ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPRAKLI (ÇANKIRI) KÖPRÜLÜ KAVŞAĞININ ULUYAZI MEVKİİNDEKİ ZEMİN TÜRLERİ, PROBLEMLERİ VE ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Ali Alperen AYHAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2021

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Ali Alperen AYHAN tarafından hazırlanan **"Yapraklı (ÇANKIRI) Köprülü Kavşağının Uluyazı Mevkiindeki Zemin Türleri, Problemleri ve Zemin İyileştirme Yöntemleri"** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Doç. Dr. Atila Gürhan ÇELİK
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Giresun Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Cihan DOĞRUÖZ
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ
Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "Yapraklı (ÇANKIRI) Köprülü Kavşağının Uluyazı Mevkiindeki Zemin Türleri, Problemleri ve Zemin İyileştirme Yöntemleri" konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı" ile tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim. (14/09/2021).

Ali Alperen AYHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPRAKLI (ÇANKIRI) KÖPRÜLÜ KAVŞAĞININ ULUYAZI MEVKİİNDEKİ ZEMİN TÜRLERİ, PROBLEMLERİ VE ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Ali Alperen AYHAN

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Ülkemiz genelinde, nüfusun artmasına bağlı olarak ulaşımda tercih edilen araç miktarında artışlar olmuştur. Araç miktarında ki artışla beraber şehir içi ve şehirler arası ulaşımda kullanılan yollar, oluşan trafik yükünü karşılayamaz duruma gelmiştir. Trafik yükünü karşılanabilir düzeyde tutmak adına mevcut trafik yoğunluğunu en az düzeye indirmek, etkin bir çözüm olacaktır. Söz konusu çözüme ulaşabilmek için çok şeritli yol, kavşak ve köprü yapımı gibi birçok proje ülkemiz genelinde uygulanmaktadır. Bu tür projelerin uygulanacağı zeminde, yapılan deney ve hesaplamalar sonucunda, taşıma gücü yetersizliği, oturma meydana gelmesi ve sıvılaşma beklenmesi gibi birçok zemin problemi ile karşılaşılmaktadır. Bu problemleri gidermek için zeminde uygulanabilecek birçok zemin iyileştirme yöntemi mevcuttur.

Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü kontrolünde, Bayburt Grup A.Ş. tarafından Çankırı ili, Merkez ilçesinde Yapraklı köprülü kavşağı yapılmaktadır. Bu yüksek lisans tezi kapsamında; yapımı devam etmekte olan Yapraklı köprülü kavşağının Uluyazı mevkiindeki zemin türleri, zemin problemleri ve zemin problemlerini gidermek amacıyla uygulanacak olan zemin iyileştirme yönteminin belirlenmesi üzerine ilgili firmanın sahada yürütmekte olduğu çalışmalar incelenmiş, bu konularda bilgi birikimi elde edilmiştir.

2021, 55 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Zemin türleri, Oturma, Taşıma gücü, Zemin iyileştirme yöntemleri

ABSTRACT

Master of Science Thesis

SOIL TYPES, PROBLEMS AND SOIL IMPROVEMENT METHODS OF YAPRAKLI (ÇANKIRI) BRIDGE INTERSECTION IN ULUYAZI LOCATION

Ali Alperen AYHAN

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

There has been an increase in the vehicle population that preferred in transportation depending the increase in population throughout the our country. The roads used in urban and intercity transportation have become unable to meet the traffic load due to the increase in the vehicle population. It will be an effective solution to minimize the current traffic density in order to keep the traffic load at an affordable level. In order to provide the aforementioned solution, many projects such as multi-lane road, crossroad and bridge construction are implemented throughout our country. As a result of the experiments and calculations made on the ground where such projects will be implemented; Many soil problems may be encountered such as insufficient bearing capacity, ground subsidence and liquefaction of ground are expected. There are many soil improvement methods that applicable on the ground to solve these problems.

Under the control of the 15th Regional Directorate of Highways, Yapraklı crossover road is being constructed by Bayburt Group A.Ş. in the Merkez district of Çankırı province. Within the context of this master thesis; On the determination of the soil types, soil problems and the soil improvement method to be applied in order to solve the soil problems in the Uluyazı location of the Yapraklı crossover road, which is under construction, the studies carried out by the respective company in the field were examined and knowledge was obtained on these issues.

2021, 55 pages

Keywords: Soil types, Settlement, Bearing capacity, Soil improvement methods

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Yapraklı (ÇANKIRI) Köprülü Kavşağının Uluyazı Mevkiindeki Zemin Türleri, Problemleri ve Zemin İyileştirme Yöntemleri" adlı bu çalışma, 2020-2021 yılları arasında hazırlanarak, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne "Yüksek Lisans Tezi" olarak sunulmuştur. İnşaat sektöründe önemli bir yere sahip olan yol yapım uygulamaları kapsamında yürütülen bu çalışmanın amacı, Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü Yol Yapım Başmühendisliği koordinatörlüğünde Bayburt Grup A.Ş. tarafından yürütülen köprülü kavşak projesinin Yapraklı Yolu-Uluyazı Mevkii (ÇANKIRI) bölümünde karşılaşılan zemin ile ilgili problemleri gözlemleyip bu problemlerin çözümü ile ilgili uygulanan metotları takip ederek İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi hazırlamak ve bu konuda bilgi, beceri ve tecrübe edinmektir.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında beni yönlendiren, değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU'na teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam esnasında yapmış olduğu yardımlardan dolayı Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü Çankırı Şube Şefliğinde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmakta olan Fatih BAŞPINAR'a teşekkür ederim.

Her konuda yanımda olduklarını hissettiğim değerli aileme, yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında bana gösterdikleri anlayış, sabır ve destekten dolayı teşekkür ederim.

Ali Alperen AYHAN
Çankırı, Eylül 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
SİMGELER DİZİNİ ..... **v**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **viii**
1. GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **4**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **7**
3.1 Saha Çalışmaları **7**
3.1.1 Sondaj kuyuları **9**
3.1.2 Yerinde deneyler **11**
3.1.3 Numune alımı **16**
3.1.4 Zemin iyileştirme yöntemleri **19**
3.2 Laboratuvar Çalışmaları **25**
3.3 Jeoloji **25**
3.4 Geoteknik Değerlendirmeler **26**
3.4.1 Oturma analizi **27**
3.4.2 Taşıma gücü analizi **29**
4. BULGULAR **32**
4.1 Proje Alanının Zemin Profili **32**
4.2 Proje Alanının Yer Altı Su Seviyesi **32**
4.3 Proje Alanında Doğal Birim Hacim Ağırlık **32**
4.4 Proje Alanında Atterberg Limit Testi **33**
4.5 Proje Alanının SPT Değerleri **33**
4.6 Proje Alanında Sıvılaşma Potansiyeli **35**
4.7 Proje Alanında Oturma Analizi **36**
4.8 Proje Alanında Taşıma Gücü Analizi **37**
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **39**
KAYNAKLAR **40**
EKLER **43**
ÖZGEÇMİŞ **55**

SİMGELER DİZİNİ

a_{max}	Yüzeydeki en büyük yatay ivme
c_u	Drenajsız kayma mukavemeti
c'	Drenajlı kayma mukavemeti
c_v	Konsolidasyon katsayısı
C_B	Sondaj kuyu çapı düzeltmesi
C_E	Enerji oranı düzeltmesi
C_N	Kohezyonsuz zeminler için derinlik düzeltmesi
C_R	Tij boyu düzeltmesi
C_S	Numune alıcı düzeltmesi
CSR	Zemin tabakasında oluşan tekrarlı gerilme oranı
CRR	Zemin tabakasının tekrarlı direnç oranı
d	Derin karıştırma kolonu çapı
f_1	Stroud (1975) korelasyon katsayısı
FC	İnce dane oranı
FS	Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı
g	Yer çekimi ivmesi
GS	Güvenlik katsayısı
h_2	SPT'nde üçüncü 15 cm'lik ilerlemenin sonlandığı derinlik
H	Sıkışabilir tabaka kalınlığı
H_{dolgu}	Dolgu yük tabakasının kalınlığı
L	Derin karıştırma kolonu boyu
MSF	Deprem büyüklüğü katsayısı
m_v	Hacimsel sıkışma katsayısı
M_w	Deprem moment büyüklüğü
N	Standart penetrasyon deneyinde son 30 cm ilerleme için darbe sayısı
N_{60}	Derinlik düzeltilmesi uygulanmayarak düzeltilmiş SPT darbe sayısı
$N_{1,60}$	Derinlik düzeltilmesi uygulanarak düzeltilmiş SPT darbe sayısı
I	Dolgu yükü altında gerilme dağılışında kullanılan etki katsayısı
IP	Plastisite indisi
q_f	Zemin nihai taşıma gücü
q_s	Zemin emniyetli taşıma gücü
q_{dolgu}	Dolgu yükünden oturma hesaplanan zemine aktarılan net basınç
P_a	Atmosferik basınç
r_d	Derinlikteki gerilme azaltma katsayısı
S_c	Konsolidasyon oturması
t	Oturma miktarının tamamlanma süresi
T_v	Boyutsuz zaman faktörü
u	Boşluk suyu basıncı

U	Konsolidasyon yüzdesi
z	Düşey gerilme artışındaki derinlik
α	İnce dane içeriği düzelme katsayısı
β	İnce dane içeriği düzelme katsayısı
$\Delta\sigma_v^{'}$	Yüklemeden dolayı tabaka ortasındaki efektif gerilme artışı
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık
γ_w	Suyun birim hacim ağırlığı
γ_s	Doygun birim hacim ağırlık
$\sigma_{vi}^{'}$	Düşey efektif gerilme
σ_{vi}	Düşey gerilme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası 3
Şekil 3.1 Proje alanında üst kottan zemin görüntüsü 7
Şekil 3.2 Proje alanında üst kottan yol boyunca zemin görüntüsü 8
Şekil 3.3 Proje alanında orta kottan üst kotun zemin görüntüsü 8
Şekil 3.4 Proje alanında orta kottan zemin görüntüsü 9
Şekil 3.5 SK- 1 No'lu sondaj kuyusunun çalışma alanından genel görünümü 10
Şekil 3.6 SK- 2 No'lu sondaj kuyusunun çalışma alanından genel görünümü 10
Şekil 3.7 SK- 3 No'lu sondaj kuyusunun çalışma alanından genel görünümü 11
Şekil 3.8 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) aşamaları (FHWA, 2002b) 12
Şekil 3.9 SK-1 No'lu sondaj kuyusundan alınan ve sandık içerisinde muhafaza edilen karotların fotoğrafları 17
Şekil 3.10 SK-2 No'lu sondaj kuyusundan alınan ve sandık içerisinde muhafaza edilen karotların fotoğrafları 18
Şekil 3.11 SK-3 No'lu sondaj kuyusundan alınan ve sandık içerisinde muhafaza edilen karotların fotoğrafları 19
Şekil 3.12 Jet grout kolonu yapılırken kullanılan iş makinesi ve araçlar (Al 2018) 20
Şekil 3.13 Hücresel dolgu sistemi uygulamasına bir örnek (Şengül 2010) 21
Şekil 3.14 Proje alanında orta kottan üst kotta derin karıştırma kolonu uygulaması 22
Şekil 3.15 Proje alanında yoldan üst kotta derin karıştırma kolonu uygulaması 22
Şekil 3.16 Derin karıştırma kolonları uygulama modelleri (IJRARE 2017) 23
Şekil 3.17 Proje alanında üst kottan derin karıştırma kolonu uygulama modeli görüntüsü 24
Şekil 3.18 Proje alanında üst kottan derin karıştırma kolonu uygulama modeli görüntüsü 24
Şekil 3.19 Proje alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Güven 1993) 26
Şekil 3.20 Plastisite indeksi ve drenajsız kayma mukavemeti ilişkisi (Stroud, 1975) 30
Şekil 4.1 SK- 1 No'lu sondaj kuyusu açılan zeminde en kesit 38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Açılan sondaj kuyularına ait öz nitelik bilgileri.....9
Çizelge 3.2 Robertson ve Wride (1998) SPT düzeltmeleri (Youd et al. 2001) 13
Çizelge 4.1 SK- 1 No'lu sondaj kuyusunun SPT düzeltmesi.....34
Çizelge 4.2 SK- 2 No'lu sondaj kuyusunun SPT düzeltmesi.....34
Çizelge 4.3 SK- 3 No'lu sondaj kuyusunun SPT düzeltmesi.....35

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde devam etmekte olan hızlı nüfus artışı, yapılaşmaya duyulan ihtiyacı artırmakta ve zaman ilerledikçe yapılaşmaya müsait alanların tükenmesine neden olmaktadır. Yol, kavşak ve köprü yapımı gibi ulaşım faktörünü olumlu yönde geliştirecek projelerin artması ile yeni inşaat alanlarına olan gereksinim de zamanla artmaktadır. İnşaat alanı olarak düşünülen ve yapılaşmanın gerçekleşeceği birçok bölge, yapılaşmaya zemin açısından elverişli olmayabilir. İnşaat sektöründe gelişen zemin iyileştirme yöntemleri ile zemin açısından elverişli olmayan alanların kullanımına imkân tanınmıştır.

Zeminin yapılaşmaya uygunluğuna, zemin etüdü[1] kapsamında sahada ve laboratuvarda yapılan deneyler sonucunda karar verilir. Standart Penetrasyon Deneyi, sahada yapılan deneylere bir örnek olarak verilebilir. Yapılan deneyler sonucunda, yapılaşmanın gerçekleşeceği bölgede; taşıma gücü yetersizliği, oturma meydana gelmesi ve sıvılaşma beklenmesi gibi birçok zemin problemi ile karşılaşabilinir. Derin karıştırma kolonları, jet grout kolonları, hücresel dolgu sistemleri vb. gibi taşıyıcı elemanlar belirli yöntemler doğrultusunda uygulanarak, problemli zemin yapılaşmaya müsait hale getirilebilir.

Yapılaşmaya uygun olmayan zeminlerde iyileştirme yöntemleri devreye girmektedir. Zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanmasında ki amaç, gerekli iş makinesi ve araçlar kullanılarak boşluklu yapıdaki zeminin boşluk oranının azaltılmasını veya zemindeki mevcut boşlukların çeşitli bileşenlere sahip karışımlarla doldurulmasını sağlamaktır. Bu amaçlar doğrultusunda yapılaşmaya uygun olmayan zayıf zeminde; mevcut yükleme durumundan dolayı taşıma gücü yetersiz ise taşıma kapasitesi artırılabilir, zamanla oturma söz konusu ise toplam oturmalar azaltılabilir ve sıvılaşma bekleniyorsa potansiyel sıvılaşma riski azaltılabilir (Onur vd. 2016).

[1] Zemin etüdü, güvenli ve ekonomik yapılar yapabilmek için zeminin jeolojik ve geoteknik özelliklerinin belirlenmesini ve değerlendirilmesini kapsamaktadır (TMMOB 2016). Zemin etütlerinin ana amacı zeminde uygulanacak zemin iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi değildir ancak problemli zeminde hangi iyileştirme yöntemlerinin kullanılacağına, zeminde yapılan deneysel metotlar sonucunda elde edilen zemin etüt raporunda ki parametreler ışık tutmaktadır.

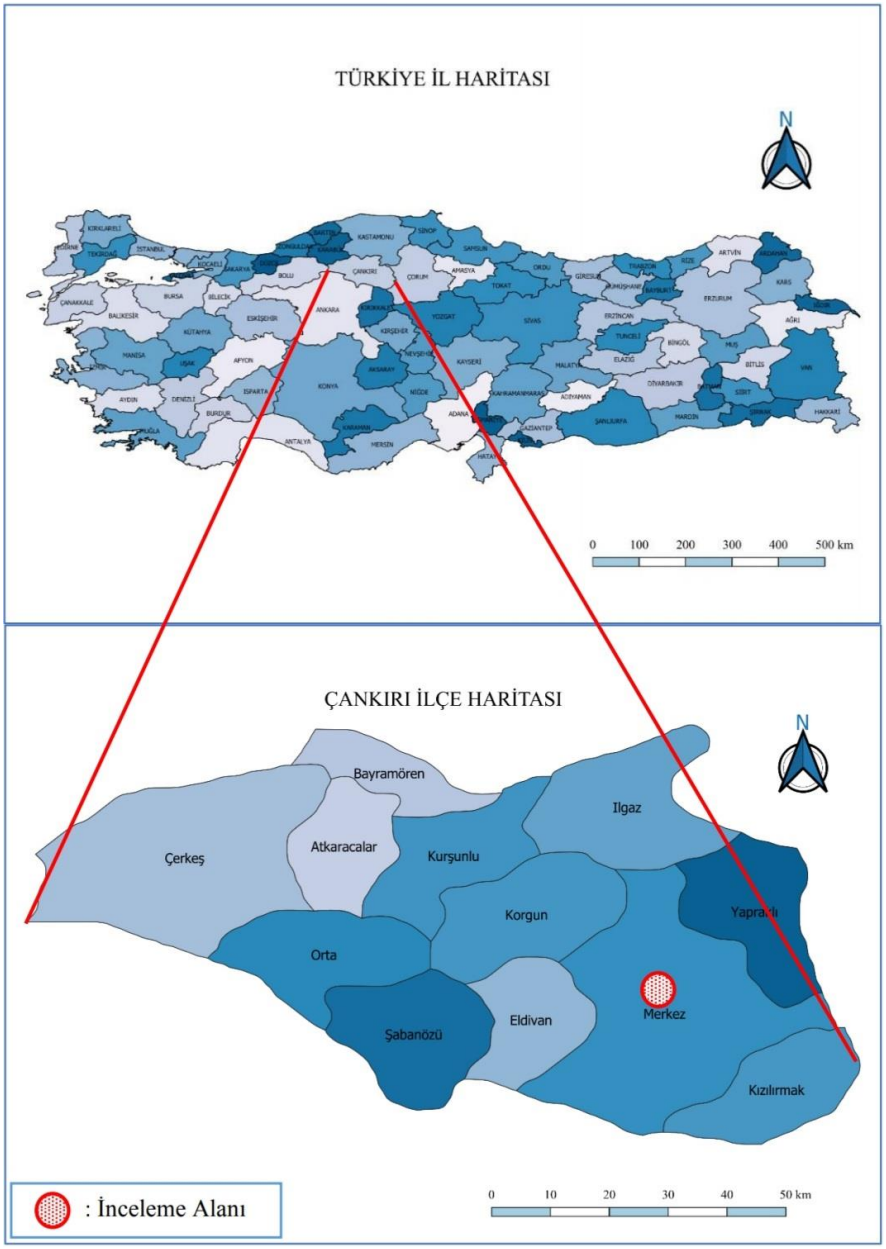
Zemin iyileştirme yöntemi uygulanması gereken zeminlere; suya doygun, yumuşak killer ve gevşek kumlar örnek olarak gösterilebilir (Sarsılmaz 2017).

Günümüzde farklı zemin iyileştirme yöntemleri olmakla birlikte, herhangi bir zemin iyileştirme yöntemi her zemin türü ve koşulları için uygun olmayabilir. Bundan dolayı her zemin türü için zemin özellikleri ve yapılacak olan zemin iyileştirme yönteminin ekonomik boyutları göz önünde bulundurulur.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında; Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü kontrolünde, Bayburt Grup A.Ş. tarafından Çankırı ili, Merkez ilçesinde yapımı devam etmekte olan Yapraklı köprülü kavşağının Uluyazı mevkiindeki zemin türleri, zemin problemleri ve zemin problemlerini gidermek amacıyla uygulanacak olan zemin iyileştirme yönteminin belirlenmesi üzerine araştırmalar yapılmış ve ilgili firmanın sahada yürütmekte olduğu çalışmalar incelenmiştir.

Arazi, laboratuvar ve bu kapsamdaki raporlama çalışmaları Limit Teknik Araştırma, Proje, Uygulama, Müşavirlik, Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından yapılmıştır. Sahada yürütülmekte olan çalışma içeriğinde, ilk olarak arazi çalışmaları kapsamında; Şekil 1.1'de gösterilen proje alanında, toplam derinliği 69,82 metre olan, 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Zemin endeks özelliklerini belirlemek amacıyla sondajlardan numune alımı Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Açılan sondaj kuyularında yapılan ölçümlerde belirli derinliklerde yer altı suyuna rastlanmıştır.

Ayrıca, ilgili firma, yerinde deney sonuçlarını ve laboratuvar çalışmalarını inceledikten sonra proje alanında zeminde oturma ve taşıma gücü problemleri ile karşılaşılacağını tespit ederek, bu problemli zeminde alternatif zemin iyileştirme yöntemlerinden Derin Karıştırma Yöntemi'nin (Deep Mixing Method) uygulanmasına karar vermiştir. Yapraklı Kavşağı Geoteknik Proje Raporu'nda belirtilen; alternatif zemin iyileştirme yöntemlerinin de uygulanabileceği vurgulanmıştır (Limit Teknik Araştırma A.Ş. 2018). Derin Karıştırma Yöntemi bütünüyle ele alınmış ve proje alanının jeolojik özelliklerinden de bahsedilmiştir.



Şekil 1.1 İnceleme alanı[2] yer bulduru haritası

[2] İnceleme (Proje) alanı; Karayolları Genel Müdürlüğü yol ağında, 15. Bölge Müdürlüğü (Çankırı) sınırları içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanı QGIS programı kullanılarak gösterilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

"Yapraklı (ÇANKIRI) Köprülü Kavşağının Uluyazı Mevkiindeki Zemin Türleri, Problemleri ve Zemin İyileştirme Yöntemleri" adlı bu çalışma ile ilgili ulusal ve uluslararası literatür ve tezler araştırılmıştır. İncelenen öncel çalışmalar, kısa ve öz olarak aşağıda sunulmuştur:

Yıldırım (2009), zeminlerin yerinde incelenmesinin uygulamada kullanılabilir parametre üretmek açısından veya doğrudan tasarım için gerekli olduğunu ifade etmiştir. Aynı zamanda, zemin araştırması amacının, ekonomik ve güvenli bir yapı tasarımı yapmak, yapım ve ihale için gerekli bilgileri güvenilir bir biçimde toplamak olduğuna değinmiştir.

Holtz ve Kovacs (2010), zemin kütleleri üzerine inşa edilen mühendislik yapılarının sebep olduğu oturmayı hesaplamada ihtiyaç duyulan önemli bir mühendislik özelliği olan sıkışabilirliği irdelemişlerdir. Temellerin, istinat yapılarının ve şevlerin tasarımında zemin dayanımının, dolayısıyla zemin endeks özelliklerinin çok önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

Özaydın (2016), zeminlerin diğer inşaat mühendisliği malzemelerinden oldukça farklı davranışlar gösteren malzemeler olmaları, zeminin fiziksel ve endeks özellikleri gibi temel kavramların iyi anlaşılmasını çok önemli kıldığını ifade etmiştir. Özellikle, zemin-su ilişkileri ile boşluk suyu basınçları ve efektif gerilme kavramı, zeminlerin yük altında şekil değiştirmesi ve mukavemet gibi mühendislik özelliklerinin anlaşılması için mutlaka iyi kavranması gereken hususları oluşturduğuna değinmiştir. Ayrıca, zeminlerin doğal malzemeler olmaları ve özelliklerinin her inşaat sahası için deneysel olarak belirlenmesi gerektiğinden deneysel yöntemlerin, zemin mekaniğinin çok önemli ve ayrılmaz bir parçasını oluşturduğunu vurgulamıştır.

Al (2018), Bursa ili, Kestel ilçesinde yer alan Turanköy Trafo Merkezindeki trafolar ve clad binasında meydana gelen zemin oturmalarını araştırmıştır. Sondaj ve saha etütleri ile çeşitli bulgulara ulaşarak, bu bulgulara göre enjeksiyon ve jet grout iyileştirmelerinin birlikte kullanılmasının en uygun çözüm olduğuna değinmiştir. İyileştirme

uygulamalarının ardından basınçlı su testlerinin yapıldığını ifade ederek basınçlı su testlerinin sonuçları değerlendirildiğinde, geçirimli–çok geçirimli olan zemin grubunun geçirimsiz–az geçirimli hale geldiğini ifade etmiştir. Jet grout uygulamasının clad binasında ve trafo sahasında zemin dayanımını artırdığını belirtmiştir.

Özen (2018), zemin iyileştirilmesini ve zemin iyileştirmeye yönelik uygulamaları araştırmıştır. İstanbul'da bir inşaat sahasının jeolojisini ve zemin özelliklerini tanımlamıştır. Zemin iyileştirmesi için gerekli düzenlemeler ve öneriler yapmıştır. İksa sistemleri ve temel iyileştirmeleri uygulama türünü, prosedürünü ve parametrelerini 'PLAXIS' programını kullanarak ortaya koymuştur. Sistemin inşası öncesi, deneme kazıklarının oluşturulması ile parametrelerinin belirlenmesini irdeleyerek, yapım sürecinde ve sonrasında uygulanan kalite kontrol çalışmaları ile uygulamanın başarısını değerlendirmiştir.

Akşanlı (2018), Mersin ili Yenişehir ilçesinde yapılmakta olan Demokrasi kavşağının zemin ve temel etüdünü sondaja dayalı olarak incelemiştir. Zemin endeks özelliklerini görebilmek amacıyla sondajlardan alınan numuneler üzerinde deneyler yapıldığını, zemin dinamik parametrelerinin tayini amacıyla sismik ölçü ve düşey elektrik sondajı ölçüsü alındığını ifade etmiştir.

Abbasoğulları (2019), yapımı tamamlanan Yüzbaşılar Köprülü Kavşağı (Kocaeli) ile Köseköy Köprülü Kavşağı (Kocaeli) dönel köprülü kavşak olmalarına rağmen, bu köprülü kavşaklar arasında yapım tekniği, proje sahasında uygulanan zemin iyileştirme yöntemleri ve oluşan mimari yapı gibi birçok farklılıklar görüldüğüne değinmiştir.

Aydın (2019), zemin iyileştirme yöntemlerinin seçimi ve son yıllarda zemin stabilizasyonunda kullanımı artan ve alternatif zemin iyileştirme yöntemi olarak kullanılan derin karıştırma yöntemi üzerine bir vaka analizinde çalışmıştır. Çalışmayı yürüttüğü proje sahasında (Eskişehir ili, Tepebaşı ilçesi) zemin etüt raporundan aldığı veriler doğrultusunda idealize zemin profili oluşturup, yapılan sayısal analizleri bu oluşturulan profil üzerinden gerçekleştirmiştir. Standart Penetrasyon Deney sonuçları

yardımıyla zeminde taşıma, oturma ve sıvılaşma analizlerini yaparak rapor verilerinin kontrolünü gerçekleştirmiştir.

Çakır (2019), çeşitli Derin Karıştırma Yöntemleri ile ilgili detaylı bir araştırma çalışması yapmıştır. Bu kapsamda; yöntemin tarihsel araştırmasına, sınıflandırma ölçütlerine, uygulama yöntemlerinin açıklanmasına, uygulama alanlarına, yöntemin diğer alternatif yöntemlere göre avantaj ve dezavantajlarına değinmiştir. Yirmi dört farklı Derin Karıştırma Yöntemi'ni açıklayan ve kendi içerisinde kıyaslanmasını sağlayan özet tablolara yer vermiştir. Ayrıca, bir yol dolgusu tabanının derin karıştırma yöntemi ile iyileştirildiği ve stabilite probleminin farklı hesap ve analiz teknikleri kullanılarak çözüldüğü örnek tasarımı ele almıştır. Bununla birlikte, yapmış olduğu çalışmada Derin Karıştırma Yöntemi'nin kullanım alanının genişliğine de dikkat çekmiştir. Çok çeşitli geoteknik problemleri çözmek için bu yöntemin kullanımının yaygınlaşmasını da amaçlamıştır.

Kaptan (2020), Derin Karıştırma Yöntemi'nde bağlayıcı malzeme olarak daha çok çimento ve kireç kullanıldığını ifade etmiştir. Derin Karıştırma Yöntemi ile iyileştirilen zeminlerin özelliklerinin; tabii zeminin ve bağlayıcıların özelliklerine, katkı miktarına ve kür süresine bağlı olduğuna değinmiştir. Derin Karıştırma Yöntemi ile iyileştirme yapılan tasarımlarda, kalite kontrol deneylerinde serbest basınç mukavemet değerlerinin ölçüldüğünden ve deformasyonların tayini için gereken modül değerlerine korelasyonlar yardımı ile geçildiğinden bahsetmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm; saha çalışmaları, laboratuvar çalışmaları, jeoloji ve geoteknik değerlendirmeler olmak üzere toplamda dört alt başlıkta ele alınmıştır.

3.1 Saha Çalışmaları

Bu bölümde, ilgili firmanın sahada yürütmüş olduğu çalışmalardan bahsedilmiş ve bu çalışmalar hakkında temel bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca, saha çalışmaları kapsamında proje alanından zemin görüntülerine bu bölümde yer verilmiştir (Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4). Sondaj kuyuları, yerinde deneyler, numune alımı ve zemin iyileştirme yöntemleri olmak üzere toplamda dört alt başlıkta ele alınmıştır.



Şekil 3.1 Proje alanında üst kottan zemin görüntüsü



Şekil 3.2 Proje alanında üst kottan yol boyunca zemin görüntüsü



Şekil 3.3 Proje alanında orta kottan üst kotun zemin görüntüsü



Şekil 3.4 Proje alanında orta kottan zemin görüntüsü

3.1.1 Sondaj kuyuları

İnceleme (Proje) alanı için toplam derinliği 69,82 m olan, 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır (Çizelge 3.1). Bu sondaj kuyuları, SK-1, SK-2 ve SK-3 olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.5, 3.6, 3.7).

Çizelge 3.1 Açılan sondaj kuyularına ait öz nitelik bilgileri

NO	SK ADI	DERİNLİK	KOORDİNATLAR (ED50)		SAPMA	KOT
		(m)	KUZEY	DOĞU	(m)	(m)
1	SK-1	25,00	4 497 355,81	553 763,26	2,47 Sol	721,20
2	SK-2	25,00	4 497 461,72	553 819,99	19,44 Sol	722,47
3	SK-3	19,82	4 497 649,03	553 863,04	10,03 Sağ	727,29
TOPLAM		**69,82**				



Şekil 3.5 SK- 1 No'lu sondaj kuyusunun çalışma alanından genel görünümü



Şekil 3.6 SK- 2 No'lu sondaj kuyusunun çalışma alanından genel görünümü



Şekil 3.7 SK- 3 No'lu sondaj kuyusunun çalışma alanından genel görünümü

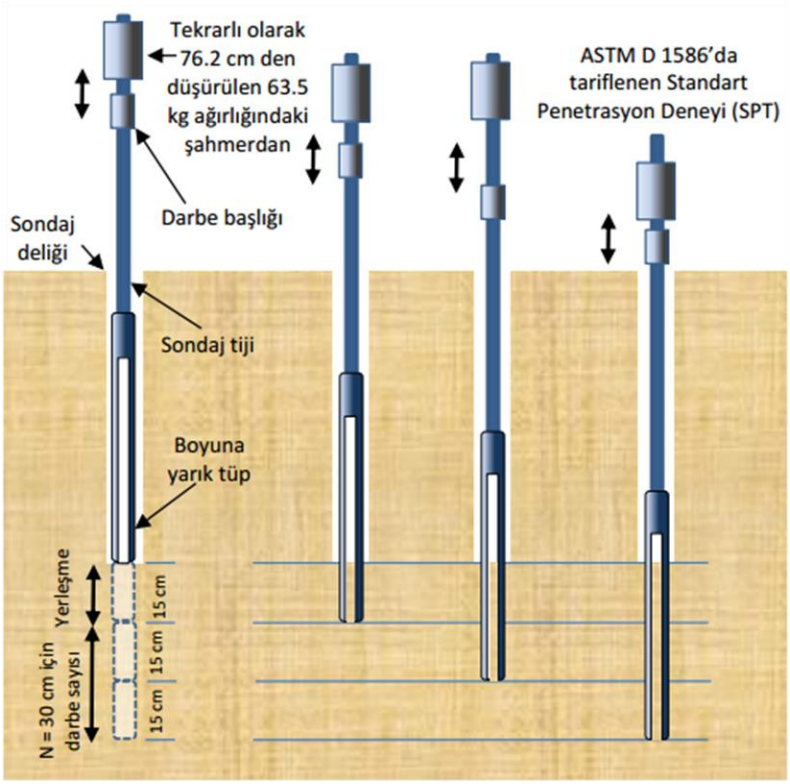
3.1.2 Yerinde deneyler

Zeminin yapılaşmaya uygunluğuna karar verebilmek adına zemin etüdü kapsamında sahada Standart Penetrasyon Deneyi yapılmıştır. Bu deneyin uygulanması esnasında ve sonrasında kaydedilen değerler irdelendiğinde, taşıma gücü yetersizliği, sıvılaşma beklenmesi ve oturma meydana gelmesi gibi birçok zemin probleminin gerçekleşme durumunu belirlemek mümkün olmaktadır.

3.1.2.1 Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Numune alıcının üzerine, 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 76,2 cm yükseklikten tekrarlı bir şekilde düşürülmesi ile zemin içerisinde toplamda 45 cm'lik ilerleme (penetrasyon) gerçekleştirilerek deney yapılmıştır (Şekil 3.8). Her bir 15 cm'lik ilerlemede, şahmerdanın numune alıcı üzerine düşürülme sayısı diğer bir ifadeyle darbe sayısı kayıt altına alınmıştır. İlk 15 cm'lik ilerleme, numune alıcının zemine yerleşme aşaması olarak tanımlanmış ve bu ilerlemedeki darbe sayısı numunede oluşabilecek örselenmeler nedeniyle dikkate alınmamıştır. Son 30 cm'de ilerleme gerçekleşebilmesi için uygulanan darbe sayısı, standart penetrasyon sayısı (N) olarak ifade edilmiştir. Yaklaşık olarak, zeminde 1,50 metre derinlikte bir SPT gerçekleştirilmiştir. SPT ile ilgili

ayrıntılı kayıtlar sondaj loglarında (EK 1) verilmiştir. Ayrıca SPT sonuçlarının değerlendirildiği çizelge Ek 2'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) aşamaları (FHWA, 2002b)

3.1.2.2 SPT değerlerinin irdelenmesi

İkinci ve üçüncü 15 cm'lik ilerlemenin gerçekleşmesi için toplamda uygulanan darbe sayısı (N) üzerinde gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Düzeltme yapılmış darbe sayısı denklemi (1) kullanılarak bulunan değer, $N_{1,60}$ olarak ifade edilmiştir. $N_{1,60}$ değeri, zeminde taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma kriterlerinin bulunmasında kullanılmıştır.

$$N_{1,60} = N \times C_E \times C_N \times C_B \times C_S \times C_R \qquad (1)$$

$N_{1,60}$: Düzeltilmiş darbe sayısı

N : İkinci ve üçüncü 15 cm'lik ilerlemedeki toplam darbe sayısı

C_E : Enerji oranı düzeltme katsayısı

C_N : Kohezyonsuz zeminler için derinlik düzeltme katsayısı

C_B : Sondaj kuyu çapı düzeltme katsayısı

C_S : Numune alıcı (boyuna yarık tüp) düzeltme katsayısı

C_R : Tij boyu düzeltme katsayısı

İlgili firma, bu çalışmayı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2019) yürürlüğe girmeden önce gerçekleştirdiği için; $N_{1,60}$ değerinin hesaplanmasında kullanılan katsayıları, Robertson ve Wride (1998) tarafından oluşturulan SPT düzeltmeleri çizelgesinden (Çizelge 3.2) referans almıştır.

Çizelge 3.2 Robertson ve Wride (1998) SPT düzeltmeleri (Youd et al. 2001)

Düzeltme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3m'den küçük	0,75
	3m ile 4m aralığında	0,80
	4m ile 6m aralığında	0,85
	6m ile 10m aralığında	0,95
	10m ile 30m aralığında	1,00
C_S	Standart numune alıcı (iç tüplü)	1,00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1,10 – 1,30
C_B	Çap 65mm-115mm arasında	1,00
	Çap 150mm	1,05
	Çap 200mm	1,15
C_E	Tamburlu tokmak	0,50 – 1,00
	Güvenlik kilitli tokmak	0,70 – 1,20
	Tamburlu otomatik tokmak	0,80 – 1,30

Derinlik düzeltme katsayısı (C_N), deney esnasında zemin davranışının drenajsız koşulda olduğu gerekçesiyle, kohezyonlu zeminlerde uygulanmamalıdır (Erol ve Çekinmez 2014). Bu çalışmada, kohezyonsuz zeminlerde derinlik düzeltme katsayısı (C_N), Liao ve Whitman (1986) denklemi (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_N = \left(P_a / \sigma'_{vi} \right)^{0,5} \qquad (2)$$

P_a : Atmosferik basınç (100 kN/m^2)
σ'_{vi} : Düşey efektif gerilme (kN/m^2)

Gerilmenin hesaplanacağı zemin tabakasında ki; toplam düşey gerilmeden (σ_{vi}), boşluk suyu basıncının (u) çıkarılmasıyla σ'_{vi} değeri bulunur (Denklem 3) (Craig 2004).

$$\sigma'_{vi} = \sigma_{vi} - u \quad (3)$$

σ_{vi} : Toplam düşey gerilme (kN/m^2)
u : Boşluk suyu basıncı (kN/m^2)

Gerilmenin hesaplanacağı zemin tabakasında ki; orta noktanın zemin yüzeyine olan uzaklığı (z) ile doygun birim hacim ağırlığın (γ_s) çarpılmasıyla σ_{vi} değeri bulunur (Denklem 4) (Craig 2004).

$$\sigma_{vi} = z\ \gamma_s \quad (4)$$

γ_s : Doygun birim hacim ağırlık (kN/m^3)
z : Zemin tabakasında orta noktanın zemin yüzeyine olan uzaklığı (m)

Gerilmenin hesaplanacağı zemin tabakasında ki; z değeri ile suyun birim hacim ağırlığının (γ_w) çarpılmasıyla u değeri bulunur (Denklem 5) (Craig 2004).

$$u = z\ \gamma_w \quad (5)$$

γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı (9,81 kN/m^3)

3.1.2.3 Sıvılaşma potansiyelinin irdelenmesi

SPT'nde kayıt altına alınan darbe sayıları, zemin sıvılaşma potansiyelinin irdelenmesinde kullanılmıştır. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için Youd ve Noble (1997) ve

Youd vd. (2001) tarafından önerilen 'Geliştirilmiş Basit Yöntem' referans alınmıştır. Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS) denklemi (6) kullanılarak zeminin sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

$$FS = (CRR_{7,5}/CSR) \times MSF \quad (6)$$

$CRR_{7,5}$: Zemin tabakasının tekrarlı direnç oranı (Deprem moment büyüklüğü (M_w) = 7,5)
CSR : Zemin tabakasında oluşan tekrarlı gerilme oranı
MSF : Deprem büyüklüğü katsayısı

FS > 1 ise inceleme alanında sıvılaşma beklenmediği, FS < 1 ise inceleme alanında sıvılaşma beklendiği belirtilmiştir. İnceleme alanında sıvılaşma potansiyelinin belirlendiği çizelge Ek 3'te verilmiştir.

$CRR_{7,5}$ değerinin bulunmasında, Youd vd. (2001) tarafından yaklaşık olarak tanımlanan denklem (7) kullanılmıştır. Bu denklemde bulunan $N_{1,60f}$ değeri, düzeltmesi yapılmış $N_{1,60}$ değeri üzerinde İnce Dane Oranı (FC) düzeltmesi yapılarak elde edilmiştir. FC düzeltmesi, Youd vd. (2001) tarafından tanımlanan denklem (8) ve ince dane oranına bağlı eşitliklerden (9, 10 ve 11) uygun olanı kullanılarak yapılmıştır.

$$CRR_{7,5} = (1/(34 - N_{1,60f})) + (N_{1,60f}/135) + (50/(10N_{1,60f} + 45)^2) - (1/200) \quad (7)$$

Yukarıdaki denklem (7), $N_{1,60f} < 30$ için geçerlidir. $N_{1,60f} \geq 30$ için temiz kaba taneli zeminler sıvılaşma açısından çok sıkıdırlar ve sıvılaşmayan zeminler olarak sınıflandırılırlar (Youd et al. 2001).

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (8)$$

$$FC \leq \%5 \text{ için } \alpha = 0 \; ; \; \beta = 1,0 \quad (9)$$

$$\%5 < FC < \%35 \text{ için } \alpha = \exp(1,76 - (190/FC^2)) \; ; \; \beta = 0,99 + (FC^{1,5}/1000) \quad (10)$$

$FC \geq \%35$ için $\alpha = 5{,}0$; $\beta = 1{,}2$ (11)

CSR, Seed ve Idriss (1971) tarafından tanımlanan denklem (12) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$CSR = 0{,}65 \times (a_{max}/g) \times (\sigma_{vi}/\sigma'_{vi}) \times r_d \quad (12)$$

a_{max} : Yüzeydeki en büyük yatay ivme ($g = 9{,}81\ m/s^2$)
g : Yer çekimi ivmesi ($g = 9{,}81\ m/s^2$)
r_d : Derinlikteki gerilme azaltma katsayısı

r_d Değerinin bulunmasında, Liao ve Whitman (1986) tarafından tanımlanan derinliğe bağlı eşitliklerden (13, 14) uygun olanı kullanılmıştır.

$h_2 \leq 9{,}15$ m için $r_d = 1{,}0 - 0{,}00765\ h_2$ (13)

$9{,}15\ m < h_2 \leq 23$ m için $r_d = 1{,}174 - 0{,}0267\ h_2$ (14)

h_2 : SPT'nde üçüncü 15 cm'lik ilerlemenin sonlandığı derinlik (m)

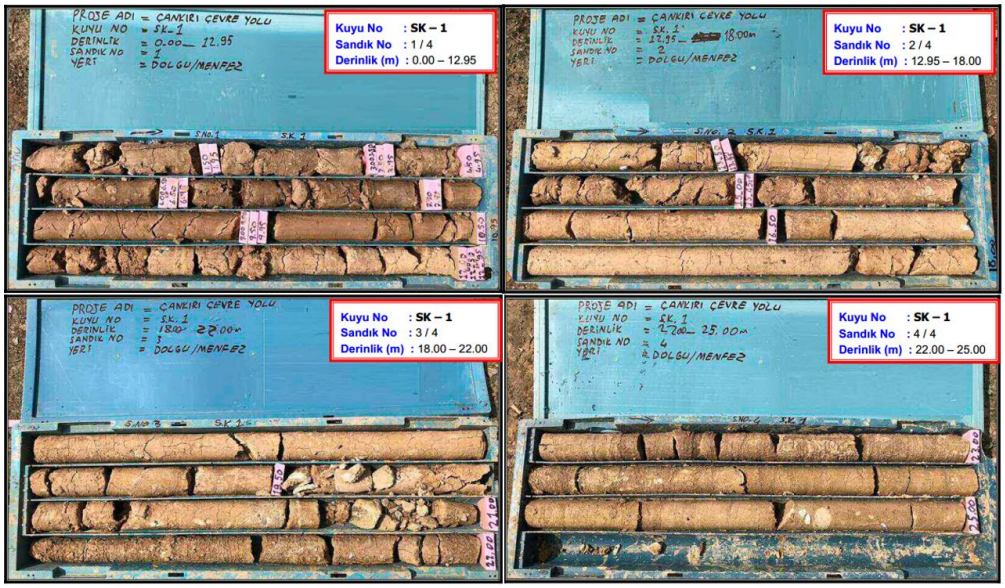
MSF değerinin bulunmasında, Idriss (1995) tarafından tanımlanan denklem (15) kullanılmıştır. Türkiye deprem bölgeleri haritası dikkate alınarak, proje alanında tasarım deprem büyüklüğü (M_w), 6,0 alınmıştır.

$$MSF = 10^{2{,}24}/M_w^{2{,}56} \quad (15)$$

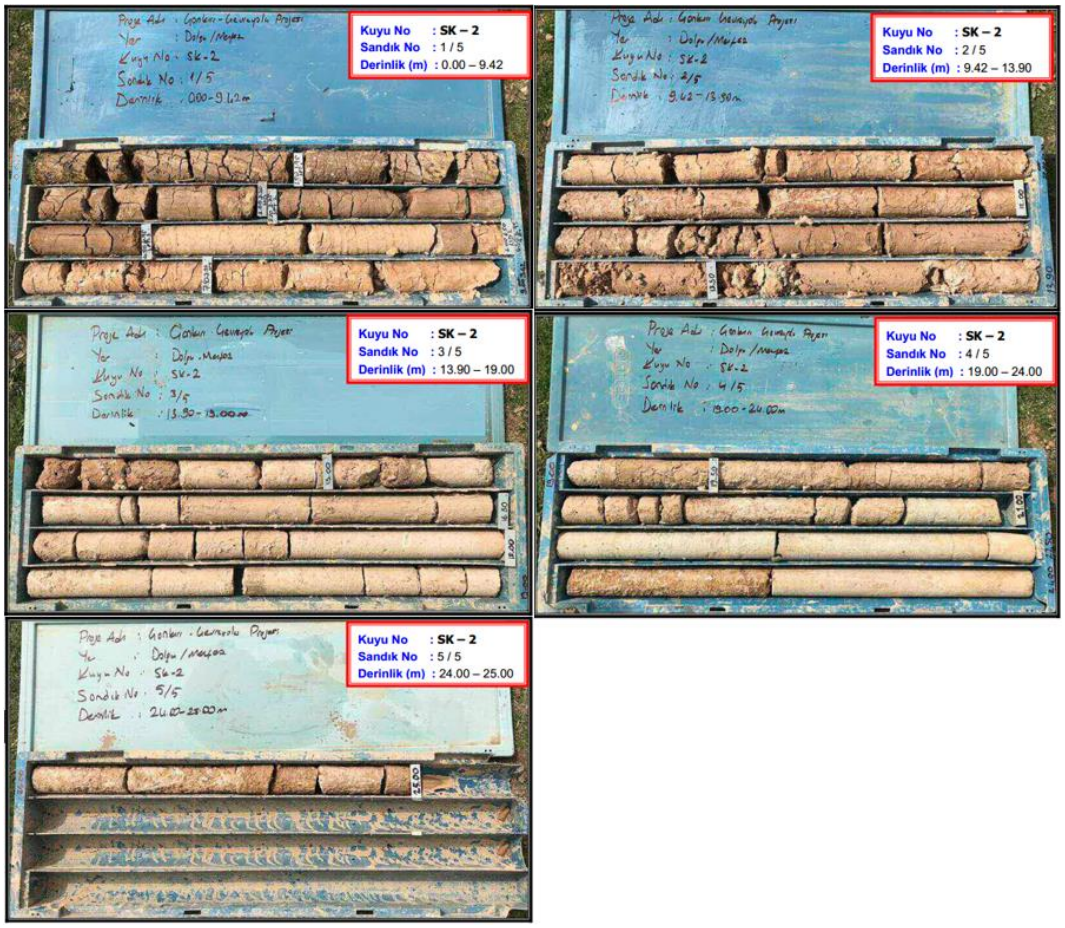
3.1.3 Numune alımı

Sahada numune alımı SPT esnasında gerçekleştirilmiştir. Açılan sondaj kuyularında örselenmiş ve örselenmemiş numune alımı yapılmıştır. Örselenmiş numuneler doğal özelliklerini kaybetmemesi adına iç içe geçirilmiş iki ayrı plastik torba içerisine

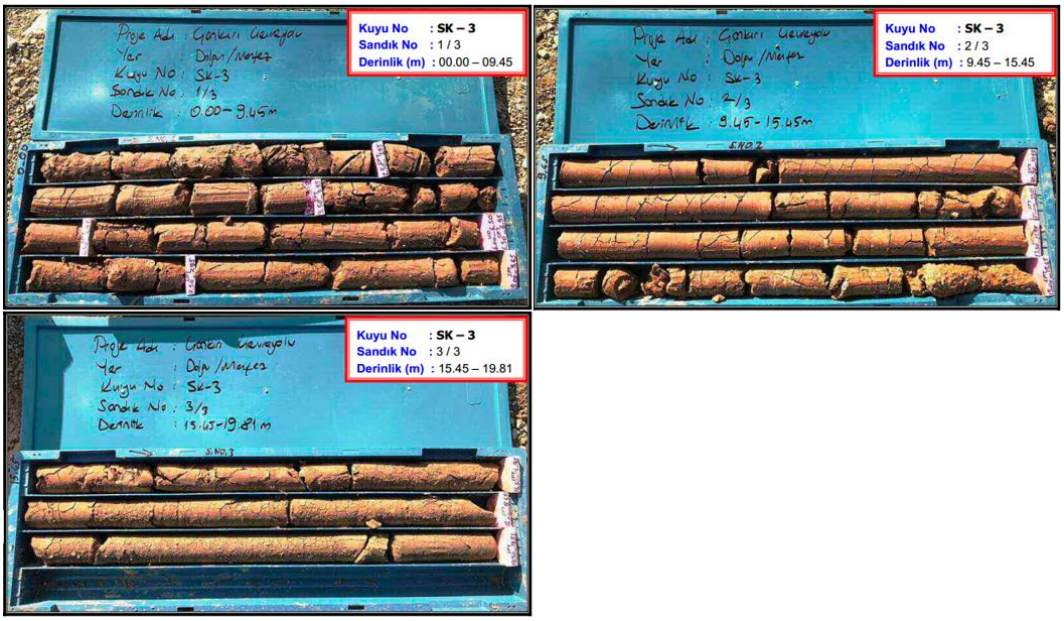
konulmuştur. Örselenmemiş kabul edilen numuneler sandık içerisinde muhafaza edilmiştir (Şekil 3.9, 3.10 ve 3.11).



Şekil 3.9 SK-1 No'lu sondaj kuyusundan alınan ve sandık içerisinde muhafaza edilen karotların fotoğrafları



Şekil 3.10 SK-2 No'lu sondaj kuyusundan alınan ve sandık içerisinde muhafaza edilen karotların fotoğrafları



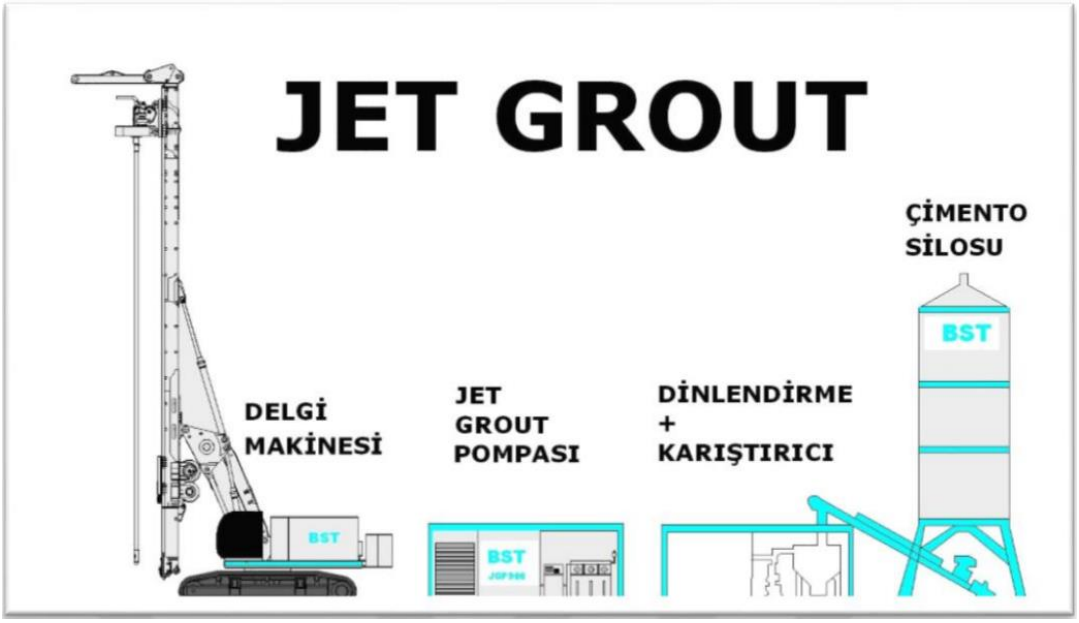
Şekil 3.11 SK-3 No'lu sondaj kuyusundan alınan ve sandık içerisinde muhafaza edilen karotların fotoğrafları

3.1.4 Zemin iyileştirme yöntemleri

Bu bölümde, inceleme alanında yapılması mümkün olabilecek alternatif zemin iyileştirme yöntemleri ele alınmıştır.

3.1.4.1 Jet grout kolonu uygulamalı iyileştirme

Küçük çapta sondaj kuyularından yüksek basınçla pompalanan çimento karışımının zemin içerisinde hızlı ve keskin bir şekilde ilerlemesiyle zeminde silindir yapıda kolonlar oluşturulur. Buna jet grout kolonu uygulamalı zemin iyileştirme yöntemi denilmektedir. Jet grout kolonunun yapımında kullanılacak iş makinesi ve araçlar, jet grout kolon uygulaması yapılacak zemine yerleştirilirken mevcut zeminde dayanıklılık ve düzgünlük aranmaktadır. Zemin delme makinesi, basınç değeri yüksek pompa ünitesi, çimento silosu, su deposu ve pompası, malzeme karışım ünitesi ve kompresör; jet grout kolonu yapılırken kullanılabilecek iş makinesi ve araçlardır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Jet grout kolonu yapılırken kullanılan iş makinesi ve araçlar (Al 2018)

3.1.4.2 Hücresel dolgu sistemi uygulamalı iyileştirme

Hücresel dolgu sistemi (Geocell); yoğunluğu yüksek polietilen (High Density Polyethylene) karışımından yapılan üç boyutlu şekilde bal peteği yapısına sahip, zemin güçlendirmede kullanılabilecek, zeminde meydana gelebilecek aşınma sonrasında zeminde kayma problemini önleyebilecek bir malzemedir (Emersleben ve Meyer 2008). Eğim oranı yüksek zeminlerde, su ve rüzgâr etkisiyle zeminde meydana gelebilecek kayma problemini önlemek, hücresel dolgu sisteminin genel kullanım amaçlarından birisidir. Hücresel dolgu sistemi, zemindeki mevcut suyun proje alanından daha hızlı uzaklaştırılabilmesi ve zemin üzerine eklenecek dolgu malzemesinin zeminde daha kolay sıkışabilmesi adına delikli bir yapıya sahip şekilde üretilmektedir (Şengül 2010) (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Hücresel dolgu sistemi uygulamasına bir örnek (Şengül 2010)

3.1.4.3 Derin karıştırma kolonu uygulamalı iyileştirme

İyileştirme yapılacak zeminde çeşitli türdeki burgular yardımıyla delme işlemi, tasarım derinliğine bir diğer ifadeyle sağlam zemine ulaşılana kadar gerçekleştirilmektedir. Delme işlemi bittikten sonra bağlayıcı özellikte malzemeler zemin içerisine eklenerek karıştırma aletleri yardımıyla yerinde karıştırma işlemi sağlam zemine kadar gerçekleştirilir. Bağlayıcı özellikte malzeme ekleme ve karıştırma işlemi, sağlam zeminden, yukarı zemin yüzeyine çıkılana kadar devam ettirilir. Bu sayede zeminde homojen dağılımlı karışım elde edilerek düzgün çaplı bir derin karıştırma kolonu oluşturulur. Derin karıştırma kolonu oluşturulurken genellikle bağlayıcı malzeme olarak çimento ve su tercih edilmekte olup proje alanında da bu iki malzeme kullanılmıştır. Islak ve kuru olmak üzere iki adet derin karıştırma kolonu uygulama yöntemi mevcuttur. Proje alanında zemin iyileştirilmesinde ıslak yöntemle derin karıştırma kolonları uygulanmıştır (Şekil 3.14 ve 3.15).

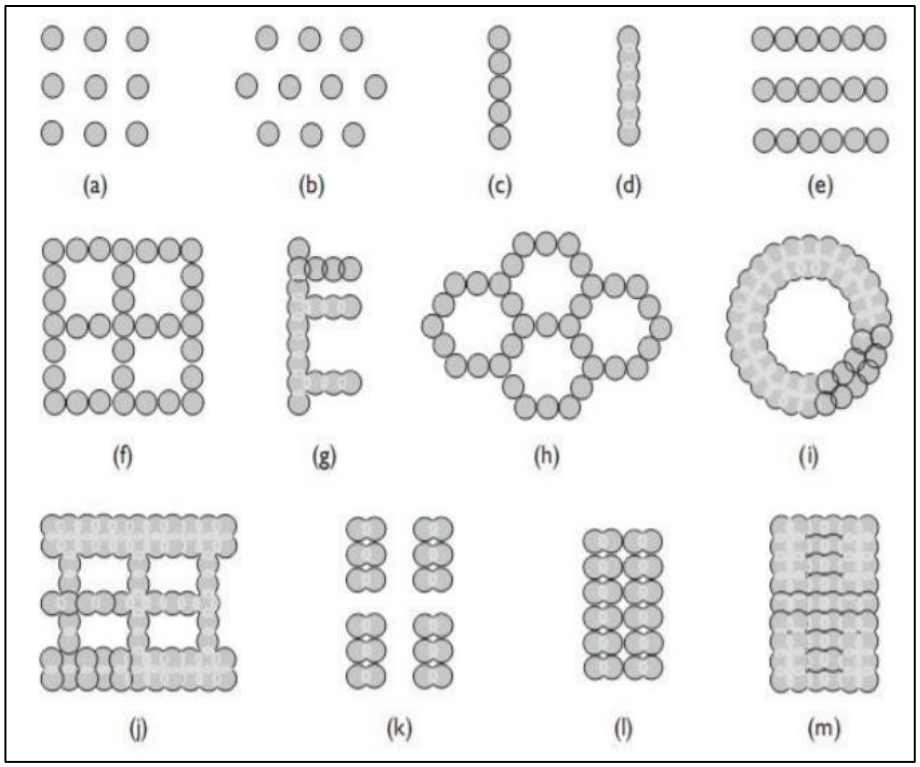


Şekil 3.14 Proje alanında orta kottan üst kotta derin karıştırma kolonu uygulaması



Şekil 3.15 Proje alanında yoldan üst kotta derin karıştırma kolonu uygulaması

Derin karıştırma kolonları, farklı modellerde uygulanabilmektedir. Kare, üçgen, teğet duvar, örtüşen duvar, teğet ızgara vb. gibi birçok model bulunmaktadır (Şekil 3.16). Bu modeller daha çok karayolu ve demiryolu uygulamaları için uygundur (Esmaeilli et al. 2017).



Şekil 3.16 Derin karıştırma kolonları uygulama modelleri (IJRARE 2017)

Uygulanacak derin karıştırma kolon modelinin belirlenmesi, projenin limitleri, karakteristiği ve geometrisine bağlıdır (Kılıç 2013). Şekil 3.16 üzerinden örnek verilecek olunursa; örtüşen duvar derin karıştırma kolon modeli (Şekil 3.16d), kayma problemi beklenen zeminlerde tercih edilebilir. Proje alanında derin karıştırma kolonları uygulama modeli, projede tasarım olarak belirtilmiş olup, sahada kare modelde (Şekil 3.16a) uygulanmıştır (Şekil 3.17 ve 3.18).



Şekil 3.17 Proje alanında üst kottan derin karıştırma kolonu uygulama modeli görüntüsü



Şekil 3.18 Proje alanında üst kottan derin karıştırma kolonu uygulama modeli görüntüsü

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanından alınan numuneler doğrultusunda; Limit Teknik Araştırma, Proje, Uygulama, Müşavirlik, Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür.

1, 2 ve 3 No'lu sondaj kuyularından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinden atterberg limit testleri ve elek analizi deneyi yapılmıştır. Ayrıca, örselenmemiş kil numuneler üzerinde üç eksenli basınç dayanımı ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Atterberg limit testleri ve elek analizi deneyi; proje alanında, zeminin birim hacim ağırlığını, su muhtevasını ve sınıflamasını belirleyebilmek adına yapılmıştır. Üç eksenli basınç dayanımı deneyi; proje alanında, zeminin kayma mukavemeti parametrelerini belirleyebilmek adına yapılmıştır. Konsolidasyon deneyi ise; proje alanında, zeminin oturma durumunu belirleyebilmek adına yapılmıştır.

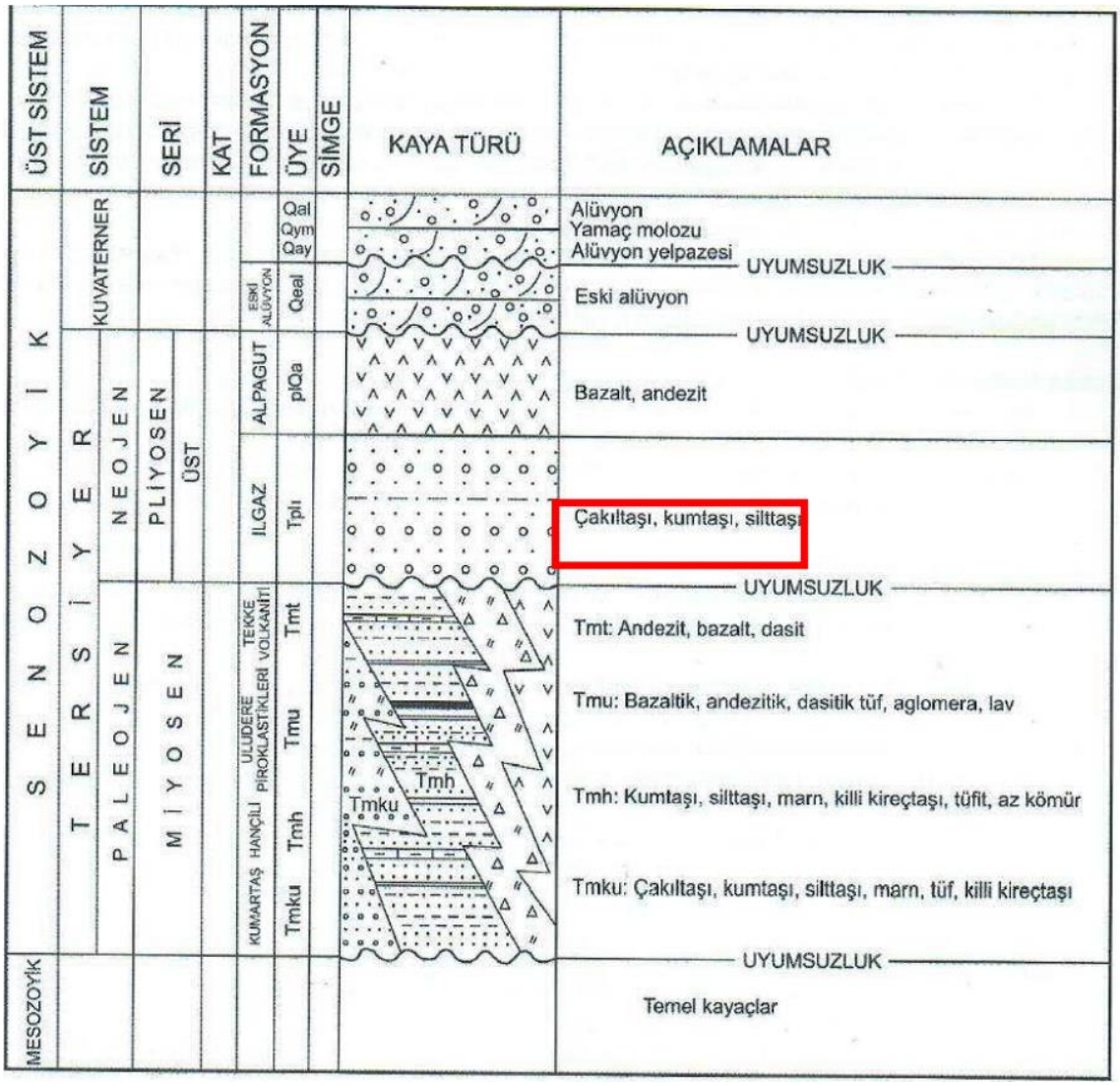
3.3 Jeoloji

Proje alanında; açılan sondaj kuyularına, yapılan gözlemlere ve yakın çevrede incelenen öncel çalışmalara göre, üst seviyelerde Kuvaterner yaşlı Alüvyon (Qal) birimleri yüzeylenmiş olup, alt seviyelerde Üst Pliyosen yaşlı Ilgaz formasyonu (Tplı) ve bu formasyona ait rezidüel zemin birimleri mevcuttur. Stratigrafik kesit Şekil 3.19'da verilmiştir.

Proje alanında, Alüvyon birimi (Qal); kahve–kırmızımsı kahve renkli, nemli, orta katı–çok katı, yüksek plastisiteli, nadiren–az çakıllı, kumlu siltli kil zemin tanımlamasından oluşmaktadır.

Proje alanında, Ilgaz formasyonu (Tplı); genel olarak üst seviyelerde kahve renkli, nemli, çok katı–sert, yüksek plastisiteli, yer yer jips seviyeli olarak tanımlanan rezidüel zemin bulunmakta olup, alt seviyelerde gri–grimsi sarı renkli, genelde orta derecede ayrışmış, yer yer çok–tamamen ayrışmış, çok zayıf–aşırı derecede zayıf dayanımlı, genelde kırıklı–

parçalanmış, yer yer yoğun jips seviyelerinin bulunduğu çamurtaşı, kumtaşı, kiltaşı ve silttaşı zemin tanımlamalarından oluşmaktadır.



Şekil 3.19 Proje alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Güven 1993)

3.4 Geoteknik Değerlendirmeler

Proje alanında, yol dolgu yüklemesi yapılması durumunda, dolguların oturacağı zeminde; oturma ve taşıma gücü problemlerinin beklenip beklenmediğine dair değerlendirmeler yapılmıştır. Proje alanı zemininde problemler değerlendirilirken; yapılan kabullere, hesaplamalarda kullanılan formüllere, gerekli bilgi ve verilere bu bölümde yer verilmiştir.

3.4.1 Oturma analizi

Temel beraberinde yapı ve dolgu yüklemeleri faktörlerinden birisinin zemine etkisi sonucu zeminde oluşan düşey yöndeki hareket oturma problemi olarak nitelendirilmektedir. Belirli bir yük etkisi altında kalan zeminde, taneler arası boşluklarda azalma meydana gelirse oturma gerçekleşir (Uzuner 2016).

Bu bölümde, proje alanında oturma analizi yapılırken kullanılan denklem ve verilere yer verilmiştir.

3.4.1.1 Hesaplamalarda yapılan kabuller

Proje alanında, zeminde yapılan oturma analizlerinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

- Hesaplamalarda yer altı su seviyesi yüzeyde olacaktır.
- N değerleri, 30'dan küçük olan; çok yumuşak, yumuşak, orta katı, katı ve çok katı özellikte olan, tüm silt ve kil zeminlerde konsolidasyon oturması olacaktır.
- N değerleri, 30'dan büyük olan; sert özellikte olan, tüm plastik silt ve kil zeminlerde konsolidasyon oturması olmayacaktır.
- Plastik olmayan (NP) silt, kum ve çakıl zeminlerde yalnızca ani oturma olacak ve bu zeminler, ara katmanlarda olması halinde çift yönlü drenaj sağlayacaktır.

3.4.1.2 Hacimsel sıkışma katsayısı ve konsolidasyon katsayısının bulunması

Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile konsolidasyon katsayısı (c_v), proje alanında sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan konsolidasyon deneylerine göre belirlenmiştir.

3.4.1.3 Zeminde oturmanın hesaplanması

Konsolidasyon oturması (S_c), denklem 16 (Craig 2004)'e göre hesaplanmıştır.

$$S_c = m_v \, \Delta\sigma_v' \, H \qquad (16)$$

S_c : Konsolidasyon oturması (m)

m_v : Oturma hesaplanan zeminde hacimsel sıkışma katsayısı (m^2/kN)

$\Delta\sigma_v'$: Dolgu yüklemesinden dolayı oturma hesaplanan zemin tabakasının orta noktasında meydana gelen gerilme artışı (kN/m^2)

H : Oturma hesaplanan tabakanın kalınlığı (m)

$\Delta\sigma_v'$, Boussinesq (1885) tarafından tanımlanmış denklem (17) ile hesaplanmıştır.

$$\Delta\sigma_v' = I \, q_{net} \qquad (17)$$

I : Dolgu yükü altında gerilme dağılışında kullanılan etki katsayısı

q_{net} : Dolgu yükünden oturma hesaplanan zemine aktarılan net basınç (q_{dolgu}, (kN/m^2))

I değeri, dolgu yüklemelerinin bir temel gibi kabulü sonucu uzunlukları dikkate alınarak yaklaşık bir değer seçilmiştir.

σ_{vi} değerini bulduğumuz denklem benzerliğinden; $q_{dolgu} = H_{dolgu} \, \gamma_s$ bulunmuştur.

H_{dolgu} : Dolgu yük tabakasının kalınlığı (m)

Son olarak bulunan S_c değeri, konsolidasyon yüzdesiyle (U) doğru orantıda alınan saha düzeltmesi katsayısı (k) ile çarpılarak, düzeltilmiş konsolidasyon oturması değeri elde edilmiştir.

U : Konsolidasyon yüzdesi (%)

3.4.1.4 Zeminde oturma miktarı tamamlanma süresinin hesaplanması

Proje alanında, zeminde oturma miktarlarının tamamlanma süreleri belirlenirken denklem 18 (Craig 2004) kullanılmıştır.

$$T_v = (c_v\, t)/H^2 \qquad (18)$$

T_v : Boyutsuz zaman faktörü
c_v : Konsolidasyon katsayısı (cm^2/dk)
t : Oturma miktarının tamamlanma süresi (dk)
H : Oturma hesaplanan tabakanın kalınlığı (cm)

Oturma hesaplanan tabakanın kalınlığı, tabakada çift yönlü drenaj olması durumunda $H/2$, tek yönlü drenaj olması durumunda H alınmıştır.

Proje alanında, zeminin konsolidasyon oturmasını belirli bir yüzdede (U) tamamladığı esas alınarak, T_v bulunmuştur. T_v'nün bulunmasında denklem 19 (Craig 2004) kullanılmıştır.

$$U > \%60 \text{ için } T_v = (-0{,}933 \log(1 - U)) - 0{,}085 \qquad (19)$$

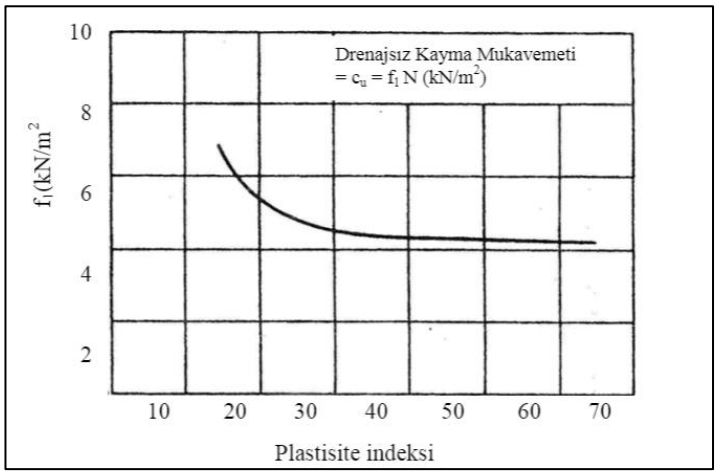
3.4.2 Taşıma gücü analizi

Zemin, üzerine gelen yapı veya dolgu yükünü güvenle taşıyabilmelidir (Brown 1992). Her zemin tabakasının; kayma mukavemeti, SPT değeri vb. gibi kendi özelliklerine göre taşıyabileceği maksimum gerilme değeri vardır. Zemin tabakasında bu sınır değer aşılmadığında ya da zemin, emniyetli taşıma gücü değerinde yüklendiği takdirde zeminde taşıma gücü problemi ile karşılaşılmamaktadır (Aydın 2019).

Bu bölümde, proje alanında taşıma gücü analizi yapılırken kullanılan denklem ve verilere yer verilmiştir.

3.4.2.1 Drenajsız kayma mukavemetinin bulunması

Drenajsız kayma mukavemeti (c_u), Stroud ve Butler (1975) tarafından katı–sert killer için tanımlanan, plastisite indeksi (PI) ile ilişkili Şekil 3.20 ve denklem (20) kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.20 Plastisite indeksi ve drenajsız kayma mukavemeti ilişkisi (Stroud, 1975)

$$c_u = f_1 \, N \qquad (20)$$

f_1 : Zemin plastisite indeksine bağlı katsayı (kN/m^2)

3.4.2.2 Zemin nihai taşıma gücü ve emniyetli taşıma gücü değerlerinin bulunması

Ön bir yaklaşım yapılarak, Skempton (1951) tarafından önerilen şekil üzerinden alınan denklem 21 (Craig 2004) ile nihai taşıma gücü (q_f) bulunmuştur. Emniyetli taşıma gücü (q_s) ise q_f'nün, güvenlik katsayısına (GS) bölünmesiyle yani denklem 22 (Uzuner ve Özmen 1991) üzerinden bulunmuştur.

$$q_f = 5{,}14 \, c_u \qquad (21)$$

q_f : Zemin nihai taşıma gücü (kN/m^2)

$$q_s = q_f/GS \quad (22)$$

q_s : Zemin emniyetli taşıma gücü (kN/m^2)

GS: Güvenlik katsayısı

GS, çeşitli faktörlere bağlı olarak 2 ile 5 aralığında seçilir. Olası durumlarda 3 alınması tercih edilir (Uzuner ve Özmen 1991).

4. BULGULAR

Bu bölümde, bir önceki bölümde bahsedilen yöntem ve materyallerin kullanılması sonucu, proje alanında zemin ile ilgili elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

4.1 Proje Alanının Zemin Profili

Proje alanında açılan sondaj kuyularından ve laboratuvarda yapılan deneylerden elde edilen verilere göre SK- 1, SK- 2 ve SK- 3 No'lu sondaj kuyularına ait zemin profili aşağıda verilmiştir;

- SK- 1 No'lu sondaj kuyusunun açıldığı zeminde 0,00–0,30 metre arası bitkisel toprak, 0,30–15,45 metre arası nadiren çakıllı, kumlu, siltli kil ve 15,45–25,00 metre arası kiltaşı, silttaşı birimleri gözlenmiştir.
- SK- 2 No'lu sondaj kuyusunun açıldığı zeminde 0,00–0,30 metre arası bitkisel toprak, 0,30–12,00 metre arası az çakıllı, kumlu, siltli kil ve 12,00–25,00 metre arası killi kireçtaşı birimleri gözlenmiştir.
- SK- 3 No'lu sondaj kuyusunun açıldığı zeminde 0,00–1,50 metre arası yapay dolgu; siltli, killi, kumlu çakıl, 1,50–10,00 metre arası az çakıllı, kumlu, siltli kil ve 10,00–19,81 metre arası az kumlu, siltli kil birimleri gözlenmiştir.

4.2 Proje Alanının Yer Altı Su Seviyesi

Proje alanında açılan sondaj kuyularında; SK- 1 No'lu sondaj kuyusunda 6. m'de, SK- 2 No'lu sondaj kuyusunda 4. m'de ve SK- 3 No'lu sondaj kuyusunda 7. m'de yer altı su seviyesiyle karşılaşılmıştır. Proje alanında, oturma analizi yapılırken matematiksel hesapları kolaylaştırmak adına, yer altı su seviyeleri yüzeyde kabul edilmiştir.

4.3 Proje Alanında Doğal Birim Hacim Ağırlık

Proje alanından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan deneylerde; çakıllı, kumlu, siltli kil zeminlerde doğal birim hacim ağırlık (γ_n) değişkenlik

göstermekte olduğu için ortalama 17,50 kN/m^3 olarak hesaplanmıştır. Güvenlikli olarak, bu zeminlerde konsolidasyon oturması hesaplanırken γ_n = 18 kN/m^3 olarak kabul edilmiştir. Yer altı su seviyesi yüzeyde kabul edildiği için γ_n, γ_s'a eşittir. Dolgu yükleme zeminde, γ_n = 20 kN/m^3 olarak kabul edilmiştir.

γ_n : Doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3)

4.4 Proje Alanında Atterberg Limit Testi

Proje alanından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan atterberg limit testleri sonucu, SK- 1 No'lu sondaj kuyusunda yüzeyden 1,50 metre derinlik için plastisite indeksi (PI) %30, SK- 2 No'lu sondaj kuyusunda yüzeyden 1,50 metre derinlik için plastisite indeksi (PI) %34 ve SK- 3 No'lu sondaj kuyusunda yüzeyden 1,50 metre derinlik için plastisite indeksi (PI) %45 olarak belirlenmiştir.

4.5 Proje Alanının SPT Değerleri

Proje alanında, SPT değerlerinin hesaplanmasında 3.1.2.2 başlığı altındaki 1 No'lu denklem kullanılmıştır. Denklem içerisindeki değişkenler, proje verilerine göre materyal ve yöntem başlığı altında bulunan Çizelge 3.2'den alınmıştır. SK- 1 No'lu sondaj kuyusu için, 1,50–1,95 metre arası SPT- 1 N değerinin hesaplanması ve düzeltilmesi işlemleri örnek olarak bu bölümde yapılmıştır. Diğer hesaplanmış SPT N değerleri ve düzeltilmiş değerleri direkt olarak Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'de sunulmuştur.

SK- 1, SPT- 1 (1,50–1,95 metre arası) için;

- $N_{1,60} = N \times C_E \times C_N \times C_B \times C_S \times C_R$
- $N = N_2 + N_3 = 4 + 4 = 8$'dir.
- SPT'nde otomatik tokmak kullanılmıştır. Bu yüzden C_E = 1,00 alınmıştır.
- C_N, kohezyonlu zeminlerde uygulanmamaktadır. Bu yüzden C_N = 1,00 alınmıştır.
- Sondaj kuyu çapı 63,5 mm'dir (≈ 65 mm). Bu yüzden C_B = 1,00 alınmıştır.

- SPT sırasında numune alıcı olarak standart numune alıcı (iç tüplü) kullanılmıştır. Bu yüzden C_S = 1,00 alınmıştır.
- SPT yüzeyden 1,50–1,95 metre arası derinlikte gerçekleştirildiği için tij boyu 3 metreden küçük seçilmiştir. Bu yüzden C_R = 0,75 alınmıştır.
- N_{60} = 8 x 1 x 1 x 1 x 1 x 0,75 = 6'dır.
- Kohezyonlu zeminlerde C_N uygulanmadığı için $N_{1,60}$ değeri, N_{60} olarak ifade edilmiştir.
- Yer altı su seviyesi 6. metrede olduğu için, ilk 6 metre derinlikte σ'_{vi} değeri, σ_{vi} değerine eşittir.
- $\sigma_{vi} = z\,\gamma_s = (1,50+1,95)/2 \times 17,5 = 30,19\ kN/m^2$'dir.

Çizelge 4.1 SK- 1 No'lu sondaj kuyusunun SPT düzeltmesi

SK- 1 NO'LU SONDAJ KUYUSU										
Derinlik (m)	**Zemin Sınıfı**	**N**	**σ'_{vi} (kN/m^2)**	**C_N**	**C_E**	**C_B**	**C_R**	**C_S**	**N_{60}**	**$N_{1,60}$**
1,50–1,95	CH	8	30,19	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	6	-
3,50–3,95	CH	12	65,19	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	10	-
4,50–4,95	CH	10	82,69	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	9	-
6,50–6,95	CH	6	112,40	0,94	1,00	1,00	0,95	1,00	6	-
7,50–7,95	CH	9	122,60	0,90	1,00	1,00	0,95	1,00	9	-
9,50–9,95	CH	13	143,00	0,84	1,00	1,00	0,95	1,00	12	-
10,50–10,95	CH	18	153,20	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00	18	-
12,50–12,95	CH	21	173,60	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	21	-
13,50–13,95	CH	24	183,80	0,74	1,00	1,00	1,00	1,00	24	-
15,00–15,45	SM	30	232,55	0,66	1,00	1,00	1,00	1,00	-	20

(CH: Yüksek Plastisiteli Kil, SM: Siltli Kum)

Çizelge 4.2 SK- 2 No'lu sondaj kuyusunun SPT düzeltmesi

SK- 2 NO'LU SONDAJ KUYUSU										
Derinlik (m)	**Zemin Sınıfı**	**N**	**σ'_{vi} (kN/m^2)**	**C_N**	**C_E**	**C_B**	**C_R**	**C_S**	**N_{60}**	**$N_{1,60}$**
1,50–1,95	CH	12	30,19	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	9	-
3,30–3,75	CH	9	61,69	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	7	-
4,50–4,95	CH	25	77,40	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	21	-
6,50–6,95	CH	33	97,80	1,00	1,00	1,00	0,95	1,00	31	-
7,50–7,95	CH	60	108,00	0,96	1,00	1,00	0,95	1,00	57	-
9,00–9,42	CH	R	123,14	0,90	1,00	1,00	0,95	1,00	>50	-
10,50–10,92	CH	R	138,44	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	>50	-

Çizelge 4.3 SK- 3 No'lu sondaj kuyusunun SPT düzeltmesi

SK- 3 NO'LU SONDAJ KUYUSU										
Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	N	σ'_{vi} (kN/m^2)	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	N_{60}	$N_{1,60}$
1,50–1,95	CH	8	30,19	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	6	-
3,50–3,95	GC	10	65,19	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	8	-
4,50–4,95	CH	18	82,69	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	15	-
6,50–6,95	CH	18	117,69	0,92	1,00	1,00	0,95	1,00	17	-
7,50–7,95	CH	16	129,90	0,88	1,00	1,00	0,95	1,00	15	-
9,00–9,45	CH	25	145,20	0,83	1,00	1,00	0,95	1,00	24	-
10,50–10,95	CH	30	160,50	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00	30	-
12,00–12,45	CH	32	175,80	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	32	-
13,50–13,95	CH	28	191,10	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	28	-
15,00–15,45	CH	28	206,40	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	28	-
16,50–16,95	CH	38	221,70	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	38	-
18,00–18,45	CH	55	237,00	0,65	1,00	1,00	1,00	1,00	55	-
19,50–19,82	CH	R	251,63	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00	>50	-

(GC: Killi Çakıl)

4.6 Proje Alanında Sıvılaşma Potansiyeli

Proje alanında, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde 3.1.2.3 başlığı altındaki denklemler kullanılmıştır. SK- 1 No'lu sondaj kuyusu için, 1,50–1,95 metre arası zeminde sıvılaşma potansiyelini belirleme işlemleri örnek olarak bu bölümde yapılmıştır. Diğer zemin tabakalarında sıvılaşma potansiyelinin belirlendiği çizelge Ek 3'te verilmiştir.

SK- 1, SPT- 1 (1,50–1,95 metre arası) için;

- $MSF = 10^{2,24}/M_w^{2,56} = 10^{2,24}/6^{2,56} = 1,77$' dir.
- h_2, 9,15 metreden küçük olduğu için $r_d = 1,0 - (0,00765 \times 1,95) = 0,985 \approx 0,99$'dur.
- $CSR = 0,65 \times 0,30 \times 1 \times 0,99 = 0,193 \approx 0,19$'dur.
- FC, %35'den büyük olduğu için $\alpha = 5,0$ ve $\beta = 1,2$ alınmıştır.
- $N_{1,60f} = 5 + (1,2 \times 6) = 12,2$'dir.
- $CRR_{7,5} = (1/(34 - 12,2)) + (12,2/135) + (50/((10 \times 12,2) + 45)^2) - (1/200) \approx 0,13$'tür.
- $FS = (0,13/0,19) \times 1,77 = 1,21$'dir.

- FS = 1,21 > 1 olduğu için incelenen zemin tabakasında sıvılaşma beklenmemektedir.

4.7 Proje Alanında Oturma Analizi

Proje alanında, zeminde oturma miktarını belirleyebilmek için 3.4.1 başlığı altındaki denklemler kullanılmıştır. SK- 1 No'lu sondaj kuyusunun açıldığı zemin için, 13,70 metre kalınlığındaki siltli kil zemin tabakasında meydana gelecek oturma miktarı ve tamamlanma süresini hesaplama işlemleri örnek olarak bu bölümde yapılmıştır.

SK- 1, 13,70 metre kalınlığındaki siltli kil zemin tabakası için;

- q_{net} = (1273 x 2)/1000 = 2,55 kg/cm^2'dir
- I = 0,500 için; q_{net} = 2,55 kg/cm^2 ise, I = 0,471 için; q_{net} = 2,40 kg/cm^2'dir.

Konsolidasyon oturmasının gerçekleşme süresini bulabilmek adına mevcut oturmanın yaklaşık olarak %77'sinin gerçekleştiği kabul edilmiş ve toplam oturmanın %77'sinin (U) gerçekleşme süresi bu sayede bulunmuştur.

- U değeri, %60'dan büyük olduğu için T_v = (– 0,933 log (1 – 0,77)) – 0,085 = 0,51'dir.

- 0,51 = (0,027 x t)/685^2 ; t = 8863139 dakika ≈ 205 ay'dır (%77'lik oturma süresi).
- S_c = 0,019 x 2,40 x 1370 = 62,47 cm'dir.
- S = S_c k = 62,47 x 0,70 = 43,73 cm'dir (Toplam oturma).

SK- 1, 13,70 metre kalınlığındaki siltli kil zemin tabakasında yapılan oturma hesaplamasına yönelik detaylar Ek 4'te verilmiştir.

4.8 Proje Alanında Taşıma Gücü Analizi

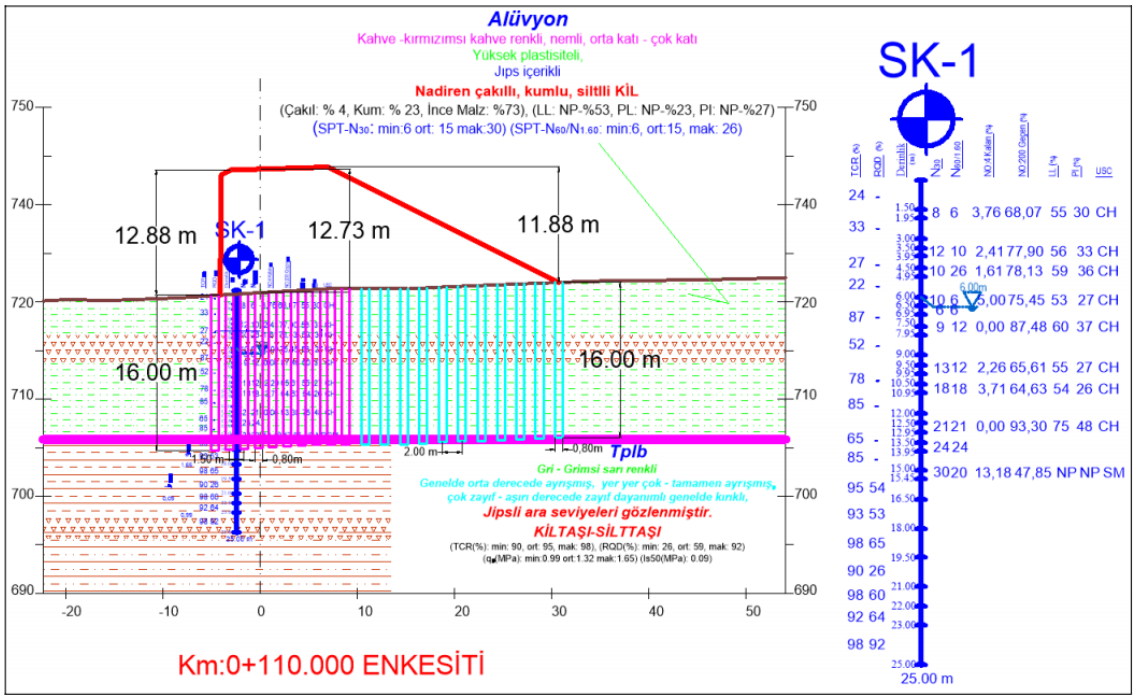
Proje alanında, zeminin taşıma gücü analizi yapılırken 3.4.2 başlığı altındaki denklemler kullanılmıştır. SK- 1 No'lu sondaj kuyusunun açıldığı zeminde; 12,73 metrelik yol dolgu yüklemesi N değeri 8 ve PI = %30 olan siltli kil birimine oturmaktadır.

- Şekil 3.20' ye göre; PI = %30 için f_1 = 4,2'dir.
- c_u = 4,2 x 8 = 33,6 kN/m^2'dir.
- q_f = 5,14 x 33,6 = 172,70 kN/m^2'dir.
- GS = 3 için, q_s = 172,70/3 = 57,57 kN/m^2'dir.

12,73 metrelik yol dolgusu yüklemesinden tabana gelecek en büyük gerilme değeri;

- q = 12,73 m x 20 kN/m^3 = 254,6 kN/m^2'dir.

Yol dolgu tabanının emniyetli son taşıma gücü değeri (57,57 kN/m^2), yol dolgusundan aktarılacak gerilme değerinden (254,6 kN/m^2) küçük olduğu için, SK- 1 No'lu sondaj kuyusunun açıldığı zeminde taşıma gücü problemi beklenmektedir.



Şekil 4.1 SK- 1 No'lu sondaj kuyusu açılan zeminde en kesit

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

- İlgili proje alanı için toplam derinliği 69,82 m olan, 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyularında yapılan ölçümlerde, en sığ 4,00 m, en derin ise 7,00 m derinliğinde yeraltı suyuna rastlanılmıştır.
- Üç sondaj kuyusundan alınan numuneler doğrultusunda SPT değerlerinin irdelenmesi sonucu, inceleme alanında; zemin için çoğunlukla ince taneli – orta katı, katı, çok katı siltli kil ve nadiren iri taneli – orta sıkı siltli kum tanımlamalarında bulunulmuştur.
- Proje alanı ve çevresinde üst seviyelerde Kuvaterner yaşlı Alüvyon (Qal) birimleri yüzeylenmiş olup, alt seviyelerde Üst Pliyosen yaşlı Ilgaz formasyonu (Tplı) ve bu formasyona ait rezidüel zemin birimleri mevcuttur.
- Proje alanı, Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır.
- Dolgu tabanlarındaki mevcut durumda, oturma ve taşıma gücü problemleri beklenmektedir. Bu unsur dikkate alınarak, dolgu tabanlarının zayıf zemin olarak değerlendirilmesi uygun görülmüştür.
- Günümüzde farklı zemin iyileştirme yöntemleri olmakla birlikte; mevcut zeminin kazılarak yerine kaya/granüler dolgu yapılmasının hedeflenen iyileştirme kalınlığı için yetersiz olacağı, yapay (bant) dren uygulamasında dolgu yapımından sonraki süreçte bekleme zorunluluğu doğması gibi unsurlar dikkate alındığında, etkin bir iyileştirme yöntemi olmayacağı düşünülmüştür.
- Proje alanında zayıf zemin iyileştirmesi olarak derin karıştırma kolonu uygulaması önerilmiş ve yaklaşık 16 metre derinlikte, 0,80 metre çapında ve 1,30 metre aralıklarla derin karıştırma kolonları uygulandıktan sonra zeminde taşıma gücü problemi giderilmiştir.
- Proje alanında, derin karıştırma kolon ucu, sert kil birimine saplanacağından, birim hücreden taşıdığı yol dolgu yükünü bu birime aktaracaktır. Sonuç olarak bu birime aktarılacak dolgu yük kabulü için oturma kaynaklı bir problem beklenmeyecektir.
- Proje alanında, tarafımdan yapılan gözlemler neticesinde istinat duvarının çökme problemi ile de karşılaşılmıştır. İstinat duvarının çökme nedeninin, duvarın ön tarafındaki çalışmadan dolayı buradaki pasif toprak basıncının artması olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abbasoğulları, G. 2019. Köprülü kavşaklarda zemin iyileştirme ve iksa uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 82 sayfa, Kocaeli.

Akşanlı, S. 2018. Demokrasi köprülü kavşak projesi (Yenişehir/MERSİN) yapımında karşılaşılan zemin problemleri ve çözüm önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Toros Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 51 sayfa, Mersin.

Al, N. 2018. Zemin iyileştirme teknikleri: Bir uygulama örneği. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 137 sayfa, Eskişehir.

Aydın, M. 2019. Derin karıştırma yöntemi ile zemin iyileştirilmesi üzerine bir vaka analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 135 sayfa, Trabzon.

Boussinesq, M.J. 1885. Application des Potentiels a L'etude de L'equilbre et du Movement des Solids Elastiques. GauthierVillars, 722 p., Paris.

Brown, W.D. 1992. Engineering and Design Bearing Capacity of Soils, Department of The Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, U.S.A.

Craig, R.F. 2004. Craig's Soil Mechanics. Spon Press, 448 p., London and New York.

Çakır, N.G. 2019. Derin Karıştırma Yöntemi ve Farklı Analiz Tekniklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 120 sayfa, Ankara.

Emersleben, A. ve Meyer, N. 2008. Bearing Capacity Improvement of Gravel Base Layers in Road Construction Using Geocells. ACMAG, 3538-3545.

Erol, A.O. ve Çekinmez, Z. 2014. Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri. Yüksel Proje Yayınları, 278 sayfa, Ankara.

Esmaeilli, M., Khajehei, H. and Astaraki, F. 2017. International Journal of Railway Research, 4(2), pp. 33-39, ISSN: 2361-5376.

Holtz, R.B. ve Kovacs, W.D. 2010. Geoteknik Mühendisliğine Giriş. (Çeviri: K. Kayabalı). Gazi Kitabevi, 636 sayfa, Ankara.

Kaptan, E.C. 2020. Derin Karıştırma Yönteminde Elastisite Modülü ve Serbest Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 95 sayfa, İstanbul.

Kılıç, H.O. 2013. Derin Karıştırma Yöntemi Tasarım ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 66 sayfa, Eskişehir.

Liao, S. and Whitman, R. V. 1986. Overburden correction factors for SPT in sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112(3), pp. 373-377.

Limit Teknik Araştırma, Proje, Uygulama, Müşavirlik Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2018. Ankara-Çankırı Yolu, Yapraklı Kavşağı Geoteknik Proje Raporu. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü, 115 sayfa, Ankara.

Onur, M.İ., Tuncan, M., Kılıç, H.O. ve Tuncan, A. 2016. Yeni Bir Derin Zemin Karıştırma Sistemi Tasarımı ve Arazi Uygulamaları. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(3); 194-205.

Özaydın, K. 2007. Zeminlerde Sıvılaşma. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İnşaat Mühendisleri Odası, 231-255 s., İstanbul.

Özaydın, K. 2016. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, 327 sayfa, İstanbul.

Özen, G. 2018. Yapılarda uygulanan zemin iyileştirme ve geoteknik çalışmaların değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 249 sayfa, İstanbul.

Sarsılmaz, O.M. 2017. Zemin İyileştirme Yöntemlerinin Sınıflandırılması, İncelenmesi, Değerlendirilmesi ve Anılan Yöntemlerin Seçilme Kriterleri Üzerine Kapsamlı Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 299 sayfa, İzmir.

Seed, H.B. and Idriss, I.M. 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, 97(9), pp. 1249-1273.

Skempton, A.W. 1951. The bearing capacity of clays. Proceedings, Building Research Congress, 180 p., London.

Stroud, M.A. and Butler, F.G. 1975. The standard penetration test and the engineering properties of glacial materials. Proceedings of the Symposium on the engineering behaviour of glacial materials, University of Birmingham, pp 117-128, United Kingdom.

Şengül, E. 2010. Yüksek Su Muhtevalı Killi Yol Taban Zemininin Kireç Stabilizasyonu ve Hücresel Dolgu Sistemiyle İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100 sayfa, Trabzon.

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. 2016. Zemin Etüdü El Kitabı. Eftal Ajans & Matbaa, 176 sayfa, Ankara.

Uzuner, B.A. ve Özmen, F. 1991. Zemin Emin Taşıma Gücünün Belirlenmesi. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sempozyumu, İnşaat Mühendisleri Odası, 167-182 s., İzmir.

Uzuner, B.A. 2016. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, 409 sayfa, Trabzon.

Yıldırım, S. 2009. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı. Birsen Yayınevi, 472 sayfa, İstanbul.

Youd, T.L. and Noble, S.K. 1997. Liquefaction Criteria Based on Statistical and Probabilistic Analysis. Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Tecnical Report NCEER-97-0022, Youd, T.L. and Idriss, I.M. (eds), National Center for Earthquake Engineering Research. State University of New York at Buffalo, pp. 201-215, Buffalo, NY.

Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., and Stokoe, K.H. 2001. Liquefaction Resistance of Soils. Summary Report from the NCEER and NSF Workshops, Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering, 127(10): pp. 817-833.

EKLER

EK 1. Sondaj Logları

EK 2. SPT Sonuçlarının Değerlendirildiği Çizelge

EK 3. Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlendiği Çizelge

EK 4. SK- 1 No'lu Sondaj Kuyusunun Açıldığı Zeminde Oturma Analizi Detayları

EK 1. Sondaj Logları

SONDAJ LOGU / BORING LOG

Proje İsmi / *Project Name*	ÇANKIRI ÇEVREYOLU				Kuyu No / *BH No*	SK- 1	
Yeri / *Location*	Dolgu - Menfez				Sayfa / *Sheet*	1 / 2	
Kot / *Ground Elevation* (m)		Tarih Date	Derinlik Depth (m)	YAS Der. GW depth (m)	Açıklama Remarks	Başlangıç Tarihi / *Start Date*	31.03.2018
Koordinatlar / *Coordinates (m)* N						Bitiş Tarihi / *Finish Date*	1.04.2018
E		1.04.18		6,00	-	Sondaj Yöntemi / *Drill Method*	ROTARY SULU
İstasyon / *Station* (KM)					-	Sondaj Makinası / *Drill Rig*	TSM-750
Sapma / *Offset* (m)					-	Kuyu Derinliği / *BH Depth (m)*	25,00

Kuyu Derinliği *BH Depth* m	Örnek No *Sample No*	Örnek Derinliği *Sample Depth* m	Örnek Türü *Sample Type*	Matkap Tipi/Çapı *Bit Type/Diameter* mm	Muhafaza Borusu *Casing* mm	Standart Penetrasyon Deneyi *Standard Penetration Test* (SPT) Darbe Sayısı *# of Blows* 15 30 45	N_{30} Grafiği *Graph of N_{30}* 10 20 30 40 50	Profili *Symbol*	Jeoteknik Tanımlama *Geotechnical Description*	Karot Çapı *Core Diameter* mm	Örnek Yüzdesi *Core Recovery* %	Kaya Kalitesi *RQD* %	Kırıklar *Fractures* #-m	Ayrışma *Weathering*	Dayanım *Strength*	Yerinde Deneyler *In-situ Tests*
0								Ψ Ψ Ψ	BİTKİSEL TOPRAK 0.30 m.							
-1	1		RC								24	-				
		1,50														
	1		SPT			3 4 4	+8									
-2		1,95														
	2		RC								33	-				
-3		3,00														
	1		UD													
		3,50														
	2		SPT			4 5 7	+12									
-4		3,95														
	3		RC								27	-				
		4,50														
	3		SPT			3 4 6	+10		Kahve - kırmızımsı kahverenkli,							
-5		4,95							orta katı - çok katı,							
	4		RC	HQWL-96					**nadiren çakıllı, kumlu, siltli KİL;**	63,5	22	-				
									yüksek plastisiteli,							
-6		6,00							nemli,							
	2		UD						jips içerikli.							
		6,50														
	4		SPT			3 3 3	+6									
-7		6,95														
	5		RC								87	-				
		7,50														
	5		SPT			4 5 4	+9									
-8		7,95														
	6		RC								52	-				
-9		9,00														
	3		UD													
		9,50														
	6		SPT			4 6 7	+13									
-10		9,95														
	7		RC								78	-				
		10,50														
	7		SPT			5 7 11	+18									
		10,95														

ZEMİN - KAYA DEĞERLENDİRMESİ / *SOIL - ROCK EVALUATION*

İNCE DANELİ / FINE GRAINED

N_{30} : 0 - 2	Çok yumuşak	/ *Very soft*
N_{30} : 3 - 4	Yumuşak	/ *Soft*
N_{30} : 5 - 8	Orta Katı	/ *M. Stiff*
N_{30} : 9 - 15	Katı	/ *Stiff*
N_{30} : 16 - 30	Çok Katı	/ *Very Stiff*
N_{30} : >30	Sert	/ *Hard*

İRİ DANELİ / *COARSE GRAINED*

N_{30} : 0 - 4	Çok Gevşek	/ *Very Loose*
N_{30} : 5 - 10	Gevşek	/ *Loose*
N_{30} : 11 - 30	Orta Sıkı	/ *M. Dense*
N_{30} : 31 - 50	Sıkı	/ *Dense*
N_{30} : >50	Çok Sıkı	/ *Very Dense*

KAYA KALİTESİ / *RQD*

0 - 25 %	Çok Zayıf	/ *Very Poor*
25 - 50 %	Zayıf	/ *Poor*
50 - 75 %	Orta	/ *Fair*
75 - 90 %	İyi	/ *Good*
90 - 100 %	Çok İyi	/ *Excellent*

ÇATLAKLAR / *CRACKS* (# m)

< 1	Masif	/ *Massive*
2 - 3	Az çatlaklı-kırıklı	/ *S.cracked-frac.*
4 - 10	Kırıklı	/ *Fractured*
11 - 50	Çok çatlaklı-kırıklı	/ *H.cracked-frac.*
> 50	Parçalanmış	/ *Crushed*

AYRIŞMA / *WEATHERING*

W1	Taze	*Fresh*
W2	Az Ayrışmış	*Slightly Weathered*
W3	Orta Derecede Ayrışmış	*Moderately Weat.*
W4	Çok Ayrışmış	*Highly Weathered*
W5	Tamamen Ayrışmış	*Completely Weat.*
W6	Rezidüel Zemin (Toprak)	*Residual Soil*

DAYANIM / *STRENGTH*

R0	Aşırı Derecede Zayıf Kayaç	*Ext. Weak Rock*	q_u = 0.25 - 1.0 MPa
R1	Çok Zayıf Kayaç	*Very Weak Rock*	q_u = 1.0 - 5.0 MPa
R2	Zayıf Kayaç	*Weak Rock*	q_u = 5.0 - 25 MPa
R3	Orta Derecede Sağlam Kayaç	*Medium Strong Rock*	q_u = 25 - 50 MPa
R4	Sağlam Kayaç	*Strong Rock*	q_u = 50 - 100 MPa
R5	Çok Sağlam Kayaç	*Very strong Rock*	q_u = 100 - 250 MPa
R6	Aşırı Derecede Sağlam Kayaç	*Ext.Strong Rock*	q_u = > 250 MPa

KISALTMALAR / *ABBREVIATIONS*

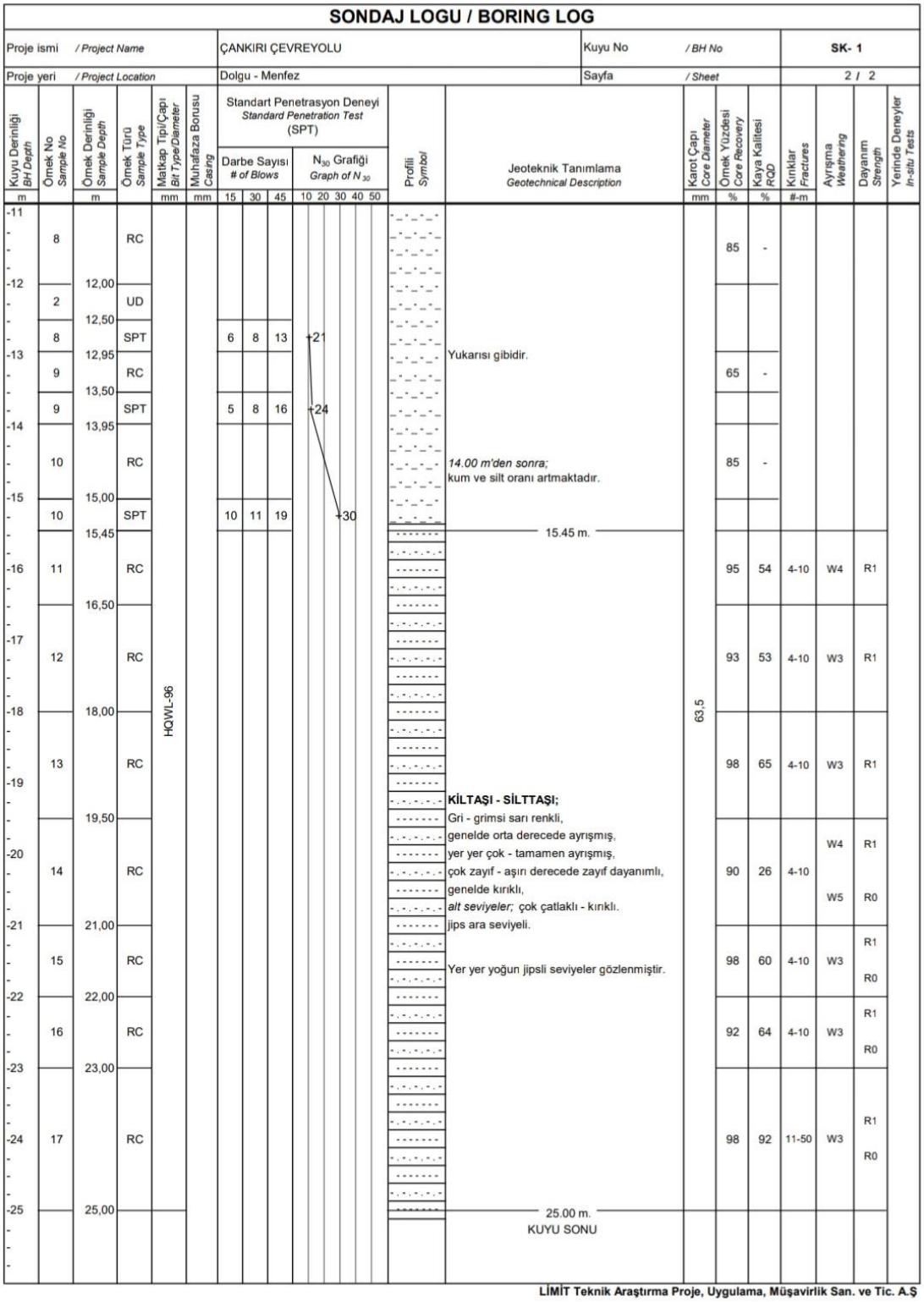
UD : Şelbi Tüp	/ *Shelby Tube*
RC : Karot Numune	/ *Core Sample*
SPT : St. Penetrasyon Den.	/ *St. Penetration Test*
PD : Paker Deneyi	/ *Packer Test*
GD : Geçirgenlik Deneyi	/ *Permeability Test*
Pr : Presiyometre Den.	/ *Pressuremeter Test*

NOTLAR / *REMARKS*

Sondör / *Driller*	Şaban YÜCEL	**Mühendis / *Engineer***	Yasin MACİT

LİMİT Teknik Araştırma Proje, Uygulama, Müşavirlik San. ve Tic. A.Ş

EK 1.'in devamı



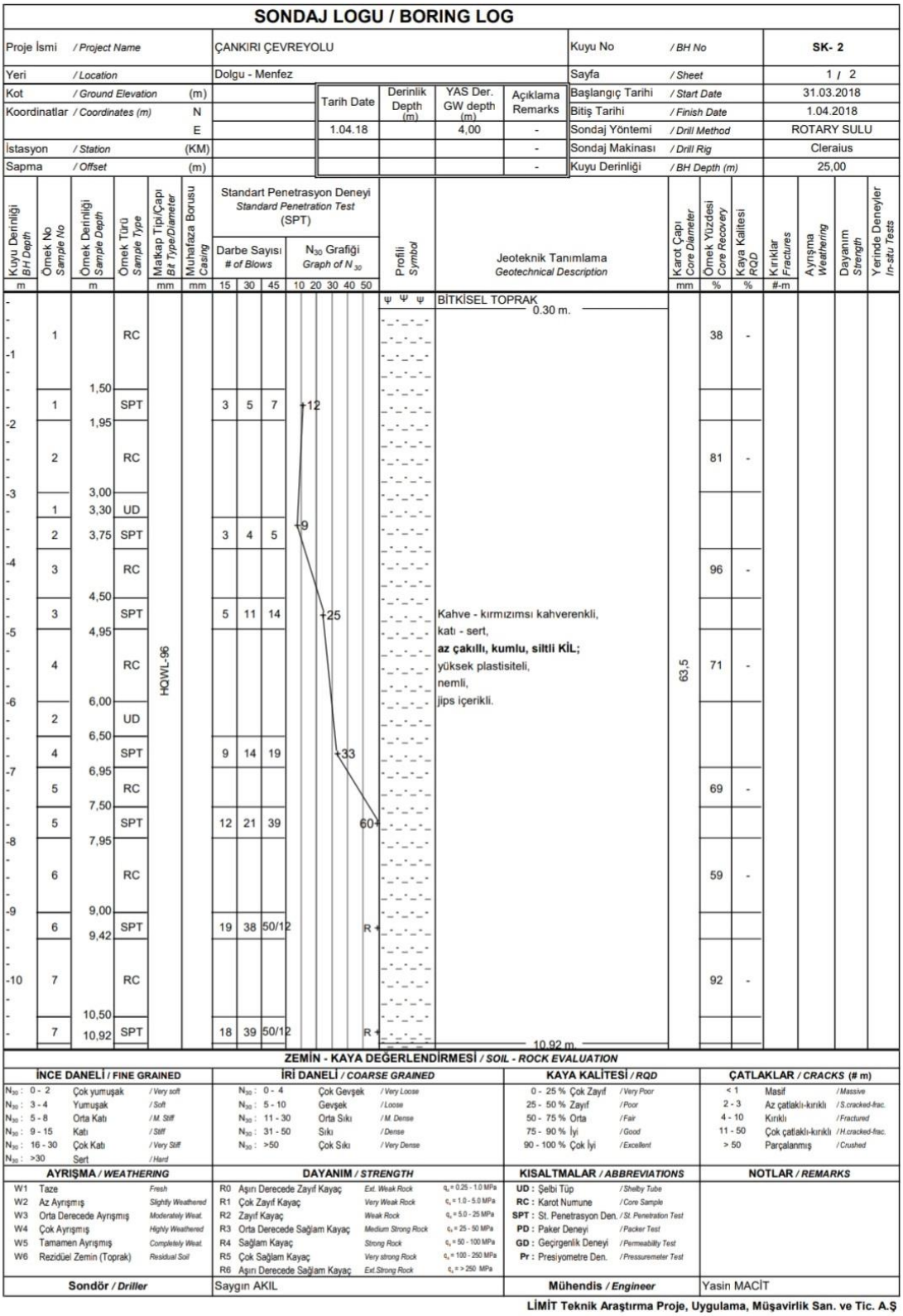
SONDAJ LOGU / BORING LOG

Proje ismi / *Project Name*	ÇANKIRI ÇEVREYOLU	Kuyu No / *BH No*	**SK- 1**
Proje yeri / *Project Location*	Dolgu - Menfez	Sayfa / *Sheet*	2 / 2

Kuyu Derinliği *BH Depth* (m)	Örnek No *Sample No*	Örnek Derinliği *Sample Depth* (m)	Örnek Türü *Sample Type*	Matkap Tipi/Çapı *Bit Type/Diameter* (mm)	Muhafaza Borusu *Casing* (mm)	Standart Penetrasyon Deneyi *Standard Penetration Test* (SPT) — Darbe Sayısı *# of Blows* 15	30	45	N_{30} Grafiği *Graph of N_{30}* 10 20 30 40 50	Profili *Symbol*	Jeoteknik Tanımlama *Geotechnical Description*	Karot Çapı *Core Diameter* (mm)	Örnek Yüzdesi *Core Recovery* (%)	Kaya Kalitesi *RQD* (%)	Kırıklar *Fractures* (#-m)	Ayrışma *Weathering*	Dayanım *Strength*	Yerinde Deneyler *In-situ Tests*
-11																		
	8		RC										85	-				
-12		12,00																
	2		UD															
		12,50																
	8		SPT			6	8	13	+21									
-13		12,95									Yukarısı gibidir.							
	9		RC										65	-				
		13,50																
	9		SPT			5	8	16	+24									
-14		13,95																
	10		RC								*14.00 m'den sonra;* kum ve silt oranı artmaktadır.		85	-				
-15		15,00																
	10		SPT			10	11	19	+30									
		15,45									15.45 m.							
-16	11		RC										95	54	4-10	W4	R1	
		16,50																
-17	12		RC										93	53	4-10	W3	R1	
-18		18,00			HQWL-96							63,5						
	13		RC										98	65	4-10	W3	R1	
-19											**KİLTAŞI - SİLTTAŞI;**							
		19,50									Gri - grimsi sarı renkli,					W4	R1	
-20	14		RC								genelde orta derecede ayrışmış, yer yer çok - tamamen ayrışmış, çok zayıf - aşırı derecede zayıf dayanımlı, genelde kırıklı, *alt seviyeler;* çok çatlaklı - kırıklı. jips ara seviyeli.		90	26	4-10	W5	R0	
-21		21,00																
	15		RC								Yer yer yoğun jipsli seviyeler gözlenmiştir.		98	60	4-10	W3	R1 R0	
-22		22,00																
	16		RC										92	64	4-10	W3	R1 R0	
-23		23,00																
	17		RC										98	92	11-50	W3	R1 R0	
-24																		
-25		25,00									25.00 m. KUYU SONU							

LİMİT Teknik Araştırma Proje, Uygulama, Müşavirlik San. ve Tic. A.Ş

EK 1.'in devamı



SONDAJ LOGU / BORING LOG

Proje İsmi / *Project Name*	ÇANKIRI ÇEVREYOLU					Kuyu No / *BH No*	SK- 2				
Yeri / *Location*	Dolgu - Menfez					Sayfa / *Sheet*	1 / 2				
Kot / *Ground Elevation* (m)		Tarih Date	Derinlik Depth (m)	YAS Der. GW depth (m)	Açıklama Remarks	Başlangıç Tarihi / *Start Date*	31.03.2018				
Koordinatlar / *Coordinates (m)* N						Bitiş Tarihi / *Finish Date*	1.04.2018				
E		1.04.18		4,00	-	Sondaj Yöntemi / *Drill Method*	ROTARY SULU				
İstasyon / *Station* (KM)					-	Sondaj Makinası / *Drill Rig*	Cleraius				
Sapma / *Offset* (m)					-	Kuyu Derinliği / *BH Depth (m)*	25,00				

Kuyu Derinliği *BH Depth*	Örnek No *Sample No*	Örnek Derinliği *Sample Depth*	Örnek Türü *Sample Type*	Matkap Tipi/Çapı *Bit Type/Diameter*	Muhafaza Borusu *Casing*	Standart Penetrasyon Deneyi *Standard Penetration Test* (SPT) Darbe Sayısı *# of Blows* 15	30	45	N_{30} Grafiği *Graph of N_{30}* 10 20 30 40 50	Profili *Symbol*	Jeoteknik Tanımlama *Geotechnical Description*	Karot Çapı *Core Diameter*	Örnek Yüzdesi *Core Recovery*	Kaya Kalitesi *RQD*	Kırıklar *Fractures*	Ayrışma *Weathering*	Dayanım *Strength*	Yerinde Deneyler *In-situ Tests*
m		m		mm	mm							mm	%	%	#-m			
	1		RC							Ψ Ψ Ψ	BİTKİSEL TOPRAK 0.30 m.		38	-				
-1		1,50																
	1		SPT			3	5	7	+12									
-2		1,95																
	2		RC										81	-				
-3		3,00																
	1	3,30	UD															
	2	3,75	SPT			3	4	5	+9									
-4	3		RC										96	-				
		4,50																
	3		SPT			5	11	14	+25		Kahve - kırmızımsı kahverenkli, katı - sert, **az çakıllı, kumlu, siltli KİL;** yüksek plastisiteli, nemli, jips içerikli.							
-5		4,95																
	4		RC	HQWL-96								63,5	71	-				
-6		6,00																
	2		UD															
		6,50																
	4		SPT			9	14	19	+33									
-7		6,95																
	5		RC										69	-				
		7,50																
	5		SPT			12	21	39	60+									
-8		7,95																
	6		RC										59	-				
-9		9,00																
	6	9,42	SPT			19	38	50/12	R									
-10	7		RC										92	-				
		10,50																
	7	10,92	SPT			18	39	50/12	R		10,92 m.							

ZEMİN - KAYA DEĞERLENDİRMESİ / *SOIL - ROCK EVALUATION*

İNCE DANELİ / FINE GRAINED

N_{30} : 0 - 2	Çok yumuşak	/ *Very soft*
N_{30} : 3 - 4	Yumuşak	/ *Soft*
N_{30} : 5 - 8	Orta Katı	/ *M. Stiff*
N_{30} : 9 - 15	Katı	/ *Stiff*
N_{30} : 16 - 30	Çok Katı	/ *Very Stiff*
N_{30} : >30	Sert	/ *Hard*

İRİ DANELİ / *COARSE GRAINED*

N_{30} : 0 - 4	Çok Gevşek	/ *Very Loose*
N_{30} : 5 - 10	Gevşek	/ *Loose*
N_{30} : 11 - 30	Orta Sıkı	/ *M. Dense*
N_{30} : 31 - 50	Sıkı	/ *Dense*
N_{30} : >50	Çok Sıkı	/ *Very Dense*

KAYA KALİTESİ / *RQD*

0 - 25 %	Çok Zayıf	/ *Very Poor*
25 - 50 %	Zayıf	/ *Poor*
50 - 75 %	Orta	/ *Fair*
75 - 90 %	İyi	/ *Good*
90 - 100 %	Çok İyi	/ *Excellent*

ÇATLAKLAR / *CRACKS* (# m)

< 1	Masif	/ *Massive*
2 - 3	Az çatlaklı-kırıklı	/ *S.cracked-frac.*
4 - 10	Kırıklı	/ *Fractured*
11 - 50	Çok çatlaklı-kırıklı	/ *H.cracked-frac.*
> 50	Parçalanmış	/ *Crushed*

AYRIŞMA / *WEATHERING*

W1	Taze	*Fresh*
W2	Az Ayrışmış	*Slightly Weathered*
W3	Orta Derecede Ayrışmış	*Moderately Weat.*
W4	Çok Ayrışmış	*Highly Weathered*
W5	Tamamen Ayrışmış	*Completely Weat.*
W6	Rezidüel Zemin (Toprak)	*Residual Soil*

DAYANIM / *STRENGTH*

R0	Aşırı Derecede Zayıf Kayaç	*Ext. Weak Rock*	q_u = 0.25 - 1.0 MPa
R1	Çok Zayıf Kayaç	*Very Weak Rock*	q_u = 1.0 - 5.0 MPa
R2	Zayıf Kayaç	*Weak Rock*	q_u = 5.0 - 25 MPa
R3	Orta Derecede Sağlam Kayaç	*Medium Strong Rock*	q_u = 25 - 50 MPa
R4	Sağlam Kayaç	*Strong Rock*	q_u = 50 - 100 MPa
R5	Çok Sağlam Kayaç	*Very strong Rock*	q_u = 100 - 250 MPa
R6	Aşırı Derecede Sağlam Kayaç	*Ext.Strong Rock*	q_u = > 250 MPa

KISALTMALAR / *ABBREVIATIONS*

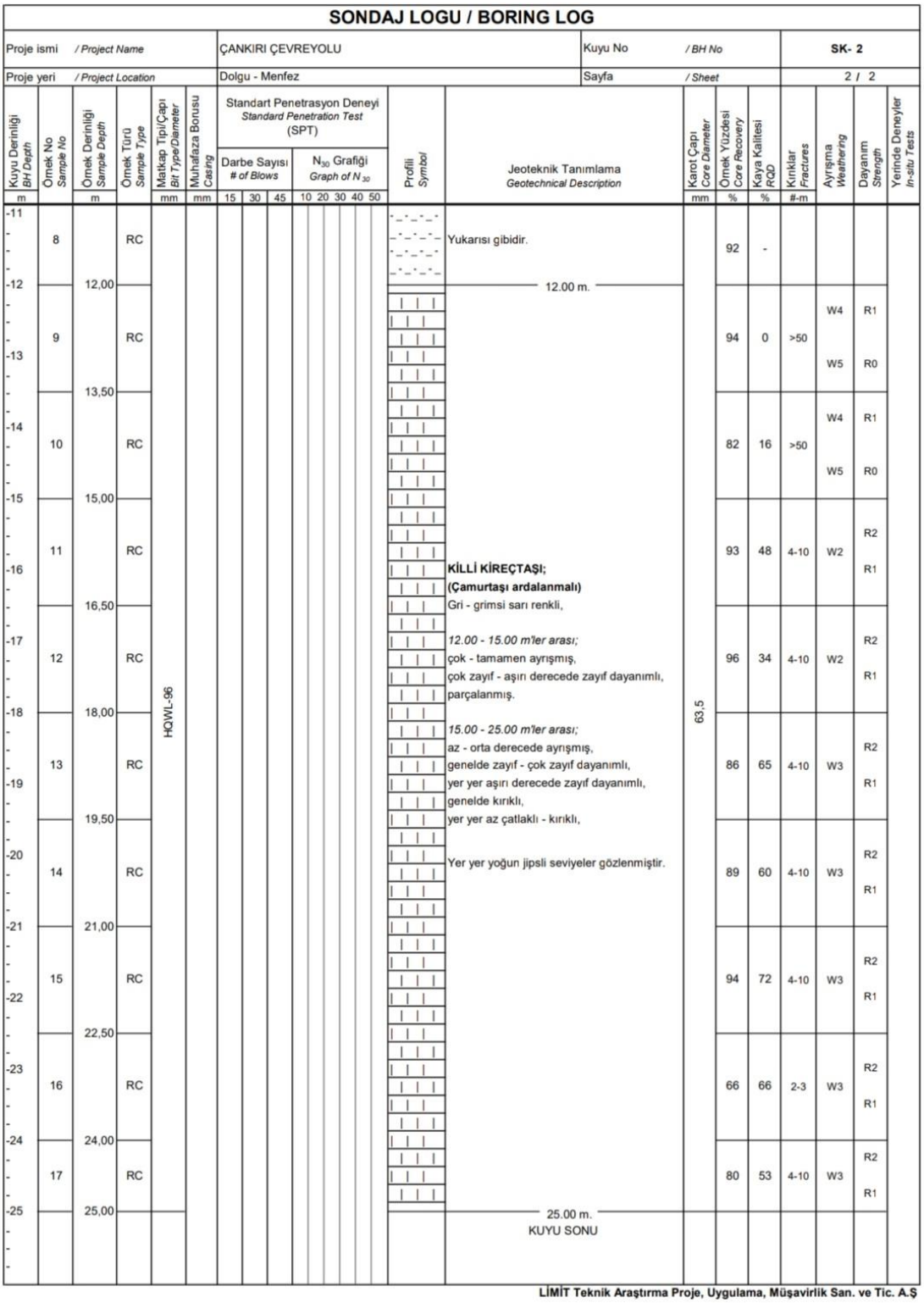
UD :	Şelbi Tüp	/ *Shelby Tube*
RC :	Karot Numune	/ *Core Sample*
SPT :	St. Penetrasyon Den.	/ *St. Penetration Test*
PD :	Paker Deneyi	/ *Packer Test*
GD :	Geçirgenlik Deneyi	/ *Permeability Test*
Pr :	Presiyometre Den.	/ *Pressuremeter Test*

NOTLAR / *REMARKS*

Sondör / *Driller*	Saygın AKIL
Mühendis / *Engineer*	Yasin MACİT

LİMİT Teknik Araştırma Proje, Uygulama, Müşavirlik San. ve Tic. A.Ş

EK 1.'in devamı



SONDAJ LOGU / BORING LOG

Proje ismi / *Project Name*	ÇANKIRI ÇEVREYOLU			Kuyu No / *BH No*	**SK- 2**
Proje yeri / *Project Location*	Dolgu - Menfez			Sayfa / *Sheet*	2 / 2

Kuyu Derinliği *BH Depth* (m)	Örnek No *Sample No*	Örnek Derinliği *Sample Depth* (m)	Örnek Türü *Sample Type*	Matkap Tipi/Çapı *Bit Type/Diameter* (mm)	Muhafaza Borusu *Casing* (mm)	Standart Penetrasyon Deneyi *Standard Penetration Test* (SPT) — Darbe Sayısı *# of Blows* 15 / 30 / 45	N_{30} Grafiği *Graph of N_{30}* 10 20 30 40 50	Profili *Symbol*	Jeoteknik Tanımlama *Geotechnical Description*	Karot Çapı *Core Diameter* (mm)	Örnek Yüzdesi *Core Recovery* (%)	Kaya Kalitesi *RQD* (%)	Kırıklar *Fractures* (#-m)	Ayrışma *Weathering*	Dayanım *Strength*	Yerinde Deneyler *In-situ Tests*
-11																
	8		RC						Yukarısı gibidir.		92	-				
-12		12,00							12.00 m.							
	9		RC								94	0	>50	W4 W5	R1 R0	
-13		13,50														
-14	10		RC								82	16	>50	W4 W5	R1 R0	
-15		15,00														
	11		RC						**KİLLİ KİREÇTAŞI;** **(Çamurtaşı ardalanmalı)** Gri - grimsi sarı renkli,		93	48	4-10	W2	R2 R1	
-16		16,50														
-17	12		RC	HQWL-96					*12.00 - 15.00 m'ler arası;* çok - tamamen ayrışmış, çok zayıf - aşırı derecede zayıf dayanımlı, parçalanmış.	63,5	96	34	4-10	W2	R2 R1	
-18		18,00														
-19	13		RC						*15.00 - 25.00 m'ler arası;* az - orta derecede ayrışmış, genelde zayıf - çok zayıf dayanımlı, yer yer aşırı derecede zayıf dayanımlı, genelde kırıklı, yer yer az çatlaklı - kırıklı,		86	65	4-10	W3	R2 R1	
		19,50														
-20	14		RC						Yer yer yoğun jipsli seviyeler gözlenmiştir.		89	60	4-10	W3	R2 R1	
-21		21,00														
-22	15		RC								94	72	4-10	W3	R2 R1	
		22,50														
-23	16		RC								66	66	2-3	W3	R2 R1	
-24		24,00														
	17		RC								80	53	4-10	W3	R2 R1	
-25		25,00							25.00 m. KUYU SONU							

LİMİT Teknik Araştırma Proje, Uygulama, Müşavirlik San. ve Tic. A.Ş

EK 1.'in devamı

SONDAJ LOGU / BORING LOG

Proje İsmi	/ Project Name	ÇANKIRI ÇEVREYOLU				Kuyu No	/ BH No	SK- 3			
Yeri	/ Location	Dolgu - Menfez				Sayfa	/ Sheet	1 / 2			
Kot	/ Ground Elevation (m)		Tarih Date	Derinlik Depth (m)	YAS Der. GW depth (m)	Açıklama Remarks	Başlangıç Tarihi	/ Start Date	1.04.2018		
Koordinatlar	/ Coordinates (m) N						Bitiş Tarihi	/ Finish Date	2.04.2018		
	E		2.04.18		7,00	-	Sondaj Yöntemi	/ Drill Method	ROTARY SULU		
İstasyon	/ Station (KM)					-	Sondaj Makinası	/ Drill Rig	TSM-750		
Sapma	/ Offset (m)					-	Kuyu Derinliği	/ BH Depth (m)	19,82		

Kuyu Derinliği BH Depth	Örnek No Sample No	Örnek Derinliği Sample Depth	Örnek Türü Sample Type	Matkap Tipi/Çapı Bit Type/Diameter	Muhafaza Borusu Casing	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test (SPT)				Profili Symbol	Jeoteknik Tanımlama Geotechnical Description	Karot Çapı Core Diameter	Örnek Yüzdesi Core Recovery	Kaya Kalitesi RQD	Kırıklar Fractures	Ayrışma Weathering	Dayanım Strength	Yerinde Deneyler In-situ Tests
						Darbe Sayısı # of Blows			N_{30} Grafiği Graph of N_{30}									
m		m		mm	mm	15	30	45	10 20 30 40 50			mm	%	%	#-m			
											YAPAY DOLGU;							
											Muhtelif renklerde,							
	1		RC								orta sıkı,		48	-				
-1											**siltli, killi, kumlu ÇAKIL;**							
											Çakıllar; muhtelif kökenli, köşelidir.							
		1,50									1.50 m.							
	1		SPT			2	3	5	+8									
-2		1,95																
	2		RC										80	-				
-3		3,00																
	1		UD															
		3,50																
	2		SPT			4	5	5	+10									
-4		3,95																
	3		RC										89	-				
		4,50																
	3		SPT			5	9	9	+18									
-5		4,95																
	4		RC	HQWL-96							Kahve - kırmızımsı kahverenkli,	63,5	76	-				
											orta katı - çok katı,							
-6		6,00									**az çakıllı, kumlu, siltli KİL;**							
	2		UD								yüksek plastisiteli,							
		6,50									nemli.							
	4		SPT			4	7	11	+18		jips içerikli.							
-7		6,95									Yer yer çakıl oranı artmaktadır.							
	5		RC										56	-				
		7,50																
	5		SPT			5	7	9	+16									
-8		7,95																
	6		RC										60	-				
-9		9,00																
	6		SPT			8	11	14	+25									
		9,45																
-10	7		RC								10.00 m.		93	-				
															-	W6	-	
		10,50									Tanımlama arka sayfadadır.							
	7		SPT			10	14	16	+30									
		10,95																

ZEMİN - KAYA DEĞERLENDİRMESİ / *SOIL - ROCK EVALUATION*

İNCE DANELİ / FINE GRAINED

N_{30} : 0 - 2	Çok yumuşak	/ Very soft
N_{30} : 3 - 4	Yumuşak	/ Soft
N_{30} : 5 - 8	Orta Katı	/ M. Stiff
N_{30} : 9 - 15	Katı	/ Stiff
N_{30} : 16 - 30	Çok Katı	/ Very Stiff
N_{30} : >30	Sert	/ Hard

İRİ DANELİ / *COARSE GRAINED*

N_{30} : 0 - 4	Çok Gevşek	/ Very Loose
N_{30} : 5 - 10	Gevşek	/ Loose
N_{30} : 11 - 30	Orta Sıkı	/ M. Dense
N_{30} : 31 - 50	Sıkı	/ Dense
N_{30} : >50	Çok Sıkı	/ Very Dense

KAYA KALİTESİ / *RQD*

0 - 25 %	Çok Zayıf	/ Very Poor
25 - 50 %	Zayıf	/ Poor
50 - 75 %	Orta	/ Fair
75 - 90 %	İyi	/ Good
90 - 100 %	Çok İyi	/ Excellent

ÇATLAKLAR / *CRACKS* (# m)

< 1	Masif	/ Massive
2 - 3	Az çatlaklı-kırıklı	/ S.cracked-frac.
4 - 10	Kırıklı	/ Fractured
11 - 50	Çok çatlaklı-kırıklı	/ H.cracked-frac.
> 50	Parçalanmış	/ Crushed

AYRIŞMA / *WEATHERING*

W1	Taze	Fresh
W2	Az Ayrışmış	Slightly Weathered
W3	Orta Derecede Ayrışmış	Moderately Weat.
W4	Çok Ayrışmış	Highly Weathered
W5	Tamamen Ayrışmış	Completely Weat.
W6	Rezidüel Zemin (Toprak)	Residual Soil

DAYANIM / *STRENGTH*

R0	Aşırı Derecede Zayıf Kayaç	Ext. Weak Rock	q_u = 0.25 - 1.0 MPa
R1	Çok Zayıf Kayaç	Very Weak Rock	q_u = 1.0 - 5.0 MPa
R2	Zayıf Kayaç	Weak Rock	q_u = 5.0 - 25 MPa
R3	Orta Derecede Sağlam Kayaç	Medium Strong Rock	q_u = 25 - 50 MPa
R4	Sağlam Kayaç	Strong Rock	q_u = 50 - 100 MPa
R5	Çok Sağlam Kayaç	Very strong Rock	q_u = 100 - 250 MPa
R6	Aşırı Derecede Sağlam Kayaç	Ext.Strong Rock	q_u = > 250 MPa

KISALTMALAR / *ABBREVIATIONS*

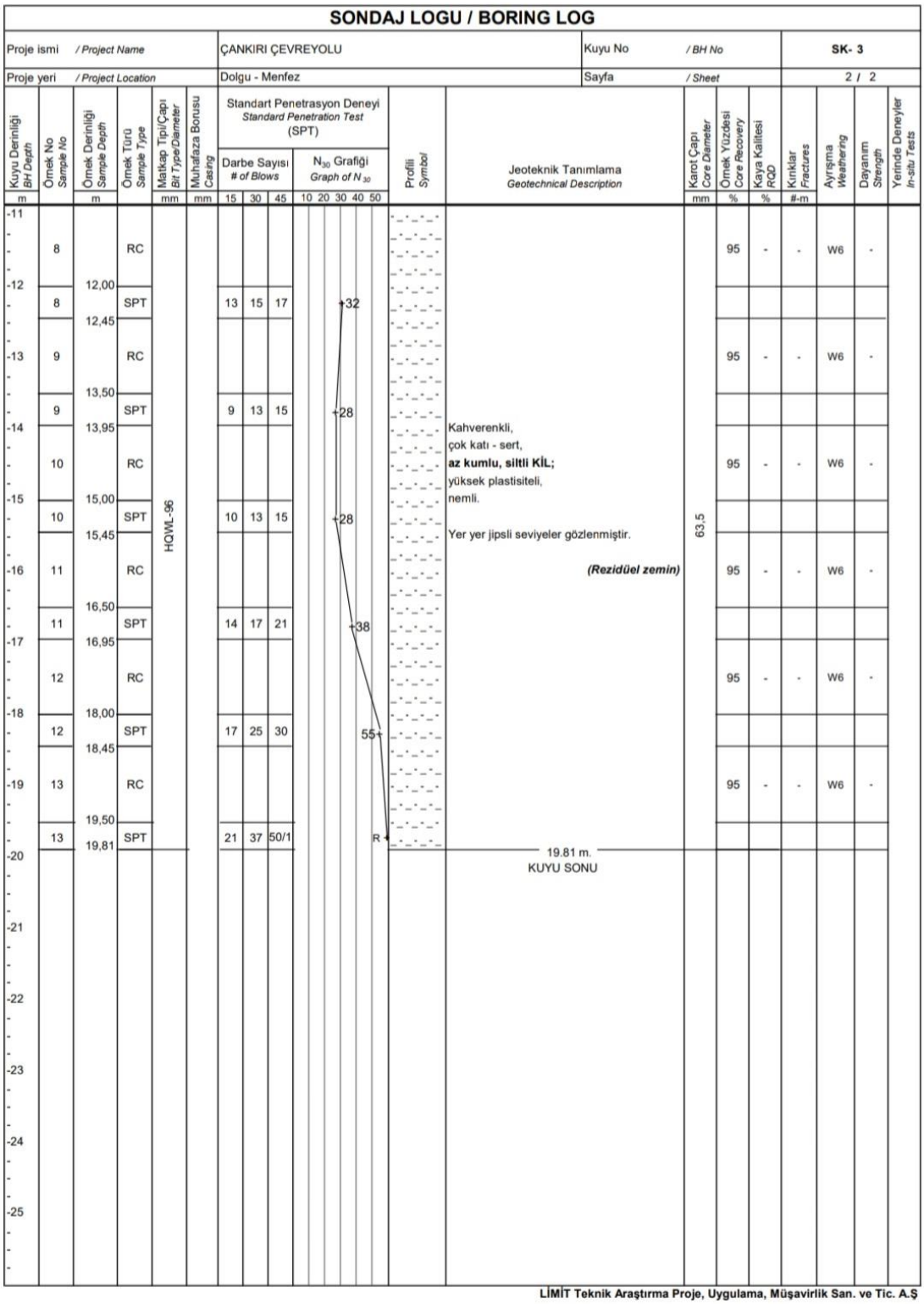
UD : Şelbi Tüp	/ Shelby Tube
RC : Karot Numune	/ Core Sample
SPT : St. Penetrasyon Den.	/ St. Penetration Test
PD : Paker Deneyi	/ Packer Test
GD : Geçirgenlik Deneyi	/ Permeability Test
Pr : Presiyometre Den.	/ Pressuremeter Test

NOTLAR / *REMARKS*

Sondör / *Driller*	Şaban YÜCEL	**Mühendis / *Engineer***	Yasin MACİT

LİMİT Teknik Araştırma Proje, Uygulama, Müşavirlik San. ve Tic. A.Ş

EK 1.'in devamı



SONDAJ LOGU / BORING LOG

Proje ismi / *Project Name*	ÇANKIRI ÇEVREYOLU	Kuyu No / *BH No*	**SK- 3**
Proje yeri / *Project Location*	Dolgu - Menfez	Sayfa / *Sheet*	2 / 2

Kuyu Derinliği *BH Depth* (m)	Örnek No *Sample No*	Örnek Derinliği *Sample Depth* (m)	Örnek Türü *Sample Type*	Matkap Tipi/Çapı *Bit Type/Diameter* (mm)	Muhafaza Borusu *Casing* (mm)	Standart Penetrasyon Deneyi *Standard Penetration Test* (SPT) — Darbe Sayısı *# of Blows* (15 / 30 / 45)	N_{30} Grafiği *Graph of N_{30}* (10 20 30 40 50)	Profili *Symbol*	Jeoteknik Tanımlama *Geotechnical Description*	Karot Çapı *Core Diameter* (mm)	Örnek Yüzdesi *Core Recovery* (%)	Kaya Kalitesi *RQD* (%)	Kırıklar *Fractures* (#-m)	Ayrışma *Weathering*	Dayanım *Strength*	Yerinde Deneyler *In-situ Tests*
-11																
	8		RC								95	-	-	W6	-	
-12		12,00														
	8		SPT			13 15 17	+32									
		12,45														
-13	9		RC								95	-	-	W6	-	
		13,50														
	9		SPT			9 13 15	+28									
-14		13,95							Kahverenkli,							
	10		RC						çok katı - sert,		95	-	-	W6	-	
									az kumlu, siltli KİL;							
-15		15,00							yüksek plastisiteli,							
	10		SPT	HQWL-96		10 13 15	+28		nemli.							
		15,45							Yer yer jipsli seviyeler gözlenmiştir.	63,5						
-16	11		RC						***(Rezidüel zemin)***		95	-	-	W6	-	
		16,50														
	11		SPT			14 17 21	+38									
-17		16,95														
	12		RC								95	-	-	W6	-	
-18		18,00														
	12		SPT			17 25 30	55+									
		18,45														
-19	13		RC								95	-	-	W6	-	
		19,50														
	13	19,81	SPT			21 37 50/1	R		19.81 m. KUYU SONU							
-20																
-21																
-22																
-23																
-24																
-25																

LİMİT Teknik Araştırma Proje, Uygulama, Müşavirlik San. ve Tic. A.Ş

EK 2. SPT Sonuçlarının Değerlendirildiği Çizelge

PROJE ADI / PROJECT NAME: ANKARA - ÇANKIRI YOLU, (ÇANKIRI ÇEVRE YOLU, Km: 0+000 - 6+000 ARASI İKMAL İNŞAATI VE Km: 6+000 - 16+539.404 ARASININ YAPIM İŞİ) YAPRAKLI KAVŞAĞI

SPT SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ / EVALUATION OF THE SPT RESULTS

Sondaj No Borehole No	Numune No Sample No	Derinlik Depth (m) h_1 m'den from	Derinlik Depth (m) h_2 m'ye to	SPT Darbe Sayısı Number of Blows 15 cm	30 cm	45 cm	N_{30}	Dane Boyutu	Kıvam / Consistency (N_{30})	Zemin Tanımlaması Soil Description	Doğal Birim Ağırlık Natural Unit Weight γ_n kN/m^3	Yaş Birim Ağırlık Wet Unit Weight γ_w kN/m^3	Yeraltısuyu Seviyesi Groundwater level h_w m	Toplam Düşey Gerilme / Total Vertical Stress σ_{bv} kN/m^2	Efektif Düşey Gerilme Effective Vertical Stress σ_{bv}' kN/m^2	Efektif Gerilme Düzeltme Faktörü Overburden Correction Factor C_N	Enerji Düzeltme Faktörü Energy Correction Factor C_E	Sondaj Kuyusu Düzeltme Faktörü Borehole Correction Factor C_B	Tij Boyu Düzeltme Faktörü Rod Length Correction Factor C_R	Numune Alıcısı Düzeltme Faktörü Sampler Correction Factor C_S	N_{60}	$N_{1,60}$	İzafi (Rölatif) Sıklık Relative Density Dr %	İçsel Sürtünme Açısı Internal Friction Angle ◆ °	Serbest Basınç Dayanımı Unıaxial Compressive Strength q_u kg/cm^2	Kohezyon Cohesion c kg/cm^2
SK 1	SPT- 1	1,50	1,95	3	4	4	8	ince taneli	Orta Katı/ Mod.Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	30,19	30,19	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	6	-	-	-	-	0,38
SK 1	SPT- 2	3,50	3,95	4	5	7	12	ince taneli	Katı / Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	65,19	65,19	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	10	-	-	-	-	0,63
SK 1	SPT- 3	4,50	4,95	3	4	6	10	ince taneli	Katı / Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	82,69	82,69	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	9	-	-	-	-	0,59
SK 1	SPT- 4	6,50	6,95	3	3	3	6	ince taneli	Orta Katı/ Mod.Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	119,50	112,40	0,94	1,00	1,00	0,95	1,00	6	-	-	-	-	0,36
SK 1	SPT- 5	7,50	7,95	4	5	4	9	ince taneli	Katı / Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	139,50	122,60	0,90	1,00	1,00	0,95	1,00	9	-	-	-	-	0,56
SK 1	SPT- 6	9,50	9,95	4	6	7	13	ince taneli	Katı / Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	179,50	143,00	0,84	1,00	1,00	0,95	1,00	12	-	-	-	-	0,81
SK 1	SPT- 7	10,50	10,95	5	7	11	18	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	199,50	153,20	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00	18	-	-	-	-	1,19
SK 1	SPT- 8	12,50	12,95	6	8	13	21	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	239,50	173,60	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	21	-	-	-	-	1,39
SK 1	SPT- 9	13,50	13,95	5	8	16	24	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	6,00	259,50	183,80	0,74	1,00	1,00	1,00	1,00	24	-	-	-	-	1,60
SK 1	SPT- 10	15,00	15,45	10	11	19	30	iri taneli	Orta Sıkı/ M. Dense	Sıltlı KUM	20,0	22,0	6,00	322,95	232,55	0,66	1,00	1,00	1,00	1,00	-	20	54	36	-	-
SK 2	SPT- 1	1,50	1,95	3	5	7	12	ince taneli	Katı / Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	4,00	30,19	30,19	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	9	-	-	-	-	0,59
SK 2	SPT- 2	3,30	3,75	3	4	5	9	ince taneli	Katı / Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	4,00	61,69	61,69	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	7	-	-	-	-	0,47
SK 2	SPT- 3	4,50	4,95	5	11	14	25	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	4,00	84,50	77,40	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	21	-	-	-	-	1,41
SK 2	SPT- 4	6,50	6,95	9	14	19	33	ince taneli	Sert/ Hard	Sıltlı Kil	17,5	20,0	4,00	124,50	97,80	1,00	1,00	1,00	0,95	1,00	31	-	-	-	-	> 2.00
SK 2	SPT- 5	7,50	7,95	12	21	39	60	ince taneli	Sert/ Hard	Sıltlı Kil	17,5	20,0	4,00	144,50	108,00	0,96	1,00	1,00	0,95	1,00	57	-	-	-	-	> 2.00
SK 2	SPT- 6	9,00	9,42	50/12			R	ince taneli	Sert/ Hard	Sıltlı Kil	17,5	20,0	4,00	174,20	123,14	0,90	1,00	1,00	0,95	1,00	>50	-	-	-	-	-
SK 2	SPT- 7	10,50	10,92	50/12			R	ince taneli	Sert/ Hard	Sıltlı Kil	17,5	20,0	4,00	204,20	138,44	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	>50	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 1	1,50	1,95	2	3	5	8	ince taneli	Orta Katı/ Mod.Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	7,00	30,19	30,19	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	6	-	-	-	0,77	0,38
SK 3	SPT- 2	3,50	3,95	4	5	5	10	ince taneli	Katı / Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	7,00	65,19	65,19	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	8	-	-	-	1,04	0,52
SK 3	SPT- 3	4,50	4,95	5	9	9	18	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	7,00	82,69	82,69	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	15	-	-	-	2,02	1,01
SK 3	SPT- 4	6,50	6,95	4	7	11	18	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	7,00	117,69	117,69	0,92	1,00	1,00	0,95	1,00	17	-	-	-	2,26	1,13
SK 3	SPT- 5	7,50	7,95	5	7	9	16	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	7,00	137,00	129,90	0,88	1,00	1,00	0,95	1,00	15	-	-	-	2,01	1,00
SK 3	SPT- 6	9,00	9,45	8	11	14	25	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	7,00	167,00	145,20	0,83	1,00	1,00	0,95	1,00	24	-	-	-	3,16	1,58
SK 3	SPT- 7	10,50	10,95	10	14	16	30	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıltlı Kil	17,5	20,0	7,00	197,00	160,50	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00	30	-	-	-	4,00	2,00
SK 3	SPT- 8	12,00	12,45	13	15	17	32	ince taneli	Sert/ Hard	Sıltlı Kil	17,5	20,0	7,00	227,00	175,80	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	32	-	-	-	-	> 2.00

EK 2.'nin devamı

PROJE ADI / PROJECT NAME: ANKARA - ÇANKIRI YOLU, (ÇANKIRI ÇEVRE YOLU, Km: 0+000 - 6+000 ARASI İKMAL İNŞAATI VE Km: 6+000 - 16+539.404 ARASININ YAPIM İŞİ) YAPRAKLI KAVŞAĞI

SPT SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ / EVALUATION OF THE SPT RESULTS

Sondaj No Borehole No	Numune No Sample No	Derinlik Depth (m)		SPT Darbe Sayısı Number of Blows			N_{30}	Dane Boyutu	Kıvam / Consistency (N_{30})	Zemin Tanımlaması Soil Description	Doğal Birim Ağırlık Natural Unit Weight	Yaş Birim Ağırlık Wet Unit Weight	Yeraltısuyu Seviyesi Groundwater Level	Toplam Düşey Gerilme / Total Vertical Stress	Efektif Düşey Gerilme Effective Vertical Stress	Efektif Gerilme Düzeltme Faktörü Overburden Correction Factor	Enerji Düzeltme Faktörü Energy Correction Factor	Sondaj Kuyusu Düzeltme Faktörü Borehole Correction Factor	Tij Boyu Düzeltme Faktörü Rod Length Correction Factor	Numune Alıcısı Düzeltme Faktörü Sampler Correction Factor	N_{60}	$N_{1,60}$	İzafi (Rölatif) Sıkılık Relative Density	İçsel Sürtünme Açısı Internal Friction Angle	Serbest Basınç Dayanımı Unaxial Compressive Strength	Kohezyon Cohesion
		h_1 m'den from	h_2 m'ye to	15 cm	30 cm	45 cm					γ_n kN/m³	γ_w kN/m³	h_w m	σ_{bo} kN/m²	σ_{bo}' kN/m²	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S			Dr %	◆ °	q_u kg/cm²	c kg/cm²
SK 3	SPT- 9	13,50	13,95	9	13	15	28	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıkı Kil	17,5	20,0	7,00	257,00	191,10	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	28	-	-	-	3,73	1,87
SK 3	SPT- 10	15,00	15,45	10	13	15	28	ince taneli	Çok Katı/ Very Stiff	Sıkı Kil	17,5	20,0	7,00	287,00	206,40	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	28	-	-	-	3,73	1,87
SK 3	SPT- 11	16,50	16,95	14	17	21	38	ince taneli	Sert/ Hard	Sıkı Kil	17,5	20,0	7,00	317,00	221,70	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	38	-	-	-	> 4,00	> 2,00
SK 3	SPT- 12	18,00	18,45	17	25	30	55	ince taneli	Sert/ Hard	Sıkı Kil	17,5	20,0	7,00	347,00	237,00	0,65	1,00	1,00	1,00	1,00	55	-	-	-	> 4,00	> 2,00
SK 3	SPT- 13	19,50	19,82	50/1			R	ince taneli	Sert/ Hard	Sıkı Kil	17,5	20,0	7,00	375,70	251,63	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00	>50	-	-	-	-	-

EK 3. Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlendiği Çizelge

PROJE ADI / PROJECT NAME: ANKARA - ÇANKIRI YOLU, (ÇANKIRI ÇEVRE YOLU, Km: 0+000 - 6+000 ARASI İKMAL İNŞAATI VE Km: 6+000 - 16+539.404 ARASININ YAPIM İŞİ) YAPRAKLI KAVŞAĞI

SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ / DETERMINATION OF THE LIQUEFACTION POTENTIAL

Sondaj No Borehole No	Numune No Sample No	Derinlik Depth (m)		Zemin Tanımlaması Soil Description	İnce Daneli Malzeme Oranı (*7) Fine Grained Material Ratio	Likit Limit (*7) Liquid Limit	Su İçeriği (*7) Water Content	Doğal Birim Ağırlık Natural Unit Weight	Yaş Birim Ağırlık Wet Unit Weight	Yeraltısuyu Seviyesi Groundwater level	Toplam Düşey Gerilme Total Vertical Stress	Etkiyt Düşey Gerilme Effective Vertical Stress	Düzeltilmiş SPT Değeri Corrected SPT Values	a	B	İnce Dane Oranı ile Düz. N1,60 Corr. N1,60 with Fine Cont.Ratio	Gerilme Azalma Katsayısı Stress Reduction Factor	Yüzeydeki max. yatay ivme Max. Horizontal Acc. at surface	Tekrarlı Gerilme Oranı Cyclic Stress Ratio	Tekrarlı Kayma Kuvvet Oranı Cyclic Resistance Ratio	Deprem Büyüklüğü Earthquake Magnitude	MSF	Güvenlik Faktörü Factor of Safety	Sıvılaşma / Liquifaction	Notlar / Notes					
		h_1 m'den from	h_2 m'ye to		FC (%)	LL (%)	W_n (%)	γ_n kN/m³	γ_d kN/m³	h_w m	σ_{vo} kN/m²	σ'_{vo} kN/m²	$N_{60,cs}$	a	B	$N_{160,cs}$	r_d	a_{max}/g	CSR	CRR	M_w		FS (*8)						
SK 1	SPT- 1	1,50	1,95	Sıkılı KİL	68,42	55	25,64	17,5	20,0	0,00	30,19	30,19	6	5,00	1,20	12	0,99	0,30	0,19	0,13	6,0	1,77	1,23	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 2	3,50	3,95	Sıkılı KİL	77,90	56	22,34	17,5	20,0	0,00	65,19	65,19	10	5,00	1,20	17	0,97	0,30	0,19	0,18	6,0	1,77	1,64	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 3	4,50	4,95	Sıkılı KİL	78,13	59	26,25	17,5	20,0	0,00	82,69	82,69	9	5,00	1,20	16	0,96	0,30	0,19	0,17	6,0	1,77	1,55	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 4	6,50	6,95	Sıkılı KİL	78,13	59	26,25	17,5	20,0	0,00	119,50	112,40	6	5,00	1,20	12	0,95	0,30	0,20	0,13	6,0	1,77	1,17	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 5	7,50	7,95	Sıkılı KİL	87,48	60	26,35	17,5	20,0	0,00	139,50	122,60	9	5,00	1,20	15	0,94	0,30	0,21	0,16	6,0	1,77	1,38	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 6	9,50	9,95	Sıkılı KİL	65,61	55	22,21	17,5	20,0	0,00	179,50	143,00	12	5,00	1,20	20	0,91	0,30	0,22	0,21	6,0	1,77	1,70	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 7	10,50	10,95	Sıkılı KİL	64,63	54	22,60	17,5	20,0	0,00	199,50	153,20	18	5,00	1,20	27	0,88	0,30	0,22	0,33	6,0	1,77	2,59	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 8	12,50	12,95	Sıkılı KİL	64,63	54	22,60	17,5	20,0	0,00	239,50	173,60	21	5,00	1,20	30	0,83	0,30	0,22	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 9	13,50	13,95	Sıkılı KİL	64,63	54	22,60	17,5	20,0	0,00	259,50	183,80	24	5,00	1,20	34	0,80	0,30	0,22	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 1	SPT- 10	15,00	15,45	Sıkılı KUM	47,35	NP	16,78	20,0	22,0	0,00	322,95	232,55	20	5,00	1,20	29	0,76	0,30	0,21	0,39	6,0	1,77	3,37	-	*2	-	-	-	-
SK 2	SPT- 1	1,50	1,95	Sıkılı KİL	82,53	56	24,24	17,5	20,0	0,00	30,19	30,19	9	5,00	1,20	16	0,99	0,30	0,19	0,17	6,0	1,77	1,55	-	-	-	-	-	-
SK 2	SPT- 2	3,30	3,75	Sıkılı KİL	82,53	56	24,24	17,5	20,0	0,00	61,69	61,69	7	5,00	1,20	14	0,97	0,30	0,19	0,15	6,0	1,77	1,37	-	-	-	-	-	-
SK 2	SPT- 3	4,50	4,95	Sıkılı KİL	80,58	56	24,92	17,5	20,0	0,00	84,50	77,40	21	5,00	1,20	31	0,96	0,30	0,20	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 2	SPT- 4	6,50	6,95	Sıkılı KİL	80,58	56	24,92	17,5	20,0	0,00	124,50	97,80	31	5,00	1,20	43	0,95	0,30	0,24	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 2	SPT- 5	7,50	7,95	Sıkılı KİL	75,20	55	15,36	17,5	20,0	0,00	144,50	108,00	57	5,00	1,20	73	0,94	0,30	0,25	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 2	SPT- 6	9,00	9,42	Sıkılı KİL	75,20	55	15,36	17,5	20,0	0,00	174,20	123,14	>50	5,00	1,20	>50	0,92	0,30	0,25	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 2	SPT- 7	10,50	10,92	Sıkılı KİL	67,77	53	19,97	17,5	20,0	0,00	204,20	138,44	>50	5,00	1,20	>50	0,88	0,30	0,25	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 1	1,50	1,95	Sıkılı KİL	78,04	68	27,56	17,5	20,0	0,00	30,19	30,19	6	5,00	1,20	12	0,99	0,30	0,19	0,13	6,0	1,77	1,23	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 2	3,50	3,95	Sıkılı KİL	78,04	68	27,56	17,5	20,0	0,00	65,19	65,19	8	5,00	1,20	15	0,97	0,30	0,19	0,16	6,0	1,77	1,46	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 3	4,50	4,95	Sıkılı KİL	82,66	67	30,16	17,5	20,0	0,00	82,69	82,69	15	5,00	1,20	23	0,96	0,30	0,19	0,26	6,0	1,77	2,48	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 4	6,50	6,95	Sıkılı KİL	76,84	69	28,25	17,5	20,0	0,00	117,69	117,69	17	5,00	1,20	26	0,95	0,30	0,18	0,30	6,0	1,77	2,90	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 5	7,50	7,95	Sıkılı KİL	76,84	69	28,25	17,5	20,0	0,00	137,00	129,90	15	5,00	1,20	23	0,94	0,30	0,19	0,26	6,0	1,77	2,39	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 6	9,00	9,45	Sıkılı KİL	85,78	60	28,43	17,5	20,0	0,00	167,00	145,20	24	5,00	1,20	34	0,92	0,30	0,21	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 7	10,50	10,95	Sıkılı KİL	86,59	69	28,86	17,5	20,0	0,00	197,00	160,50	30	5,00	1,20	41	0,88	0,30	0,21	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 8	12,00	12,45	Sıkılı KİL	95,06	60	25,76	17,5	20,0	0,00	227,00	175,80	32	5,00	1,20	43	0,84	0,30	0,21	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 9	13,50	13,95	Sıkılı KİL	95,06	60	25,76	17,5	20,0	0,00	257,00	191,10	28	5,00	1,20	39	0,80	0,30	0,21	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-	-

EK 3.'ün devamı

PROJE ADI / PROJECT NAME: ANKARA - ÇANKIRI YOLU, (ÇANKIRI ÇEVRE YOLU, Km: 0+000 - 6+000 ARASI İKMAL İNŞAATI VE Km: 6+000 - 16+539.404 ARASININ YAPIM İŞİ) YAPRAKLI KAVŞAĞI

SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ / DETERMINATION OF THE LIQUEFACTION POTENTIAL

Sondaj No Borehole No	Numune No Sample No	Derinlik Depth (m)		Zemin Tanımlaması Soil Description	İnce Daneli Malzeme Oranı (*7) Fine Grained Material Ratio	Likit Limit (*7) Liquid Limit	Su İçeriği (*7) Water Content	Doğal Birim Ağırlık Natural Unit Weight	Yaş Birim Ağırlık Wet Unit Weight	Yeraltısuyu Seviyesi Groundwater Level	Toplam Düşey Gerilme Total Vertical Stress	Etkili Düşey Gerilme Effective Vertical Stress	Düzeltilmiş SPT Değeri Corrected SPT Values	a	B	İnce Dane Oranı İle Düz. $N_{1,60}$ Corr. $N_{1,60}$ With Fine Cont. Ratio	Gerilme Azaltma Katsayısı Stress Reduction Factor	Yüzeydeki max. yatay İvme Max. Horizontal Acc. at surface	Tekrarlı Gerilme Oranı Cyclic Stress Ratio	Tekrarlı Kayma Koyma Oranı Cyclic Resistance Ratio	Deprem Büyüklüğü Earthquake Magnitude	MSF	Güvenlik Faktörü Factor of Safety	Sıvılaşma / Liquifaction	Notlar / Notes			
		h_1 m'den from	h_2 m'ye to		FC (%)	LL (%)	W_n (%)	γ_n kN/m³	γ_d kN/m³	h_w m	σ_{vo} kN/m²	σ_{vo}' kN/m²	$N_{60/CORR}$	a	B	$N_{60/CORR}$	r_d	a_{max}/g	CSR	CBR	M_w		FS (*8)					
SK 3	SPT- 10	15,00	15,45	Sıkılı Kil.	95,06	60	25,76	17,5	20,0	0,00	287,00	206,40	28	5,00	1,20	39	0,76	0,30	0,21	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 11	16,50	16,95	Sıkılı Kil.	96,01	58	18,67	17,5	20,0	0,00	317,00	221,70	38	5,00	1,20	51	0,72	0,30	0,20	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 12	18,00	18,45	Sıkılı Kil.	96,01	58	18,67	17,5	20,0	0,00	347,00	237,00	55	5,00	1,20	71	0,68	0,30	0,19	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-
SK 3	SPT- 13	19,50	19,82	Sıkılı Kil.	98,76	63	21,70	17,5	20,0	0,00	375,70	251,63	>50	5,00	1,20	>50	0,64	0,30	0,19	-	6,0	1,77	-	-	-	-	-	-

NOTLAR:

***1** İlgili derinlik için yeraltısuyu mevcut değil ya da incelenen aralığın altında kalmaktadır. Bu nedenle sıvılaşma beklenmemektedir.

***2** İlgili derinlik için sıvılaşma potansiyeli incelenen tabaka, 15.00 m'den daha alt seviyelerde kalmaktadır. Bu nedenle sıvılaşma beklenmemektedir.

***3** İlgili derinlik için ince daneli malzeme içeriği yüzdesi (No.200'den geçen) ≥%15'dir. Bu nedenle sıvılaşma beklenmemektedir.

***4** İlgili derinlik için ince daneli malzemenin likit limiti (LL) ≥ %35'dir. Bu nedenle sıvılaşma beklenmemektedir.

***5** İlgili derinlik için $W_n \leq 0,9*(LL)$'dir. Bu nedenle sıvılaşma beklenmemektedir.

***6** İlgili derinlik için güvenlik faktörü (FS) sayısı <1 olarak belirlenen ve sıvılaşma beklenen *"KUM"* ve *"ÇAKIL"* birimleri için detaylı irdeleme yapılacaktır.

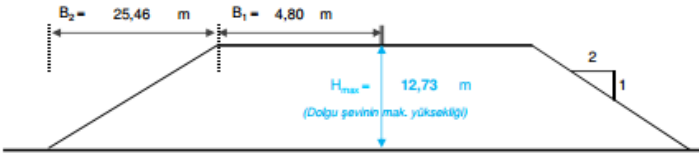
***7** Tanımlama deneyi bulunmayan numunelerin zemin özellikleri, birimin genel özellikleri ve yakın seviyelerdeki deney sonuçları göz önüne alınarak ortalama değerler ile belirlenmiştir.

***8** SPT-$N_{1,60}$ değeri >30 olan derinlikler için güvenlik faktörü hesaplanmamıştır.

EK 4. SK- 1 No'lu Sondaj Kuyusunun Açıldığı Zeminde Oturma Analizi Detayları

ANKARA - ÇANKIRI YOLU,
(ÇANKIRI ÇEVRE YOLU, KM: 0+000 - 6+000 ARASI İKMAL İNŞAATI VE KM: 6+000 - 16+539.404 ARASININ YAPIM İŞİ)
YAPRAKLI KAVŞAĞI (0+110 KOL-1 DOLGUSU)

OTURMA ANALİZLERİ



İlgili Sondaj Kuyu No: SK-1
YASS 6.00 m
(Yüzeyde kabul edilmiştir)

Derinlik (m)	Kalınlık (m)	Birim	(*1)	Malzeme Dağılım Oranları (%) ÇAKIL	KUM	SİLT-KİL	W_n (%)	Atterberg Limitleri (%) LL	PL	PI	LI	Zemin Sınıfı	SPT N_{30}	SPT $N_{1,60/60}$
0,00														
0,30	h_1 = 0,30 m	BİTKİSEL TOPRAK												
	h_2 = 13,70 m	Nadiren çakıllı, kumlu, siltli KİL		2,34	21,3	76,36	25,52	59	26	33	-0,015	CH	13	14
14,00														
(*4)	h_3 = 1,45 m	Az çakıllı, siltli, killi KUM		13,18	38,97	47,85	16,78	NP	NP	NP	-	CH	30	20
15,45														
	h_4 = 9,55 m	KİLTAŞI - SİLTTAŞI		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25,00														

Dolgu Tabakası	H_{max} m	γ g/cm³	q_{dolgu} kg/cm²
	12,73	2,00	2,55

Gerilme Dağılışı							Konsolidasyon Oturması (*2)											Ani Oturma (*3)		
No	h	z	γ	P_o	ΔP	$\Delta P+P_o$	I	SPT N_{30}	SPT $N_{1,60/60}$	$m_{v\ (strain)}$	$m_{v\ (Lab.)}$	S_c	c_v (s-t)	c_v (Lab.)	H_d	T_v	U	ν	E	S_i
	cm	cm	g/cm³	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²				cm²/kg	cm²/kg	cm	cm²/dak		cm	-	%		kg/cm²	cm
1	30	15	1,80	0,01	2,55	2,56	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1370	715	1,80	0,57	2,40	2,97	0,471	13	14	-	0,019	61,5		0,027	685	0,51	77	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
												61,5								0,0

SONUÇ :

	Toplam konsolidasyon oturma miktarı =	61,5	cm	(Yol dolgusu için izin verilebilir oturma miktarı 10 cm'dir.)
	Düzeltilmiş toplam konsolidasyon oturma miktarı =	43,1	cm	(Saha koşulları için düzeltme yapıldıktan sonra) k= 0,70
33,1	cm oturma miktarının tamamlanma yüzdesi =	77	%	(Gerekli toplam konsolidasyon yüzdesi)
% 77	konsolidasyonun tamamlanacağı toplam süre =	204	ay	(İzin verilmeyen oturma miktarının tamamlanma süresi)
	Toplam ani oturma miktarı =	-	cm	

AÇIKLAMALAR / NOTLAR:

*(*1)* Birimlerin kalınlıkları, malzeme dağılım oranları, zemin sınıfları, ortalama SPT-N değerleri ve birim hacim ağırlık bilgileri, SK-1 no'lu sondaj kuyusu verileri kullanılarak belirlenmiştir.

*(*2.2)* 4 no'lu *"Nadiren çakıllı, kumlu, siltli KİL"* biriminde konsolidasyon oturma hesabı, konsolidasyon deney verileri kullanılarak; hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile konsolidasyon katsayısı (c_v), 0.50 - 4.00 kg/cm² yük aralığına göre tespit edilmiştir.

*(*4)* 3 no'lu birim ve sonrasında, SPT-N değerleri (>30) dikkate alındığında, herhangi bir oturma problemi beklenmemektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Ali Alperen AYHAN

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	2019-Halen
Lisans	Kayseri Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2015-2019

İş Deneyimi

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2020-2020	Şimşekler İnşaat Haf. Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi
2020-2021	Çankırı Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	İnşaat Bölümü Öğretmeni