

SUADIYE (KOCAELİ) BÖLGESİNDE İNŞAATLAR İÇİN MÜHENDİSLİK JEOFİZİĞİNİN ALTYAPI ARAŞTIRMALARINDA KULLANILMASI

Usage of Engineering Geophysics in Building Foundation in Suadiye (Kocaeli)

Ali Bozkurt¹, Cengiz Kurtuluş² ve Cengiz Han Demirci²

ÖZET

Kocaeli İli, İzmit İlçesi, Suadiye Beldesinde, 4485 m² yüzölçüme sahip olan arazide yeraltı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışmaya uygun 4 profil boyunca düz ve ters atışlı sismik kırılma, 2 noktada düşey elektrik sondajı (DES) yapılmış, 20m derinlikli 9 adet temel sondaj delinmiş ve 2 noktada ise mikrotremor ölçümleri yapılmıştır.

Sismik kırılma çalışmaları neticesinde yeraltında iki tabaka belirlenmiştir. Üstteki örtü tabakasının kalınlığı 1.07-1.09 m arasında değişmekte olup, P- ve S- hızları sırası ile V_{p1}: 286-291 m/s ve V_{s1}: 117-119 m/sn arasında tespit edilmiştir. Bunun altına ise, P- ve S- hızları sırası ile V_{p2}: 794-806 m/s ve V_{s2}: 358-363 m/s arasında değişen daha sıkı yapıdaki kil tabakası gelmektedir.

Sondaj numuneleri üzerinde Atterberg limitleri testi ve üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarından Sıkışma İndisi C_c=0.26-0.33, Kıvamlılık İndisi I_c=0.81-1.03 ve Zemin Plastisitesi plastik-çok plastik olarak bulunmuştur. Terzaghi'ye göre Zemin Taşıma Gücü 3.60-3.73 kg/cm² ve Zemin Emniyet Gerilmesi 1.20-1.24 kg/cm² arasında saptanmıştır. Çalışma alanının zemin grubu 'C', Yerel Zemin Sınıfı 'Z₃' ve T_A=0.15,-T_B=0.60 olarak tespit edilmiştir. İnceleme alanında Yatak Katsayısı 925–2727 t/m³ arasında değişmekte olup, etkin yer ivme katsayısı A₀= 0.40 olarak saptanmıştır. Mikrotremor çalışmalarından inceleme alanında hakim titreşim periyodu'nun T₀ =0.58 sn olduğu tespit edilmiştir.

ABSTRACT

In order to figure out the underground characteristics of the 4485 m² area located in Suadiye Municipality of İzmit-Kocaeli, reciprocal seismic refraction studies were conducted at 4 points and vertical resistivity soundings were performed at 2 points, mechanical soundings at about 20 m were drilled at 9 points and microtremor measurements were acquired at 2 points in the investigation area.

Two layers were determined with the seismic studies. The thickness of the first layer (upper layer) varies between 1.07-1.09 m. The P and S velocities of the upper layer are calculated as V_{p1}: 286-291 m/s ve V_{s1}: 117-119 m/sn. The P and S velocities of the lower layer change between V_{p2}: 794-806 m/s ve V_{s2}: 358-363 m/s respectively.

Atterberg limits and 3- axial pressure test were applied on the soil samples collected from boreholes. The compressibility index C_c= 0.26-0.33, plasticity index I_c= 0.81-1.03 were determined. The soil plasticity was determined as plastic-very plastic. The bearing capacity and safety bearing capacity were obtained as 3.60-3.73 kg/cm² and 1.20-1.24 kg/cm² respectively. The soil group and the local soil class of the investigation area were obtained as 'C', and 'Z₃'. T_a and T_B values of the investigation area were determined as T_A= 0.15, and T_B= 0.60. Vertical bearing coefficient and dominant soil acceleration were calculated as 925–2727 t/m³ and 0.40 respectively. The dominant ground period of the investigation area were obtained from microtremor studies as T₀ = 0.58 sn

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, demirci_cengizhan@yahoo.com

GİRİŞ

Son on yıl içerisinde jeofizik disiplinindeki inşaat ve çevre mühendisliği uygulamalarında büyük gelişme, umut verici bir yaklaşım olduğunu ortaya koymuştur. Jeofizik metotların yapılar için yer araştırmasının yanında barajlar, yollar, dayklar ve kirlilik araştırmalarına kadar geniş bir 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. Mühendislik jeofiziğinde yapının oturtulacağı zeminin kalitesi ve deprem durumundaki davranışı, binanın görebileceği hasarın tahmini son zamanlarda üzerinde durulan konulardır (Delgado ve diğ.,2000a,2000b; Ibs-von Seht M and Wohlenberg J, 1999; Parolai ve diğ.,2001, 2002; Delgado ve diğ., 2002). Yapı inşaatı durumunda, jeofizik metotlar yeraltı yapısı hakkında değerli ve yararlı bilgilerin toplanmasında kullanılır. İnşaat mühendisliğinde oluşan hasarlar yüzeye yakın tabakalar içinde belirlenmemiş olan boşluk, dolgu, ve homojen olmayan formasyonlardan kaynaklanmaktadır. Yüzeye yakın formasyonların durumlarının bilinmesi risk tayini ve azalımı için hayati değer taşımaktadır.

Yeraltı tabakalarına ait bilgilerin elde edilmesi doğrudan ve doğrudan olmayan metotlar olarak iki büyük katagoriye ayrılır. Doğrudan olmayan metotlar hava fotoğraflarını, topoğrafik haritaları, daha önce yapılmış jeolojik çalışmaların incelenmesini kapsar. Doğrudan metotlar ise aşağıdaki çalışmalarını içerir. (a) yerinde materyallerin, insan yapısı binaların, yer altı suyunun ve açılmış kuyuların incelenmesini içeren Jeolojik gözlemler, (b) yeraltı yapılarının ortaya çıkartılıp haritalanması için jeofizik metotların uygulanması, (c) kuyular delinmesi, araştırma çukurlarının açılması, yamaç kazılarının yapılması bozulmuş ve bozulmamış örneklerin toplanması, (d) jeoteknik deneylerin ve SPT testlerinin yapılarak diğer parametrelerle korelasyonu.

Bizim Suadiye’de yer alan inceleme alanında yukarıda belirtilen çalışmalar yapılmıştır. Bu amaç için sahanın doğal şartlar altında temel özellikleri, olası zemin problemleri ve doğal afet risk varlığının belirlenmesine yönelik toplam derinliği 79,95 m olan 4 adet temel sondaj çalışması ile birlikte 2 profil boyunca sismik kırılma ve 2 noktada rezistivite çalışması yapılmıştır. İnceleme alanı; Kocaeli İli, İzmit İlçesi, Suadiye Belediyesi sınırları içinde kalan, 4.485 m² yüzölçüme sahip sahayı kapsamaktadır.

İNCELEME ALANININ TANITILMASI

İnceleme alanı; Kocaeli İli, İzmit İlçesi, Suadiye Belediyesi sınırları dahilinde kalan, 4.485 m² yüzölçüme sahip sahayı kapsamaktadır. Proje alanına kent merkezinden asfalt yol ile ulaşım sağlanabilmektedir. Bölgeye en önemli ulaşım yolları; İstanbul - Ankara D-100 karayolu ve diğer bağlantı yollarıdır. (Şekil 1).

JEOLOJİ

Genel Jeoloji

İnceleme alanı; Kocaeli yarımadası yükselinde yer alır. Bölgede jeolojik istifi Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayaçlar oluşturur (Şekil 2).

İnceleme alanı ve yakın çevresinde oldukça yalın bir jeoloji modeli sergilenmektedir. Alanı Sapanca (Sakarya)-İzmit (Kocaeli) yolunun kabaca güneyindeki dik ve yüksek topoğrafyayı oluşturan metamorfik kaya toplulukları ve bunların üzerinde düzlük alanları meydana getiren karbonatlı kırıntılılar ve güncel çökeller oluşturmaktadır.

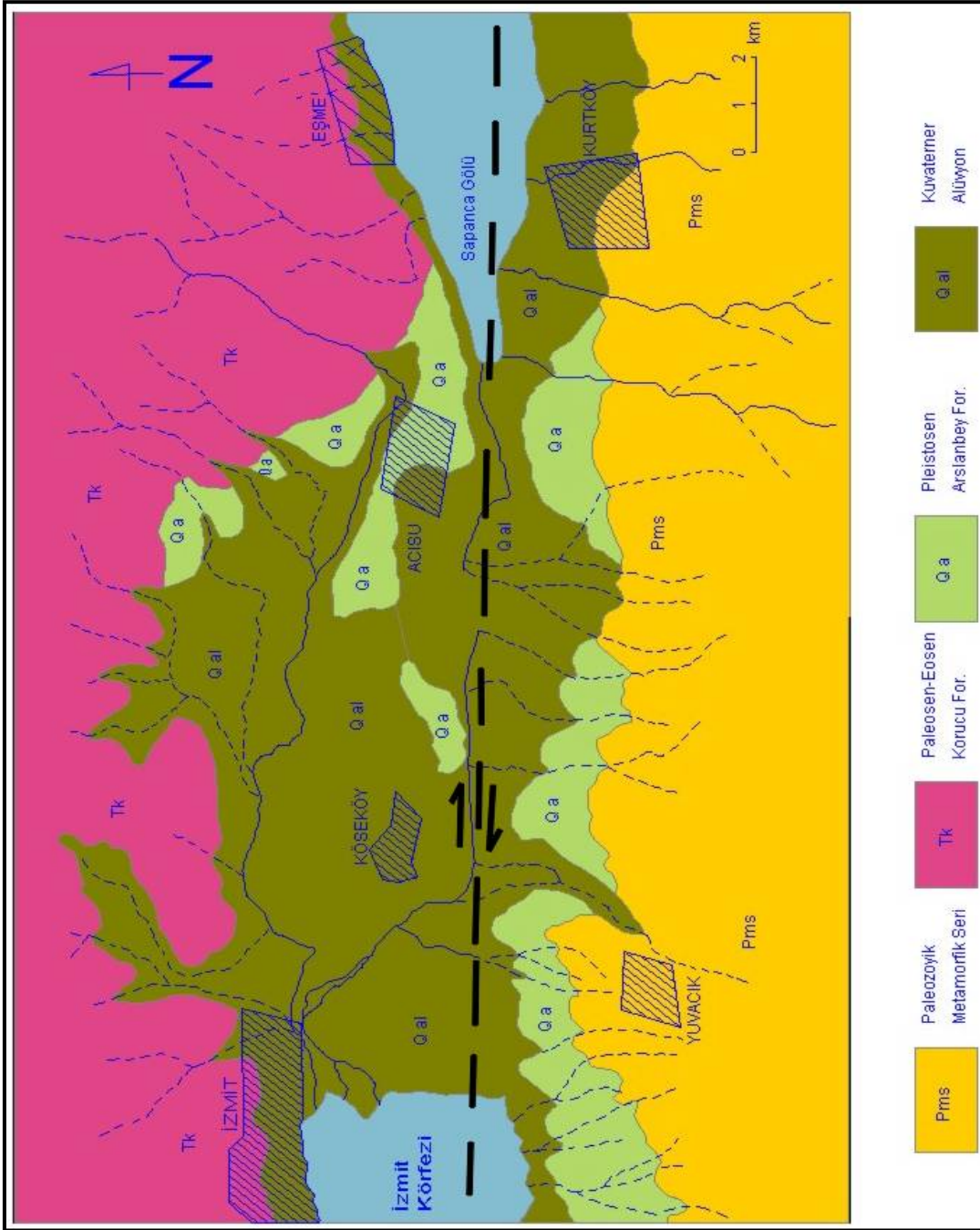


Şekil 1. İnceleme alanı (http://www.suadiye.bel.tr/images/haber/suadiye_ulasim.jpg)
Figure 1. Investigation area (http://www.suadiye.bel.tr/images/haber/suadiye_ulasim.jpg)

Metamorfik Seri (Pms):

Bölgede Paleozoyik temeli oluşturan kristalin şistler yakın zamana kadar Karbonifer öncesi Paleozoyik olarak; MTA tarafından yapılan çalışmalarda ise İznik grubu metamorfikleri olarak adlandırılmıştır. Akartuna (1968) bölgede yer alan ve temeli oluşturan kaya birimleri “Kristalin Şistler” başlığı olarak incelemiş ve kaya birimlerini; killi şist, grovak, serizit şist, klorit şist, serpantin şist, mikalı ve şistli kuvarsit, kristalin kalkerler ve mermerler olarak ayırtlamış ve yaşlarını ise Paleozoyik olarak vermiştir. Açık renkli, kahverengimsi şistsel kaya birimlerini, serizit şistler ve bunların arasında bulunan az miktardaki kil minerali içeren seviyeleri kuvars bantları olarak tanımlamıştır. Metamorfikler arasında izlenen karbonatlı düzeylerin şistoziteye uyumlu kristalin şist ve mermer olduklarını belirtmiştir. Temel içerisinde gnays, mikaşist ve amfibolit şist ara düzeyleri gözlemiştir. Sapanca-İzmit arasındaki ovanın güneyindeki yüksek kesimleri oluşturan tepelerde yer alan kristalize kireçtaşlarını mermer ve kristalli kalkerler olarak tanımlamıştır. Akartuna (1968)’e göre bu birimler faylı bir dokanakla Kretase’nin kırmızı kalker, radyolarit ve konglomeratik birimlerine geçmektedir. Kabaca GB-KD yönelimli bu birimlerin daha güneyinde ise daha çok üst Kretase ve Paleosen yaş aralığında değişik fliş toplulukları ayırtlanmıştır.

Göncüoğlu ve diğ. (1986) yaptıkları araştırmalarda temel kaya birimlerinin “İznik Metamorfikleri” başlığı altında incelemişler ve Prekambriyen içerisinde göstermişlerdir. Birim ayırtlanmasında metaproklastikler, metakumtaşları, metasilttaşları, yeşil şistler ve az miktarda rekristalize kireçtaşları ve dolomitleri tanımlamışlardır. Bu metamorfik şist topluluğunu içerisindeki karbonatlı düzeyler dışında daha güneydeki yükseltileri oluşturan karbonatlı birimlerin yaşı Üst Kretase (Senomaniyen) olarak tespit etmişler ve bu birimlerin kısmen kristalize kireçtaşları olduğunu söylemişlerdir. Bölgede çalışma yapan diğer araştırmacılardan bir kısmı birimin ismini Sultaniye Metamorfikleri (Sarıaşlan ve diğ., 1998) olarak vermişlerdir.



Şekil 2. Bölgesel jeoloji haritası (MTA, 2003)

Figure 2. Regional geological map (MTA, 2003)

Tarafımızdan yapılan jeolojik saha çalışmalarında bölgenin en yaşlı birimini oluşturan bu istif, "Metamorfik Seri" olarak adlandırıldı. İstif alttan üstte doğru konglomeratik gnayslar ile dereceli olarak kuvarsite geçer. Tane boyu yukarı doğru küçülerek giden kuvarsit düzeyleri şeyl, kuvarsit şeyl, silttaş, metagrovak, metaşist ardalanmalı olarak devam eder. Birim içerisinde bulunan kristalize kireçtaşları çalışma alanı içerisinde yer yer olistolitik görünüm arz eder. Birimin üzerinde bulunan 10-15 m'lik üst kısmı aşırı derecede ayrılmaya uğramış dayanımsız bir kabuğu oluşturmaktadır. Metamorfik seri içerisinde yer yer ortaya çıkan kristalize kireçtaşlarının bu dayanımı arttırdığı gözlenmiştir. Bölgenin Paetektomatik evrimine bağlı olarak bu seri inceleme alanında birincil konumunu bozmuş, yapısal olarak tekrarlanmalar kazanmış ofiyolit topluluğu ile

birlikte şistozite geçirerek karışmıştır. Bu karışım birden fazla tektonik evreden geçmiş olduğunu gösterir. Bazı geçiş ilişkilerinde tektonik dokanak milonitik geçiş zonu haline gelmiştir.

Korucu Formasyonu (Tk)

Altta bulunan metamorfik seri üzerine diskordan olarak gelen “Korucu formasyonu” ilk defa Altınlı (1968) tarafından kullanılmıştır. Hafif engebeli topoğrafyası ile tipik bir morfolojik görünüm sunan bu birim heterojen yapısını topoğrafyaya yansıtmıştır. Geçirimsiz litolojilerden oluşması birimde dentiritik bir drenaj alanı gelişmesine neden olmuştur (Abdüsselamoğlu, 1963).

Birim kıltaşı- marn-kumtaşı ardalanmalarından oluşmuş olup, ince ve orta kalın tabakalanmalıdır. Kumtaşı tabakalarının iyi çimentolandığı kesimlerde dayanımlı olması topoğrafyada yükselti oluşmasını sağlamıştır. Kıltaşı yeşilimsi, marn düzeyleri gri-krem, kumtaşı düzeyleri ise sarı-kirli sarı görünümündedir. Kumtaşları yer yer karbonat çimentolu, grovaklar ise bazen çamurtaşı bileşimlidir. Özellikle kıltaşı ve marn seviyeleri aşınmaya karşı aşırı dayanımsız, yamaç eğiminin arttığı kesimlerde ise duraysızdır (Abdüsselamoğlu, 1963). Paleosen-Eosen yaşlı birim üstte bulunan Arslanbey Formasyonu ile diskordandır.

Arslanbey Formasyonu (Qa)

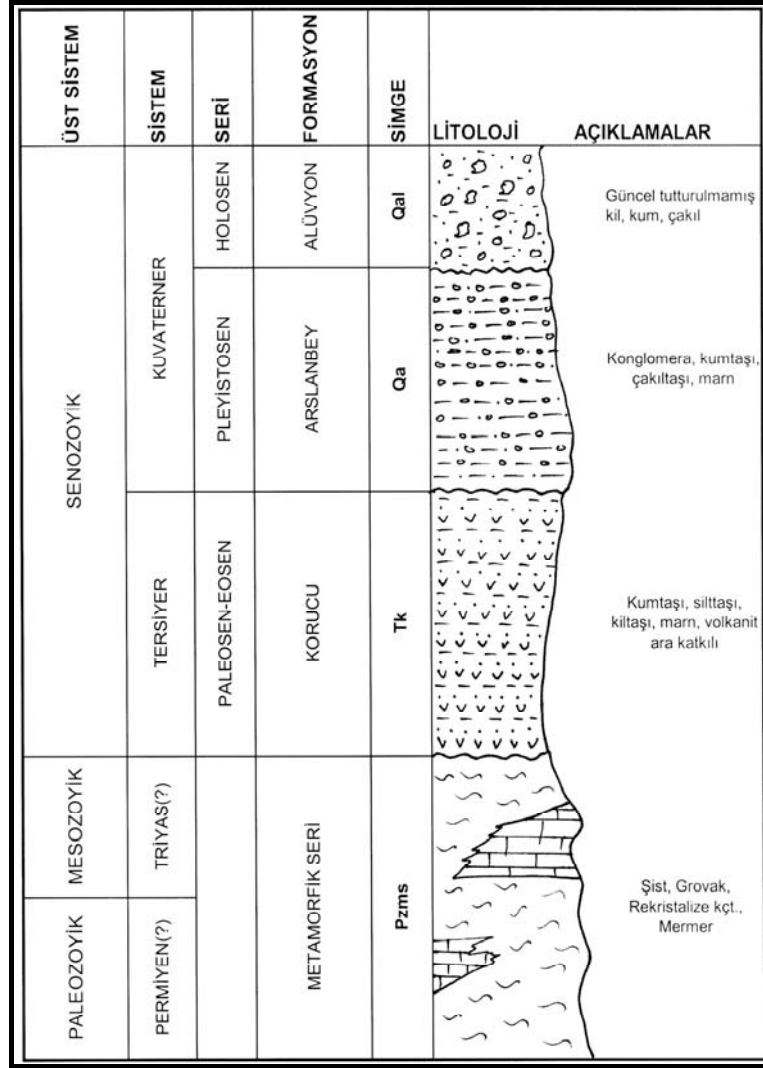
Bölgenin morfotektonik yapısına uygun olarak yüksek topoğrafyadan düşük topoğrafyaya doğru, iri ve düzensiz boylanmalı çakıltaşları, yassı, yuvarlak ve ince çakıltaşı-kum, kum-kil, kötü boylanmalı çakıl ve kil-silt şeklindedir (Doğan,1998).

Pleistosen yaşlı Arslanbey Formasyonu, bölgede Acısu ve Köseköy beldelerinin güneyinde metamorfik seri üzerine ve kuzeyde ise Korucu Formasyonu üzerine diskordan olarak gelir. Birim stratigrafik olarak 3 farklı çökel topluluğundan oluşur. Malzeme akıntısı çökelleri, kanal ve elek çökelleri, taşkın çökelleri şeklindedir (Doğan,1998).

Alüvyon (Qal)

Çakıl, kum, silt ve kil boyutunda olup, çevrede bulunan kayaç parçalarının bozuşması, ufalanması ve taşınması ile oluşmuş, tutturulmamış birimdir. Çakıllar, Arslanbey Formasyonu'nun yuvarlaklaşmış çakıllarıdır. Birimin yaşı Kuvaterner' dir.

Bölgesel jeoloji haritasına göre düzenlenmiş, genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit Şekil 3' te verilmiştir.



Şekil 3. Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (ABM, 2005)
Figure 3. Generalized stratigraphic column section of area (ABM, 2005)

Tektonik

Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara bölgesi kesiminde 17.08.1999'de Ms: 7.4 ve odak derinliği 18 km olan bir deprem meydana gelmiştir. İzmit bölgesi Türkiye'nin birinci derece deprem bölgesi olup, aktif tektonik hat üzerindedir. Doğrultu atımlı sağ yönlü fay olan ve Batı Anadolu bölgesi boyunca bölgeyi yaklaşık olarak D-B doğrultulu kat eden bu fay yüzeyde izlenen önemli bir yüzey kırığı oluşturmuştur. Bu kırık, Gölcük Donanma batı duvarında yaklaşık olarak 4.5 m sağ yanal öteleme yapmış olup, Arifiye'de ise yine aynı geometride 5 m yer değiştirme sağlamıştır. Bölgede zon şeklinde bir yüzey kırığı oluşturan bu deprem, özellikle zemin davranışları açısından farklı olan alanlarda önemli hasar ve can kaybına neden olmuştur. Çalışma alanı ise deprem episantr'na yaklaşık 10 km uzaklıkta ve kuzeyindedir. Derince bölgesi, fay zonuna veya deprem odak noktasına yakın olduğundan bu depremden önemli oranda etkilenmiştir. Bölgenin jeolojisi ve zemin yapısı gereği D100 Karayolunun civarı ve özellikle güney kesimi oldukça fazla etkilenmiştir. Bu fay zonu üzerinde tarihsel dönemde birçok depremin olduğu bilinmektedir. Bu verilerden de anlaşıldığı gibi yaklaşık 100 yıl ila 250 yıl arasında bir zaman diliminde stress birikimi mevcut olup, deprem riski göstermektedir.

Bölgede 1999 depreminden sonra Topçular Mahallesi kuzeyi ve Sopalı mevki güneyinde yaklaşık uzunluğu 250 m olan bir yüzey kırığı izlenmiştir. Bu kırık değerlendirildiğinde bölgedeki yüksek topografya ile alçak topografyayı sınırlar şekilde izlenmektedir. Temel birimler ile Şirintepe Formasyonu arasındaki dokanak sınırları denetler şeklinde gözlenmektedir. Aktif fay geometrisi veren bu morfolojideki yüzey kırığı, bölgeyi yaklaşık olarak K80D ile D-B doğrultuları arasında kat etmektedir. Kırığın daha doğusunda buna benzer herhangi bir yapı görülmemiştir. Bu fayın belirgin olarak yanal ve düşey yer değiştirmesi sahada izlenememiş olmakla birlikte güney blokta 5-7cm civarında düşme bulunmuştur. Litolojik olarak değerlendirildiğinde bölgenin kuzey alanı oldukça sert ve dayanımlı bir kayaç yapısına sahiptir. Buna göre bölgede aktif fay tektoniğinin değerlendirilmesi yapıldığında; Kuzey Anadolu Fayı'nın ana yüzey kırığına ikincil olarak gelişmiş ve aktif nitelikli normal fay söz konusu olabilir. Buna göre bu alanın deprem riski bu fay geometrisine göre değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak bölgenin tektoniği aktif jeolojik dönem içinde yorumlanabilmekte ve kuzeyde yüzeyleşen Ordovisiyen, Triyas ve Kretase yaşlı birimler ile Şirintepe Formasyonu arasındaki dokanak ilişkisi faylı olarak izlenmektedir. Özellikle bu formasyon içinde bulunan çakıl seviyelerinin daha kalın olduğu alanlarda yukarıda belirtilen yüzey kırığının, tarihsel Neojen döneminde (yaklaşık 4 milyon yıl öncesi – Holosen) daha fazla yer değiştirme oluşturduğu belirtilebilir.

İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Kuvaterner yaşlı, üst seviyelerde karasal kökenli alt seviyelerde ise denizel kökenli genç alüvyon çökeller mevcuttur. Yüzeyde yüksek morfolojiden doğan derelerin daha düşük ve eğimin son derece azaldığı morfolojiye geldiğinde bünyesinde taşıdığı malzemeyi bırakmasıyla karasal ortamda alüvyon istif oluşur. Siltten blok boyutuna kadar pek çok taneden oluşan alüvyonlar gevşek tutturulmamış malzemelerdir. Genelde kil, silt ve kum yüzeylerinden oluşan birim yeraltısuyu etkisine bağlı olarak gevşek, orta katı ve katı kıvamlıdır. Karasal kökenli olan ve yaklaşık 16.50 m derinliklere kadar devam eden birimden sonra ise körfez çökelleri olarak bilinen silt, kum ve kilden oluşan denizel ortam çökelleri başlamaktadır.

ARAZİ ARAŞTIRMALARI VE DENEYLER

Temel Sondajları

İnceleme alanında zemin profilini ve zeminlerin litolojik özelliklerini, düşey doğrultudaki değişimlerini ve yeraltısuyu durumu ile mühendislik parametreleri gibi bilgileri belirleme amacına yönelik olarak toplam derinliği 162.40 m olan 9 adet temel araştırma sondajı yapılmıştır.

Sondaj çalışmaları sırasında zemin durumunu sürekli takip etmek için örselenmiş numune alınmış ve alınan numunelere göre zemin tanımlaması yapılmıştır.

Sondajların tamamlanmasından 24 saat sonra yeraltısuyu ölçümleri yapılmış ve açılan tüm kuyularda yeraltısuyuna rastlanmıştır. Yeraltı suyu seviyeleri 3.0 ile 4.0 m arasında değişmektedir.

ARAZİ DENEYLERİ

Standart Penetrasyon Deneyi

İnceleme alanında yer alan killi zemin için kıvam durumu Çizelge 1'e göre değerlendirilmiş ve inceleme sahasında yer alan killi zeminler için kıvam "orta katı - katı" olarak bulunmuştur.

Çizelge 1. Killer için SPT-N, Serbest Basınç Dayanımı ve Kıvamlılık İlişkisi (Terzaghi ve Peck, 1967).

Table 1. SPT-N, free pressure resistance and consistency relation for clays (Terzaghi ve Peck, 1967).

SPT-N (darbe/30 cm.)	Serbest Basınç Dayanımı (q_u) kg/cm^2	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

JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Sismik Kırılma Çalışması

Sismik Kırılma çalışmasında, GEOMETRICS model, 12 kanallı Sismik kırılma cihazı kullanılmıştır. İnceleme alanında 2 profil boyunca P dalgası hızları için düz ve ters, S dalgası hızları için ise düz atışı ölçümleri yapılmıştır. Çalışmadaki temel amaç; belirlenen ölçü profilleri boyunca yeraltı hız yapısı, zemin dinamik elastik özellikleri, hakim titreşim periyotları ve zemin büyütme belirlenmesidir. Çalışmada serim boyu 24 m, jeofon Aralığı 2 m ve atış noktası-jeofon arası uzaklık (offset) 2.0 m olarak belirlenmiş ve enerji kaynağı olarak 10 kg lık balyoz kullanılmıştır. Gürültüleri en aza indirmek için çeşitli filtreler uygulanarak S/G oranı artırılmaya çalışılmıştır.

Sahasının dinamik özelliklerini ortaya koymak amacı ile yapılan sismik kırılma çalışmaları sonucunda iki tabaka tespit edilmiştir. Birinci tabakanın V_p ve V_s hızları sırasıyla V_{p1} : 286-291 m/s ve V_{s1} : 117-119 m/sn arasında bulunmuştur. Bu tabakanın kalınlığı 1.07-1.09 m arasında değişmektedir. Bu tabakanın altına, V_{p2} : 794-806 m/s ve V_{s2} : 358-363 m/s hız arasında hız değerlerine sahip ve daha sıkı yapıdaki kil tabakası gelmektedir. Bu hızların ilgili bağıntılarda kullanımı ile elde edilen 1. ve 2. tabakalara ait dinamik parametreler Çizelge 2’de verilmektedir.

İNCELEME ALANINDA YER ALAN ZEMİNLERİN SİSMİK DALGA (V_s) HIZINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Jeofizik ölçümlerle elde edilen S-dalgası hız profil değerleri kullanarak zemin sınıf bilgisinin oluşturulması için çeşitli sınıflama kriterleri mevcuttur. NEHRP,1985 (National Earthquake Hazard Reduction Programme) zemin sınıflama kriterleri A.B.D’ 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 (V_{s30}) dayanmaktadır ve bu sınıflar Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 2. Yer altı tabakalarına ait dinamik mühendislik parametreleri.
Table 2. Dynamic engineering parameters of underground layers.

Zemin Parametresi	Sembol	Birim	1.tabaka	2.tabaka
P dalga hızı	V _p	m/s	291	806
Tabaka derinliği	H	M	1.09	
S dalga hızı	V _s	m/s	119	363
Yoğunluk	d	gr/cm ³	1.66	1.76
Poisson oranı	σ	-	0.40	0.37
Kayma modülü	G	Kg/cm ³	233	2324
Elastisite modülü	E	Kg/cm ³	654	6381
Bulk modülü	K	Kg/cm ³	1090	8356
Hakim titreşim periyodu	To	Sn	0.58	
Zemin emniyet gerilmesi	q _s	Kg/cm ³	0.47	1.54
Yatak katsayısı	K _s	t/m ³	925	2727
Zemin büyütmesi	Z _b	-	3.0	

Çizelge 3. NEHRP (1985)' e Göre Zemin Sınıflama Kriteri
Table 3. Soil classification criterion 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
D	Sert Toprak	180-360 m/sn
E	Yumuşak Killer	< 180 m/sn
F	Özel Çalışma Gerektiren Zeminler Örneğin Sıvılaştırılabilir Zeminler, Suya Doygun Kil Ve Organik Olan Ve 36 m'den Daha Kalın Zeminler	

NEHRP (1985) kriterlerine göre zeminler V_s 30 ortalama değerine göre, A ile F sınıfı arasında 6 sınıfa ayrılmıştır. NEHRP (1985)' e göre en yüksek kalitedeki A tipi zemin, V_s 30 hızı 1500 m/sn veya daha yüksek olan, en düşük kalitedeki E tipi zemin V_s 30 hızı 180 m/sn veya daha düşük olan zeminler olarak tanımlanmıştır. F sınıfı zeminler ise, kalınlığı 36 m'den daha fazla olan ve V_s hızı < 180 m/sn olan zeminlerdir. Çizelge 3'ten inceleme alanında zemin sınıfının C olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan Sismik Kırılma Çalışması sonucu elde edilen V_p ve V_s hızları Çizelge 4'e göre değerlendirildiğinde, Yerel Zemin Sınıfı Z_3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. Deprem yönetmeliğine göre zeminlerin sismik sınıflaması (AFET, 1998)
Table 4. Seismic classification of soils according to earthquake Regulations (AFET, 1998)

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	3 000 - 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

LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

Laboratuvar Deneyleri

İnceleme alanının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için kuyulardan toplanan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri örnekleri üzerinde elek analizleri, kıvam limitleri, üç eksenli basınç deneyi, su içeriği ve birim hacim ağırlık tayinleri yapılmıştır.

ZEMİNLERİN FİZİKSEL / İNDEKS ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında yüzeyden itibaren 0.50-0.60 m bitkisel toprak, hemen altında 6.20-7.80 m derinliklere kadar devam eden kahverengi renkli, orta katı kıvamlı, az kumlu, az çakıllı siltli kil, bu birim altında ise kuyu sonlarına kadar kahverengi renkli, katı kıvamlı, siltli, kumlu, çakıllı, çakıllı kumlu kil birimi tespit edilmiştir.

İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan numuneler üzerinde birim ağırlık, su içeriği, zemin sınıflandırma (Attarberg limitleri - Elek analizleri), yapılmıştır. İnceleme alanında yapılan sondaj ve sismik kırılma etüdüleri ile laboratuvar deney çalışmaları; Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Şartnameleri ve BS 5930 "Code of practice for site investigations" zemin araştırma şartnamelerine uygun olarak yürütülmüştür.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Kuvaterner yaşlı üst seviyelerde karasal kökenli alt seviyelerde ise denizel kökenli olan genç alüvyon çökeller mevcuttur. Yüksek morfolojiden doğan derelerin daha düşük ve eğimin son derece azaldığı morfolojiye geldiğinde bünyesinde taşıdığı malzemeyi bırakmasıyla karasal kökenli alüvyon istif oluşur. Siltten blok boyutuna kadar pek çok taneden oluşan alüvyonlar gevşek tutturulmamış malzemelerdir. Genelde kil, silt ve kum yüzeylerinden oluşan birim yeraltısuyu etkisine bağlı olarak orta-katı kıvamlıdır. Karasal kökenli ve yaklaşık 16.50 m den sonra ise körfez çökelleri olarak bilinen silt, kum ve kilden oluşan denizel ortam çökelleri başlamaktadır.

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında yüzeyden itibaren 0.50-0.60 m bitkisel toprak, hemen altında 6.20-7.80 m derinliklere kadar devam eden kahverengi renkli, orta katı kıvamlı, az kumlu, az çakıllı siltli kil, Bu birim altında ise kuyu sonlarına kadar kahverengi renkli, katı kıvamlı, siltli, kumlu, çakıllı, çakıllı kumlu kil birimi tespit edilmiştir.

İnceleme alanında yer alan birimler jeoteknik ve temel mühendisliği açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde; ilgili bölümlerde verilen mühendislik jeolojisi değerlendirmeleri, sondaj kuyusu verileri ve laboratuvar deney sonuçları esas alınmıştır. Proje alanındaki jeoteknik değerlendirmeler kapsamında aşağıdaki hususlar ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Siltli Kil Tabakası İçin;

0.30-20.0 m arası derinliklere kadar devam eden siltli kil Tabakası üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen ortalama LL, PL, PI, Wn, Cc ve Ic değerleri; Çizelge 5’te verilmektedir.

Çizelge 5. Atterberg limitleri

Table 5. Atterberg limits

	MİN.	MAX.	ORT.
Likit Limit - LL	38,52	47,14	42,44
Plastik Limit - PL	18,03	24,18	20,67
Plastisite İndisi - PI	20,43	23,25	21,77
Doğal Su İçeriği - %W	21,28	24,57	23,06
Sıkışma İndisi - Cc	0,26	0,33	0,29
Kıvamlılık İndisi - Ic	0,81	1,03	0,89

Kıvamlılık İndisi;

İnceleme alanında sondajlardan ve araştırma çukurlarından alınan örselenmiş (SPT) ve örselenmemiş (UD) numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan Atterberg Limitleri deneylerinde Kıvamlılık İndisi $I_c=0.81-1.03$ olarak bulunmuştur. Çizelge 6’ya göre değerlendirildiğinde Kıvamlılık İndisi ‘sıkı-sert’ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Kohezyonlu zeminlerin kıvamlılık indisine göre sınıflandırılması

Table 6. Classification of cohesive soils based on 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

Zemin sıkışabilirliği;

İnceleme alanında sondajlardan ve araştırma çukurlarından alınan örselenmiş (SPT) ve örselenmemiş (UD) numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan Atterberg Limitleri deneylerinde ortalama zemin sıkışabilirliği $C_c=0.26-0.33$ olarak bulunmuştur. Bu değerler (Sowers, 1979) Çizelge 7’ye göre değerlendirildiğinde zemin “orta sıkışabilir” olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 7. Zeminlerin sıkışabilirliği (Sowers, 1979)

Table 7. Compressibility of soils (Sowers, 1979)

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

ZEMİNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Zemin Taşıma Gücü

Çalışma alanındaki birimlerin taşıma kapasitesi hakkında fikir edinmek amacıyla sondaj kuyularından alınan örselenmemiş UD numuneleri üzerinde laboratuvarda yapılan üç eksenli basınç dayanımı deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar için Terzaghi' nin yüzeysel temeller için taşıma gücü formülünden yararlanılmıştır.

Hesaplamalarda Mütemadi (Şerit) temel tipi için izin verilebilir taşıma gücü değerleri belirlenmiştir. Temel derinliği 1.5 m, temel genişliği 1 m olarak kabul edilmiştir.

Yüzeysel temeller için nihai taşıma gücü (Terzaghi ve Peck, 1967):

$$q_u = K_1 \times c \times N_c + D_f \times \gamma_1 \times N_q + K_2 \times \gamma_2 \times B \times N_\gamma \quad (1)$$

bağıntısından yararlanarak hesaplanır. Bu bağıntıda;

q_u : Taşıma Gücü (kg/cm²)

c : Kohezyon (kPa)

N_c, N_q, N_γ : Taşıma Gücü Katsayıları

D_f : Temel derinliği (m)

B : Temel genişliği (m)

γ_n : Yaş birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

K₁-K₂: Temel şekline bağlı katsayılar (Mütemadi temeğe göre)

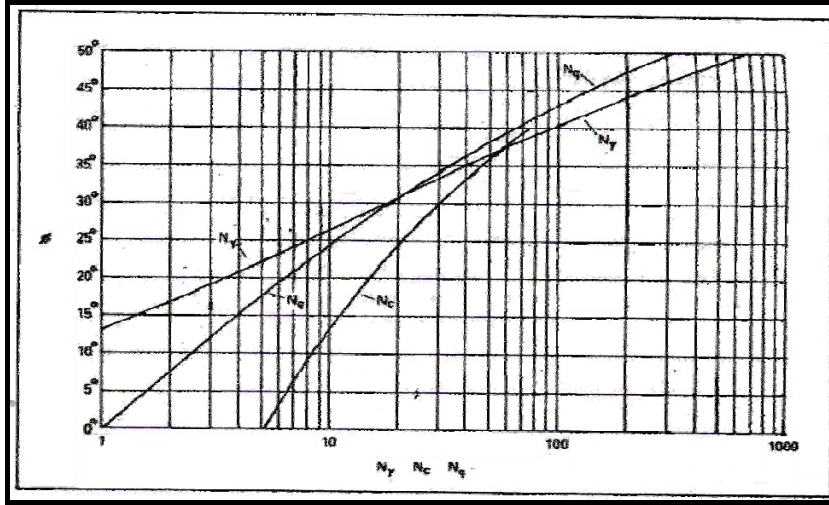
Taşıma gücü faktörleri (N_c, N_q, N_γ); zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak Şekil 4' teki grafiğe bağlı olarak elde edilmektedir.

Kil ve plastik silt zeminler üzerindeki temellerin taşıma gücüne ilişkin yenilme mekanizması Şekil 5' de verilmiştir.

İnceleme alanında yer alan birimlere ait taşıma gücü hesapları; sondajlardan 2.00-3.00 m derinliklerden alınan örselenmemiş (UD) numuneler üzerinde yapılan Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyleri esas alınarak yapılmıştır. Laboratuvar deney sonuçlarına göre elde edilen veriler yardımıyla yapılan Minimum ve Maksimum taşıma gücü hesapları aşağıda verilmiştir.

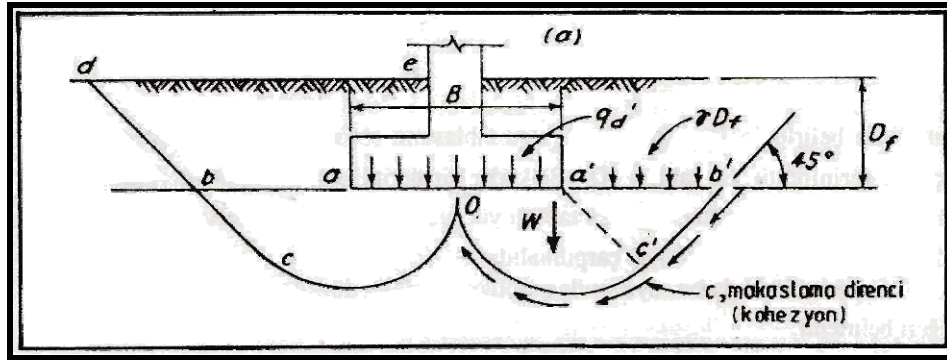
Minimum Taşıma Gücü;

SK-2-UD nolu 2.50-3.00 m derinlikten alınan örselenmemiş (UD) sondaj kuyusu numunesinden c=57 kPa, φ=2⁰ için N_c≅5.63, N_q=1.20, N_γ=0.01 ve B=1.00 m, D_f=1.50 m, K₁=1.00 ve K₂=0.50 olarak dikkate alındığında;



Şekil 4. Taşıma gücü faktörleri tayin abağı (Terzaghi ve Peck, 1967)

Figure 4. Chart for determination of bearing capacity factors (Terzaghi ve Peck, 1967)



Şekil 5. Kohezyonlu zeminlerde inşa edilen temellere ilişkin yenilme mekanizması (Terzaghi ve Peck, 1967)

Figure 5. Worn out mechanism related to foundations built in cohesive soils (Terzaghi ve Peck, 1967)

Zemin Taşıma Gücü;

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

$$q_u = 352.68 \text{ kPa (kg/cm}^2 = 98,1 \text{ kPa)}$$

$$q_u = 3.60 \text{ kg/cm}^2 \text{ ve}$$

Zemin Emniyet Gerilmesi;

$$q_a = q_u/3$$

$$q_a = 1.20 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Maksimum Taşıma Gücü;

SK-3-UD nolu 2.50-3.00 m derinlikten alınan örselenmemiş (UD) sondaj kuyusu numunesinden $c=53 \text{ kPa}$, $\phi=4^\circ$ için $N_c \approx 6.19$, $N_q=1.43$, $N_\gamma=0.05$ ve $B=1.00 \text{ m}$, $D_f=1.50 \text{ m}$, $K_1=1.00$ ve $K_2=0.50$ olarak dikkate alındığında söz konusu bağıntıdan;

Zemin taşıma gücü;

$$q = K_1 \times c \times N_c + D_f \times \gamma_1 \times N_q + K_2 \times \gamma_2 \times B \times N_\gamma$$
$$q_u = 365.93 \text{ kPa (kg/cm}^2 = 98,1 \text{ kPa)}$$
$$q_u = 3.73 \text{ kg/cm}^2 \text{ ve}$$

Zemin emniyet gerilmesi;

$$q_a = q_u/3$$
$$q_a = 1.24 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

İnceleme alanında Üç Eksenli Basınç Deneyleri sonuçlarına göre hesaplanan taşıma gücü değerleri, kıvam ve dayanım özellikleri de dikkate alındığında;

Zemin taşıma gücü;

$$3.60 < q_u < 3.73 \text{ kg/cm}^2 \text{ arasında ve}$$

Zemin emniyet gerilmesi;

$$1.20 < q_a < 1.24 \text{ kg/cm}^2 \text{ arasında değişmektedir.}$$

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma Kocaeli ili, İzmit ilçesi Suadiye beldesinde yapılmıştır. Elde edilen jeolojik-jeofizik ve jeoteknik araştırma sonuçları aşağıda sunulmuştur.

İnceleme alanında üst seviyelerde Kuvaterner yaşlı karasal kökenli, alt seviyelerde ise denizel kökenli genç alüvyonlar bulunmaktadır. Alüvyonlar siltten blok boyutuna kadar tutturulmamış malzemeden oluşmuştur. Genelde birim kil, silt ve kum seviyelerinde oluşmuş olup, gevşek, orta katı ve katı kıvama sahiptir.

İncelme alanında laboratuvar, standart penetrasyon deneyi ve sismik verilere göre radyal temel yapılması durumunda zemin emniyet gerilmesi değerinin 1.20-1.24 kg/cm² alınması uygun olacaktır.

İnceleme alanında yer alan alüvyonlar için spektrum karakteristik periyodları T_A=0.15, T_B=0.60 sn doğal titreşim periyodu T₀=0.58 sn ve hesaplanan yatak katsayısının 925-2727 t/m³ değerindedir.

İnceleme alanı 1.derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır. Etkin yer ivme katsayısının A₀=0.40 değerindedir. Çalışma alanının zemin büyütmesi 3.0 olarak saptanmıştır.

İnceleme alanında heyelan, kaya düşmesi, feyezan gibi doğal afet riski bulunmamaktadır. Bu kesimde drenaj işlemleri alınarak radye temel tipi seçilip, yapı yükleri taşıtılmalıdır.

KAYNAKLAR

ABDÜSSEMOĞLU, Ş., 1963. Kocaeli Yarımadası' nın Jeolojisi. M.T.A. Ens. Raporu, No: 3249 (Yayınlanmamış) Ankara.

ABM MÜH. LTD. ŞTİ, 2005. Kocaeli-Suadiye Beldesi yer araştırma raporu, İzmit.

AFET İŞLERİ GEN. MÜD., 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik. 2 Eylül 1997 Tarih Ve 23098 Mükerrer Sayılı Resmi Gazete.

ALTINLI, İ. E., 1968. İzmit-Hereke-Kurucadağ Alanının Jeoloji İncelemesi. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, İstanbul.

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

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.

DOĞAN, B., 1998. Yuvacık (İZMİT) – Sapanca (SAKARYA) Dolayı Orta Pleyistosen Çökellerinin Stratigrafisi ve Kuzey Anadolu Fayı Deformasyon Analizleri, Aktif Tektonik Araştırma Grubu İkinci Toplantısı, İTÜ, İstanbul.

IBS-VON SEHT M., and WOHLLENBERG J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, Bull. Seismol. Soc. Am. 89 250–9.

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).

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.

MTA, 2003. Kuzey Anadolu fay Zonu boyu jeoloji haritası
NEHRP, 1985. National Earthquake Hazard Program, Building Seismic Safety Council, Washington

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 V_s , 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.

SARIASLAN, M. M., YURDAKUL, M. E., OSMANÇELEBİOĞLU, R., BASA, F., ve ŞENTÜRK, K., 1998. Sakarya İlinin çevre jeolojisi ve doğal kaynakları, MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, sf. 1-144.

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.

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

TERZAGHI K. and RALPH B. PECK, 1967. *Soil mechanics in Engineering Practice*, John wiley and Sons, New York

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.