, SK-2 ve SK-3 nolu sondajlarda yüzeyden itibaren 0.60-0.80 m örtü tabakası devamında yeşilimsi grimsi kahve renkli, üst seviyelerde az oranda çakıllı, az kumlu orta katı-katı kıvamlı, derinlikle birlikte çok katı-sert kıvamlı siltli kil tespit edilmiştir. SK-4, SK-5, SK-6, SK-7, SK-8 ve SK-9 nolu sondaj çalışmalarında yüzeyden itibaren 1.50 m dolgu tabakası devamında yeşilimsi grimsi kahve renkli, üst seviyelerde az oranda çakıllı, az kumlu orta katı-katı kıvamlı, derinlikle birlikte çok katı-sert kıvamlı siltli kil tespit edilmiştir.

3. İnceleme alanına ait zemin emniyet gerilmesi hesaplamaları; açılan temel araştırma sondajlarında 2.00-2.50 m arası derinliklerden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları kullanılarak yapılmıştır. Buradan; Zemin Taşıma Gücü;  $q_{ult}=3.97-4.13 \text{ kg/cm}^2$ , Zemin Emniyet Gerilmesi;  $q_{all}=1.32-1.38 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır.

4. Sahaya ait elastik parametreler sismik kırılma yöntemi ile dinamik olarak hesaplanmıştır. Temelin oturtulacağı tabaka için elde edilen Zemin Emniyet Gerilmesi  $q_{all} = 1.58-1.63 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır.

5. 30 m derinlik için kayma dalgası hızı;  $V_{s30}=356-365 \text{ m/sn}$ ' dir.

6. Temel hesaplarında kullanılmak üzere Yataklanma Katsayısı ( $K_s$ );  $K_s = 1964-2031 \text{ ton/m}^3$  alınmalıdır.

7. Zemin Hakim Titreşim Periyodu:  $T_0 = 0.55 \text{ sn}$  alınabilir.

8. İnceleme alanına yapılacak yapılar için; Yapı doğal periyodları'nın yer almaması gereken "amplifikasyon bölgesi" nin;  $T_0 = 0.55 \text{ sn}$  için;

$$T_{01}=0.67 * 0.55= 0.37$$

$$T_{02}=1.5 * 0.55= 0.83, \text{ arasında olduğu bulunmuştur.}$$

9. İnceleme alanında yapılan rezistivite çalışması sonucunda temel zemininin korozyon özellikleri değerlendirilmiş ve zeminin korozif özelliği "Korozif" olarak tespit edilmiştir.

10. Jeofizik etüt ve değerlendirme sonucu hazırlanan rezistivite düşey kesitlerinde görülen düşük rezistivite değerleri (20.15, 24.67 ohm-m) örtü tabakası ve killi seviyelere, yüksekçe rezistivite değerli (34.73, 43.84 ohm-m) kısımlar siltli-çakıllı-killi ve bunların nispeten hakim olduğu seviyelere tekabül etmektedir.

11. Mevcut zemin koşullarında oturma analizlerinde belirli kabuller yapılarak hesaplamalar yapılmıştır. 10 x 15 m ebatlarında ve 100 kPa üniform basınç uygulayan temelde orta noktada 70.6 mm, köşe noktasında 44.2 mm ve uzun kenarın orta noktasında 54.4 mm oturma meydana gelmesi beklenmektedir.

12. İnceleme alanında yer alan zemine ait sıvılaşma risk analizi sonucunda;  $F_{Smin} > 3.0$  bulunduğundan, inceleme alanında sıvılaşma beklenmemektedir.

13. İnceleme alanında yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Ancak yüzey ve yağmur suları için drenaj sistemi uygulaması faydalı olacaktır. Drenaj hendeği temel kazı derinliğinden daha derinde olmalıdır.

14. İnceleme alanında zeminde meydana gelebilecek deformasyonları engellemek için temel kazı derinliğinin en az 1.50-2.00 m'ye indirilmesi, doğal zeminden itibaren 120-160 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 gro beton dökülmesi ve uygun temel sisteminin bunun üzerine oturtulması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

AFET ISL. GN. MÜDÜRLÜĞÜ, 2007. 6 Mart 2007 tarih yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, Ankara.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE, 7-98): „Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”, section 9 ”Earthquake Loads”.

BOZKURT, A., KURTULUŞ, C., ENDEŞ, H., SÖYLER M., 2007. "Geological, Geophysical and Geotechnical studies of the Kızderbent District. ", Ecology 2007, Scientific Articles , Science Invest LTD-Branch Bourgas Bulgaria, V.1, 62-76.

BOZKURT A., KURTULUŞ C., 2009. "Alikahya Bölgesinde Birleştirilmiş Jeolojik, Jeofizik Ve Jeoteknik Araştırmalarla Zemin İncelenmesi (Integrated geological, geophysical and geotechnical exploration for site characterization in Alikahya region, (NW Turkey)), " Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, sayı1, C8, 1-17.

DOBRY, R., BAZIAR, M.H., O’ROURKE, T.D., ROTH, B.L. AND YOUNG, T.L., 1992. “Liquefaction and Ground Failure in the Imperial Valley, Southern California During the 1979, 1981 and 1987, Earthquakes,” *Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes*, Vol. 2, Edited by T. O’Rourke and M. Hamada, Feb., Technical Report NCEER-92-0002

ERCAN A., 2001, Afet Bölgelerinde Yer Araştırma Yöntemleri, Bilgiler ve Kurallar.

EUROCODE 8, 2003. Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.

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

ISHIHARA, K., 1982. Evaluation of soil properties for use in earthquake response analysis Proc., Int. Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Zurich: 237-259.

JANBU, N., BJERRUM, L. AND KJAERNSLI, B.,1956. "Veiledring ved losning av fundermenteringsoppgaver." Norwegian Geotechnical Institute Publication No.16, Oslo.

KURTULUŞ, C., BOZKURT, A., 2007. "İzmit-Sapanca Koridoru Boyunca Yer Araştırması (Soil Investigation Along The Izmit-Sapanca Corridor)", Uygulamalı Yerbilimleri, Kocaeli Üniversitesi Yayınları. , Vol 6, No 1, 9-24, 2007.

KURTULUŞ C., BOZKURT A., 2006."Kocaeli-İzmit (Sapanca) ilçesinde yermühendislik parametrelerinin Jeolojik gözlemler, Jeoteknik testler ve jeofizik çalışmalarla belirlenmesi", Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, 2006

KURTULUŞ C., Demir N., ŞAHAN Ç., 2011. Umuttepe ve civarının sismik yansıma ve elektrik öz direnç (rezistivite) yöntemleri ile incelenmesi, , Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, Sayı 3, 49-57.

KURTULUŞ C., BOZKURT A., ENDEŞ H., 2006."Local soil conditions of the area between the Gulf of Izmit and Lake Sapanca", 15. International Symposium, Ecology 2006, June 5-9, Sunny Beach resort, Bulgaria.

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

NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Programme), Amerika Birlesik Devletleri Sismik Zemin Sınıflama Kriterleri.

SOWERS G.B., SOWERS G.F., 1979. Introductory Soil Mechanics and Foundations, Mc Millan.

TERZAGHI K., 1943. Theoretical Soil Mechanics Wiley, NewYork. ve Peck, R.B., 1948."Soil Mechanics In Engineering Practive" Wiley, 729s., NewYork.

Terzaghi, K., and R. B. Peck, 1943. Soil Mechanics in Engineering mechanics practise, John Wiley and Sons, New York

TOKIMATSU K., YOSHIMI Y., (1983). Empricial Corralation of soilLiquefaction based on SPT-N Value and Fines Content Soil andFound. 23 (4) 56-74.

TEZCAN SEMİH S., KEÇELİ A., ÖZDEMİR Z., (2006). Allowable bearingcapacity of shallow foundations based on shear wave velocity, Tecnical Note, Istanbul.

ULUSAY R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayınları:38, Ankara.

UNİFORM BUIŁDİNG CODE, 1997. International Conference of Building Officials (ICBO), Whittier, California.

YOUD, 1998. " Screening Guide for Rapid Assessment of Liquefaction Hazard at Highway Bridge Sites".