

ALİKAHYA BÖLGESİNDE BİRLEŞTİRİLMİŞ JEOLJİK, JEOFİZİK ve JEOTEKNİK ARAŞTIRMALARLA ZEMİN İNCELENMESİ

Integrated geological, geophysical and geotechnical exploration for site characterization in Alikahya region, (NW Turkey)

Ali BOZKURT¹ ve Cengiz KURTULUŞ².

ÖZET

Alikahya bölgesinde sedimenter yapının Mühendislik özelliklerini araştırmak amacıyla jeolojik, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapılmıştır. İnceleme alanında derinlikleri 12.50-14.60 m. arasında açılan 5 adet temel araştırma sondajı neticesinde yüzeiden itibaren 2.50-3.00 m. derinliğine kadar çakıl, kum ve kil niteliğindeki kontrolsüz dolgu seviyesi geçilmiş ve bu dolgu seviyesi devamında ise 9.50-10.50 m.' ye kadar sarımsı, yer yer beyazımsı açık kahve renkli, değişik renk tonlarında taneleri sıkı, çok sıkı tutturulmuş ince kum boyu alt seviyelerde kumtaşı çakıl ve blokları içeren killi kum niteliğinde rezidüel zon geçilmiştir. Killi kumlu zemin içerisinde düzenli olarak her 1.50 m.' de SPT deneyleri yapılmıştır. Yüzeide yer alan dolgunun zemin emniyet gerilmesi $q_{all} = 1.52 \text{ kg/cm}^2$ ve 9.50-10.50 m derinliklerden sonra geçilen kumtaşları için zemin emniyet gerilmesi 2.50 kg/cm^2 olarak hesaplanmıştır. Yapılan sismik kırılma çalışmaları sonucunda $V_{p1} = 408-439 \text{ m/s}$ ve $V_{s1} = 160-172 \text{ m/sn}$ hız değerlerine sahip, yüzeiden itibaren derinliği yer yer 2.65-2.88 metre civarında değişen dolgu tabakasının varlığı tespit edilmiştir. Dolgu tabakasının altında yer alan killi siltli kum tabakasının V_p ve V_s hızları sırasıyla $V_{p2} = 1057-1088 \text{ m/s}$ ve $V_{s2} = 460-473 \text{ m/s}$ olarak hesaplanmıştır. Temelin oturtulacağı çok sıkı kum boyutu için elde edilen dinamik zemin emniyet gerilmesi: $2.00-2.06 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir. İnceleme alanınının 1. derece deprem bölgesinde yer almasından dolayı etkin yer ivme katsayısı $A_0 = 0.40 \text{ g}$, yerel zemin grubu C ve zemin sınıfı Z-3 ve bina önem katsayısı $I=1.0$ ve spektrum periyotları ise $T_a - T_b = 0.15 - 0.60 \text{ sn}$ olarak bulunmuştur. Ayrıca yapılan sıvılaşma analizleri neticesinde çalışma alanında sıvılaşmanın olmadığı belirlenmiştir.

ABSTRACT

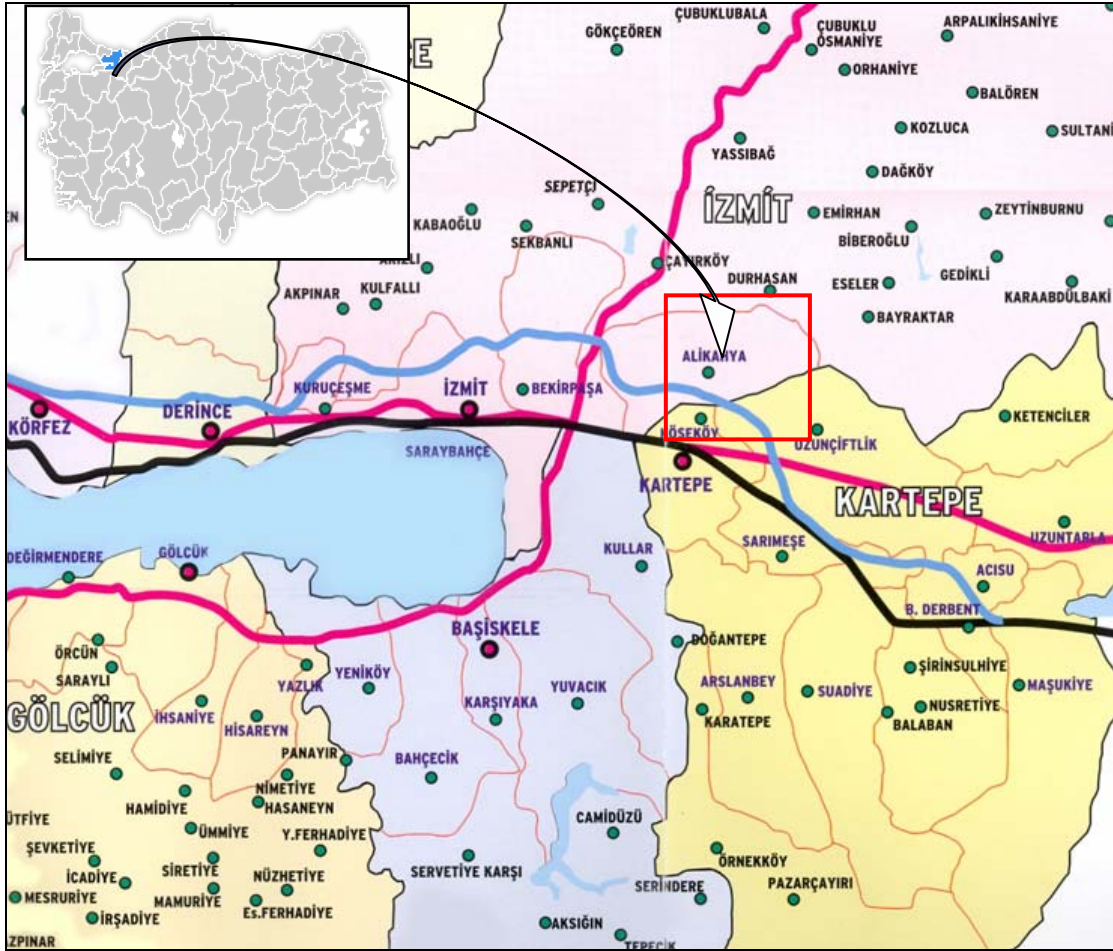
Geological, geophysical and geotechnical explorations were conducted to investigate the characteristics of Alikahya sedimentary area. 5 boreholes of depth varies between 12.50-14.60m were performed. Borhole data illustrated that gravel,sand and clay series is located within 2.5-3.00 m of depth and changed to yellowish, white and light brawn stiff sandstone including gravel and blocks in the upper levels and to hard sandstone at the bottom untill 9.50-10.50m.SPT tests were conducted at every 1.5 m in clayey sand. The safety bearing capacity of gravel, sand and clay series $q_{all} = 1.52 \text{ kg/cm}^2$ and that of sandstone is 2.50 kg/cm^2 were calculated. The seismic P-and S-velocities of the fist layer were calculated $V_{p1} = 408-439 \text{ m/s}$ ve $V_{s1} = 160-172 \text{ m/sn}$ respectively. The second layer (sandstone) P-and S- velocities were obtained as $V_{p2} = 1057-1088 \text{ m/s}$ ve $V_{s2} = 460-473 \text{ m/s}$. The safety bearing capacity of the sandstone including gravel and blocks was determined between $q_{all} = 2.00$ and 2.06 kg/cm^2 . The investigation area is remained within the first degree earthqukaee zone, therefore the effective acceleration coefficient $A_0 = 0.40 \text{ g}$, local soil group C , soil class Z-3, building safety factor $I=1.0$, and spectrum periods $T_a - T_b = 0.15 - 0.60 \text{ sn}$ were determined.

¹ ABM Mühendislik Ltd. Şti., İzmit-Kocaeli

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fak. Jeofizik Müh. Bl. Umuttepe, İzmit-Kocaeli

GİRİŞ

İzmit formasyonu İzmit ve civarında geniş bir alanda gözlenmekte olup, üzerinde oldukça yoğun bir yapılaşma mevcuttur. Özellikle İzmit formasyonunun ayrılmış kesimleri üzerindeki yapılar 17 Ağustos 1999 depreminde önemli ölçüde hasar görmüştür. Bu nedenle yapılaşmadan önce İzmit formasyonunun jeolojik, jeofizik ve jeoteknik yöntemlerle araştırılması, olası bir yer sarsıntısında yapılar üzerindeki hasarlara neden olacak faktörlerin belirlenmesine ve daha güvenli yapıların inşasına olanak sağlayacaktır. İzmit formasyonunun karakteristik özellikleri şimdiye kadar Tchihatcheff, 1869; Toula, 1890; Fitzner, 1903; Endriss 1910, 1926; Arabu, 1914; Penck, 1918; Baykal, 1940, 1943; Abdüsselamoğlu, 1963; Altınlı, 1968; Çakır 1999; Tansel, 1989; Çakır 2000 tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmanın amacı Alikahya bölgesinde ayrılmış İzmit formasyonunun fiziksel özelliklerini belirlemektir. Bu nedenle detaylı jeolojik, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapılarak çalışma alanına ait litolojik birimler belirlenmiş ve yapı-zemin ilişkileri araştırılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyonu (Kocaeli Büyükşehir Bld. Ölçek: 1/ 300.000.)

Figure 1. Location map of investigation area (Kocaeli Manicpality, Scale: 1/ 300.000.)

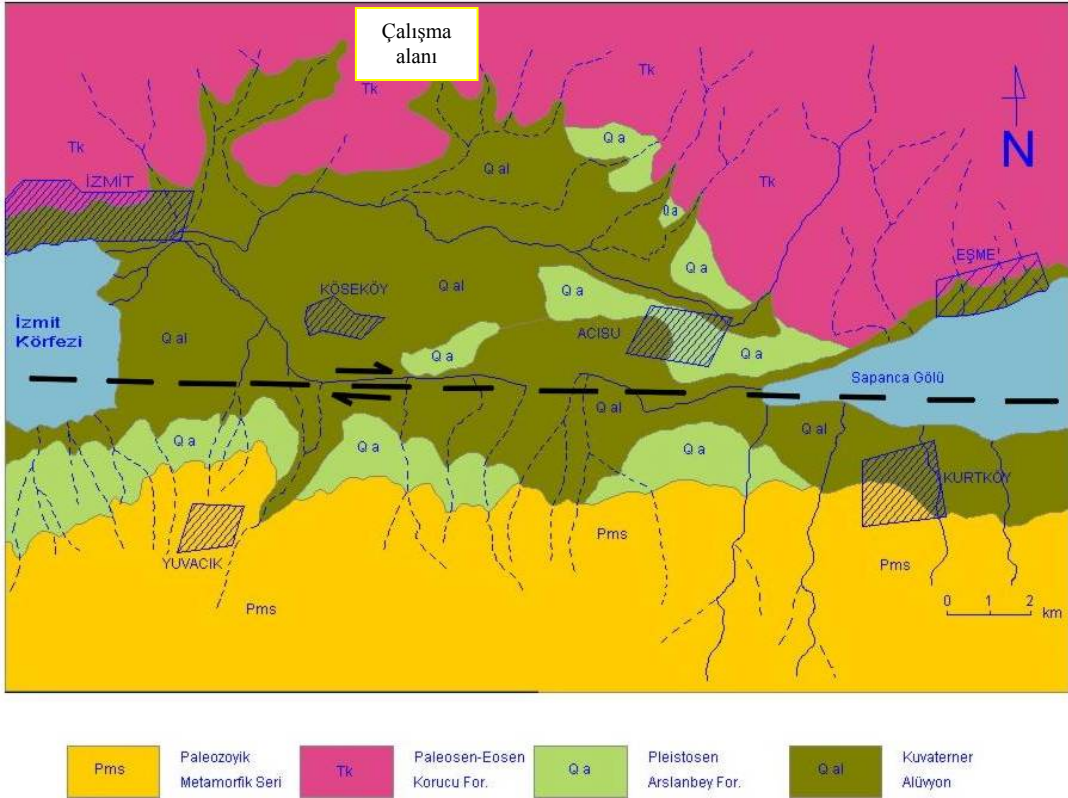
Çalışma alanının Jeolojisi

Çalışma alanında İzmit formasyonu bulunmaktadır (Şekil 2). İzmit formasyonu, mor, kırmızı veya alacalı görüntüsüyle tipiktir. Alt düzeyleri genelde çakıltaşı, daha üst seviyeleri yer yer çamurtaşı (şeyl) arakatkılı kumtaşı litolojilerinden oluşur. Bu genelleme yanında çakıltaşı, kumtaşı ve şeyl

düzeyleri çoğunlukla ardalanmalar şeklinde izlenir. Çakıltası ve kumtaşını oluşturan taneler Paleozoik yaşlı birimlerden türemiştir. Bu kırıntılar genelde Kuvars ve Grovak kökenlidir. Çimento çoğunlukla silislidir. Mikroskobik değerlendirmede kumtaşı düzeyleri arkoz ve süblitarenit ve litarenit bileşimidir. Birime daha önceki araştırmacılar elde ettikleri fosil bulgularından, Triyas (Skitiyen) yaşını vermişlerdir (Baykal 1943, Altınlı 1968, Çakır 1999).

Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi

Çalışma alanında yer alan zeminlerin temel mühendislik özelliklerini belirlemek ve zemin profilini ortaya koymak amacıyla yapılan temel araştırma yüzeyden itibaren 2.60-3.00 m. çakıl, kum, kil niteliğinde kontrolsüz dolgu devamında 9.50-10.50 m.' ye kadar sarımsı yer yer beyazımsı açık kahve renkli, değişik renk tonlarında taneleri sıkı, çok sıkı tutturulmuş kum boyu ince alt seviyelerde kumtaşı çakıl ve blokları içeren killi siltli kum, devamında açık sarımsı renkli, üst seviyelerde bol kırıklı, çatlaklı ve zayıf dayanımlı, alt seviyelerde az kırıklı, çatlaklı, orta sert dayanımlı kumtaşı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası
Figure 2. Geology map of study area

SONDAJ ÇALIŞMALARINI VE ARAZİ DENEYLERİ

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

İnceleme alanında derinlikleri 12.50-14.60 m. arasında olan 5 adet temel araştırma sondajı gerçekleştirilmiştir. Yapılan temel araştırma sondajlarında yüzeyden itibaren 2.50-3.00 m. derinliğine kadar çakıl, kum ve kil niteliğindeki kontrolsüz dolgu seviyesi geçilmiş ve bu dolgu seviyesi devamında ise 9.50-10.50 m.' ye kadar sarımsı, yer yer beyazımsı açık kahve renkli,

değişik renk tonlarında taneleri sıkı, çok sıkı tutturulmuş ince kum boyu alt seviyelerde kumtaşı çakıl ve blokları içeren killi kum niteliğinde rezidüel zon geçilmiştir. Bu seviyenin altında ise açık sarımsı renkli, üst seviyelerde bol kırıklı, alt seviyelerde az kırıklı çatlaklı ve orta sert dayanımlı kumtaşları kesilmiştir.

Yüzeyden itibaren 2.50-10.50 m. arasında geçilen killi kumlu zemin içerisinde düzenli olarak her 1.50 m.' de SPT deneyleri yapılmış ve buna bağlı olarak sondaj logları ve N30 değerleri tespit edilmiştir (Şekil 3). SPT deneylerine göre N30 değerlerinin 37-refü arasında değiştiği belirlenmiş ve sıklık durumu Terzaghi ve Peck (1948) göre değerlendirilmiş ve inceleme sahasında yer alan kohezyonsuz (Kum) zeminler için kıvam ‘‘Sıkı – Çok Sıkı’’ olarak bulunmuştur.

SPT deneyinde dış çapı 50.00 mm, iç çapı 34.90 mm olan standart yarık tüp, 63.50 kg ağırlığında bir tokmak kullanılmış ve bu tokmanın 76.20 cm yükseklikten serbest olarak düşürülmesiyle tüpün zemine 15' er cm'lik 3 giriş (=45 cm) için vurulması gereken darbe sayıları saptanmıştır.

Laboratuvar Deneyleri ve Analizler

Yapı temelinin oturduğu ortamın fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan temel araştırma sondajlarında killi kum biriminden alınan örselenmiş örnekler (SPT) ve kaya ortamında karotlu ilerleme yapılarak alınan kaya örnekleri üzerinde laboratuvar çeşitli zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır.

Zeminlerin Fiziksel/İndeks Özelliklerini Belirlemeye Yönelik Yapılan Çalışmalar

Yapılan sondajlarda dolgu seviyesi devamında geçilen ve kohezyonsuz (granüler) zemin niteliğindeki rezidüel zondan örselenmemiş UD numunesi alınamaması nedeniyle, zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneyleri yapılamamıştır.

Elek Analizi Deneyi

SM sınıfı (USCS) Kum Zeminler için

İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondajlarında değişik derinliklerde geçilen kil zeminlerden alınan SPT numuneleri üzerinde yapılan elek analizi deney sonuçları Çizelge 1. de verilmektedir.

Çizelge 1. SPT örneklerinin (örselenmemiş) elek analizi

Table 1. Sieve analysis of SPT samples (undisturbed)

	Min.	Max.	Ort.
% Çakıl	6,31	18,68	11,59
% Kum	43,78	53,75	47,75
% Kil-Silt	33,59	46,40	40,66

SONDAJ DERİNLİĞİ Boring Depth (m.)	NUMUNE CİNSİ Sample Type	NUMUNE NO Sample No	STANDART PENETRASYON DENEYİ (Standart Penetration Test)				ZEMİN SINIFI Soil Category	ZEMİN TANIMLAMASI Soil Description	ZEMİN PROFİLİ Soil Profile	
			DARBE SAYISI Num. Of Blows			N ₃₀				SPT GRAFIĞI SPT Graph
			15	30	45					
1										
2	SPT	1	18	22	26	48	Kontrolsüz Dolgu (çakıl, kum, kil)			
3	SPT	2	16	17	22	39				
4							Killi Siltli Kum sarımsı kahve, yer yer beyazımsı açık kahverenkli değişik renk tonlarında taneler sıkı, çok sıkı tutturulmuş kum boyu ince alt seviyelerde kumtaşı çakılları ve blokları içerir			
5	SPT	3	29	37	45	82				
6	SPT	4	50/7							
7							Kumtaşı açık sarımsı renkli, üst seviyelerde bol kırıklı, çatlaklı ve zayıf dayanımlı alt seviyelerde az kırıklı, çatlaklı, orta sert dayanımlı			
8	SPT	5	38	50/11						
9	SPT	6	41	50/3			(Ayrışma Zonu)			
10										
11										
12										
13										
14										
15										
								Kuyu Sonu :14.60 m.		

Şekil 3. Tipic bir sondaj logu ve SPT değerleri
Figure 3. Typical borehole log and SPT values

Atterberg Limitleri Deneyleri

İnceleme alanında yer alan zemin örnekleri üzerinde yapılan atterberg limitleri deney sonuçları ve bunlara bağlı olarak hesaplanan parametreler Çizelge 2. de verilmektedir (Leonards, 1962, Sowers, 1979)

Çizelge 2. Örselenmemiş zemin örneklerinin atterberg limitleri deneyi
Table 2. Atterberg limit tests of undisturbed soil samples

	Min.	Max.	Ort.
Likit Limit - % LL		NP	
Plastik Limit - % PL		NP	
Plastisite İndisi- % PI		NP	
Doğal Su İçeriği- % Wn	16,73	20,69	18,96
Sıkışma İndisi - Cc	-	-	-
Kıvamlılık İndisi - Ic	-	-	-

NP: Plastik değil (Non plastic)

Su İçeriği Deneyleri

İnceleme alanında yer alan zemin numunelerine yapılan su içeriği deney sonuçları Çizelge 3. te verilmektedir.

Çizelge 3. Örselenmemiş zemin örneklerinin su içerik değerleri
Table 3. Water content values of undisturbed soil samples

	MİN.	MAX.	ORT.
Doğal Su İçeriği -% Wn	16,73	20,69	18,96

Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

İnceleme alanında yer alan zemin örneklerine ait doğal ve yaş birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 4. 'te verilmektedir.

Çizelge 4. Örselenmemiş zemin örneklerine ait kuru ve yaş birim ağırlık değerleri
Table 4. Dry and wet unit weight values of undisturbed soil samples

	Min.	Max.	Ort.
Yaş Birim Hacim Ağırlık (g _n)	1,97	2,16	2,04
Kuru Birim Hacim Ağırlık (g _n)	1,63	1,85	1,72

İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondajlarından alınan örselenmiş SPT örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, su içeriği, zemin sınıflandırma (atterberg limitleri - elek analizleri) yapılmıştır. Belirlenen veriler Çizelge 5.te verilmektedir.

Çizelge 5. Örselenmiş zemin örneklerine deney sonuçları
Table 5. Test results of disturbed soil

Sondaj No.	Numune No.	Derinlik (m)	Su İçeriği (%) Wn	Zemin Sınıfı (USGS)	Atterberg limitleri			Sıkışma İndisi Cc	Kıvamlılık İndisi Ic	Kıvam	Sıkışa-birliklik	Şişme	Kuru Day.	Genleşme
					LL (%)	PL (%)	PI (%)							
SK-1	SPT-2	3.00-3.45	19,21	SM	-	NP	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-1	SPT-4	6.00-6.34	16,73	SM	-	NP	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-2	SPT-3	4.50-4.95	17,55	SM	-	NP	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-3	SPT-2	3.00-3.45	20,69	SM	-	NP	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-4	SPT-3	4.50-4.95	19,50	SM	-	NP	-	-	-	-	-	-	-	-
SK-5	SPT-3	4.50-4.95	20,08	SM	-	NP	-	-	-	-	-	-	-	-

SM sınıfı (USCS) Kum Zeminler için;

İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondajlarında değişik derinliklerde geçilen killi kum zeminlerden SM sınıfı (USCS) alınan örselenmiş SPT numuneleri üzerinde yapılan atterberg deney sonuçları ve buna bağlı parametreler Çizelge 6. da verilmektedir. Yapılan jeoteknik değerlendirmeler sonucunda zeminlerin plastik olmadıkları (NP) anlaşılmıştır (Gibbs and Holtz, 1975).

Kayaların Mekanik Özellikleri

İnceleme alanında 9.50-10.50 m. arasında değişen derinliklerde başlayan kaya ortamında karotiyer ile alınan kaya numuneleri üzerinde nokta yükleme deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucunda; (Is₅₀)_{Ort} 7.80 kg/cm² olarak bulunmuştur. Deney sonuçları Çizelge 7. de verilmektedir.

Çizelge 6. Örselenmiş killi kumlu zemin örneklerinin atterberg limit değerleri
Table 6. Atterberg limit values of disturbed clayey sand samples

	Min.	Max.	Ort.
Likit Limit - % LL		NP	
Plastik Limit - % PL		NP	
Plastisite İndisi -% PI		NP	
Doğal Su İçeriği -% Wn	16,73	20,69	18,96
Sıkışma İndisi - Cc	-	-	-
Kıvamlılık İndisi - Ic	-	-	-

Çizelge 7. Nokta Yük Dayanım İndeksi Deney Sonuçları
Table 7. Results of point load Index test

LOKASYON	ÖRNEKLEME DERİNLİĞİ (m)	Is(50) (kg/cm ²)	KAYAÇ CİNSİ
SK-1	10,00	6,39	Kumtaşı
SK-1	11,50	7,10	Kumtaşı
SK-1	12,70	6,98	Kumtaşı
SK-1	13,40	8,26	Kumtaşı
SK-2	9,70	6,90	Kumtaşı
SK-2	10,40	7,85	Kumtaşı
SK-2	11,90	8,90	Kumtaşı
SK-3	10,50	6,38	Kumtaşı
SK-3	11,10	7,80	Kumtaşı
SK-3	12,30	9,68	Kumtaşı
SK-4	11,20	7,95	Kumtaşı
SK-4	12,50	7,04	Kumtaşı
SK-4	13,40	9,92	Kumtaşı
SK-5	10,80	7,90	Kumtaşı
SK-5	12,70	6,65	Kumtaşı
SK-5	13,30	7,07	Kumtaşı
SK-5	14,00	9,83	Kumtaşı
Ortalama Is(50) (kg/cm²)		7,80	

MÜHENDİSLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRMELER

Bina - Zemin İlişkisinin İrdelenmesi

Zemin Taşıma Gücü, Zemin Emniyet Gerilmesi Hesapları ve Değerlendirilmesi

Yüzeysel Temeller

Rezidüel Zon (Kumtaşı Çakıllı, Bloklü Killi Siltli Kum) İçin;

Yapılan sondajlarda dolgu seviyesi devamında geçilen ve kohezyonsuz (granüler) zemin niteliğindeki rezidüel zon' dan örselenmemiş UD numunesi alınamaması nedeniyle, zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneyleri yapılamamıştır. Bu nedenle dolgu seviyesi altında yer alan ve inceleme alanında yapılması planlanan sanayi tipi yapı ve/veya yapılar için temel zemini olarak seçilmesi muhtemel çakıllı, yer yer kumtaşı bloklü killi siltli kum niteliğindeki rezidüel zonun mekanik özelliklerinin belirlenmesinde SPT N30 deney sonuçları kullanılmıştır.

Bu nedenle siltli kum seviyesi için zemin taşıma gücü hesapları inceleme alanında yapılan temel araştırma sondaj çalışmalarında killi siltli kum seviyesinde yapılan 3.00-3.45 m. derinliğine ait SPT N30 değerleri üzerinde kuyu çapı düzeltilmesi (CB), enerji düzeltilmesi (CE), örnek alıcı tüpü düzeltilmesi (CS) ve tij uzunluğu düzeltilmesi ve su düzeltilmesi yapılmıştır(Terzaghi ve Peck, 1948) Yapılan sondajlarda 3.00-3.45 m. ler için düzeltilmiş ortalama $N_{30(ort)} = 41$ olarak bulunmuştur.

Düzeltilmiş SPT N30 değerleri yardımıyla yapılan hesaplamalarda kullanılan yöntem aşağıda verilmiştir (Terzaghi ve Peck ,1948).

Zemin Taşıma Gücü (q_u) ve Zemin Emniyet Gerilmesi (q_{all}) aşağıdaki bağıntı ile bulunur

$$q_u = [N' - 3] / 5 \quad (\text{kg / cm}^2) \quad (1)$$

$$q_{all} = q_u / F_s \quad (2)$$

Burada,

N' = Düzeltilmiş SPT N30 değeri

F_s = Güvenlik Katsayısı ($F_s = 5$)

$N_{30(ort)}$ = 41 için; (3.00-3.45 m)

Zemin Taşıma Gücü (q_u)

$$q_u = [N_{30} - 3] / 5$$

$$q_u = [41 - 3] / 5$$

$q_u = 7.60 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanır.

Zemin Emniyet Gerilmesi (q_{all});

$$q_{all} = q_u / 5$$

$q_{all} = 1.52 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanır.

Temel Zemini Kumtaşı Seviyesi İçin;

Sondaj çalışmalarında 9.50-10.50 m derinliklerden sonra geçilen kumtaşı türü kaya ortamından alınan toplam 17 adet karot örneği (d) üzerinde yapılan nokta yükleme deneylerine göre $Is_{50} = P/D^2$ Minimum $Is_{50} = 6.39 \text{ kg/cm}^2$ ve maksimum $Is_{50} = 9.92 \text{ kg/cm}^2$, Ortalama $Is_{50} = 7.80 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (τ_c);

$$\tau_c = C \times Is \quad C = 12 \quad (3)$$

$$\tau_c = 12 \times 7.80$$

$$\tau_c = 93.60 \text{ kg/cm}^2$$

İnceleme alanında yer alan kumtaşlarına ait sağlam kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı minimum $\tau_c = 93.60 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuş olup, elde edilen minimum Tek Eksenli Sıkışma dayanım değerlerine ve Hoek-Brown Görgül Yenilme Ölçütü yöntemine göre süreksizlik düzlemleri içeren kayaçlar için taşıma gücü hesabı yapılmıştır. İnceleme alanında 9.50-10.50 m derinlikten sonra başlayan kumtaşı ortamı için; bölgenin deprenselliği, morfolojisi ve formasyona ait birimlerin çatlak sistemlerinin gelişmiş olması, ayrışma derecesinin yüzeye yakın yerlerde W3 yer yer W4 olması gibi parametreler göz önüne alındığında aşırı ayrışmış (W4) kesimler dışında kaya ortamı için izin verilebilir emniyetli taşıma gücünün; Kumtaşı İçin; $q_{emn} = 2.50 \text{ kg/cm}^2$ olarak kullanılmasının doğru olacağı anlaşılmaktadır.

Jeofizik Çalışmalar

Sismik Kırılma Çalışması

İnceleme alanında 5 profil boyunca karşılıklı atışlı sismik P-ve S-dalgası kırılma çalışması yapılmıştır. Çalışmadaki temel amaç; belirlenen ölçü profilleri boyunca yer altı hız yapısı, zemin dinamik elastik özellikleri, hakim titreşim periyodu ve zemin büyütmesinin belirlenmesidir. Çalışmada ofset ve jeofon aralıkları 2 m olarak alınmıştır. Sismik enerji P-dalgası için yere iyice tespit edilmiş bir demir levhaya 8kg lık balyozla vurularak üretilmiştir. S-dalgası çalışmalarında enerji üretimi için 200x15x15 cm boyutlarında bir kalas profil doğrultusuna dik olarak yere yerleştirilmiş ve üzerine arazi aracı (pikap) çıkartılarak iyice sabitlenmiştir. S-dalgası kalasın önce

bir ucuna ve sonra diğer ucuna vurularak üretilmiştir. Yüzey gürültülerinin minimuma indirilmesi için cihaz üzerindeki fitrelerden faydalanılmıştır. Elde edilen sismik kırılma sismogramları üzerindeki aynı faza ait ilk kırılma noktalarından en küçük kareler yöntemiyle doğrular geçirilmiştir. Bu doğruların ilk kırılma noktalarına %90–95 uyduğu saptanmıştır. Dolayısı ile tabakalara ait hızlar bu doğruların eğimlerinden % 90–95 doğrulukla saptanmıştır.

İnceleme alanında yapılan ölçümlerde elde edilen V_p ve V_s hız değerleri ve bu hız değerlerine bağlı olarak her tabaka için hesaplanan zemin dinamik elastik parametreleri; yoğunluk (ρ), Young Modülü (E), Poisson Oranı (ν), Bulk Modülü (K), Yataklanma Katsayısı (Ks), Zemin Hakim Titreşim Peryodu (T_0) ve Zemin Büyütmesi (a) aşağıda tablo halinde Çizelge 8. de verilmiştir (Kurtuluş, 2000; Tezcan ve diğ., 2006).

Çizelge 8. V_p ve V_s dalga hızlarına göre hesaplanan zemin dinamik elastik parametreleri
Table 8. Dynamic ground elastic parameters calculated using P-and S-velocities

Tabaka	V_p m/s	V_s m/s	(ρ) (gr/cm ³)	E Kg/cm ²	G Kg/cm ²	(ν)	K (kg/cm ²)	Ks (ton/m ³)	a	To (sn)
1	408-439	160-172	1.68-169	1213-1410	430-500	0.41	2225-2586	988-1067	2.8	0.48
2	1057-1088	460-473	1.81-182	10584-11254	10585-11254	0.38	15137-16093	2757-2848		

İnceleme alanının dinamik özelliklerini ortaya koymak amacı ile yapılan sismik kırılma çalışmaları sonucunda V_{p1} : 408-439 m/s ve V_{s1} : 160-172 m/sn hız değerlerine sahip, yüzeyden itibaren derinliği yer yer 2.65-2.88 metre civarında dolgu tabakasının varlığı tespit edilmiştir. Dolgu tabakasının altında, V_{p2} : 1057-1088 m/s ve V_{s2} : 460-473 m/s hız değerlerine sahip killi siltli kum tabakası tespit edilmiştir. Dolgu tabakasının altındaki killi siltli kum tabakasının dinamik zemin emniyet gerilmesi $2.00 \text{ kg/cm}^2 \leq q_a \leq 2.06 \text{ kg/cm}^2$ arasında hesaplanmıştır. İkinci tabakanın zemin sınıfı Nehrp (National Earthquake Hazard Reduction Programme) sınıflamasına göre 'C' olarak hesaplanmıştır (Çizelge 9).

Rezistivite - Özdirenç Etüdü

İnceleme alanında stratigrafikasyon, yeraltı suyu ve taban kaya derinliğine yönelik olarak jeoelektrik öz direnç çalışması yapılmıştır. Bu uygulamada maksimum 450 volt potansiyele sahip GEOTRON tipi dijital çıkışlı sığ rezistivite cihazı kullanılarak Schlumberger ölçü dizilim sisteminde 16 metre derinlere nüfus eden düşey elektrik sondaj ölçüleri alınmıştır. Arazi eğrilerini değerlendirmek için bilgisayar destekli çözüm yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 9. NEHRP' ye Göre Zemin Sınıflama Kriteri
Table 9. Soil classification according to NEHRP

Nehrp Zemin Sınıfı	Tanımlama	30 m Derinliğe Kadar Ortalama S - Dalga Hızı
A	Sert Ana Kaya	> 1500 m / sn
B	Sağlam, Dayanıklı İle Sert Kaya Arası Birimler	760 - 1500 m / sn
C	Yoğun Toprak, Yumuşak Kaya	360 - 760 m / sn
<u>D</u>	Sert Toprak	180 - 360 m / sn
E	Yumuşak Killer	< 180 m / sn

Yapılan değerlendirme sonucunda 25.83 - 32.63 ohm-m arasında elde edilen özdirenç değerleri kontrolsüz dolgu tabakası, 21.10 - 25.49 ohm-m arasında elde edilen özdirenç değerlerinin killi kum seviyesine karşılık geldiği belirlenmiştir. Bu formasyonun yeraltı suyu açısından zengin olduğu belirlenmiştir. 79.25 - 87.26 ohm-m arasında elde edilen özdirenç değerleri ise anakaya (kumtaşı) seviyeleri olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4).

İngiliz Standartları (BS-1021)' e göre zeminlerin özgül elektrik dirençlerine bağlı olarak korozyon yapıcılığı yönünden sınıflandırıldığında, temel zemini olması muhtemel killi siltli kum için koroziflik özelliği "Orta Korozif" olarak belirlenmiştir (Çizelge 10).

Çizelge 10. İngiliz Standartları (BS-1021)' e göre Zemin Özdirenci ve Korozyon Derecesi
Table 10. Soil resistivity and degree of corrosion based on (BS-1021)

Zeminin Elektrik Özgül Direnci (Ohm.m)	Zeminin Korozif Özelliği
< 10	Yüksek Korozif
10 - 100	Orta Korozif
100 <	Hafif Korozif

Düşey Yataklanma Katsayısı (K_s)

İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondajlarında yüzeyden itibaren 3.0-3.45 m. çakıl, kum, kil niteliğinde kontrolsüz dolgu için düşey yataklanma katsayısı Bowles (1988)' e göre hesaplanmıştır.

$$K_s = 40 * GS * q_a$$

Burada GS, güvenlik sayısı ve q_a ise taşıma gücünü göstermektedir. Buna göre,

$$K_s = 40 * 4 * 1.52 = 2383 \text{ ton /m}^3$$

Bulunur. 9.50-10.5 m derinliklerden itibaren kesilen kumtaşlarının düşey yatak katsayısı aynı metotla q_a=2.5 kg/cm³ alınarak K_s=4900 t/m³ bulunur.

Çok Katlı Betonarme Binaların Doğal Periyotlarının Bulunması ve Yapı – Yer Uyumu

Betonarme binalar rijitliklerine göre beş gruba ayrılmıştır. 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;

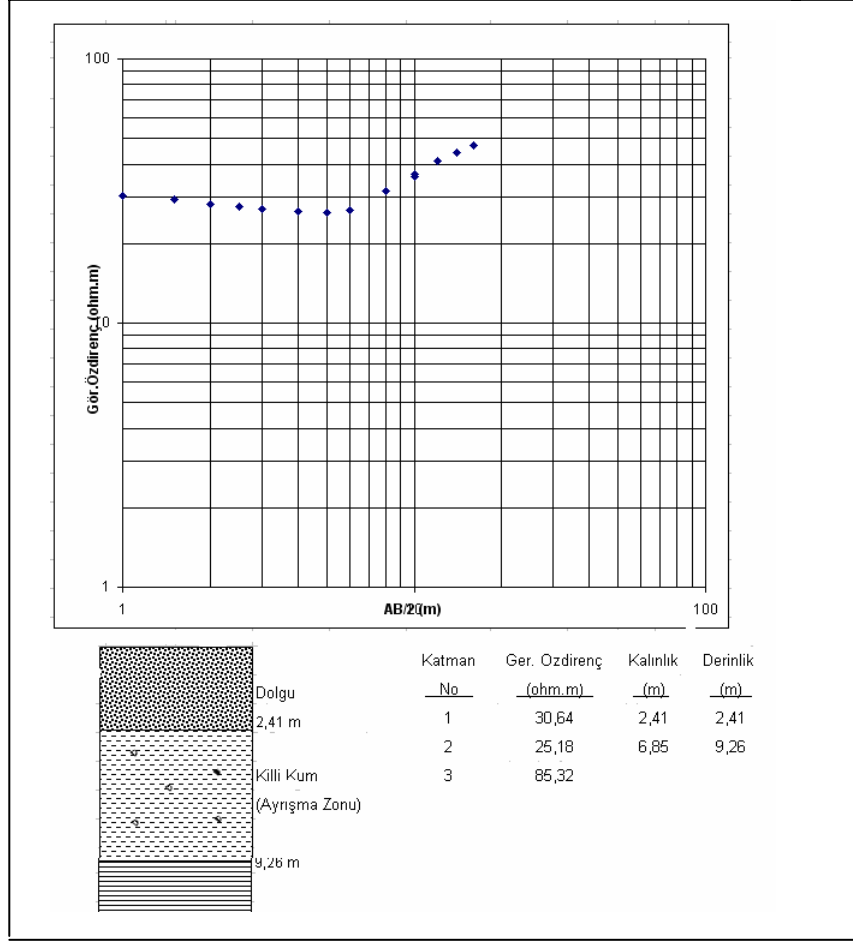
'Yapı - Yer Uyumu' yapıda gereksiz 'zonlanma' ların oluşmasını daha işin başında önlemeye yönelik olarak, birtakım basitleştirmelerle, "yapı doğal periyodunun yerin baskın periyod bölgesinden uzak kılınması"na indirgenebilir. Yeterli uzaklaşmanın kriteri olarak da "yapı periyodunun, yer baskın periyodu değerinin 1.0/1.5 = 0.67' si ile 1.5 katı arasındaki bölgede bulunmaması" koşulu ileriye sürülebilmektedir (Çizelge 11).

Baskın periyodu 1/1.5 ve 1.5 katsayıları ile çarpılarak, 'yapı doğal periyodları' nın yer almaması gereken 'amplifikasyon bölgesi' nin; T_o = 0.48 sn için;

$$T_{o1} = 0.67 * 0.48 = 0.32 \text{ sn}$$

$$T_{o2} = 1.5 * 0.48 = 0.72 \text{ sn}$$

olarak bulunur.



Şekil 4. Tipik bir özdirenç elektrosu ve yorumlanmış yeraltı yapısı
Figure 4. A typical resistivity electro and interpreted cross-section

Sıvılaşma ve Yanal Yayılma Analizi ve Değerlendirilmesi

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. Kısaca sıvılaşma için gerekli ortam koşulları şöyle sıralanabilir (Wang, 1979, Tokimatsu ve Yoshimi, 1983);

- a- Sığ yer altı su seviyesi,
- b- Kumlu-siltli gevşek zemin (ince tane oranı % 35'ten az),
- c- Yeterli büyüklükte deprem.

Çin kriterlerine göre (Wang, 1979);

- 0.005 mm'den daha ince tane oranı \leq % 15,
- Likit Limit, $LL \leq$ %35
- Doğal su İçeriği, $W_n \geq 0.9LL$
- Sıvılaşma İndisi ≤ 0.75 koşullarını sağlayan zeminlerde sıvılaşma meydana gelmektedir.

Diğer taraftan sıvılaşma analizinde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yaklaşımında, zeminin devirsel gerilme direnci (σ/σ_0') depremden kaynaklanan devirsel gerilme oranı (σ/σ_0') ile kıyaslanarak sıvılaşma potansiyeli emniyet katsayısı ile ifade edilmektedir. Yöntemde SPT-N verilerine dayalı çözüm yapılmaktadır. $M=7.5$ büyüklüğünde depreme göre SPT- $N1_{(60)} < 30$ olan zeminler için (Seed ve diğ., 1971; 1985; 1986) sıvılaşma analizi yapılmaktadır (Şekil 5).

Diğer iki araştırmacı olan Seed ve Idriss (1971)' e göre ise, ince tane oranı %5' den az olan kum zeminler temiz kum olarak nitelendirilmiş ve sıvılaşma olayının da temiz kum olarak tabir edilen ve ince tane oranının %5' den az olduğu bu zeminlerde gerçekleşeceği ve ince tane oranının %5' den fazla olduğu kum zeminlerde sıvılaşma olayının gerçekleşmeyeceği belirtmişlerdir.

Zeminlerin sıvılaşma risk analizlerinde, sıvılaşma emniyet faktörü (F_s) olarak $F_s = \tau_s / \tau_0$ oranı esas alınır;

$F_s < 1$ ise sıvılaşma gerçekleşir.

$1 < F_s < 1.2$ potansiyel sıvılaşma

$F_s > 1.2$ ise sıvılaşma gözlenmez sonucuna ulaşılır.

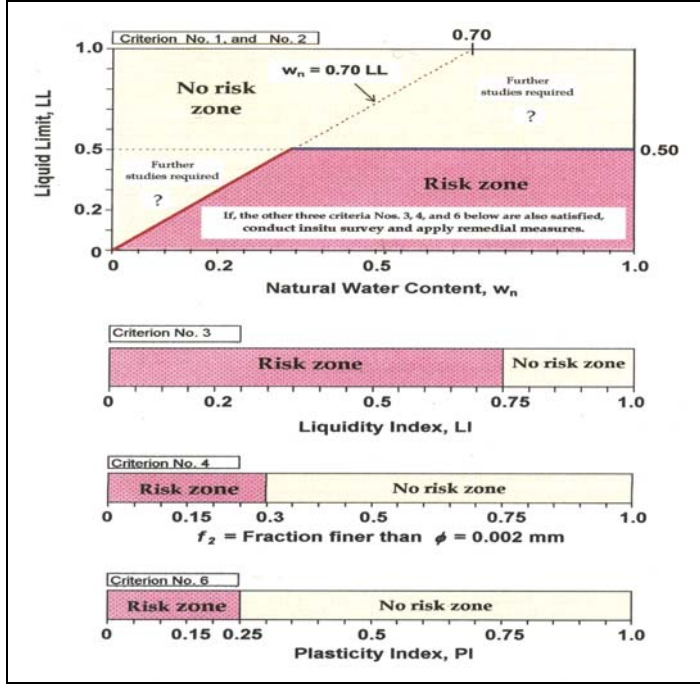
Çizelge 11. Çok Katlı Betonarme Binaların Rijitlik Gruplarına Göre Tanımları ve doğal periyod formülünde kullanılacak 'c' katsayıları

Table 11. Defination of multi layered concrete buildings according to rigidity groups and the coefficients 'c' being used in naturel frequency equation

GRUP NO	BİNA YAPISININ RİJİTLİK TANIMI	C KATSAYISI
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	Normal aralıklı, normal boyutta kolon ve kirişlere ilaveten normal aralıklı betonarme perde ya da rijit dolgu duvarları	0.045 – 0.069
IV	Normal aralıklı, normal-ince arası kolon ve kirişlere ilaveten seyrek betonarme perde ya da rijiy 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

Tokimatsu ve Yoshimi (1983)' e Göre Sıvılaşma Risk Analizi

Hesaplamlarda kullanılan $a(\max)=0,4$ g ve $M_w=7,5$ değerlerine göre yapılan analiz sonuçlarına göre sıvılaşma emniyet faktörü $FS_{\min} > 3.0$ olarak bulunmuştur. Yapılan sıvılaşma analizi sonuçlarına göre $FS > 1.2$ olduğundan sıvılaşmanın gerçekleşmeyeceği sonucuna varılmıştır (Wang, 1979, Tokimatsu ve Yoshimi, 1983).



Şekil 5. Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından verilen sıvılaşma risk faktörleri
Figure 5. Liquefaction risk factors given by Tokimatsu ve Yoshimi (1983)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Alikahya bölgesinde yapılan jeolojik, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

İnceleme alanında derinlikleri 12.50-14.60 m. arasında olan 5 adet temel araştırma sondajı gerçekleştirilmiştir. Yapılan temel araştırma sondajlarında yüzeyden itibaren 2.50-3.00 m. derinliğine kadar çakıl, kum ve kil niteliğindeki kontrolsüz dolgu seviyesi geçilmiş, devamında ise 9.50-10.50 m.' ye kadar sarımsı, yer yer beyazımsı açık kahve renkli, değişik renk tonlarında taneleri sıkı, çok sıkı tutturulmuş ince kum boyu alt seviyelerde kumtaşı çakıl ve blokları içeren killi kum geçilmiştir. Bu seviyenin altında ise açık sarımsı renkli, üst seviyelerde bol kırıklı, alt seviyelerde az kırıklı çatlaklı ve orta sert dayanımlı kumtaşları kesilmiştir. Yüzeyde yer alan dolgunun zemin emniyet gerilmesi $q_{all} = 1.52 \text{ kg/cm}^2$ ve 9.50-10.50 m derinliklerden sonra geçilen kumtaşları için zemin emniyet gerilmesi 2.50 kg/cm^2 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca çok sıkı kum boyutu için yataklanma katsayısı $K_s = 2383 \text{ ton/m}^3$ ve devamındaki kum tabakası için $K_s = 4900 \text{ ton/m}^3$ olarak bulunmuştur. Kumlu zeminde toplam oturma miktarı 27.30 mm. olarak tespit edilmiştir.

İnceleme alanında değişik derinliklerde geçilen kum ve silt zeminlerden alınan örşelenmiş SPT numuneleri üzerinde yapılan elek analizleri ve atterberg limitleri deney sonuçları ve bunlara bağlı parametreler Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi – USCS' e göre değerlendirildiğinde kum zeminler için zemin sınıfı SM (Çakıllı, Yer Yer Kumtaşı Bloklu Siltli Kum Zeminler) olarak bulunmuştur. Bu nedenle inceleme alanında yüzeylenmiş olan SM sınıfı kum zeminler için şişme potansiyeli bulunmamaktadır. Ayrıca yapılan sıvılaşma analizleri neticesinde çalışma alanında sıvılaşmanın olmadığı belirlenmiştir.

İnceleme alanında yapılan rezistivite çalışmaları sonucunda 25.83 - 32.63 ohm-m arasında elde edilen özdirenç değerleri kontrolsüz dolgu tabakasına ve 21.10 - 25.49 ohm-m arasında elde edilen özdirenç değerlerinin ise killi kum seviyesine karşılık geldiği saptanmıştır. 79.25-87.26 ohm-m arasında elde edilen özdirenç değerleri anakaya (kumtaşı) seviyeleri olarak değerlendirilmiştir. İngiliz Standartları (BS-1021)' e göre zeminlerin özgül elektrik dirençlerine bağlı olarak korozyon yapıcılığı yönünden sınıflandırıldığında, temel zemini olması muhtemel killi siltli kum için koroziflik özelliği 'Orta Korozif' olarak belirlenmiştir

İnceleme alanının dinamik özelliklerini ortaya koymak amacı ile yapılan sismik kırılma çalışmaları sonucunda $V_{p1} = 408-439$ m/s ve $V_{s1} = 160-172$ m/sn hız değerlerine sahip, yüzeyden itibaren derinliği yer yer 2.65-2.88 metre civarında değişen dolgu tabakasının varlığı tespit edilmiştir. Dolgu tabakasının altında yer alan killi siltli kum tabakasının V_p ve V_s hızları sırasıyla $V_{p2} = 1057-1088$ m/s ve $V_{s2} = 460-473$ m/s olarak hesaplanmıştır. Temelin oturtulacağı çok sıkı kum boyutu için elde edilen dinamik zemin emniyet gerilmesi: $2.00-2.06$ kg/cm² olarak belirlenmiştir. İnceleme alanının 1. derece deprem bölgesinde yer almasından dolayı etkin yer ivme katsayısı $A_0 = 0.40$ g, yerel zemin grubu C ve zemin sınıfı Z-3 ve inceleme alanı imar planlarında konut alanları içerisinde kaldığından bina önem katsayısı $I=1.0$ olarak belirlenmiştir. Yapılan jeofizik çalışmalar sonucu bulunan Hakim Titreşim Periyodunun yer aldığı aralığa göre ise yer salınım karakteristik spektrum periyotları ise $T_a - T_b = 0.15 - 0.60$ sn olarak bulunmuştur. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Esaslar Yönetmeliği – 2007" ye göre birinci derece deprem bölgesinde inşa edilecek yapılar için en büyük zemin ivmesi değeri $A \geq 0.40$ g dir.

İnceleme alanı ve yakın çevresi I. Derece deprem bölgesi içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, olası büyük depremlerde yapı hasarlarını önlenmesi amacıyla yapı doğal periyodunun, yerin baskın periyot bölgesinden uzak kılınması sağlanmalıdır. İnceleme alanına yapılacak yapılar için; Yapı doğal periyotları'nın yer almaması gereken "amplifikasyon bölgesi" nin; $T_0 = 0.48$ sn için; $T_{01}=0.32$ sn ve $T_{02}=0.72$ sn arasında kaldığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

ABDÜSSELAMOĞLU Ş., 1963. Geology of Kocaeli Peninsula. MTA Institute Report No 3249 (Unpublished) Ankara.

ALTINLI I. E., 1968. Geological studies of İzmit- Hereke- Kurucadağ section M.T.A. Bulletin **71** 1-26 (in Turkish), Ankara.

ARABU N., 1914. Sur le Trias d'İzmit CR Ac.Soc. **158** 1459 Paris.

BAYKAL F., 1940. Geology of Adapazarı- Kandıra surrounding Area MTA. Institute report no: 1005 (unpublished) Ankara.

BAYKAL F., 1943. Geology of Şile area. İstanbul University Natural Sciences Bulletin No 3 İstanbul.

BOWLES J. E.,1988. Faoundation Analysis and Design, Civil Engineering Series, 4th Edition, 1988, Singapore.

BS-1021, 1973. Code Of Practice For Cathodic Protection, MİL-A 18001 H Anotes, Corrosion Preventative Zinc, Slab, Disc and Rodb Shaped.

ÇAKIR, Ş., 1999. İzmit-Körfez (Kocaeli) Dolayının ve Kuzeyinin Stratigrafisi. Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmit.

ÇAKIR Ş., 2000. Geology of Demirciler-Sadıklar- Gündoğdu- Tütünciftlik (Kocaeli) Area (Unpublished Ph.D. Thesis) Kocaeli University Natural Sciences Institute 173 İzmit.

ENDRISS W., 1910. Quer durch die Bithynische Halbinsel Patern. Mitt. Bd. 56 Gotha.

ENDRISS W., 1926. Geologische beobachtungen auf der Bithynischen Halbinsel Neues Jb. Min Geol. Pal. IV, 54, 347-410 Stuttgart.

FITZNER R., 1903. Forschungen auf der Bithynischen Halbinsel Rostock.

GIBBS H. J., AND HOLTZ W. G., 1957. Identification and Classification of Soils An Appraisal and Statement of Principles ASTM-STP 113 American Soc. for Test and Mat Philadelphia 3-24 85-91.

ISRM 1978. Suggested methods for Quantitative Description of Discontinuities in Rock masses *Int. J. Roc. Mechn. and Mining Sci. and Geomech. Abstr.*15 6(1978) 319-368.

KURTULUŞ C., 2000 Sismik Yöntemlerle Belirlenen Ampirik Taşıma Gücü Bağıntısı ve Uygulaması, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi KO.Ü. C1 6 51-59.

LEONARDS G. A., 1962. Foundation Engineering Mc. Graw-Hill Book Company 11363 New York USA 3-24 85-91.

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

SOWERS G. F., 1979. Intraductory Soil Mechanics and Foundations 4 th. Edition Collier MacMillian International edition McMillian Publishing Company New York USA 21-24 39-45.

PENCK W., 1918. Die Tektonischen grundzuge westkleinasien J. engeltorns nach f Stuttgart.

SEED, H. B., IDRİSS, I.M., 1971, Simplified procedure for evaluating soil Liquefaction potential , Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.97, pp. 1249-1273.

SEED, H.B. TOKIMATSU, K. HARDER, L.F. AND CHUNG, R.M, 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation, J. GED, ASCE, Vol. 111, No.12, pp.1425-1445.

SEED, H.B., DE ALBA, P, 1986. Use of SPT and CPT Tests for Evaluating Soil Liquefaction Resistance of Sands , Proc., In Situ '86, ASCE, PP. 281-302.

TANSEL İ., 1989. Late Cretaceous- Paleocene Boundary and the Paleocene Biostratigraphy of Ağva (İstanbul) Region *TAPG Bulletin* 1/3, 211-228 AnkaraTezcan S S Keçeli A 2002 Sismik Yöntemle Kabul Edilebilir veya Müsaade Edilebilir Taşıma Kapasitesi Saptanması, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Arastırma Vakfı Yayinlari Haziran Istanbul.

TERZAGHI, K., 1943. "Theoretical Soil Mechanics" Wiley, New york. ve Peck, R.B., 1948."Soil Mechanics İn Engineering Practive" Wiley, 729s., New York.

TEZCAN, SEMİH S.; KEÇELİ A.; ÖZDEMİR Z., 2006. Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity, Technical Note, İstanbul.

TCHIHATCHEFF P., 1869. Asie Mineure description physique de cetre contree Quatrieme serie *Geologie II- III* Paris.

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

TOULA F., 1890. Eine muschelkalk fauna am Golf von İzmit in Kleinasien Beitr. Öst Ung. und des Orientes Bd. X Heft IV Wien.

Wang, W. S., 1979. "Some findings in soil liquefaction." Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China. Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango I., Castro G., Christian J.T., Dobry R., Finn W.D.L., Harder Jr.L.F., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Liao S.S.C., Marcuson III W.F., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B., & Stokoe II K.H., 2001. Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998.