

ÇAYIRHAN İLÇESİ'NİN, ANKARA, ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN JEOFİZİK VE GEOTEKNİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Integration of Geophysical and Geotechnical Investigations for Çayırhan Town, Ankara

Cengiz KURTULUŞ¹ ve Ali BOZKURT²

Özet

Çayırhan-Ankara ilçesinde yapılaşmaya açılacak alanda yer mühendislik özelliklerinin ortaya çıkartılması amacı ile jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapılmıştır. Sismik kırılma, Schlumberger elektrot sistemini kullanan Düşey Elektrik sondajı (DES) ve zemin analiz teknikleri uygulanmıştır. 12 noktada mekanik temel sondajı açılmıştır ve aynı noktalarda sismik kırılma ve DES çalışmaları yapılmış olup, sondajlarda her 1.5m de bir SPT deneyi uygulanmış ve örselenmiş ve örselenmiş zemin örnekleri toplanmıştır.

Çalışmalar yüzeyde yer alan üst toprak zeminle beraber altta yer alan birbirine geçişli olan formasyonların bulunduğunu göstermiştir. Üst zeminde kalınlığı 1.0 cm civarında değişen bitkisel toprağın altında kalınlığı 8-10m arasında değişen siltli kil ve çakıldan oluşan alüvyon tabakası bulunmaktadır. Bu tabakanın altında ise konkordans olarak çakıl ve siltli kil katmanları yer almaktadır. İnceleme alanında çatlak/fay gibi jeolojik yapılar gözlenmemiştir. Çalışma alanında, hesaplanan kıvam limiti dikkate alındığında, zeminin genel olarak düşük değerden orta değere kadar plastiğe sahip olduğu, dolayısıyla zeminin düşük değerden orta değere kadar şişme potansiyeli bulunduğu saptanmıştır.

Abstract

A foundation studies has been undertaken at Çayırhan town of Ankara city. The study is aimed at evaluating the competence of the near surface formations as foundation materials. Geophysical and geotechnical methods of investigation were adopted. The seismic refraction and vertical Electrical sounding (VES), using Schlumberger configuration and soil analysis techniques were adopted. The mechanical soundings were performed at 12 points, and seismic and electrical studies were conducted at the same points. The undisturbed and disturbed soil samples were collected at every 1.5 m in the boreholes.

The geophysical results revealed to distinct geoelectric sequences which consist of topsoil and interchaed formation beneath it. Topsoil consists of organic layer about 1.0 m of depth at the surface and silty clay/gravel with the thickness of 8-10m. Gravel and silty clay layers are placed concordantly below the topsoil. There is no evident of geological feature such as fracture / fault in the formation. The geotechnical results show that the soil has relatively clay content. Based on the consistency limits of the soils within the area, the soil generally indicate low to medium plasticity, hence the soils are expected to exhibit low to medium swelling potential.

GİRİŞ

Yol, yapı, baraj ve köprü gibi yapıların göçmesi büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu kayıpları önlemek için yapılar yapılmadan önce ön çalışmalara gereksinim vardır. Temel çalışmaları inşaat mühendisliğinde yapıların tasarlanması için inşaat mühendislerine yardımcı olan yeraltı bilgilerini sağlar.

Elektriksel Öz direnç, Sismik Kırılma, Elektromanyetik, Manyetik ve Yer Radarı mühendislik alanlarının araştırılmasında tek veya beraberce kullanılmaktadır. Böyle jeofizik araştırma

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bl. Umuttepe Yerleşkesi İZMİT-KOCAELİ. e-mail: cengizk@kocaeli.edu.tr

² ABM Mühendislik, Araştırma Bilgi Merkezi, İZMİT-KOCAELİ. e-mail: alibozkurt@abmjeo.com

uygulamaları ana kayaya olan derinliğin saptanması, yer yapılarının haritalanması ve yeraltı yapısının dayanımının ortaya çıkartılması için yapılmaktadır.

Çalışma alanında yeraltı kompleks bir yapıda bulunmaktadır. Temel tasarımı için yeraltı tabakalarının istif ve düzenine ait bilgilerin ortaya çıkartılmasına gereksinim vardır. Bu makale uygulanan jeofizik metotlar ile jeoteknik incelemelerin sonucunda elde edilen zemin özelliklerini içermektedir.

İnceleme Alanının Lokasyonu

İnceleme alanı Ankara İli, Nallıhan İlçesi, Çayırhan Belediyesi sınırları dahilinde kalmakta olup, Nallıhan ilçe merkezinden yaklaşık 28 km civarında, Çayırhan ilçesinin doğusunda yer almaktadır. (Şekil 1).



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

JEOLOJİ

Genel Jeoloji

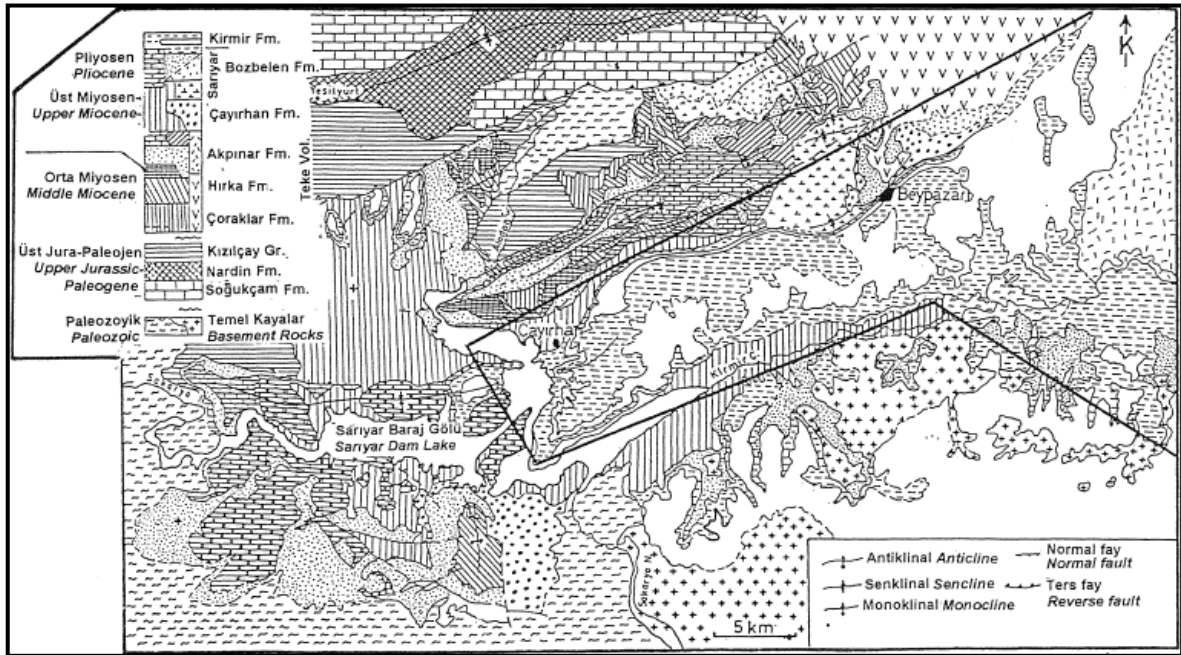
İnceleme alanındaki birimler çok genel olarak Neojen ve Neojen öncesi olarak iki gruba ayrılmıştır.

Beypazarı'ndan Nallıhan'a dek uzanım gösteren Neojen havzası, kuzeyden batı Pontidleri oluşturan dağ kuşağı ile çevrilidir. Pontidlerin bu bölümü, yaşları Paleozoyik ile Tersiyer arasında değişen metamorfik, volkanik ve tortul kaya birimlerinden yapıdır. Başlıca metamorfik, asit-plutonik ve ultrabazik kayalardan oluşan ve Orta Sakarya Kıtası olarak adlandırılan masif kütle havzayı güneyden kuşatır. Havza kuzeydoğudan geniş yayımlı Tersiyer volkanik kayaları, batıdan ise Paleosen kırıntılı kayaları ile sınırlanır.

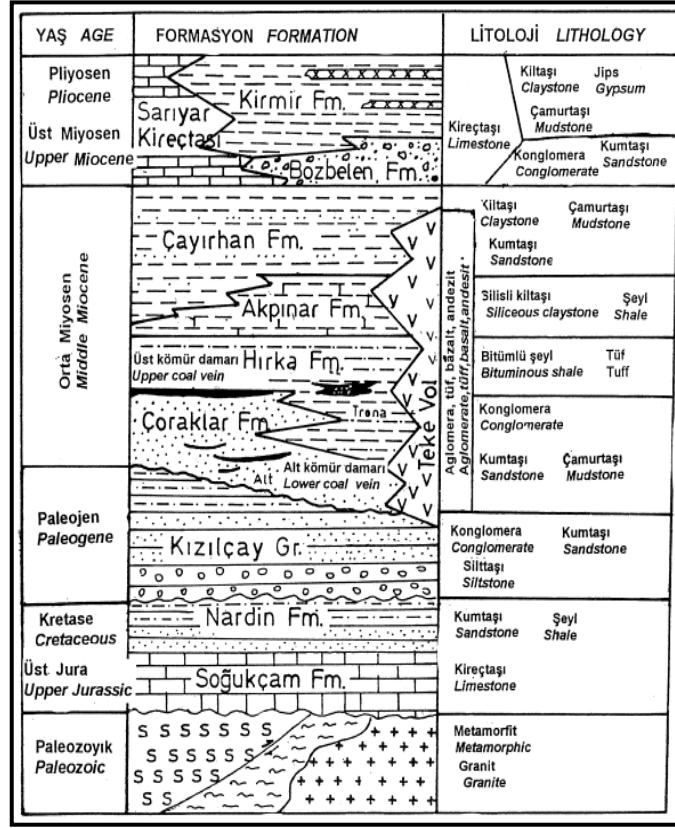
Neojen öncesi, temel kayalarının en yaşlısı Paleozoyik mertamorfileri (mika şist, serisit şist, filial) ile bunları kesen granitlerdir. Bunlar Üst Jura-Alt Kretase yaşlı türbiditik Soğukçam kireçtaşı ile örtülür (Altınlı, 1973; Varol ve Kazancı, 1981). Soğukçam kireçtaşının üzerine uyumlu olarak, kumtaşı-şeyl litolojisindeki Nardin formasyonu gelir. Paleosen yaşlı, karasal Kızılcay

grubu kırmızı renkli konglomera, kumtaşı ve çamurtaşları ile temsil edilir ve alttaki bilimleri aşıl uyumsuzlukla üstler (Göktunalı, 1963; Stechepinsky, 1971).

Neojen birimleri alttaki Neojen öncesi birimler ile uyumsuz olarak ve/veya tektonik dokanıklı olup, yanal fasiyes değişimi gösterir. Bu nedenle bölgesel stratigrafide farklılıklar vardır (Siyako, 1983; Yağmurlu ve diğ., 1987). Yağmurlu ve diğ. (1987) birbiriyle uyumlu 8 litostratigrafik birim ayırmıştır. İlk litostratigrafi birimi olan Çoraklar formasyonu çapraz tabakalı konglomera, kumtaşı, siltaşı ve çamurtaşı ile yer yer şeyl, dolomitik kireçtaşı, tuf, trona ve yersel intraformasyonel breş içerir. Akpınar formasyonu kireçtaşı aralanmasından oluşur. Hırka formasyonu ince-düzenli laminalı çamurtaşı, kiltası, bitümlü şeyl, karbonatlı açık gri, silisli gösel kireçtaşı, kiltası, marn ve tabakalı çörtlerden oluşmuştur. Marn içerisinde *Causcasotache- a pyrromysica* bulunmuş olup, bu formasyon yaşının Tortoniyen olduğunu belirtmektedir (Kavuşan, 1991). Teke volkanikleri Beypazarı'nın kuzeydoğusunda ve Kızılcahamam civarındaki geniş yayılım gösterir. Çayırhan formasyonu jipsli kiltası, çamurtaşı, marn, ince taneli kumtaşı ve konglomeradan oluşmaktadır. Bozbelen formasyonu kırmızı renkli konglomera, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmuştur. Sarıyar kireçtaşı beyazımsı, kalın tabakalı ve mikritik olup, önceki ile hem yanal geçişli, hem de üzerler durumundadır. Bölgedeki Miyosen tortulları yansıttıkları egemen litoloji özelliklerine dayanılarak formasyon aşamasında 8 ayrı kaya birimine bölünmüştür. Bunlar alttan üste doğru Çoraklar, Hırka, Akpınar, Çayırhan, Bozbelen ve Kırmir formasyonları ile Sarıyar Kireçtaşı ile Teke volkanitlerinden oluşur. Belirtilen bu kaya birimleri alüvyonal ve gösel ortamlarda depolanmış olup, yersel olarak volkanoklastik arakatıklar içerir.



Şekil 2. İnceleme alanının genel jeoloji haritası
Figure 2. General geological map of investigation area



Şekil 3. Bölgenin genel stratigrafik kesiti

Figure 3. Stratigraphic cross-section of the region

Beypazarı-Nallıhan havzasında bulunan Neojen tortulları Orta-Üst Miyosen zaman aralığı içinde olup, toplam kalınlığı 1200 metreye kadar ulaşmaktadır. Havzayı dolduran Miyosen tortulları yaşları Paleozoyik ile Eosen arasında değişen temel kayalarını uyumsuz olarak üstler. Bölgedeki Neojen öncesi temel kayaları başlıca metamorfik, granitik ve ultrabazik kayalar ile karbonatlı ve kırıntılı tortullardan yapıdadır. Metamorfikler olasılıkla Permiyen öncesine ait olup, egemen olarak mikaşist, klorit-şist, fillit, amfibolit, kuvarsit ve mermer ara katkılarından oluşur. Granitler plüton şeklinde bulunur ve Paleosen yaşlı tortullar tarafından uyumsuz olarak üstlenir. Yöredeki granitik kayalar genellikle Beypazarı güneyinde geniş yayılım gösterir.

Havzanın kuzey bölümlerinde yer alan Jura-Alt Kretase yaşlı karbonat kayaları Altınlı tarafından Soğukçam Kireçtaşı olarak, Üst Kretase yaşlı filiş topluluğu ise Nardin Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kızılçay Grubu olarak tanımlanan ve Paleosen olarak yaşlandırılan kaya topluluğu egemen olarak kırmızımsı çakıltaş, kumtaşı, çamurtaşı, jipsli kiltaş, kireçtaşı, tuf ve bazaltik lavlardan yapıdadır. Eosen, yağlı kırıntılı tortullar çalışma bölgesinde yalnızca Hırka ve Dudaş köyleri ve çevresinde sınırlı bir yayılım gösterir.

Çoraklar Formasyonu

Çoraklar Formasyonu fluvial kökenli ve çapraz katmanlı çakıltaş, kumtaşı, silttaş, çamurtaşı ile yersel kireçtaşı ara katkılarından ve iki değişik linyit düzeyinden yapıdadır. Altta tüm yaşlı birimleri uyumsuzlukla üstleyen Çoraklar Formasyonunun kalınlığı 80-237 m arasındadır.

Hırka Formasyonu

Hırka Formasyonu başlıca ince lamine çamurtaşı, kiltası, bitümlü şeyl, kalkerli şeyl, dolomitik kireçtaşı, tuf, trona ve yersel olarak intraformasyonel breşten yapılıdır. Havza içinde 300 m kalınlığa ulaşan Hırka Formasyonu, yansıttığı bileşim ve litoloji özelliklerine göre playa tipi görsel bir ortamda depolanmıştır.

Akpınar Formasyonu

Akpınar Formasyonu, altta ve üstte iki ayrı silisleşmiş kireçtaşı düzeyi ile katmanlı çörtlerden ve orta bölümlerde yeşilimsi kiltası-çört ardalanmasından oluşur.

Teke Volkanikleri

Teke volkanitleri, Kızılcahamam (Ankara) yöresindeki volkanitlerin güneybatıdaki uzantısıdır. Bu volkanitler Erken Eosen ile Geç Miyosen zaman aralığı içinde yer alıp, başlıca piroklastik breş, tuf ve bazaltik lav ardalanmasından yapılıdır.

Çayırhan Formasyonu

Çayırhan Formasyonu başlıca yeşilimsi jipsli kiltası, çamurtaşı, marn, ince taneli kumtaşı ve çakıltaşı bileşenlerinden yapılıdır. Beypazarı ile Çayırhan arasında geniş bir yayılım gösteren birim, 170-340 m arasındadır.

Sarıyar Formasyonu

Havzanın güneybatısında geniş yayılım gösteren Sarıyar Kireçtaşı, Bozbelen ve Kinnir Formasyonları ile yanall yönde geçişlidir. Birimin kalınlığı doğudan batıya doğru artarak, Sarıyar çevresinde 150 metreye kadar ulaşır.

Bozbelen Formasyonu

Bozbelen Formasyonu, alüvyonal yelpaze ve akarsu kökenli kırmızımsı çakıltaşı ile kumtaşı ve çamurtaşı arakatkılarından yapılıdır. Formasyonun kalınlığı tipik kesit yerinde 100 m kadar olup, kalınlık havza kenarından havza içine doğru azalır.

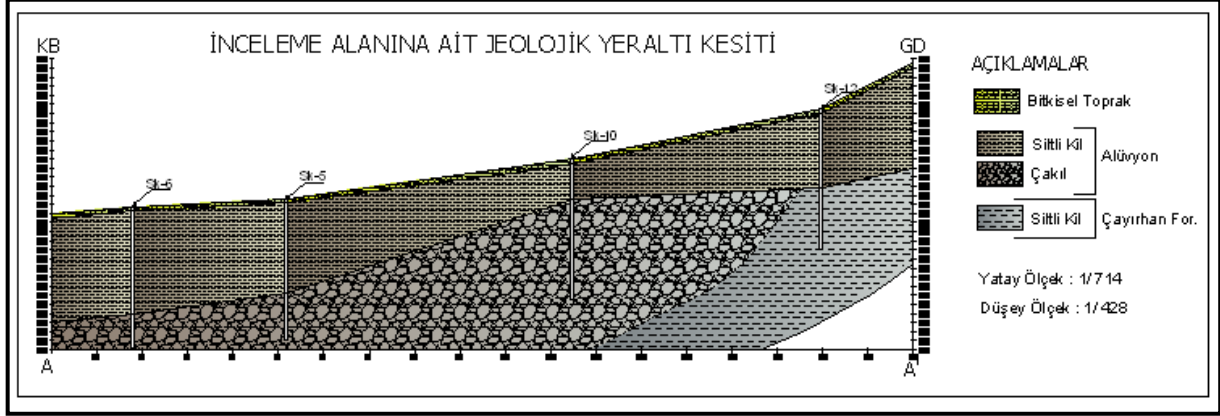
Kirmir Formasyonu

Kirmir formasyonu, uyumlu olarak Bozbelen formasyonu - Sarıyar kireçtaşları (Üst Miyosen) üzerine oturur. Stratigrafik kalınlığı 265 m kadar olup, Yağmurlu vd. (1987) tarafından isimlendirilmiştir. Alt bölümlerinde ise masif jipsler egemendir. Tabaka duruşları yatay olmasına rağmen Çayırhan kuzeyinde tabakalar monoklinal kıvrım nedeni ile eğim kazanmıştır. Kirmir formasyonu'nun üzerine uyumsuz olarak Pleyistosen yaşlı alüvyon ve yamaç döküntüleri gelir. Kirmir Formasyonu, Beypazarı yöresindeki Miyosen istifinin en genç (Ponsiyen) birimi olup, çok geniş bir alanda yayılım gösterir. Birim, çoğunlukla zayıf pekleşmiş jipsli kiltası ile kalın jips katmanlarından yapılıdır.

İnceleme alanının Jeolojisi

İnceleme alanında yapılan çalışmalar neticesinde üstte ortalama 1.0 m kalınlığa sahip bitkisel toprak tabakası ile onun altında kalınlığı 8-10 m arasında değişen ve siltli kil ve çakıldan oluşan bir

alüvyon tabakası tespit edilmiştir. Bu tabakanın altında ise yanal geçişli siltli kil ve çakıl tabakaları konkordans olarak bulunmaktadır (Şekil 4).

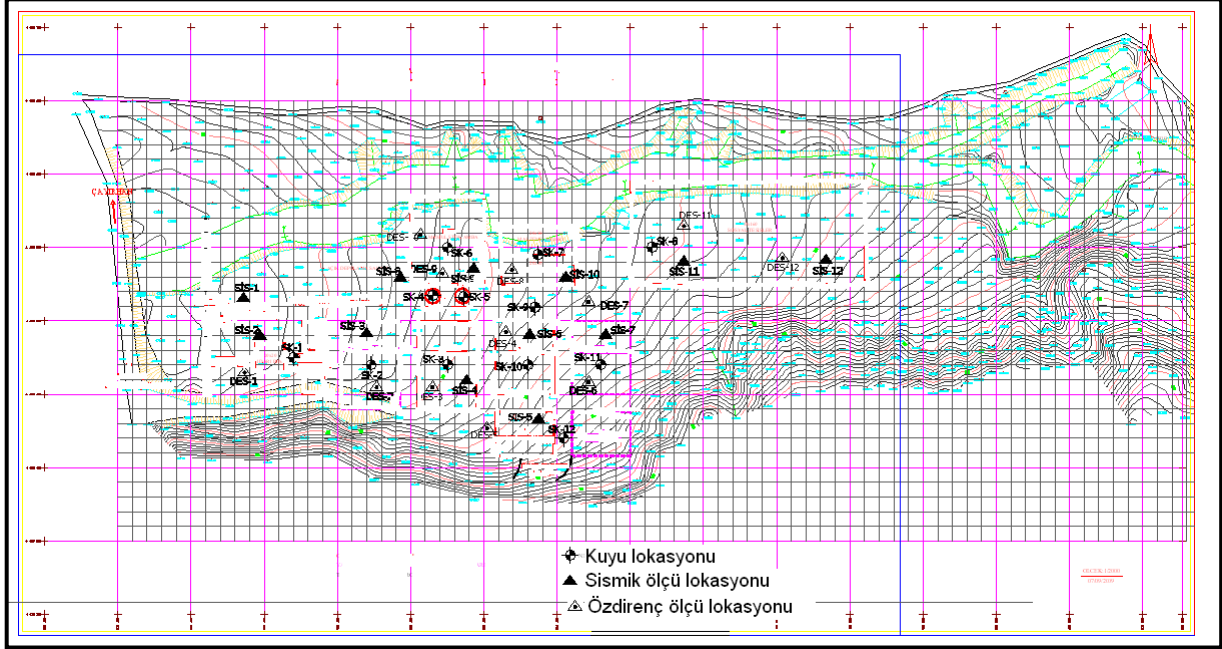


Şekil 4 İnceleme alanının yeraltı kesiti
Figure 4. Cross-section of the investigation area

Metot

Zemin araştırmaları yapılan sahada zemin profilini ve zemin özelliklerini belirlemek amacı ile statik ve temel mühendislik çalışmaları için gerekli olan parametrelerin belirlenmesine yönelik olarak ASTM ve TSE standartları ile TCK Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı'nın zemin işlerine ait Teknik Şartnamesi' ne uygun olarak toplam derinliği 185.40 m olan 12 adet temel araştırma sondajı açılmıştır (Şekil 4). Sahada gerçekleştirilen sondajlarda her 1.5 m de bir SPT testleri ile örselenmiş numune ile belirli seviyelerden örselenmemiş (UD) numuneleri alınmış ve kuyu içlerinde Standart Penetrasyon Testi uygulanmıştır. Bu testte Dış çapı 50.00 mm., iç çapı 34.90 mm. olan standart yarık tüp, 63.50 kg. ağırlığında bir tokmak ile 76.20 cm. yükseklikten serbest olarak düşürülmüş ve zemine 15' er cm.' lik 3 giriş (=45 cm) için vurulması gereken darbe sayıları saptanmıştır. Sondajın tamamlanmasından 24 saat sonra yeraltı suyu ölçümleri yapılmış ve açılan sondaj kuyusunda 6.90–8.20 m derinlikte yeraltı suyuna rastlanmıştır. Ayrıca bu noktalarda sismik kırılma çalışması ile beraber Schlumberger elektrod sistemi kullanılarak düşey özdirenç sondajları yapılmıştır. Kuyu noktalarının koordinatları 12 kanallı personel navigasyon coğrafik pozisyon sistemi (GPS) "GARMIN 12" ünitesi yardımı ile tespit edilmiştir. Sismik çalışmada, GEOMETRICS model, 12 kanallı Sismik Refraksiyon cihazı kullanılmıştır. Veri alma işlemi 12 adet P ve 12 adet S - dalgası jeofonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüler karşılıklı atış yapılarak alınmış olup, serim boyu 24 metre, jeofon aralığı 2 metre ve atış noktası ile ilk jeofon arası uzaklık (offset) 2 metre olarak belirlenmiştir. Jeofon kuplajı toprak tabakasının üst kısmı 15–20 cm kazınıp jeofonların zemine iyice sıkıştırılması ile sağlanmıştır. Enerji kaynağı olarak 10 kg lık bir balyoz kullanılmış ve sismik p dalgaları yere iyice oturtulmuş bir çelik levha üzerine bu balyozun impulsif vuruşu ile gerçekleştirilmiştir. S dalgaları ise yere oturtulmuş ve üzerine arazi aracı (pikap) çıkartılarak sabitlenmiş ahşap bir kütüğün iki ucundan balyozla vurularak oluşturulmuştur. Düşey elektrik sondaj çalışmasında maksimum 450 volt potansiyele sahip GEOTRON tipi digital çıkışlı sığ rezistivite cihazı (500 m. penetrasyon derinlikli) kullanılmıştır. Elektrot açıklığı (AB/2) 60 m açılmıştır. Arazi eğrilerini değerlendirmek için bilgisayar destekli çözüm ve 2 tabaka Taag ve 3 tabaka Cagniard yardımcı abakları yöntemi kullanılmıştır. Açılan 12 temel araştırma sondajlarının değişik derinliklerinden alınan örselenmemiş zemin örnekleri naylon torbalara konarak derhal laboratuara gönderilmiş ve çeşitli testlere tabi tutulmuştur. İnceleme alanında yapılan sondajdan alınan numuneleri üzerinde birim ağırlık, su içeriği, zemin sınıflandırma (Attarberg limitleri - Elek analizleri) yapılmıştır. İnceleme

alanında yapılan sondaj ve laboratuvar deney çalışmaları; Bayındırlık şartnameleri ve BS 5930 “Code of practice for site investigations” zemin araştırma şartnamelerine uygun olarak yürütülmüştür.



Şekil 5. İnceleme alanında sondaj kuyuları ve jeofizik (sismik ve öz direnç) ölçü noktalarının lokasyonları

Figure 5. Locations of the drill-holes and the geophysical (seismic and resistivity) measuring points in the investigation area

Sonuçlar ve Tartışmalar

Jeofizik Sonuçlar

İnceleme alanının dinamik özelliklerini ortaya koymak amacı ile yapılan sismik kırılma çalışmaları sonucunda V_{p1} :404–471 m/s ve V_{s1} :158–185 m/sn hız değerlerine sahip, yüzeyden itibaren derinliği yer yer 0.89–1.08 metre civarında değişen gevşek örtü tabakasının varlığı tespit edilmiştir. Örtü tabakasının altında, V_{p2} :942–987 m/s ve V_{s2} :409–429 m/s arasında hız değerlerine sahip tabaka siltli kil tabakası olarak değerlendirilmiştir. Sismik hızların ampirik bağıntılarda kullanılması ile bulunan dinamik zemin parametreleri Tablo 1. de verilmektedir (Tezcan ve diğ.,2006).

Tablo 1. V_p ve V_s dalga hızlarına göre hesaplanan zemin dinamik elastik parametreleri
Table 1. Dynamical elastic parameters of the soil determined using V_p and V_s velocities

| Serim No | Katman No | V_p (m/s) | V_s (m/s) | d (gr/cm ³) | E (kg/cm ²) | G (kg/cm ²) | P | h (m) | K (kg/cm ²) | Ks (ton/m ³) | qs (kg/cm ²) | Büyütme | To (sn) |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|-------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|---------|
| 1 | I | 471 | 185 | 1,69 | 1626 | 577 | 0,41 | 1,08 | 2982 | 1148 | 0,75 | 2,6 | 0,50 |
| | II | 948 | 412 | 1,79 | 8410 | 3039 | 0,38 | | 12026 | 2443 | 1,77 | | |
| 2 | I | 430 | 169 | 1,69 | 1351 | 479 | 0,41 | 0,96 | 2477 | 1044 | 0,68 | 2,6 | 0,50 |
| | II | 954 | 415 | 1,79 | 8525 | 3081 | 0,38 | | 12191 | 2460 | 1,78 | | |
| 3 | I | 437 | 171 | 1,69 | 1398 | 496 | 0,41 | 0,98 | 2564 | 1062 | 0,69 | 2,5 | 0,49 |
| | II | 975 | 424 | 1,80 | 8934 | 3229 | 0,38 | | 12776 | 2522 | 1,83 | | |
| 4 | I | 412 | 162 | 1,68 | 1238 | 439 | 0,41 | 0,91 | 2270 | 998 | 0,65 | 2,5 | 0,48 |
| | II | 980 | 426 | 1,80 | 9024 | 3261 | 0,38 | | 12904 | 2535 | 1,84 | | |
| 5 | I | 404 | 158 | 1,68 | 1186 | 421 | 0,41 | 0,89 | 2176 | 977 | 0,64 | 2,6 | 0,49 |
| | II | 958 | 416 | 1,79 | 8591 | 3105 | 0,38 | | 12286 | 2470 | 1,79 | | |
| 6 | I | 412 | 162 | 1,68 | 1237 | 439 | 0,41 | 0,91 | 2269 | 998 | 0,65 | 2,6 | 0,50 |
| | II | 948 | 412 | 1,79 | 8419 | 3043 | 0,38 | | 12039 | 2444 | 1,77 | | |
| 7 | I | 453 | 178 | 1,69 | 1503 | 533 | 0,41 | 1,02 | 2757 | 1103 | 0,72 | 2,5 | 0,48 |
| | II | 987 | 429 | 1,80 | 9164 | 3312 | 0,38 | | 13104 | 2555 | 1,85 | | |
| 8 | I | 412 | 162 | 1,68 | 1239 | 440 | 0,41 | 0,92 | 2273 | 999 | 0,65 | 2,6 | 0,50 |
| | II | 942 | 409 | 1,79 | 8293 | 2997 | 0,38 | | 11858 | 2425 | 1,76 | | |

Burada $V_p=P$ dalga hızı, $V_s= S$ dalga hızı, $d=$ yoğunluk; $d = (16+(0,002*V_p))/10$, $E=$ Elastisite modülü; $E = (d*(V_s)^2/100) * ((3V_p^2 + 4V_s^2)/(V_p^2-V_s^2))$, $G=$ Kayma modülü; $G= d*V_{s1}^2 /100$, $h=1$. tabakanın kalınlığı $h = (0,5*Ti*V_{p1}*V_{p2}) / (V_{p2}^2 - V_{p1}^2)^{1/2}$, $K=$ Bulk modülü; $K= d*(V_p^2 - (4/3*V_s^2))/100$, $qs=$ Zemin emniyet gerilmesi; $q_a(\text{Taşınma gücü})/3$; $q_a = 2.4(10^{-4}) * p * V_s$ 'dür.

Yapılan sismik kırılma çalışması sonucu elde edilen V_p ve V_s hızları (Tablo 2) ye göre değerlendirildiğinde, Yerel Zemin Sınıfı Z3 olarak bulunmuştur.

İnceleme alanında yer alan birimlere ait yataklanma katsayısı değerleri (1) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$K_s = 40*(V_p/V_s)*q_s*15 \quad (1)$$

Burada

V_p ve V_s sırasıyla P ve S dalga hızlarını, q_s ise zemin emniyet gerilmesini göstermektedir. Buna göre yataklanma katsayısı 1. katman için $K_s = 977-1148 \text{ ton/m}^3$ ve 2. tabaka için ise $K_s = 2425-2555 \text{ ton/m}^3$ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2. Deprem Yönetmeliğine Göre Zeminlerin Sismik Sınıflaması(AFET, 1998)
Table 2. Soil classification with respect 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) | q _s (kg/cm ²) |
|---|--------------------|--------------|-----------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| Z1 | Çok Sıkı Zemin | > 700 | 0.10-0.30 | 1.5 – 2.0 | > 10 000 | > 30 000 | 10 – 100 |
| Z2 | Sıkı - Katı | 400 - 700 | 0.15 - 0.40 | 2.0 – 2.5 | 3000 – 10000 | 10 000– 30 000 | 3 – 10 |
| Z3 | Orta Sıkı-Bozuşmuş | 200-400 | 0.15 - 0.60 | 2.5 - 3.0 | 600 – 3000 | 1 700 - 10 000 | 1 – 3 |
| Z4 | Gevşek-Yumuşak | < 200 | 0.20-0.90 | 3.0-10.0 | < 600 | < 1 700 | < 1 |

Elektrik Özdirenç sonuçları

Jeofizik rezistivite düşey kesitlerinde görülen düşük rezistivite değerleri (11.24-16.58 ohmm) yeraltı suyu olanakları açısından zayıf kısımları, yüksekçe rezistivite değerli (28.19-37.18 ohm.m) kesimler ise çakıllı, kumlu sert kıvamlı siltli kil tabakası olarak yorumlanmıştır.

Geoteknik sonuçlar

Jeoteknik Sonuçlar

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmasında alınan örselenmiş (SPT) ve örselenmemiş (UD) numuneleri üzerinde yapılan su içeriği deneyi sonucunda su içeriği (W_n) % 17.20-24.60 arasında bulunmuştur. Bu çalışma alanında zeminin doğal su içeriğinin göreceli olarak düşük olduğunu ve eminin doğal haldeki durumunda bulunduğunu göstermektedir. Su durumu genel olarak yağış, zeminin örneğinin alındığı derinlik ve toprak dokusuna bağlı olarak değişmektedir (Jedge, 2000).

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

Zemin iyi derecelenmiş olarak sınıflandırılabilir. Tablo 3 den görüleceği gibi zemin, genellikle ince daneli formasyonlardan (%68.75–90) oluşmakta olup, inşaat yönünden zayıf geoteknik özelliklere sahiptir.

Tablo 3. Elek analizi
Table 3. Sieve analysis

| | |
|--------------|------------|
| Çakıl (%) | 0.0-8.68 |
| Kum (%) | 10.0-24.83 |
| Kil+silt (%) | 68.75-90 |

Zemin örneklerinin likit limitleri %34.65 ile 44.17, Plastik Limitleri %17.5 ile 21.50 ve Plastisite İndisleri ise %17.11 ile 26.69 arasında değişmektedir. Genel olarak yüksek likit ve plastik limite sahip olan zeminler zayıf temel materyelleri olarak kabul edilir. Bununla beraber plastiklik indisi %20 nin altında olan zeminler iyi mühendislik özelliği gösterir. Test yapılan zemin örneklerinin

Kıvamlılık İndisi $I_c = 0.64-1.16$ olarak bulunmuştur. Bu değer zeminin “sıkı-çok sert” olduğunu belirtmektedir. Test yapılan zemin örneklerinin ortalama zemin sıkışabilirliği $C_c = 0.22-0.31$ “Orta Sıkışabilir” olarak tespit edilmiştir (Sowers, 1979). Ortalama zemin plastisitesi $PI = 17.11-26.69$ olarak bulunmuştur. plastisite indisine göre şişme derecesi “Orta” ve şişme yüzdesi “10 – 20” olarak bulunmuştur (Holtz ve Gibbs 1956).

Elde edilen zemin verileri Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)’e göre değerlendirilmiş ve zemin sınıfı **CL** olarak belirlenmiştir. Kuru Dayanım “orta – yüksek”, Genleşme özelliği “yok – çok yavaş”, Sağlamlık “orta” olarak belirlenmiş olup, kohezyon (c) 50–55 kPa, içsel sürtünme açısı (ϕ), 60 – 70 olarak bulunmuştur (Tablo 4).

Zemin Taşıma Gücünün Değerlendirilmesi

İnceleme alanında yer alan zeminlere ait taşıma gücü hesapları, SK-1 (2.00-2.50 m) ve SK-5 No’lu (4.00-4.50 m) sondajlarda siltli kil tabakasından belirtilen derinliklerden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç dayanımı deneylerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Buna göre; Yüzeysel temeller için nihai taşıma gücü temel kazı derinliğinin (Df) 1.50 m. olması, temel genişliği (B) 1.00 m. ve mütemadi temel tipi seçilmesi durumunda; zeminin kıvam ve dayanım özellikleri dikkate alındığında zemin emniyet gerilmesi (q_{all}); $1.40 \leq q_{all} \leq 1.47 \text{ kg/cm}^2$ arasında, temel kazı derinliğinin (Df) 3.00 m. olması durumunda ise $1.57 \leq q_{all} \leq 1.65 \text{ kg/cm}^2$ arasında bulunmuştur.

Baskın periyodu 1/1.5 ve 1.5 katsayıları ile çarpılarak, ‘yapı doğal periyodları’ nın yer almaması gereken ‘amplifikasyon bölgesi’ nin; $T_o = 0.50$ sn için;

$$T_{o1} = 0.67 * 0.50 = 0.34$$

$$T_{o2} = 1.50 * 0.50 = 0.75$$

arasında olduğu bulunmuştur (Terzaghi, 1943; Terzaghi ve Peck, 1948),

Jeofizik ve geoteknik sonuçlar çalışma alanında üstte siltli kil ve çakıldan oluşan 8-10 m kalınlığında alüvyon ile onun altında yanal geçişli siltli kil ve çakıl tabakalarının diskordans olarak bulunduğunu göstermiştir. Formasyonlar içinde kırık ve fay yapılarına rastlanılmamıştır. Geoteknik sonuçları göreceli olarak zeminin düşük su içeriğine sahip olduğunu, plastisite indisine göre zeminin şişme derecesinin orta ve şişme yüzdesinin %10-20 olduğunu göstermiştir. Yukarıdaki sonuçlara göre İnceleme alanında zeminde meydana gelebilecek deformasyonları engellemek için temel kazı derinliğinin en az 1.50-2.00 m’ye indirilmesi, doğal zeminden itibaren 80-130 cm iri malzeme doldurularak 20-30 cm. tabakalar halinde kademeli olarak en az % 95 proktor sağlayacak şekilde sıkıştırılması, her kademede düzenli olarak sıkışma kontrolünün yapılması, sıkışmış bu dolgu tabakası üzerine 20 cm grobeton dökülmesi ve uygun temel sisteminin bunun üzerine oturtulması uygun görülmektedir.

Tablo 4. İnceleme alanında Yer alan zeminlerin indeks özellikleri
Table 4. Index properties of soils in the investigation area

| Sondaj No | Numune | Derinlik (m.) | Su İçeriği (%) | Zemin Sınıfı | Atterberg limitleri | | | Sıkışma İndisi (Cc) | Kıvamlık İndisi (Ic) | Kıvam | Sıkışabilirlik | Şişme | Kuru Dayanım | Genleşme |
|-----------|--------|---------------|----------------|--------------|---------------------|--------|--------|---------------------|----------------------|----------|----------------|------------|--------------|---------------|
| | | | | | LL (%) | PL (%) | PI (%) | | | | | | | |
| SK-1 | SPT-1 | 1.50-1.95 | 23,54 | CL | 42,51 | 18,54 | 23,97 | 0,38 | 0,79 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-1 | UD | 2.00-2.50 | 21,26 | CL | 40,05 | 19,36 | 20,69 | 0,36 | 0,91 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-1 | SPT-4 | 6.00-6.45 | 20,05 | CL | 43,67 | 17,25 | 26,42 | 0,39 | 0,89 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-1 | SPT-5 | 7.50-7.95 | 21,57 | CL | 38,59 | 19,56 | 19,03 | 0,35 | 0,89 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-1 | SPT-9 | 13.50-13.95 | 24,60 | CL | 37,65 | 17,24 | 20,41 | 0,34 | 0,64 | Sıkı | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-2 | SPT-1 | 1.50-1.95 | 19,86 | CL | 42,15 | 18,45 | 23,70 | 0,38 | 0,94 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-2 | UD | 2.50-3.00 | 21,41 | CL | 40,07 | 18,36 | 21,71 | 0,36 | 0,86 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-2 | SPT-3 | 4.50-4.95 | 23,38 | CL | 38,59 | 18,54 | 20,05 | 0,35 | 0,76 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-2 | SPT-4 | 6.00-6.45 | 22,54 | CL | 39,65 | 17,20 | 22,45 | 0,36 | 0,76 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-2 | SPT-6 | 9.00-9.45 | 18,54 | CL | 41,75 | 19,65 | 22,10 | 0,38 | 1,05 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-2 | SPT-8 | 12.00-12.45 | 19,60 | CL | 40,51 | 20,34 | 20,18 | 0,36 | 1,04 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-3 | SPT-1 | 1.50-1.95 | 21,24 | CL | 42,58 | 21,50 | 21,08 | 0,38 | 1,01 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-3 | SPT-2 | 3.00-3.45 | 20,57 | CL | 44,17 | 17,48 | 26,69 | 0,40 | 0,88 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-3 | SPT-5 | 7.50-7.95 | 17,48 | CL | 43,26 | 18,54 | 24,72 | 0,39 | 1,04 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-3 | SPT-7 | 1.50-10.95 | 19,60 | CL | 40,05 | 19,60 | 20,45 | 0,36 | 1,00 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-3 | SPT-9 | 13.50-13.95 | 18,50 | CL | 42,68 | 19,35 | 23,33 | 0,38 | 1,04 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-4 | UD | 2.50-3.00 | 21,20 | CL | 37,85 | 17,15 | 20,70 | 0,34 | 0,80 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-4 | SPT-3 | 4.50-4.95 | 23,26 | CL | 39,50 | 18,46 | 21,04 | 0,36 | 0,77 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-4 | SPT-6 | 9.00-9.45 | 22,58 | CL | 40,08 | 19,26 | 20,82 | 0,36 | 0,84 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-5 | SPT-1 | 1.50-1.95 | 24,10 | CL | 43,65 | 17,84 | 25,81 | 0,39 | 0,76 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-5 | UD | 4.00-4.50 | 20,10 | CL | 41,75 | 18,49 | 23,26 | 0,38 | 0,93 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |

Tablo 4. devam ediyor
Table 4. continued

| Sondaj No | Numune | Derinlik (m.) | Su İçeriği (%) | Zemin Sınıfı | Atterberg limitleri | | | Sıkışma İndisi (Cc) | Kıvamlık İndisi (Ic) | Kıvam | Sıkışabilirlik | Şişme | Kuru Dayanım | Genleşme |
|-----------|--------|---------------|----------------|--------------|---------------------|--------|--------|---------------------|----------------------|----------|----------------|------------|--------------|---------------|
| | | | | | LL (%) | PL (%) | PI (%) | | | | | | | |
| SK-5 | SPT-5 | 7.50-7.95 | 18,54 | CL | 42,50 | 18,54 | 23,96 | 0,38 | 1,00 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-5 | SPT-8 | 12.00-12.45 | 19,50 | CL | 38,59 | 17,49 | 21,10 | 0,35 | 0,90 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-5 | SPT-10 | 15.00-15.45 | 21,30 | CL | 41,70 | 19,26 | 22,44 | 0,38 | 0,91 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-6 | SPT-1 | 1.50-1.95 | 22,47 | CL | 37,50 | 18,25 | 19,25 | 0,34 | 0,78 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-6 | UD | 3.50-4.00 | 20,21 | CL | 34,65 | 17,54 | 17,11 | 0,31 | 0,84 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-6 | SPT-3 | 4.50-4.95 | 19,60 | CL | 35,60 | 17,40 | 18,20 | 0,32 | 0,88 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-6 | SPT-7 | 10.50-10.95 | 18,53 | CL | 36,86 | 19,26 | 17,60 | 0,33 | 1,04 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-6 | SPT-9 | 13.50-13.95 | 17,48 | CL | 39,58 | 18,25 | 21,33 | 0,36 | 1,04 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-7 | UD | 2.50-3.00 | 21,40 | CL | 41,24 | 18,85 | 22,39 | 0,37 | 0,89 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-7 | SPT-3 | 4.50-4.95 | 19,50 | CL | 40,07 | 19,30 | 20,77 | 0,36 | 0,99 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-7 | SPT-5 | 7.50-7.95 | 18,54 | CL | 42,50 | 20,03 | 22,47 | 0,38 | 1,07 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-7 | SPT-8 | 12.00-12.45 | 17,20 | CL | 43,20 | 20,75 | 22,45 | 0,39 | 1,16 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-8 | SPT-1 | 1.50-1.95 | 19,50 | CL | 40,07 | 17,84 | 22,23 | 0,36 | 0,93 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-8 | UD | 2.50-3.00 | 21,20 | CL | 41,59 | 18,49 | 23,10 | 0,37 | 0,88 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-8 | SPT-4 | 6.00-6.45 | 22,30 | CL | 43,65 | 18,20 | 25,45 | 0,39 | 0,84 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-8 | SPT-6 | 9.00-9.45 | 18,50 | CL | 38,59 | 19,36 | 19,23 | 0,35 | 1,04 | Çok Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |
| SK-8 | SPT-9 | 13.50-13.95 | 19,27 | CL | 37,49 | 17,54 | 19,95 | 0,34 | 0,91 | Sert | Orta | Yok-Çok Az | Hızlı-Yavaş | Yok-Çok Yavaş |

KAYNAKLAR

- ALTINLI, İ.E., 1973 b, Orta Sakarya Jeolojisi: 50. Yıl Yer Bil, Kong. Teb, Ankara, 103-112.
- AFET İŞL. GN. MÜDÜRLÜĞÜ, 2007. 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, Ankara.
- GÖKTUNALI, K., 1963, Beypazarı linyitlerinin jeolojik etüdüleri hakkında rapor. M.T.A. Raporu, Ankara.
- HOLTZ, W.G., GIBBS, H.J., 1956. Engineering Properties Of Expansive Clays, Transactions, ASCE, Vol. 121, pp. 641-677.
- JEGEDE, G. (2000).Effect of soil properties on pavement failure along the F209 highway at Ado-Ekiti, Southwestern Nigeria. Journal of Construction and Building Materials, vol. 14, pp. 311-315
- KAVUŞAN G., 1991. Beypazarı-Çayırhan linyitlerindeki C,H, O,N, S dağılımları ve infrared spektrofotometrik araştırılması, tektonik ile değişimleri, A.Ü. Araştırma Fonu, Proje Raporu, 61 s. Ankara.
- LEONARDS, G.A., 1962. Foundation Engineering. Mc Graw Hill Book Comp., New York, 1136 s.
- SİYAKO,F., 1983, Beypazarı (Ankara) kömürlü Neojen havzasının ve çevresinin jeoloji raporu. M.T.A. Raporu, No:7431, Ankara.
- SOWERS, G.B., SOWERS, G.F., 1979, İntroductory Soil Mechanics and Foundations, Mc Millan.
- TERZAGHİ, K., 1943. "Theoretical Soil Mechanics" Wiley, New York., ve Peck, R.B.,1948. "Soil Mechanics İn Engineering Practice" Wiley, 729s., New York.
- STCHEPINSKY, V., 1942. Beypazarı-Nallıhan-Bolu-Gerede bölgesi jeolojisi hakkında rapor. M.T.A. Raporu, No: 1363.
- TEZCAN, SEMİH S.; KEÇELİ A.; ÖZDEMİR Z., (2006). Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity, Tecnicl Note, İstanbul.
- VAROL, B. ve KAZANCI, N., 1981. Nallıhan-Seben (Bolu) bölgesinde Üst Jura-Alt Kretase karbonat istifinin lito ve biyofasiyes özellikleri. T.J.K. Bülteni, 24,2,31-38, Ankara.
- YAĞMURLU, F., HELVACI, C, İNCİ, U., ÖNAL, M., 1987. Tectonic features to structural of the Beypazarı and Nallıhan, Central Anatolia, Middle East Technical Univ., 20,4.